



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΑΝΤΩΝΙΟΣ – ΓΕΝΝΑΙΟΣ ΠΕΤΤΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΝΔΡΕΑΣ ΕΥΣΤΡΑΤΙΑΔΗΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Αθήνα, Νοέμβριος 2020

- ❑ Αντικατάσταση της προστατευόμενης, από «εγγυημένη» τιμολόγηση αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, με νέο οικονομικό μοντέλο. [**Target Model**]
- ❑ Επιδίωξη αύξησης του ποσοστού συμμετοχής των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα.

Ανάγκη βελτιστοποίησης των διαχειριστικών διεργασιών των συστημάτων παραγωγής, με στόχο:

- ενεργειακή αξιοπιστία*
- οικονομική βιωσιμότητα*

Target Model

- *Αγορά της επόμενης ημέρας (day-ahead)*
- *Ενδοημερήσια (intraday) αγορά*
- *Αγορά εξισορρόπησης*
- *Προθεσμιακή αγορά*

Πρόκληση για την Αιολική Ενέργεια:

- Εξαρτάται από αβέβαιες διεργασίες σημαντικών διακυμάνσεων [ταχύτητα ανέμου].
- Υπό το νέο καθεστώς ενεργειακής αγοράς, η απόδοση των προγνωστικών εργαλείων αποκτά βαρύνουσα σημασία.

Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η ανάπτυξη μεθοδολογίας αξιολόγησης των προγνώσεων που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία παραγωγής αιολικής ενέργειας με κεντρικούς πυλώνες:

- την ενεργειακή και οικονομική αξιοπιστία,
- την ευκολία εφαρμογής.

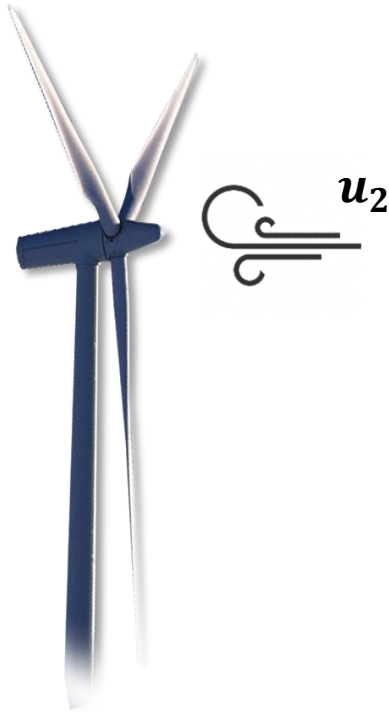
Ερευνητικοί Στόχοι:

- Η προσομοίωση της παραγωγής αιολικής ενέργειας και αντίστοιχης ανεμολογικής και ενεργειακής πρόγνωσης,
- Η διερεύνηση και ποσοτικοποίηση της **επίδρασης της καμπύλης ισχύος** της ανεμογεννήτριας στα αποτελέσματα της ενεργειακής πρόγνωσης,
- Η αξιολόγηση και σύγκριση των ανεμολογικών και αντίστοιχων ενεργειακών προγνώσεων μέσω εφαρμογής κλασικών στατιστικών μέτρων επίδοσης,
- Η **ανάπτυξη εμπειρικού δείκτη αξιολόγησης** των ενεργειακών προγνώσεων με βασικό μηχανισμό την **τιμολόγηση της παραγόμενης ενέργειας**,
- Η αξιολόγηση των ενεργειακών προγνώσεων μέσω της χρήσης του εμπειρικού δείκτη,
- Η διερεύνηση της **επίδρασης των στατιστικών χαρακτηριστικών** των χρονοσειρών ανέμου στα αποτελέσματα της διαδικασίας αξιολόγησης.

Θεωρητικό Υπόβαθρο: Ιδιαιτερότητες του Ανέμου

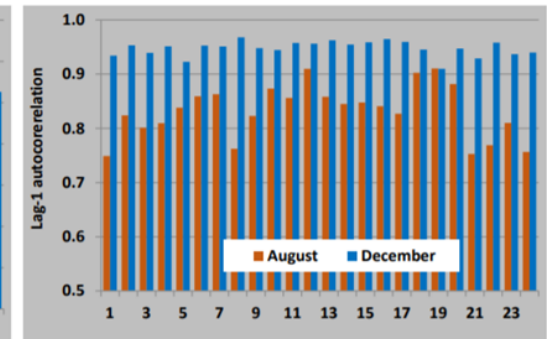
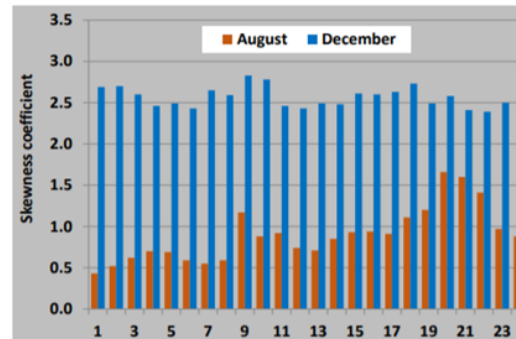
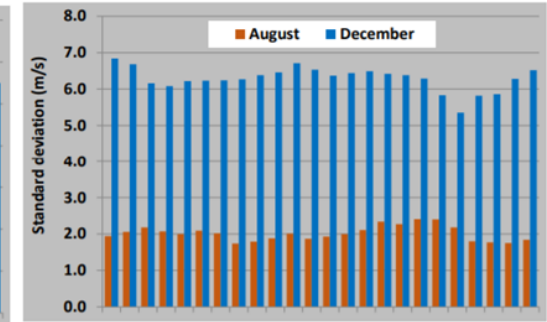
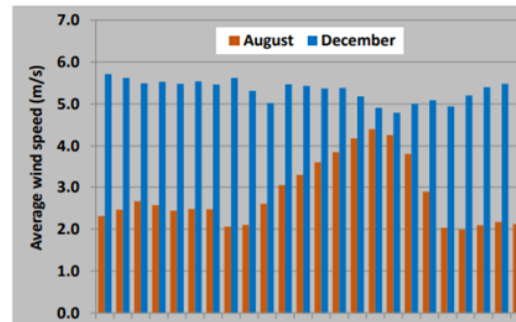
$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{\ln \frac{z_2}{z_0}}{\ln \frac{z_1}{z_0}}$$

z_1 : το υψόμετρο μέτρησης
 z_0 : η παράμετρος τραχύτητας



Ιδιαιτερότητες ανέμου

- Χρονική διακύμανση
- Καθ' ύψος διακύμανση
- Εξάρτηση από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης



Σημαντική δυσκολία καλής πρόγνωσης σημειακών ταχυτήτων ανέμου, ειδικά για μεγάλα lead times.

