



**«ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΙ
ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ»**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ, ΔΡ. ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ
ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΑΔΗΣ, ΔΡ. ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ**

ΣΟΦΙΑ ΕΦΡΑΙΜΙΑ ΒΡΕΤΤΟΥ



Στόχος είναι:

- Η προσέγγιση των ασκούμενων δυνάμεων με τη μέθοδο της στοχαστικής προσομοίωσης.
- Σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις ισχύουσες μεθόδους

Η πορεία που ακολουθηθεί στην παρουσίαση θα είναι:

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ

ΑΝΑΛΥΣΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

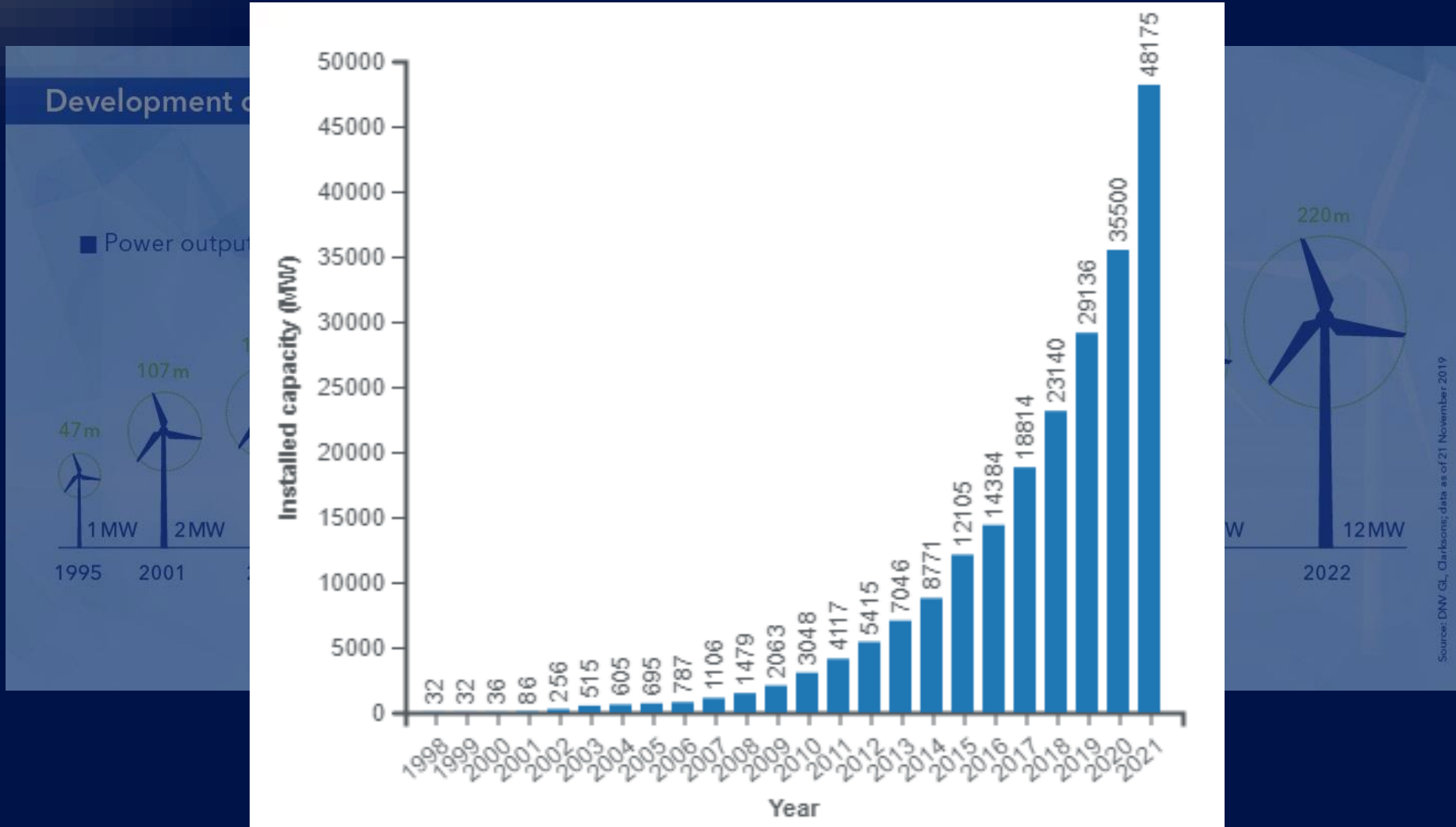
ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εξέλιξη των υπεράκτιων ανεμογεννητριών



Η εξέλιξη των υπεράκτιων ανεμογεννητριών



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ

ΑΝΑΛΥΣΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εξέλιξη των υπεράκτιων ανεμογεννητριών



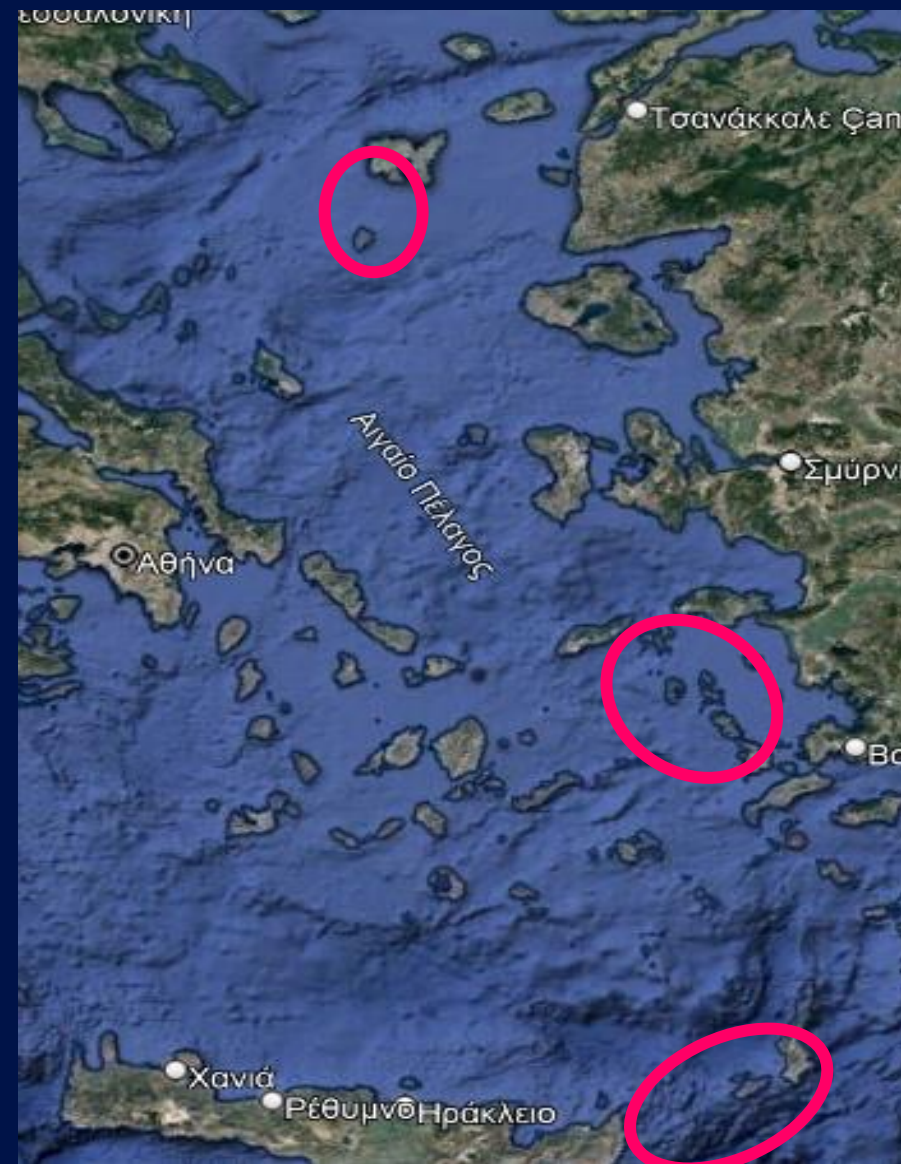
Οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες στην Ελλάδα

Τον Ιούλιο του 2022 ψηφίστηκε νομοσχέδιο σχετικά με τα υπεράκτια αιολικά πάρκα στην Ελλάδα.