Θεωρητικό Υπόβαθρο: Η Επίδραση της Καμπύλης Ισχύος (1/3)

Ιστορικές παρατηρήσεις σημειακής ταχύτητας ανέμου

Μοντέλο πρόγνωσης

Προγνώσεις σημειακής ταχύτητας ανέμου

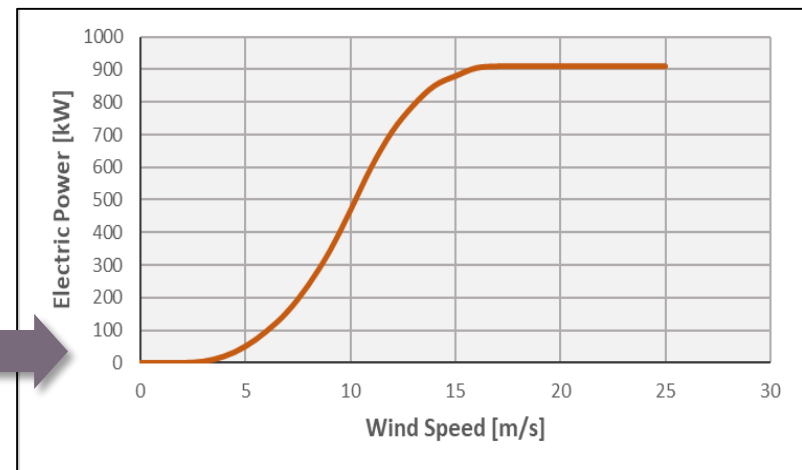
Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας

Προγνώσεις παραγόμενης ισχύος - ενέργειας

Η αποδιδόμενη ισχύς προκύπτει ως μη-γραμμικός μετασχηματισμός της ταχύτητας του ανέμου μέσω της καμπύλης ισχύος της ανεμογεννήτριας.

Η πρόγνωση της αιολικής ενέργειας εξαρτάται από τις **ανεμολογικές προγνώσεις** και την **καμπύλη ισχύος**.

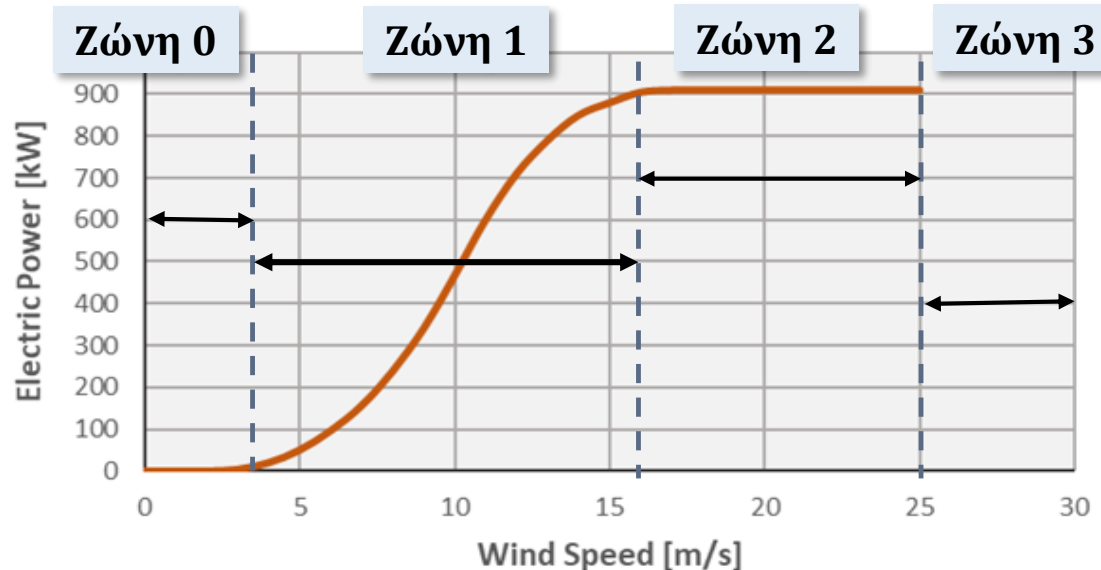
Πώς, όμως, επιδρά επακριβώς η καμπύλη ισχύος στην ενεργειακή πρόγνωση;



Θεωρητικό Υπόβαθρο: Η Επίδραση της Καμπύλης Ισχύος (2/3)

- ❑ Η καμπύλη μιας ανεμογεννήτριας μπορεί να επιμερισθεί σε ζώνες ανάλογα με τη δομή της σχέσης της αποδιδόμενης ισχύος ως προς την ταχύτητα του ανέμου.
- ❑ Εύκολα προκύπτουν οι ακόλουθες τέσσερις ζώνες:
 - **Ζώνη 0:** χαμηλές ταχύτητες ανέμου → **μηδενική ισχύς**,
 - **Ζώνη 1:** μεσαίας έντασης ταχύτητες ανέμου → η ισχύς προκύπτει από **μη γραμμικό μετασχηματισμό της ταχύτητας**,
 - **Ζώνη 2:** υψηλές ταχύτητες ανέμου → σταθερή παραγωγή με τη **μέγιστη ονομαστική ισχύ**,
 - **Ζώνη 3:** εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες ανέμου → η ανεμογεννήτρια σταματά τη λειτουργία της για λόγους ασφαλείας → **μηδενική ισχύς**.

Παρατηρείται πως για σημαντικά μεγάλο εύρος ταχυτήτων [Ζώνη 0, Ζώνη 2 & Ζώνη 3] αποδίδεται από την ανεμογεννήτρια **σταθερή ισχύς**, είτε **μηδενική**, είτε **μέγιστη**.

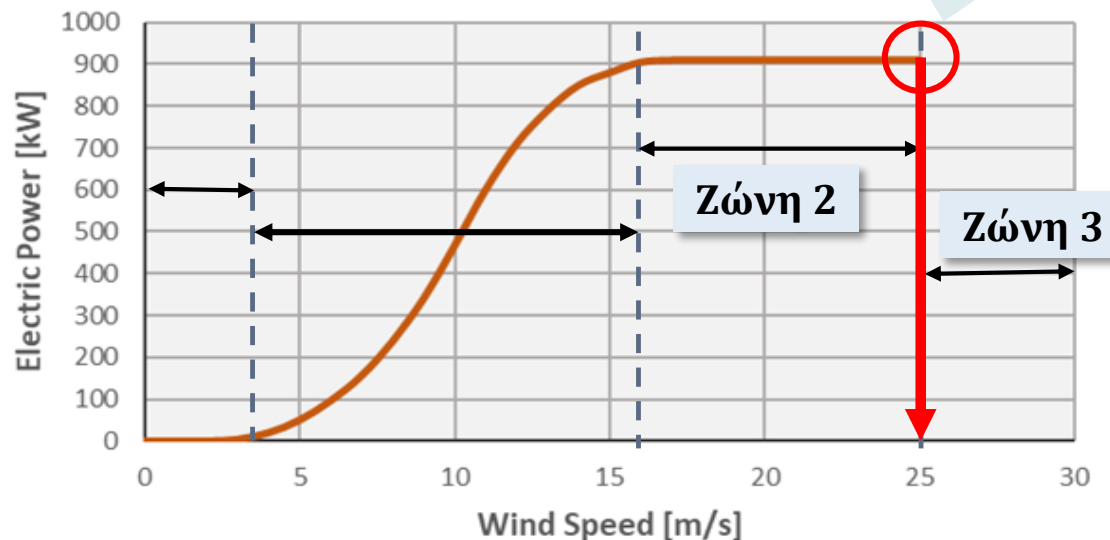


Θεωρητικό Υπόβαθρο: Η Επίδραση της Καμπύλης Ισχύος (3/3)

- ❑ Η **σταθερή παραγωγή** για μεγάλο εύρος ταχυτήτων μπορεί δυνητικά να οδηγήσει σε σημαντικό πλεονέκτημα των ενεργειακών προγνώσεων.
- ❑ Δεδομένου του ότι για τις ζώνες **0, 2 & 3** η παραγωγή είναι είτε **σταθερή**, είτε **μηδενική**, αρκεί, για αυτές τις περιοχές, **σωστή πρόγνωση του εύρους** της σημειακής ταχύτητας, σε κάθε χρονικό βήμα, και όχι πρόγνωση της ακριβούς τιμής.

Περιοχή Υψηλού Ρίσκου

- Στο άνω όριο της καμπύλης ισχύος, μικρές μεταβολές της ταχύτητας ανέμου είναι ικανές να οδηγήσουν σε μέγιστες μεταβολές της ενεργειακής παραγωγής.
- Έτσι, μια μικρή υποεκτίμηση της ταχύτητας μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλα **ενεργειακά ελλείματα** και χαμηλή απόδοση της ενεργειακής πρόγνωσης.



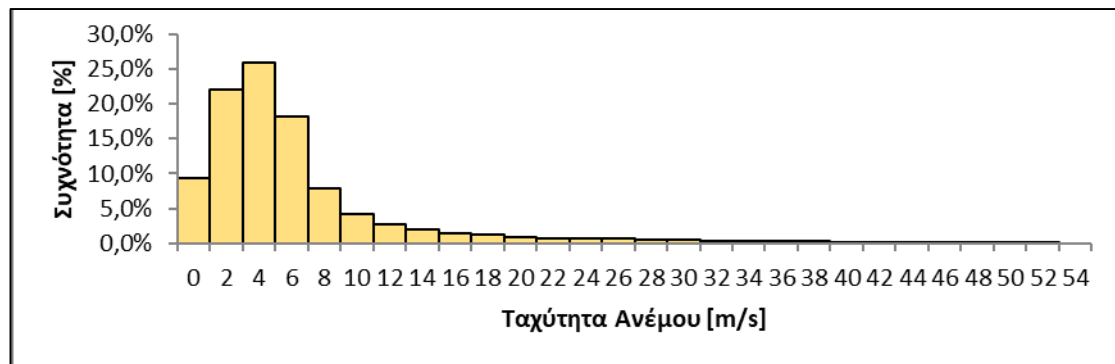
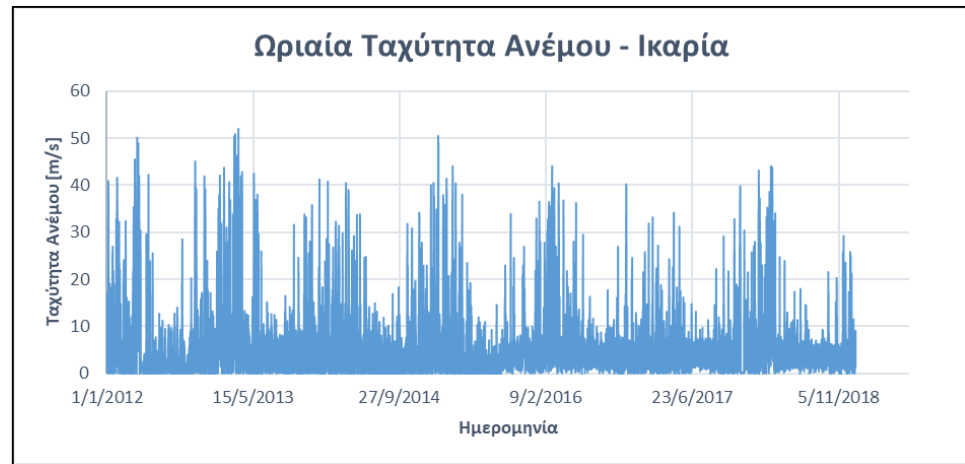
Ανάπτυξη Μεθοδολογίας: Δεδομένα Ικαρίας

- Έχοντας κατά νου αυτές τις ιδιαιτερότητες, αναπτύσσεται μεθοδολογία αξιολόγησης των μοντέλων πρόγνωσης ταχύτητας με γνώμονα την ενεργειακή και οικονομική αξιοπιστία που προσφέρουν στο σύστημα παραγωγής.

Δεδομένα Ικαρίας

- ✓ 7 χρόνια δεκάλεπτων μετρήσεων
- ✓ συνάθροιση στην ωριαία κλίμακα
- ✓ μεγάλες διακυμάνσεις
- ✓ έντονη εποχικότητα

ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ (m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (m/s)	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (m/s)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣ ΗΣ
51.9	5.4	6.62	0.86



- Για τη θεμελίωση της μεθοδολογίας χρησιμοποιούνται τέσσερις (4) διαφορετικές χρονοσειρές υποθετικών, ωριαίων προγνώσεων σημειακής ταχύτητας ανέμου. Οι χρονοσειρές αυτές προκύπτουν ως ακολούθως:
 - με χρήση μοντέλου αυτοπαλινδρόμησης πρώτης τάξης (**AR-1**) με μοναδιαίο lead time [**Μοντέλο Α**],
 - με χρήση μοντέλου *απλής μετατόπισης κατά μοναδιαίο χρονικό βήμα* των ιστορικών παρατηρήσεων [**Μοντέλο Β**],
 - με χρήση μοντέλου απλής άθροισης των ιστορικών παρατηρήσεων με στοχαστικό όρο κανονικής (γκουσιανής) κατανομής [**Μοντέλο Γ**],
 - με χρήση μοντέλου απλής άθροισης των ιστορικών παρατηρήσεων με στοχαστικό όρο ομοιόμορφης κατανομής [**Μοντέλο Δ**].