Πιθανές θέσεις:

- Μεταξύ Λήμνου και Αγίου Ευστρατίου.
- Μεταξύ Κρήτης και Καρπάθου.
- Στον άξονα Ικαρίας- Πάτμου- Λέρου.

Μπορούν να φιλοξενηθούν υπεράκτια αιολικά 10GW σταθερής έδρασης και 40GW πλωτής έδρασης.



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ

ΑΝΑΛΥΣΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Διεθνή πρότυπα:

- DNV-OS-J101
- IEC 61400-3

Δυναμικά μοντέλα
δομοστατικού σχεδιασμού

6 προσομοιώσεις σε
κλίμακα δεκαλέπτου
ανέμου ή κύματος

Εξίσωση υπολογισμού
υδροδυναμικών
φορτίων

Εξίσωση υπολογισμού
αεροδυναμικών
φορτίων

Αεροδυναμικά φορτία

$$q = \frac{1}{2} \rho_{\alpha} U_{T,z}^2$$

Όπου:

q : η ασκούμενη πίεση

ρ_{α} : η πυκνότητα του αέρα

$U_{T,z}$: η μέση ταχύτητα του ανέμου για ένα χρονικό διάστημα T σε υψόμετρο z πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας

$$F_W = C q S \sin \alpha$$

Όπου:

C : συντελεστής σχήματος

q : η ασκούμενη πίεση

S : εμβαδό της κάθετης επιφάνειας στην διεύθυνση της δύναμης

α : η γωνία μεταξύ της διεύθυνσης της δύναμης και της υπό μελέτη επιφάνειας



Υδροδυναμικά φορτία : εξίσωση Morison

$$F = F_D + F_I$$

Όπου:

F_D : οπισθέλκουσα δύναμη

F_I : δύναμη αδράνειας

$$F_D = 0.5C_D\rho A u|u|$$

Όπου:

C_D : συντελεστής οπισθέλκουσας

ρ : πυκνότητα του ρευστού

A : εμβαδό αναφοράς

u : ταχύτητα κύματος

$$F_I = C_M\rho\dot{u}V$$

Όπου:

C_M : συντελεστής αδράνειας

$\dot{u} = \frac{du}{dt}$, επιτάχυνση της ροής

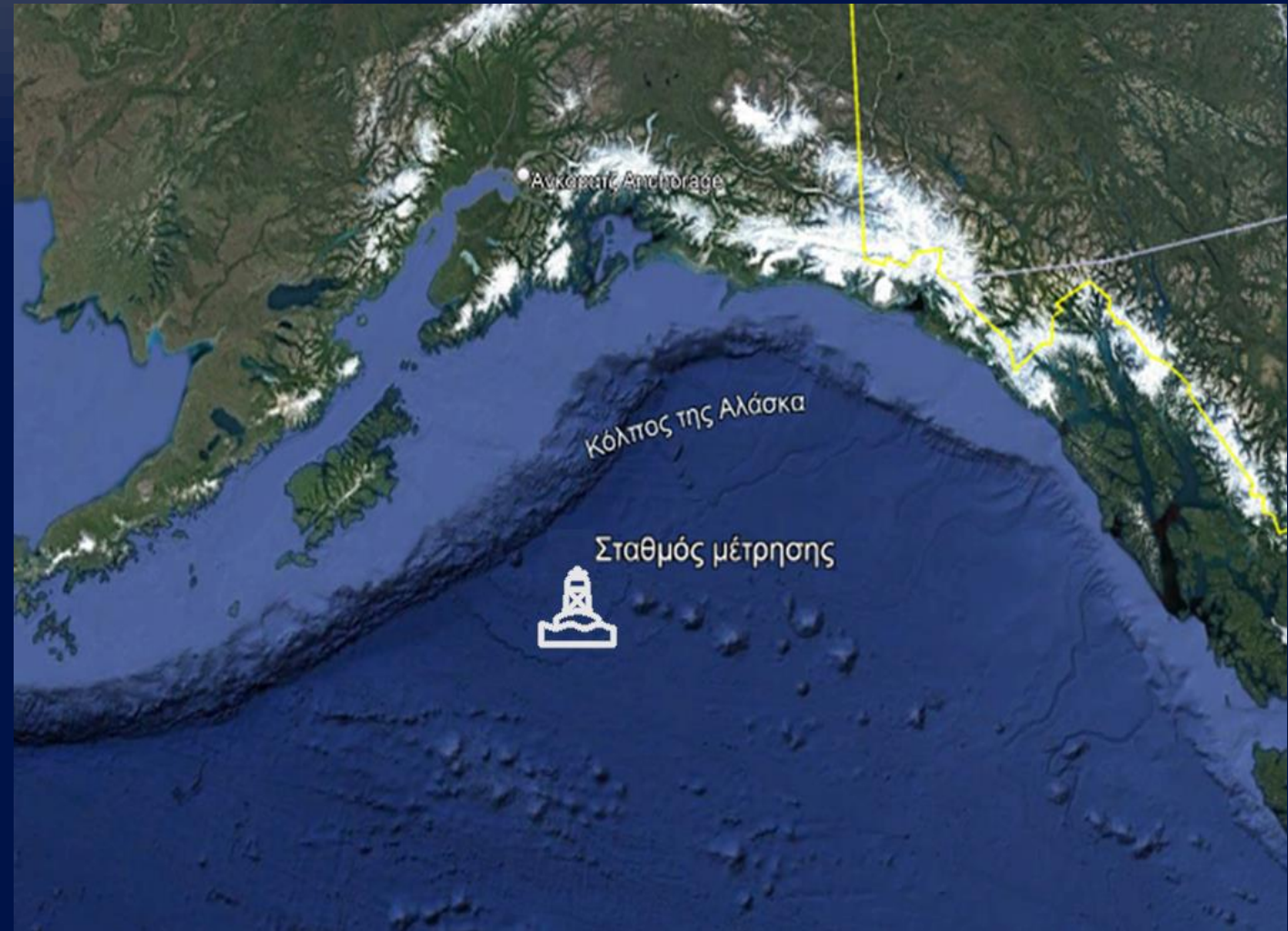
V : όγκος της κατασκευής

Κριτήρια επιλογής μετρητικού σταθμού:

- Μεγάλο μήκος χρονοσειράς.
- Ταυτόχρονη μέτρηση ταχύτητας ανέμου, ύψους και περιόδου κύματος.

Μετρητικός σταθμός:

- Κόλπος της Αλάσκα
- Βάση δεδομένων: ΝΟΑΑ
- Χρονοσειρές ωριαίων μετρήσεων ετών 1972-2021



Χαρακτηριστικά μετρητικού
σταθμού:

- ακριβής θέση: $56^{\circ}18'1''$ N,
 $148^{\circ}1'6''$ W
- διάμετρος δίσκου έδρασης: 3m
- βάθος του νερού: 4129m
- υψόμετρο ανεμόμετρου: 3,8m
από την επιφάνεια