Η επιλογή απλών ψευδο-μοντέλων, με εκ των προτέρων γνωστή συμπεριφορά, για την παραγωγή των χρονοσειρών προγνώσεων παρέχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- ✓ **Μείωση υπολογιστικού φόρτου**
- ✓ **Εξασφάλιση της γενικότητας** της μεθοδολογίας, χωρίς αυτή να επηρεάζεται από την επιλογή ενός μόνο επιχειρησιακού μοντέλου
- ✓ **Καλύτερη εποπτεία** της διαδικασίας αξιολόγησης, αφού γνωρίζουμε εξ αρχής την συμπεριφορά των προγνωστικών σφαλμάτων

Ανάπτυξη Μεθοδολογίας: Προσομοίωση Παραγωγής Ενέργειας (1/2)

Χρονοσειρά Σημειακών
Ταχυτήτων Ανέμου



Χρονοσειρά Αποδιδόμενης Ισχύος



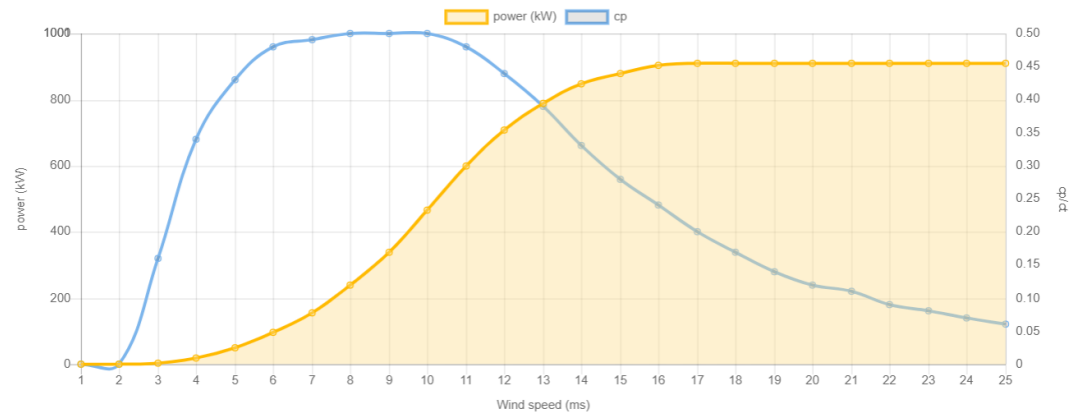
Χρονοσειρά Παραγόμενης
Ενέργειας

Enercon E44/900

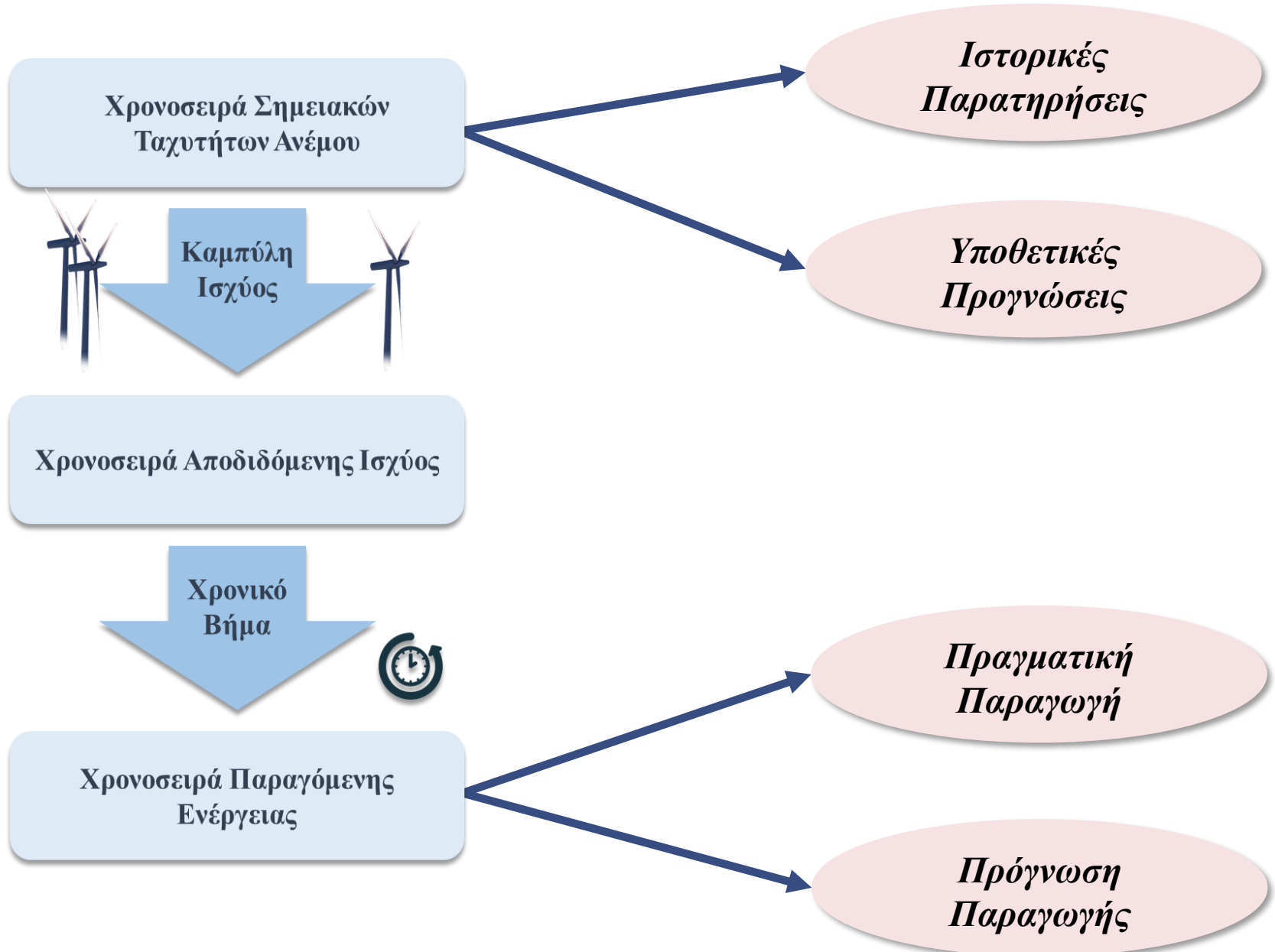
Ονομαστική Ισχύς: 900 kW

Ύψος Πυλώνα: 55 m

Διάμετρος Πτερωτής: 44 m



Ανάπτυξη Μεθοδολογίας: Προσομοίωση Παραγωγής Ενέργειας (2/2)



ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ - ΣΤΑΘΜΟΣ ΙΚΑΡΙΑΣ

	nRMSE	Bias	pBias	rSR	rSD	NSE	mNSE	rNSE	d	md	cp	Pr	R2
ΜΟΝΤΕΛΟ Α	4,10	0,02	-2,25	0,32	0,97	0,90	0,66	0,90	0,97	0,99	-0,22	0,95	0,90
ΜΟΝΤΕΛΟ Β	3,72	0,00	0,00	0,29	1,00	0,92	0,71	0,92	0,98	1,00	0,00	0,96	0,92
ΜΟΝΤΕΛΟ Γ	1,83	-0,01	1,10	0,14	1,00	0,98	0,82	0,98	0,99	1,01	0,76	0,99	0,98
ΜΟΝΤΕΛΟ Δ	1,12	-0,09	9,37	0,09	1,00	0,99	0,88	0,99	1,00	1,06	0,91	1,00	1,00

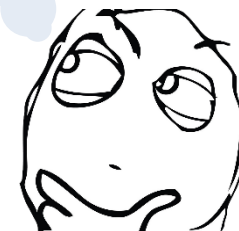
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ - ΣΤΑΘΜΟΣ ΙΚΑΡΙΑΣ

	nRMSE	Bias	pBias	rSR	rSD	NSE	mNSE	rNSE	d	md	cp	Pr	R2
ΜΟΝΤΕΛΟ Α	14,25	0,01	-12,77	0,55	0,99	0,70	0,68	0,70	0,92	1,00	0,02	0,85	0,72
ΜΟΝΤΕΛΟ Β	14,37	0,00	0,00	0,55	1,00	0,70	0,69	0,70	0,92	1,00	0,00	0,85	0,72
ΜΟΝΤΕΛΟ Γ	6,83	-0,03	3,00	0,26	1,01	0,93	0,85	0,93	0,98	1,01	0,77	0,97	0,93
ΜΟΝΤΕΛΟ Δ	4,95	-0,11	10,80	0,19	1,01	0,96	0,90	0,96	0,99	1,04	0,88	0,98	0,97

Κλασικά Μέτρα Επίδοσης:

- Εφαρμογή τόσο στις ανεμολογικές, όσο και στις ενεργειακές προγνώσεις,
- καθένα δίνει έμφαση σε συγκεκριμένη ιδιότητα των μεθόδων πρόγνωσης (π.χ. αμεροληψία, ακρίβεια ως προς κάποιο στατιστικό χαρακτηριστικό κλπ.),
- αδυναμία εξαγωγής καθολικών, γενικών συμπερασμάτων ως προς τις κρίσιμες για την αιολική ενέργεια παραμέτρους της ενεργειακής και οικονομικής αξιοπιστίας του συστήματος παραγωγής.

Πώς όμως αξιολογείται ένα μοντέλο πρόγνωσης ως προς την επιχειρησιακή του απόδοση στην αιολική ενέργεια;



Εισαγωγή Εμπειρικού Ψευδο-οικονομικού Δείκτη Επίδοσης:

- Ως υποθετική ενεργειακή **ζήτηση** θεωρούνται οι ιστορικές παρατηρήσεις,
- Ως υποθετική ενεργειακή **παραγωγή** θεωρούνται οι χρονοσειρές προγνώσεων,
- Υπολογίζονται τα υποθετικά ενεργειακά **πλεονάσματα** και **ελλείμματα**,
- Για κάθε χρονικό βήμα δίνονται **βαθμολογίες** στο πλαίσιο της λογικής τιμολόγησης της υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Λογική Τιμολόγησης Υδροηλεκτρικής Ενέργειας

- Έστω X η τιμή ανά μονάδα παραγωγής **πρωτεύουσας** ενέργειας
- Τιμή ανά μονάδα **δευτερεύουσας** παραγωγής = $a X$, $0 < a < 1$
- **Ρήτρα** ανά μονάδα ενεργειακών ελλειμμάτων = βX , $\beta < 0$ και $|\beta| \geq 1$

$$EPEI = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

r_i : βαθμολογίες για κάθε χρονικό βήμα i

p_i : βαθμολογίες αναφοράς για κάθε χρονικό βήμα i

(αδιαστατοποίηση βαθμολογίας, συγκριτική αξιολόγηση)

Κατά την εφαρμογή του δείκτη, οι βαθμολογίες ανά μονάδα παραγωγής δίνονται για $X=1$

Ανάπτυξη Ψευδο-οικονομικού εμπειρικού δείκτη



Ανάπτυξη Μεθοδολογίας: Εμπειρικός Δείκτης Επίδοσης (2/2)

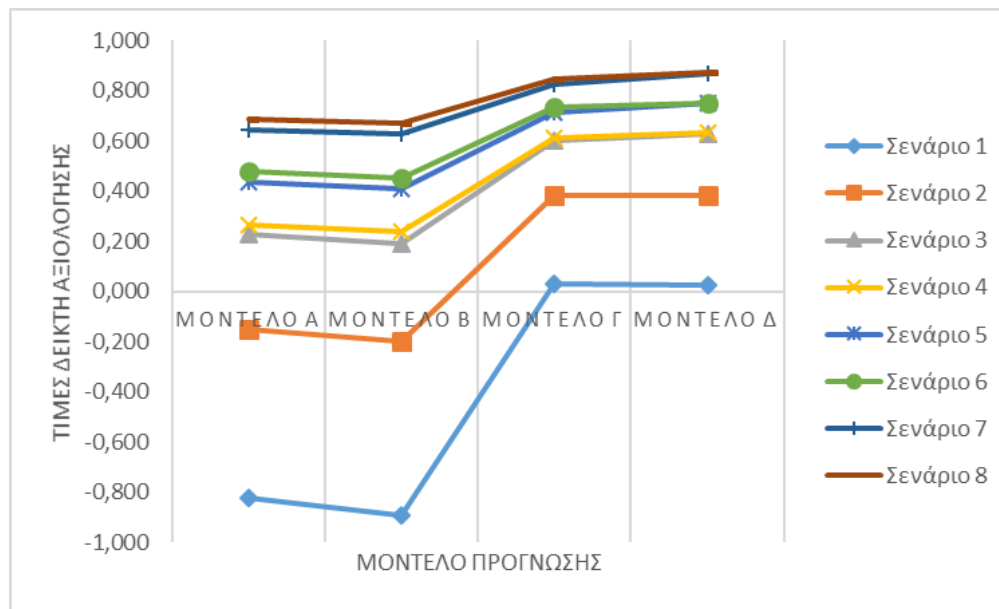
Δοκιμάζονται **8 σενάρια** διαφορετικών συνδυασμών δεικτών βαθμολόγησης α , β :