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ

ΑΝΑΛΥΣΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

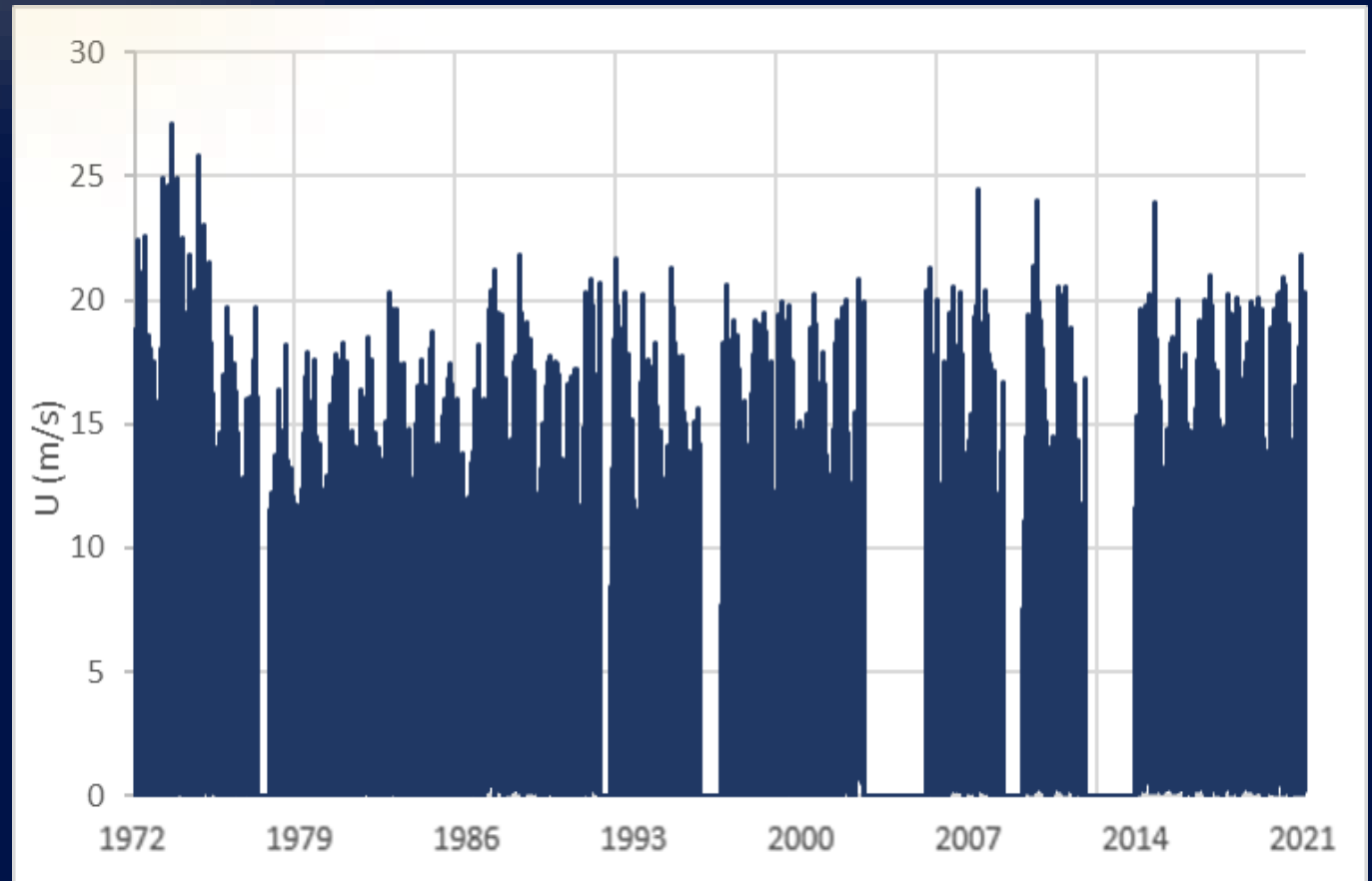
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Επεξεργασία δεδομένων:

- Αντικατάσταση δεδομένων της μορφής .99, .999 με "NaN".
- Αντικατάσταση ταχυτήτων ανέμου μεγαλύτερων των 113 m/s με "NaN".
- Αντικατάσταση μετρήσεων ετών 2005, 2006, 2007 με "NaN".



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

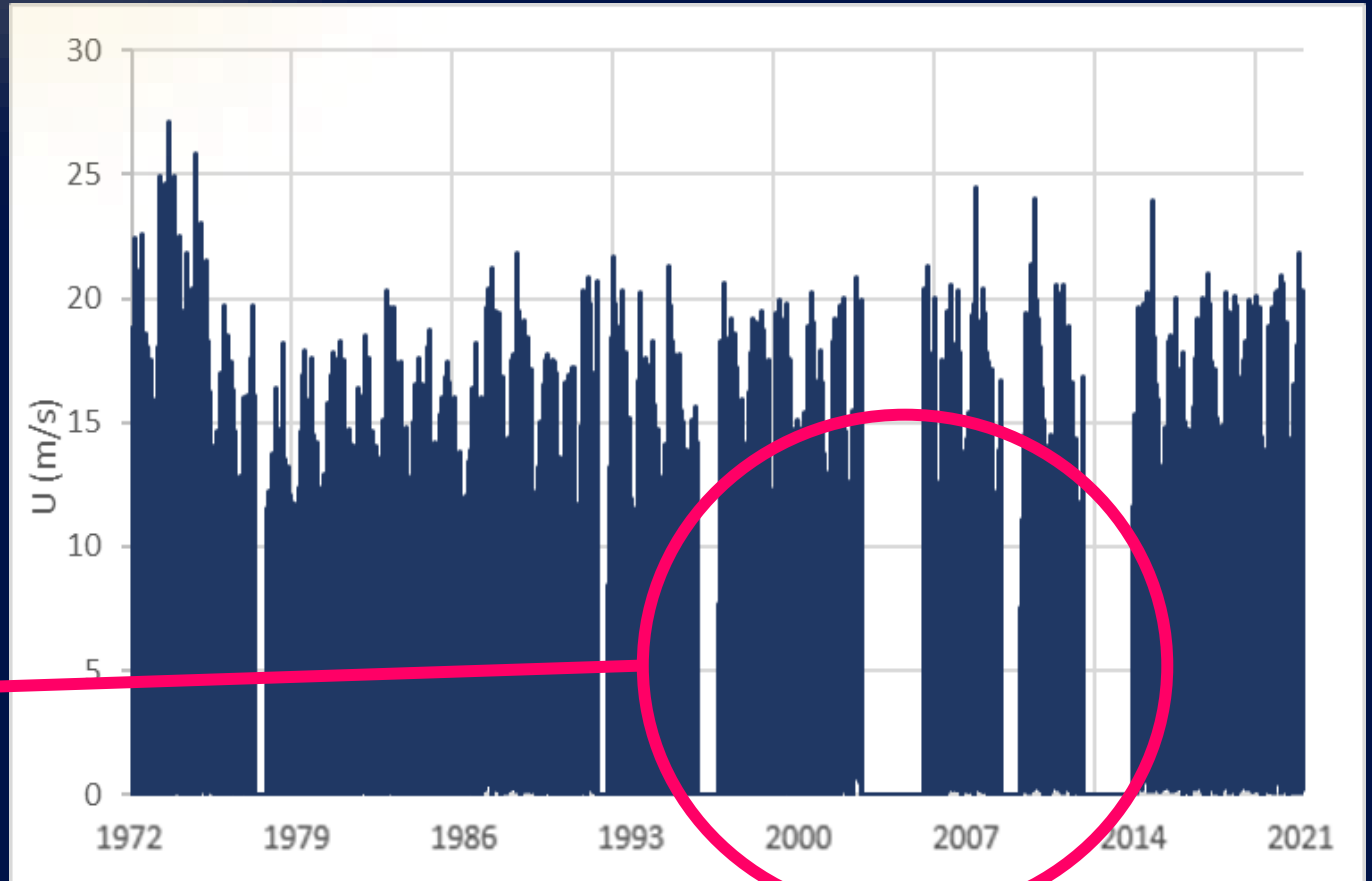
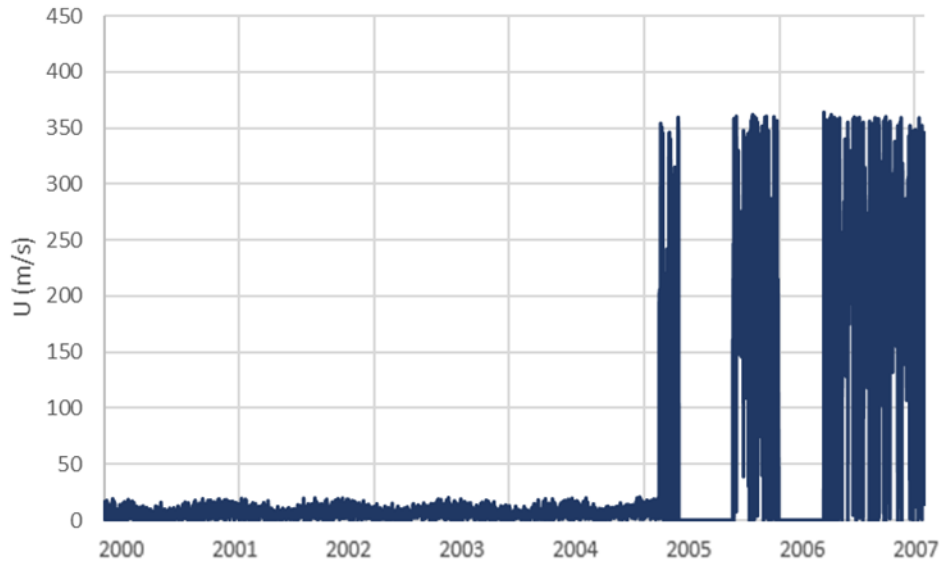
ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ

ΑΝΑΛΥΣΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ

ΑΝΑΛΥΣΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

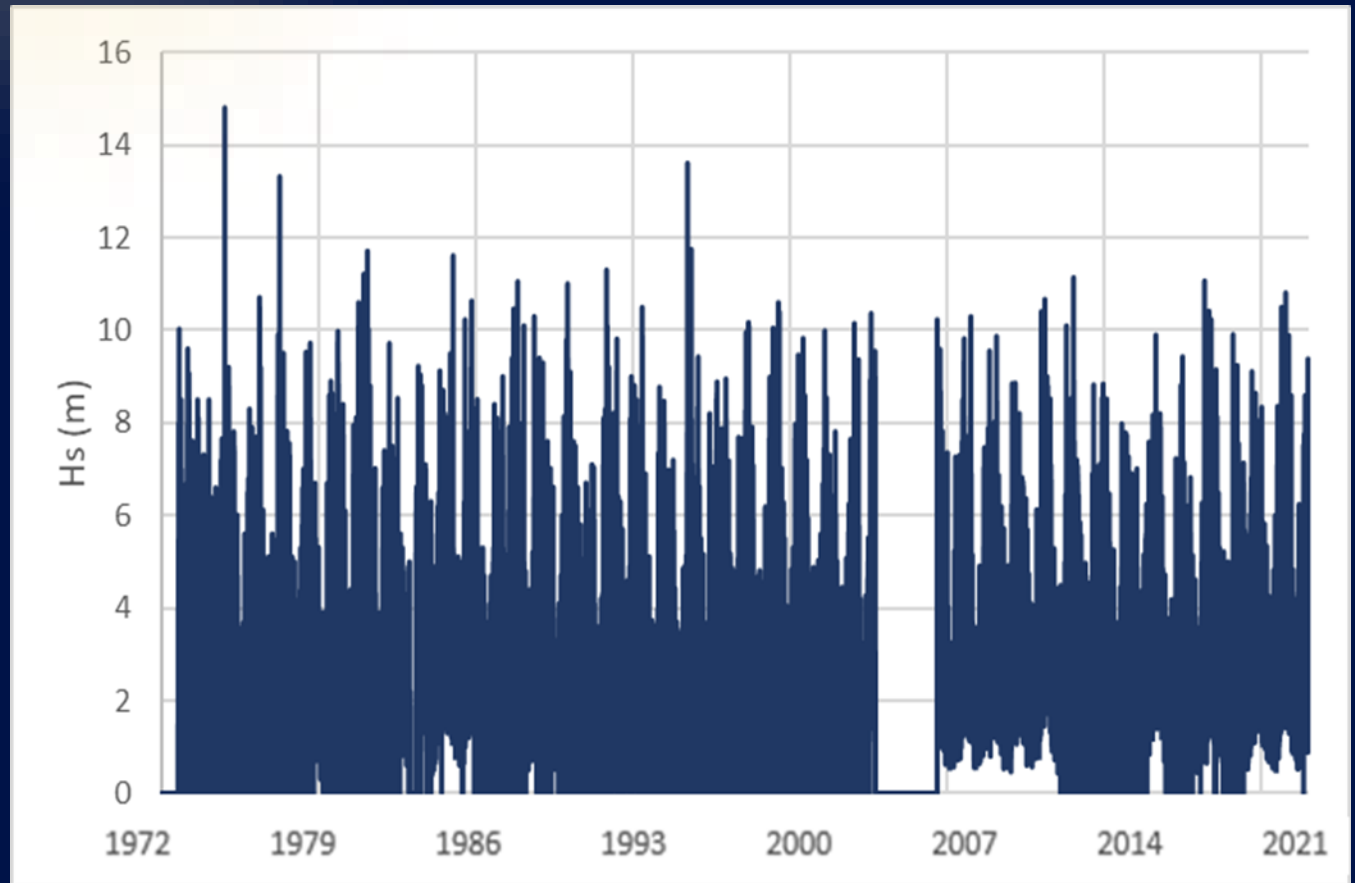
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Επεξεργασία δεδομένων:

- Αντικατάσταση δεδομένων της μορφής .99, .999 με “NaN”.
- Αντικατάσταση υψών κύματος μεγαλύτερων των 20 m με “NaN”.
- Αντικατάσταση μετρήσεων ετών 2005, 2006, 2007 με “NaN”.



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ

ΑΝΑΛΥΣΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

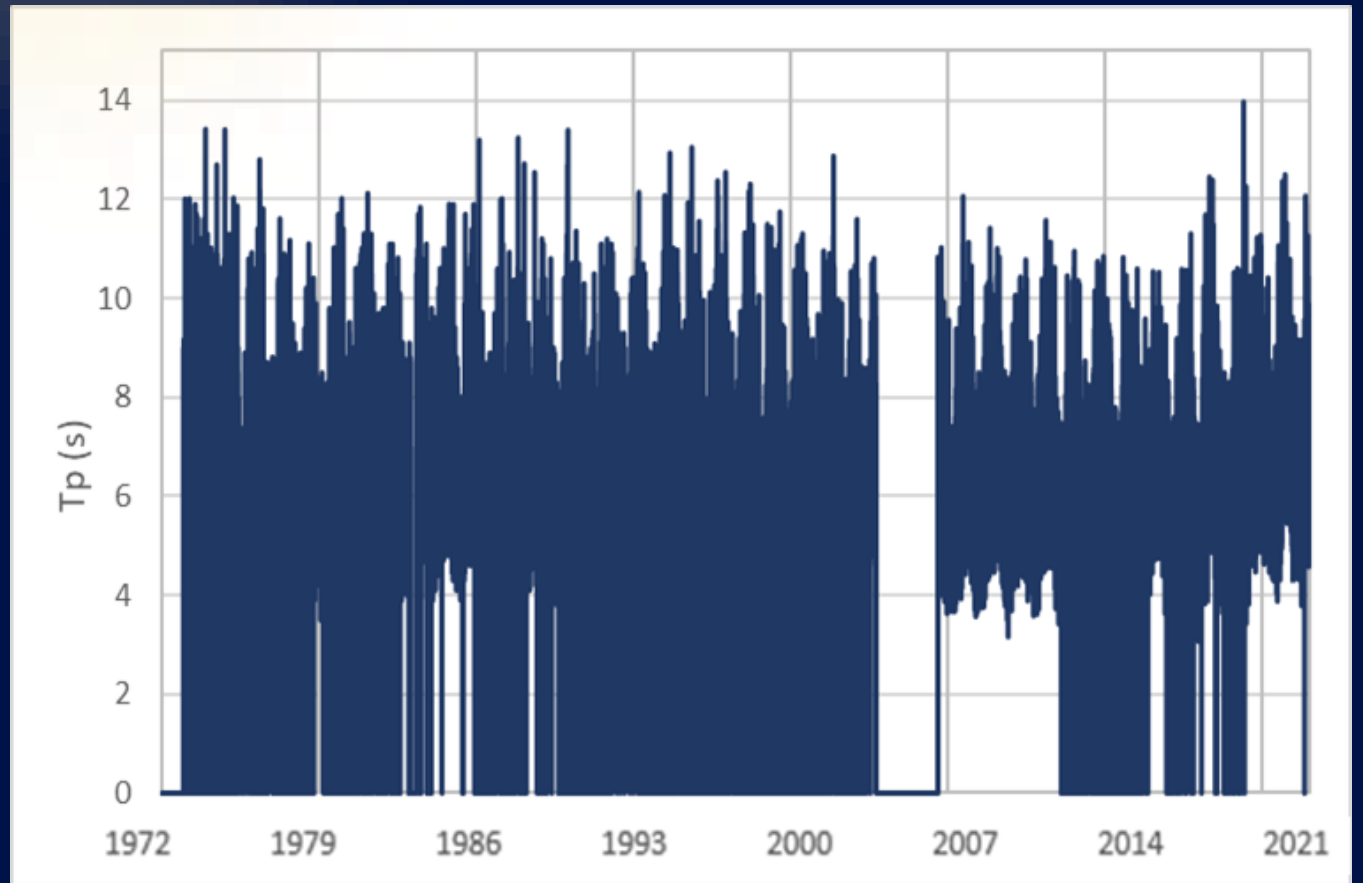
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