	α	β
Σενάριο 1	0,3	-8
Σενάριο 2	0,5	-5
Σενάριο 3	0,3	-3
Σενάριο 4	0,5	-3
Σενάριο 5	0,3	-2
Σενάριο 6	0,5	-2
Σενάριο 7	0,3	-1
Σενάριο 8	0,5	-1

Εξετάζεται η **ευαισθησία** της αξιολόγησης ως προς τους επιμέρους δείκτες:

- Υπάρχει σημαντική επίδραση στην απόλυτη τιμή,
- Εξάγονται, όμως, **ασφαλή συγκριτικά συμπεράσματα** μεταξύ μοντέλων

Εφαρμόζοντας διαφορετικούς συνδυασμούς δεικτών βαθμολόγησης, η αξιολόγηση προσαρμόζεται σε **περισσότερο ή λιγότερο αυστηρά** πρότυπα ενεργειακής αγοράς.



Διερεύνηση της Επίδρασης της Καμπύλης Ισχύος (1/2)

Διερευνάται η συσχέτιση της δομής της καμπύλης ισχύος με τα αποτελέσματα του δείκτη αξιολόγησης. Για το σκοπό αυτό υπολογίζονται οι πιθανότητες μετάβασης μεταξύ των επιμέρους ζωνών:

ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - ΣΤΑΘΜΟΣ ΙΚΑΡΙΑΣ				
ΖΩΝΗ	0	1	2	3
0	79,01%	20,99%	0,00%	0,00%
1	10,50%	88,23%	1,22%	0,05%
2	0,00%	24,69%	62,19%	13,12%
3	0,00%	1,37%	12,55%	86,08%

Ίδιες πιθανότητες μετάβασης, όμως, χαμηλότερη επίδοση.

ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ - ΜΟΝΤΕΛΟ Α - ΣΤΑΘΜΟΣ ΙΚΑΡΙΑΣ				
ΖΩΝΗ	0	1	2	3
0	69,25%	30,72%	0,01%	0,02%
1	15,48%	83,17%	1,29%	0,06%
2	0,00%	26,93%	60,07%	13,00%
3	0,06%	1,82%	13,00%	85,13%

ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ - ΜΟΝΤΕΛΟ Β - ΣΤΑΘΜΟΣ ΙΚΑΡΙΑΣ				
ΖΩΝΗ	0	1	2	3
0	79,01%	20,99%	0,00%	0,00%
1	10,50%	88,23%	1,22%	0,05%
2	0,00%	24,69%	62,19%	13,12%
3	0,00%	1,37%	12,55%	86,08%

ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ - ΜΟΝΤΕΛΟ Δ - ΣΤΑΘΜΟΣ ΙΚΑΡΙΑΣ				
ΖΩΝΗ	0	1	2	3
0	74,98%	25,02%	0,00%	0,00%
1	8,66%	90,11%	1,17%	0,05%
2	0,05%	25,48%	61,27%	13,20%
3	0,00%	1,25%	12,71%	86,04%

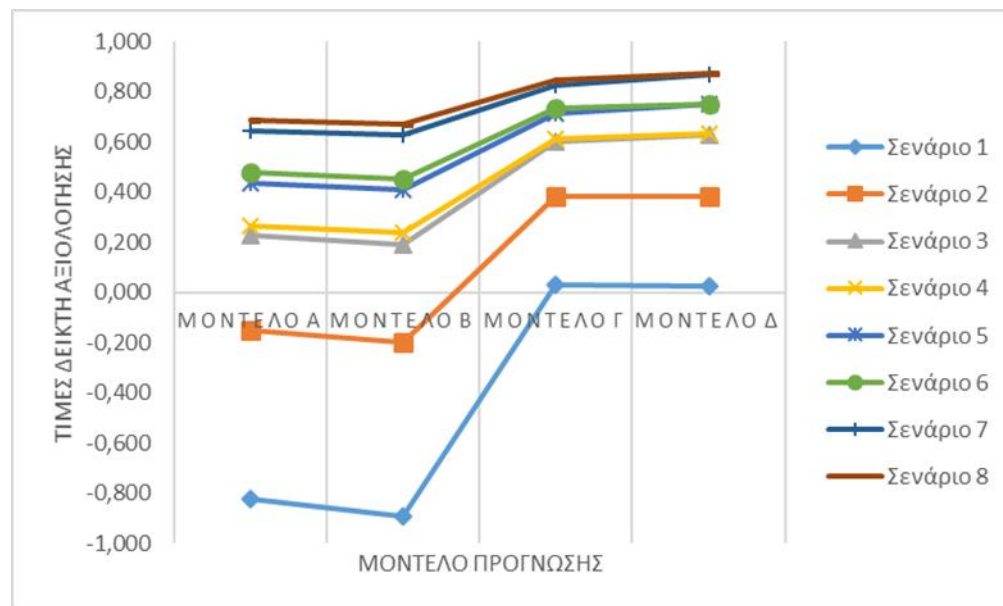
ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ - ΜΟΝΤΕΛΟ Γ - ΣΤΑΘΜΟΣ ΙΚΑΡΙΑΣ				
ΖΩΝΗ	0	1	2	3
0	68,73%	31,27%	0,00%	0,00%
1	15,07%	83,53%	1,35%	0,06%
2	0,00%	27,01%	59,43%	13,56%
3	0,00%	1,73%	12,95%	85,32%

➤ Οι πιθανότητες μετάβασης δίνουν μια καλή εικόνα της συμπεριφοράς του ανέμου κατά την παραγωγή αιολικής ενέργειας, δεν αποτελούν όμως ενδεικτικό παράγοντα για τα αποτελέσματα της αξιολόγησης.

Διερεύνηση της Επίδρασης της Καμπύλης Ισχύος (2/2)

- Υπολογίζεται το ποσοστό ακριβούς πρόγνωσης ζώνης κάθε μοντέλου.
- ✓ Παρατηρείται συσχέτιση με τα αποτελέσματα του εμπειρικού δείκτη αξιολόγησης. **Ωστόσο, δεν θα πρέπει να θεωρηθεί καθοριστικός παράγοντας.**

ΠΟΣΟΣΤΟ [%] ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΖΩΝΗΣ - ΣΤΑΘΜΟΣ ΙΚΑΡΙΑΣ			
ΜΟΝΤΕΛΟ Α	ΜΟΝΤΕΛΟ Β	ΜΟΝΤΕΛΟ Γ	ΜΟΝΤΕΛΟ Δ
84,5	81,7	89,7	92,3



Αξίζει να διερευνηθεί και η επίδραση των στατιστικών χαρακτηριστικών των ανεμολογικών δεδομένων.

Γενίκευση Μεθοδολογίας: Δεδομένα Εισόδου

- Εφαρμογή της μεθοδολογίας σε διαφορετικά δεδομένα εισόδου
- Διερεύνηση της επίδρασης των στατιστικών χαρακτηριστικών


Κριτήρια επιλογής δεδομένων:

1. Γεωγραφική κατανομή των μετεωρολογικών σταθμών
2. Ποικιλομορφία ως προς τα στατιστικά χαρακτηριστικά
3. Επαρκές μήκος χρονοσειρών
4. Επαρκές πλήθος μετρήσεων ανά ώρα




Βάση Δεδομένων: *National Oceanic and Atmospheric Administration*

Στατιστική Ανάλυση Δεδομένων (1/2)




- Επεξεργασία των χρονοσειρών μέσω του λογισμικού *Hydrognomon*




- Πυκνότητα Πιθανότητας για το σύνολο των δεδομένων και για κάθε μήνα ξεχωριστά



- Υπολογισμός Πιθανότητας Νηνεμίας για διαφορετικές χρονικές κλίμακες



- Υπολογισμός ωριαίου συντελεστή αυτοσυσχέτισης για διαφορετικές χρονικές κλίμακες



- Εφαρμογή της στατιστικής μεθόδου ροπών και υπολογισμός της δειγματικής μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης και του συντελεστή ασυμμετρίας για διαφορετικές χρονικές κλίμακες

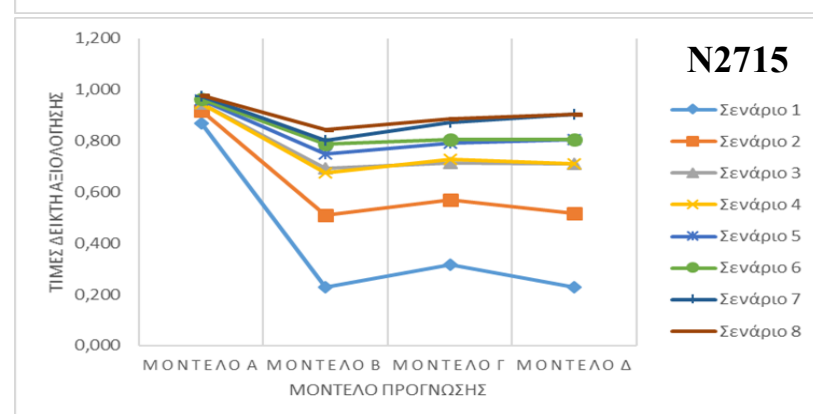
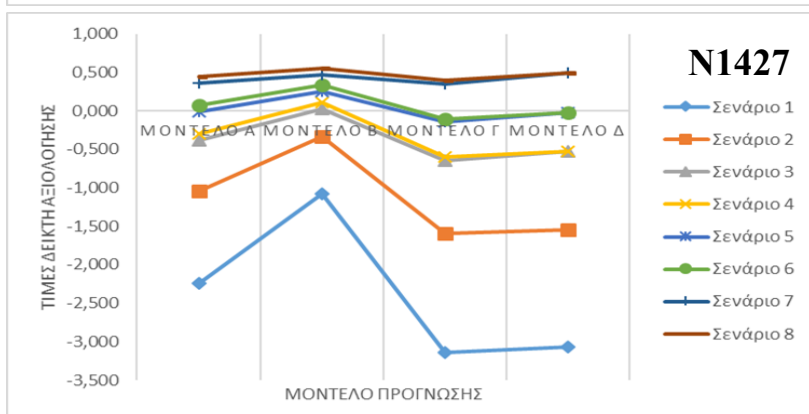
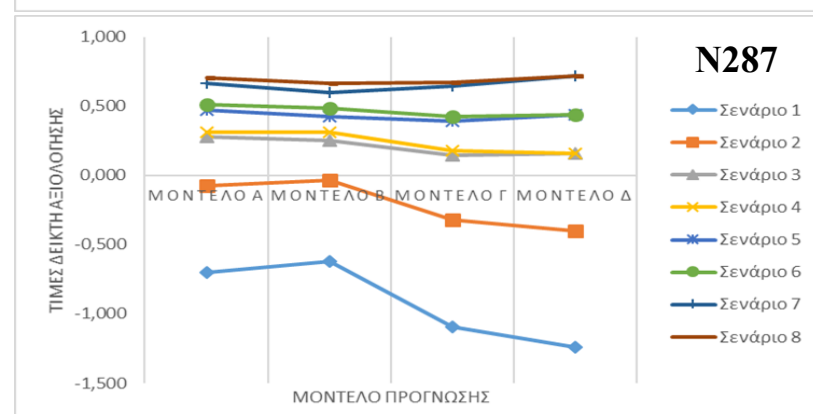
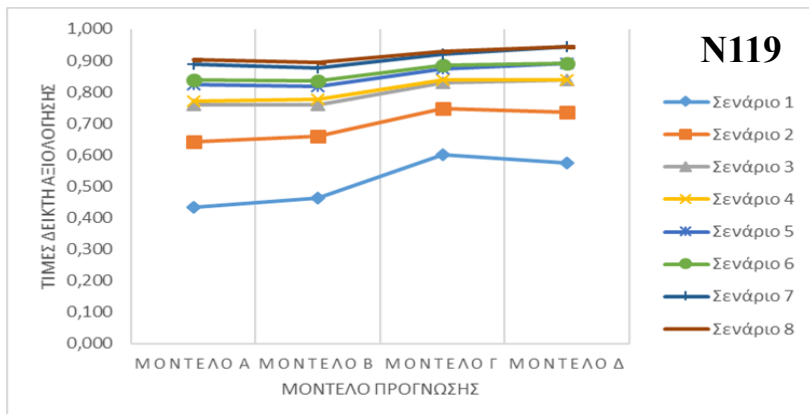
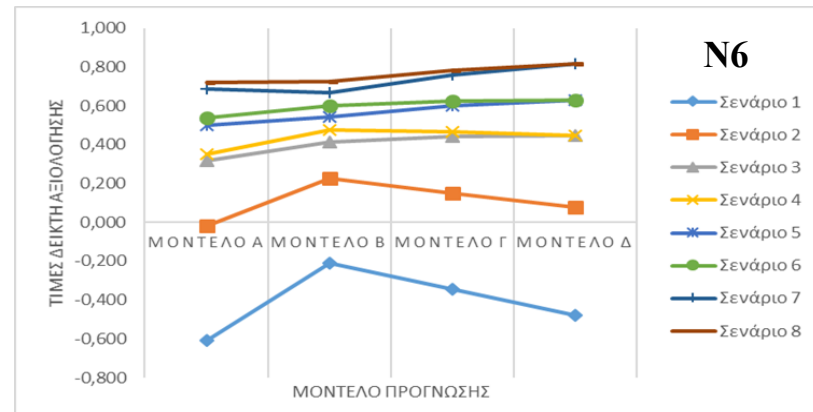
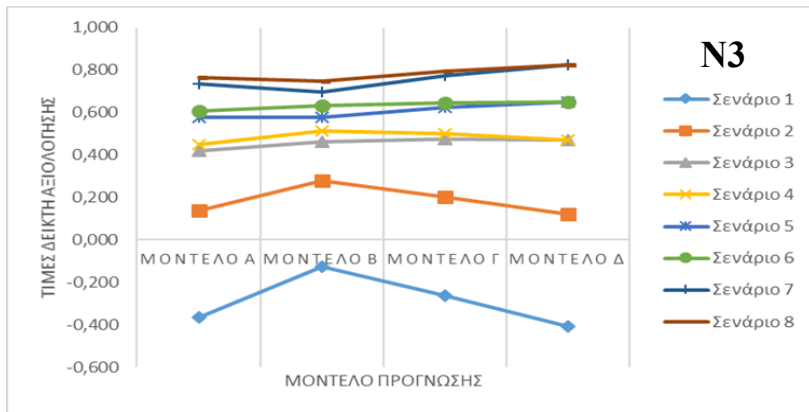
Στατιστική Ανάλυση Δεδομένων (2/2)