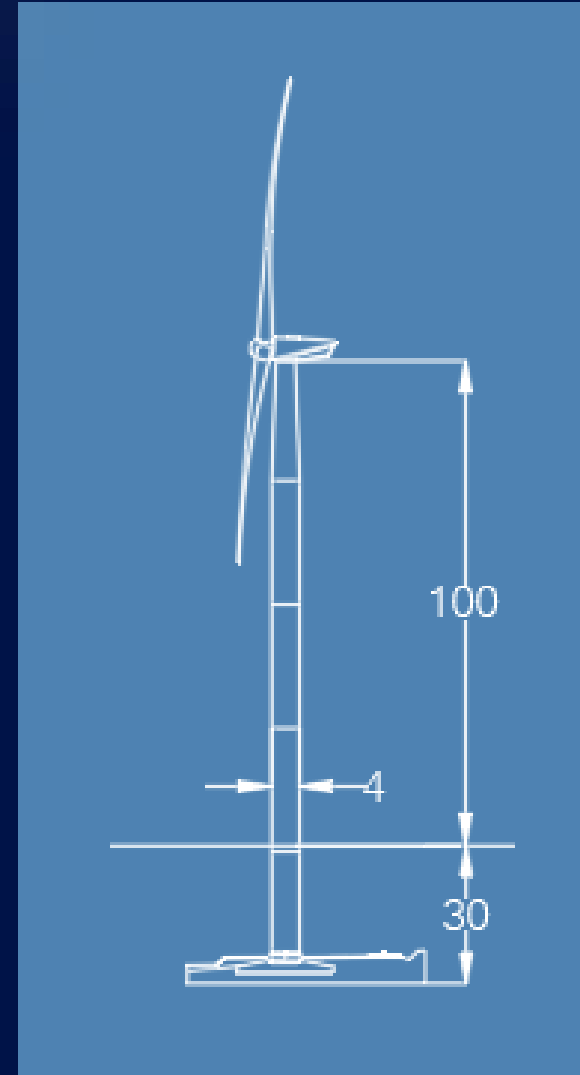
Επεξεργασία δεδομένων:

- Αντικατάσταση δεδομένων της μορφής .99, .999 με “NaN”.
- Αντικατάσταση περιόδου κύματος μεγαλύτερων των 25 sec με “NaN”.
- Αντικατάσταση μετρήσεων ετών 2005, 2006, 2007 με “NaN”.



Για τον υπολογισμό των δυνάμεων χρησιμοποιήθηκε Μονοριε με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

$D(m)$	4
$H(m)$	100
$d(m)$	30
C_D	1,3
C_M	2
C	0,5
$\rho_w(kg/m^3)$	1025
$\rho_{air}(kg/m^3)$	1,25



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ

ΑΝΑΛΥΣΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

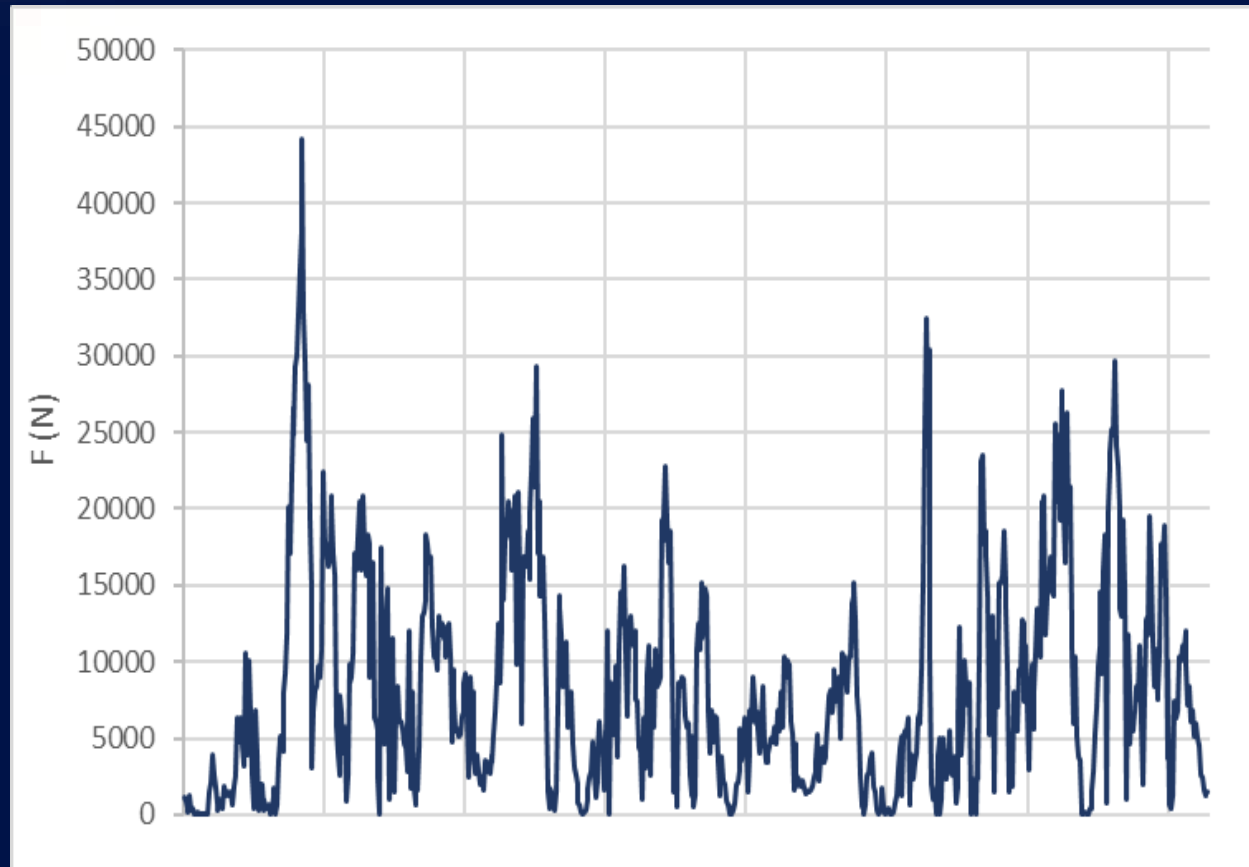
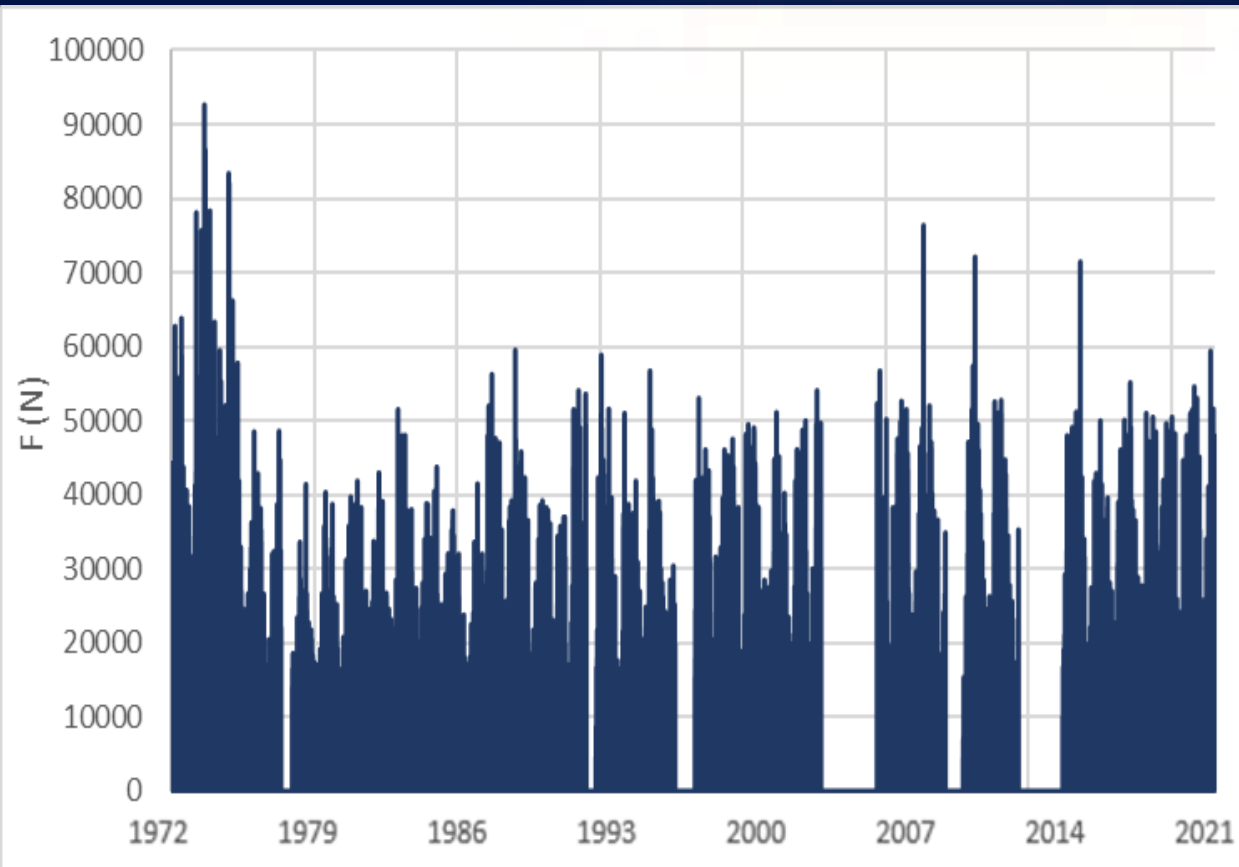
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Δύναμη λόγω ανέμου:

Δύναμη λόγω ανέμου, Οκτώβριος 1974:



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ

ΑΝΑΛΥΣΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

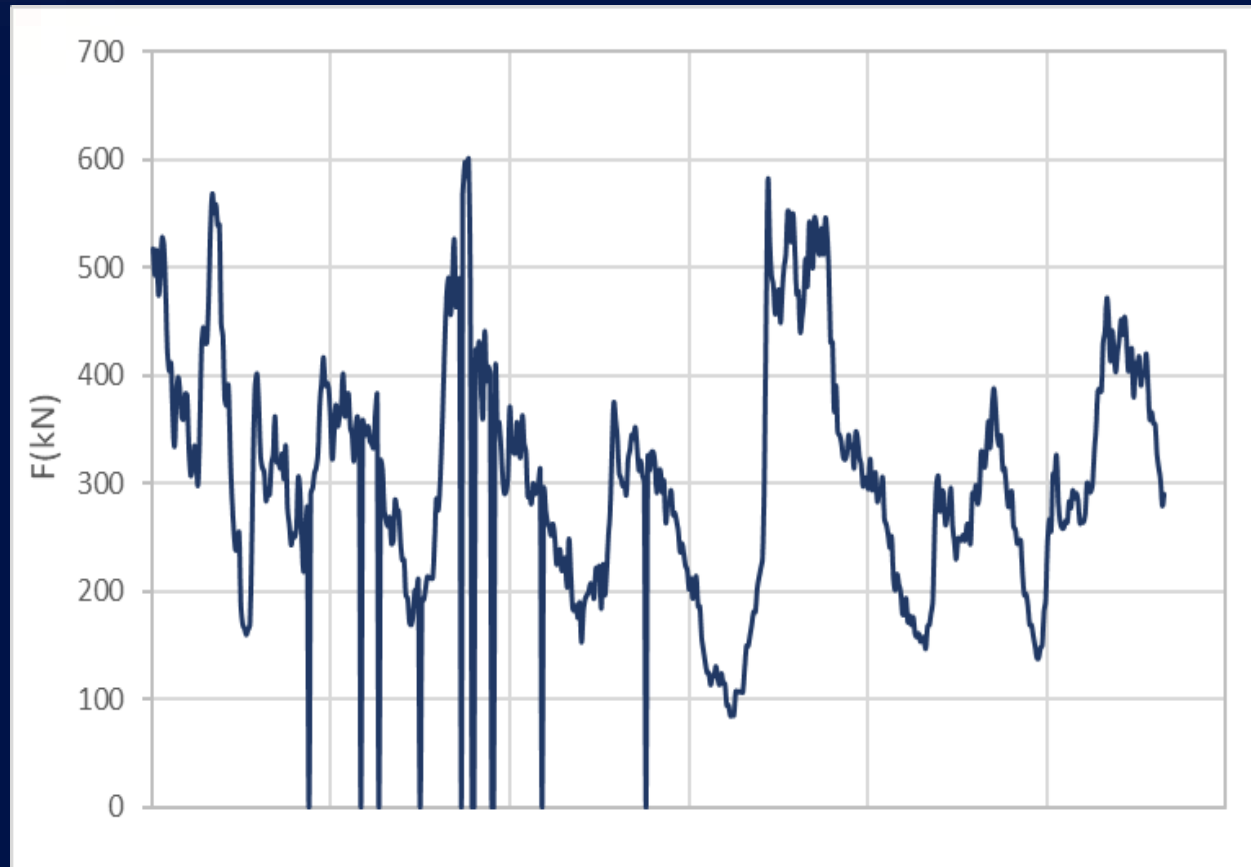
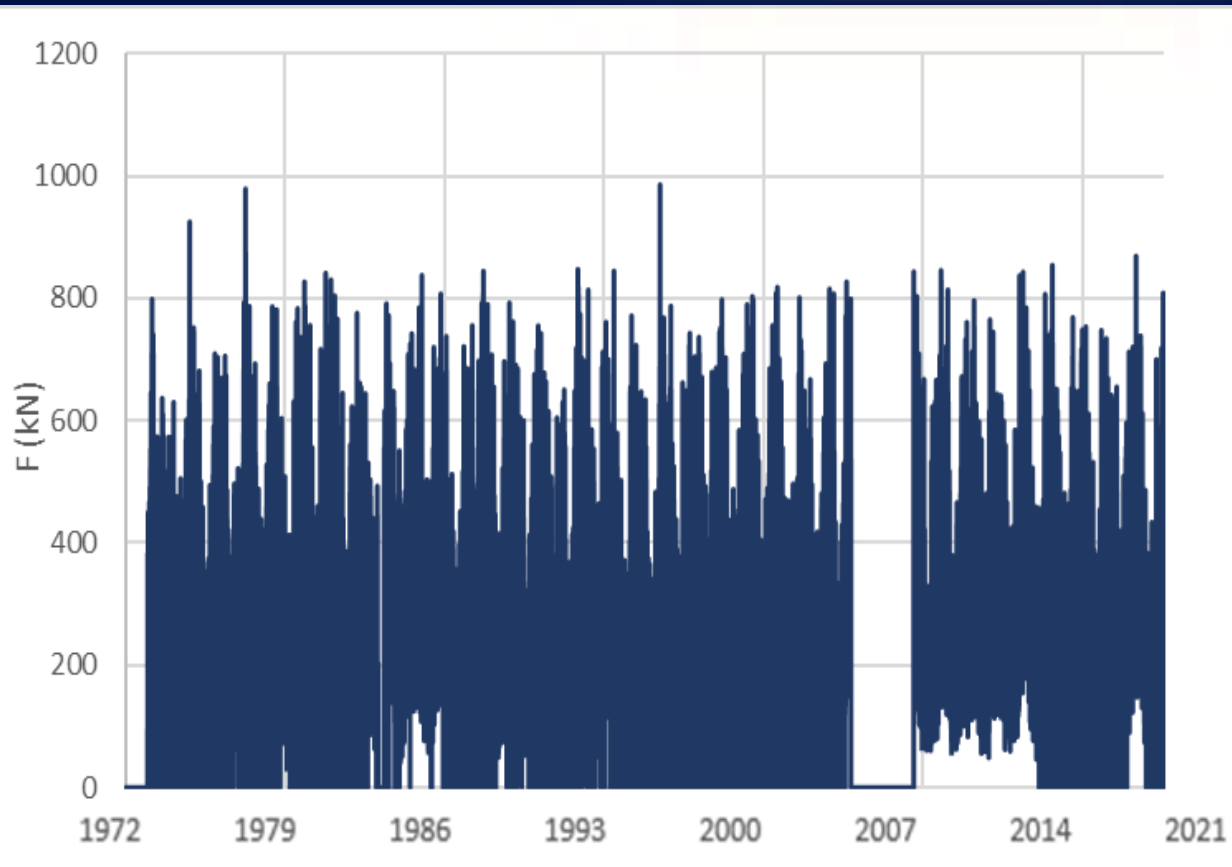
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Δύναμη λόγω κυμάτων:

Δύναμη λόγω κυμάτων, Οκτώβριος 1974:



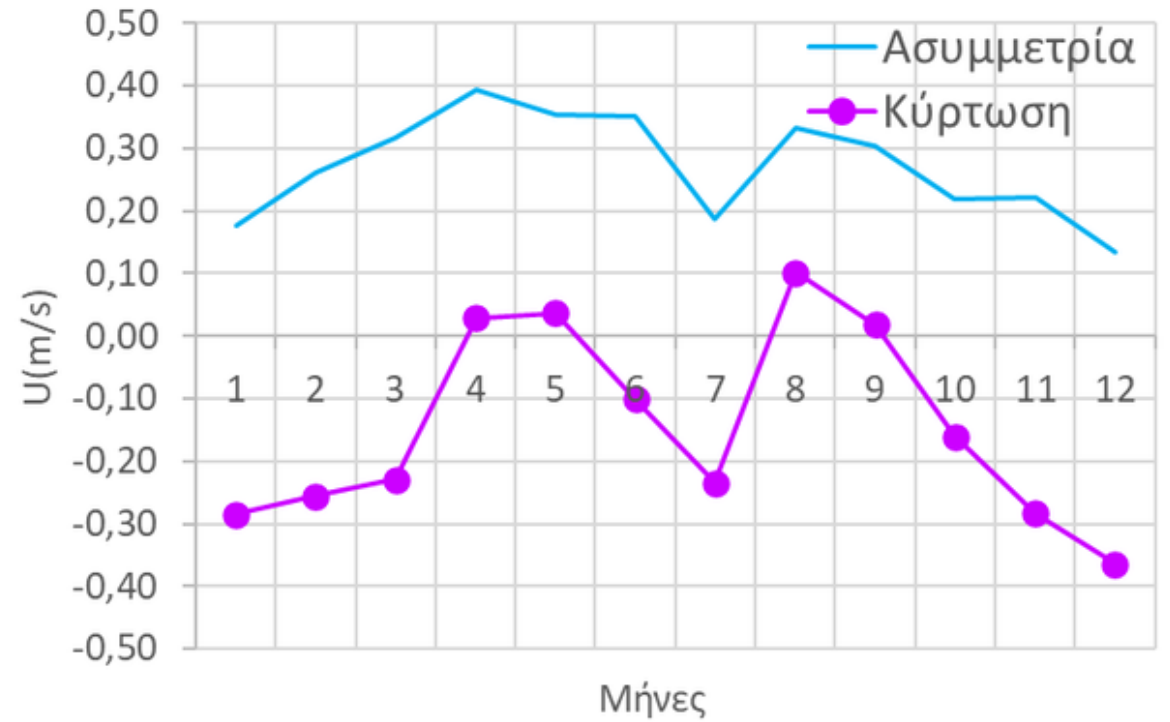
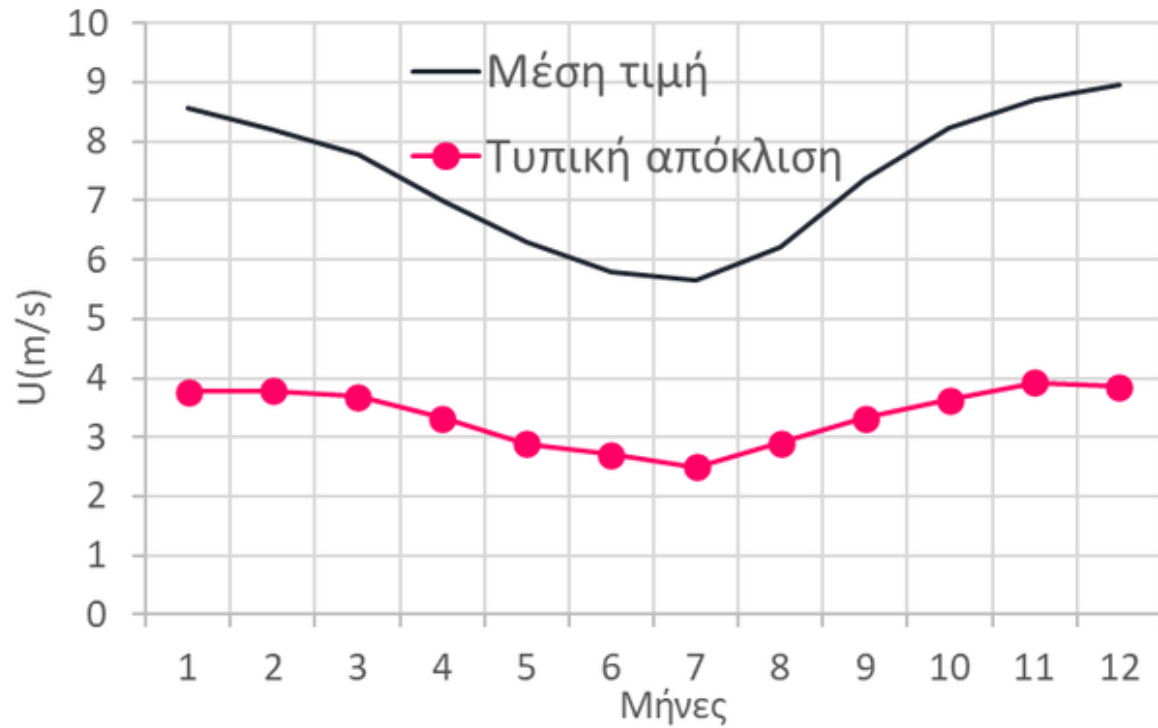
Στατιστικές ροπές:

	U(m/s)	F (N)
Μέση τιμή	7,4	8492,7
Τυπική απόκλιση	3,6	7659,9
Ασυμμετρία	0,4	1,7
Κύρτωση	-0,003	3,9