- Υψηλός συντελεστής αυτοσυσχέτισης για όλα τα δεδομένα
- Ποικιλομορφία ως προς την συμπεριφορά του ανέμου

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ (m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (m/s)	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (m/s)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ
ΙΚΑΡΙΑ	51.9	5.4	6.62	0.86
N3	23.3	5.4	3.14	0.82
N6	21.2	4.9	3.06	0.81
N119	40.1	11.7	5.88	0.86
N287	17.5	4.1	2.28	0.81
N1427	14.2	2.5	1.49	0.88
N2715	29.8	7.2	4.72	0.90

Η ποικιλομορφία στην συμπεριφορά του ανέμου σε συνδυασμό με την χρήση της ίδιας ανεμογεννήτριας για την προσομοίωση παραγωγής αναδεικνύει την συνδυαστική επίδραση της καμπύλης ισχύος και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του ανέμου.

Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα



Συμπεράσματα (1/2)

- ❑ Η **καμπύλη ισχύος** της ανεμογεννήτριας επιδρά στην ικανότητα πρόγνωσης της αιολικής ενέργειας με δύο τρόπους:
 - **Θετικά** χάρη στις ζώνες σταθερής παραγωγής
 - **Αρνητικά** λόγω της μετάβασης από μέγιστη σε μηδενική παραγωγή

- ❑ Κρίσιμος αναδεικνύεται ο **σωστός σχεδιασμός** των εγκαταστάσεων με γνώμονα το αιολικό δυναμικό της εκάστοτε περιοχής

- ❑ Οι τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις οδηγούν σε:
 - **Επιπεδοποίηση** της καμπύλης ισχύος
 - **Αύξηση της αντοχής** των ανεμογεννητριών σε ισχυρές ταχύτητες ανέμου

- ❑ **Βασική συνεισφορά της εργασίας** είναι η δυνατότητα **πρακτικής αξιολόγησης** των προγνωστικών μοντέλων ως προς την **οικονομική αποδοτικότητα** που προσφέρουν στο σύστημα παραγωγής

- ❑ Χρήσιμη είναι η δυνατότητα **προσαρμοστικότητας** της μεθοδολογίας σε απαιτήσεις ως προς την αυστηρότητα της αξιολόγησης (οικονομικοί, ενεργειακοί στόχοι παραγωγής)

Συμπεράσματα (2/2)

- ❑ Η εφαρμογή της μεθοδολογίας σε διαφορετικά δεδομένα **επαληθεύει** την δυνατότητα αξιολόγησης των προγνωστικών μοντέλων μέσω του εμπειρικού δείκτη
- ❑ Ωστόσο, δεν προέκυψαν συγκεκριμένα μοτίβα συμπεριφοράς των αποτελεσμάτων συναρτήσει των ανεμολογικών χαρακτηριστικών. Το γεγονός αυτό αποδίδεται:
 - Στο μικρό δείγμα μετεωρολογικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκε
 - Στην ταυτόχρονη μεταβολή διαφορετικών χαρακτηριστικών ανά περίπτωση

Το επόμενο βήμα...

- Προτείνεται η εφαρμογή της μεθοδολογίας σε συνθετικές χρονοσειρές ανέμου με στόχο την συναξιολόγηση της επίδρασης των ανεμολογικών χαρακτηριστικών.
- Προτείνεται η χρήση ποικίλων ανεμογεννητριών με διαφορετικές καμπύλες ισχύος και συνδυασμός αυτών.
- **Η εφαρμογή της μεθοδολογίας για επιχειρησιακά μοντέλα πρόγνωσης.**
- Η αξιοποίηση του δείκτη σε προβλήματα βελτιστοποίησης της απόδοσης ενεργειακών συστημάτων σε εφαρμογές προσομοίωσης της ενεργειακής αγοράς

Πρόδρομα αποτελέσματα της ερευνητικής προσπάθειας παρουσιάσθηκαν στο διεθνές συνέδριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης Γεωεπιστημών (EGU 2020)

European Geosciences Union General Assembly, Online, 4-8 May 2020

HS3.3/ERE6: Stochastic modelling and real-time control of complex environmental systems

Empirical metric for uncertainty assessment of wind forecasting models in terms of power production and economic efficiency

Antonios-Gennaios Pettas, Panagiotis Mavritsakis, Ioannis Tsoukalas, Nikos Mamassis, and Andreas Efstratiadis

Department of Water Resources & Environmental Engineering
National Technical University of Athens, Greece

Presentation available online: www.itia.ntua.gr/2027/



Σας Ευχαριστώ για την προσοχή σας!