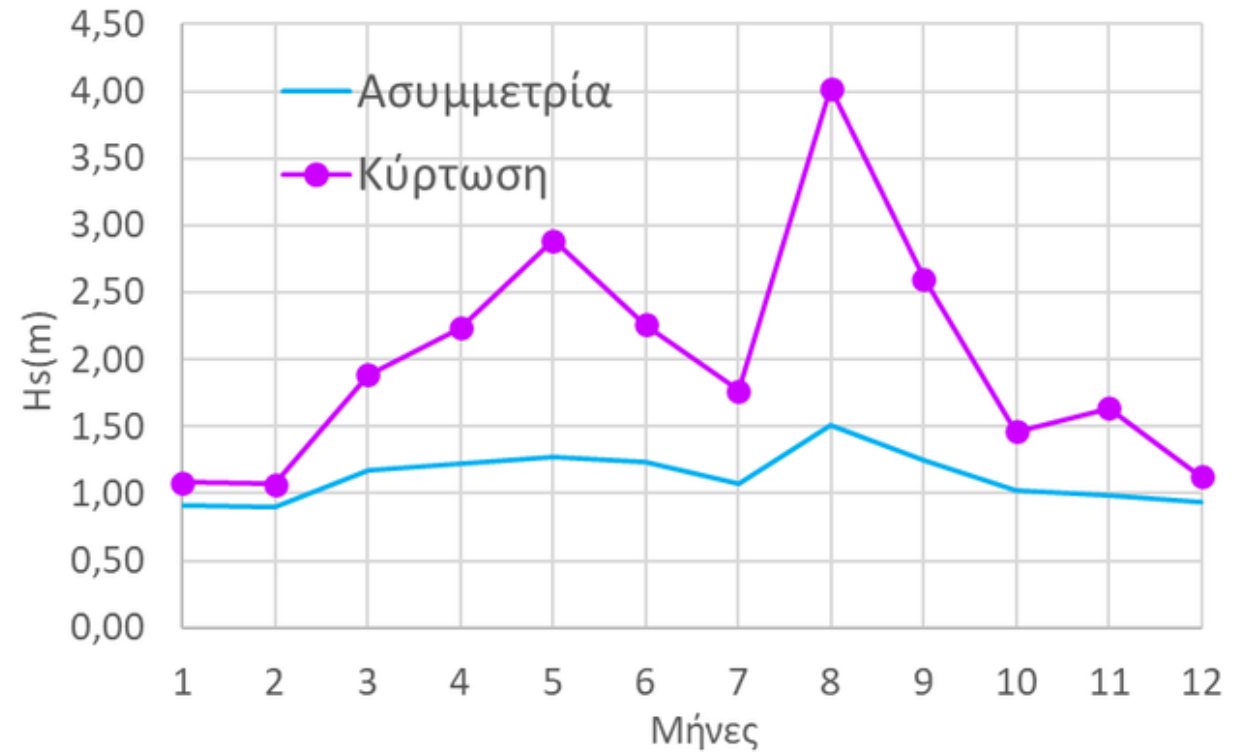
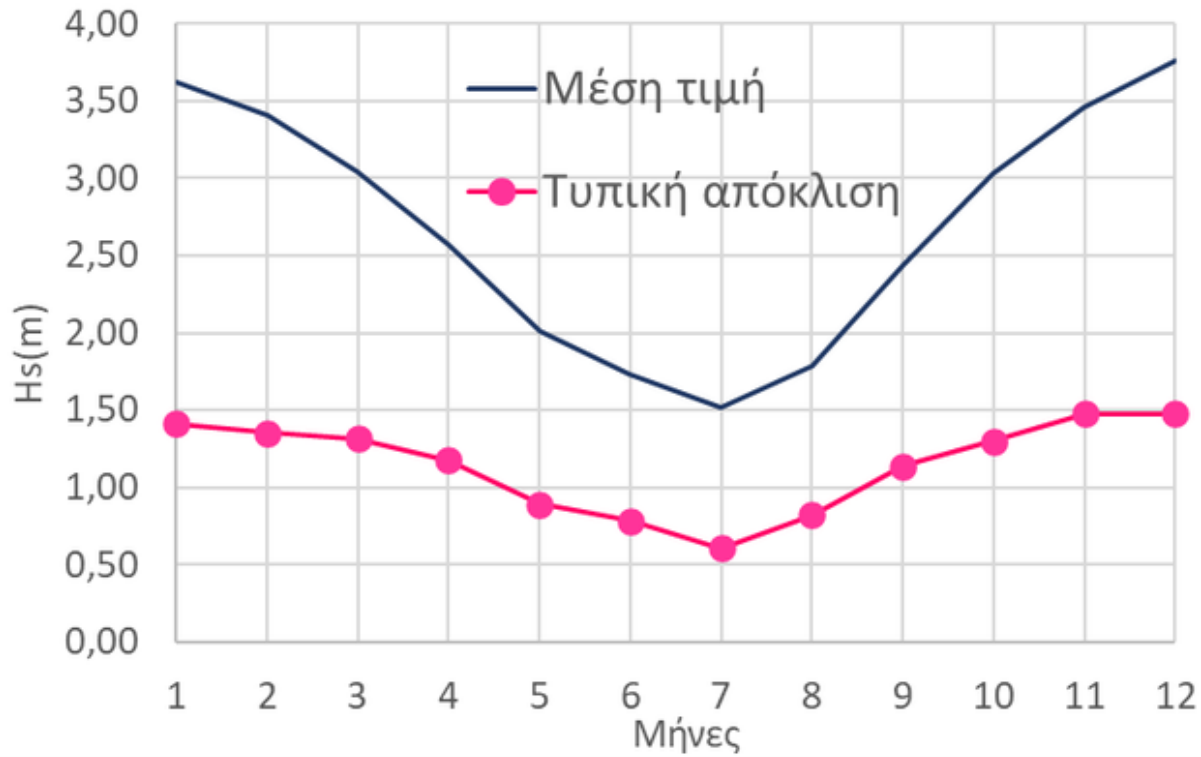
	Hs (m)	Tp (s)	F (kN)
Μέση τιμή	2,7	6,6	266,4
Τυπική απόκλιση	1,4	1,2	125,5
Ασυμμετρία	1,1	0,5	0,8
Κύρτωση	1,7	0,3	0,5



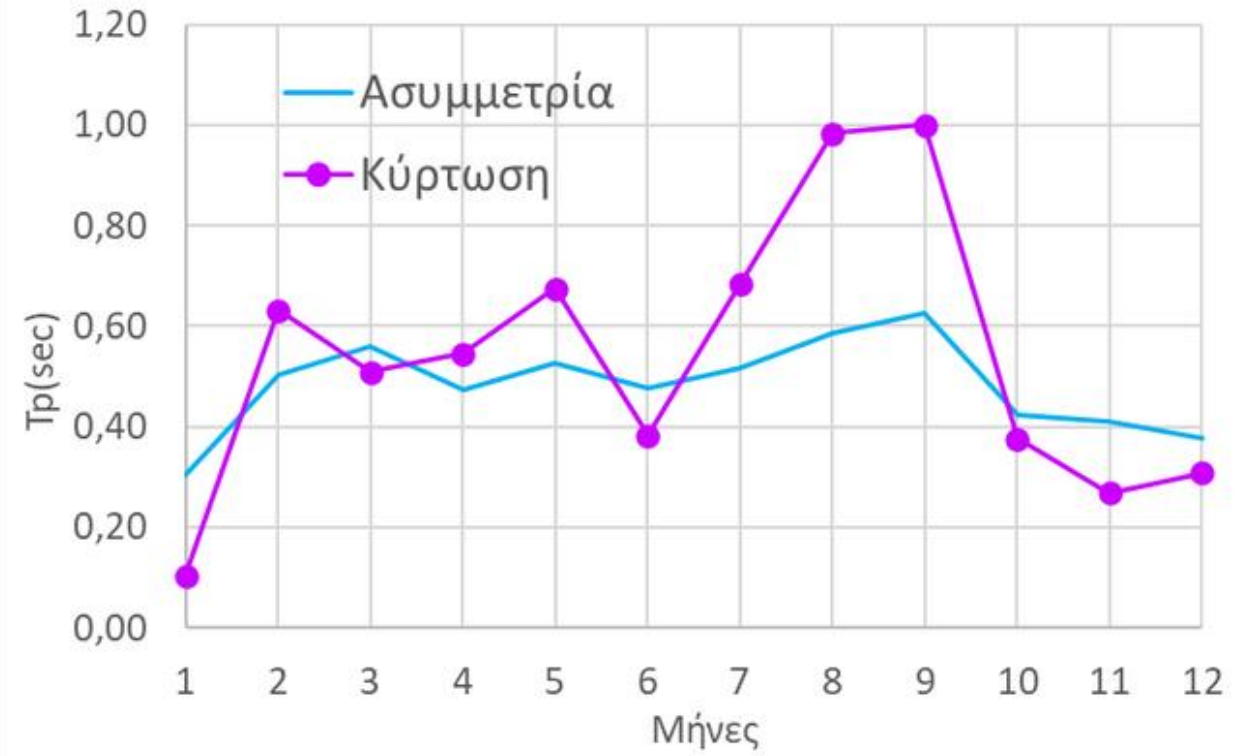
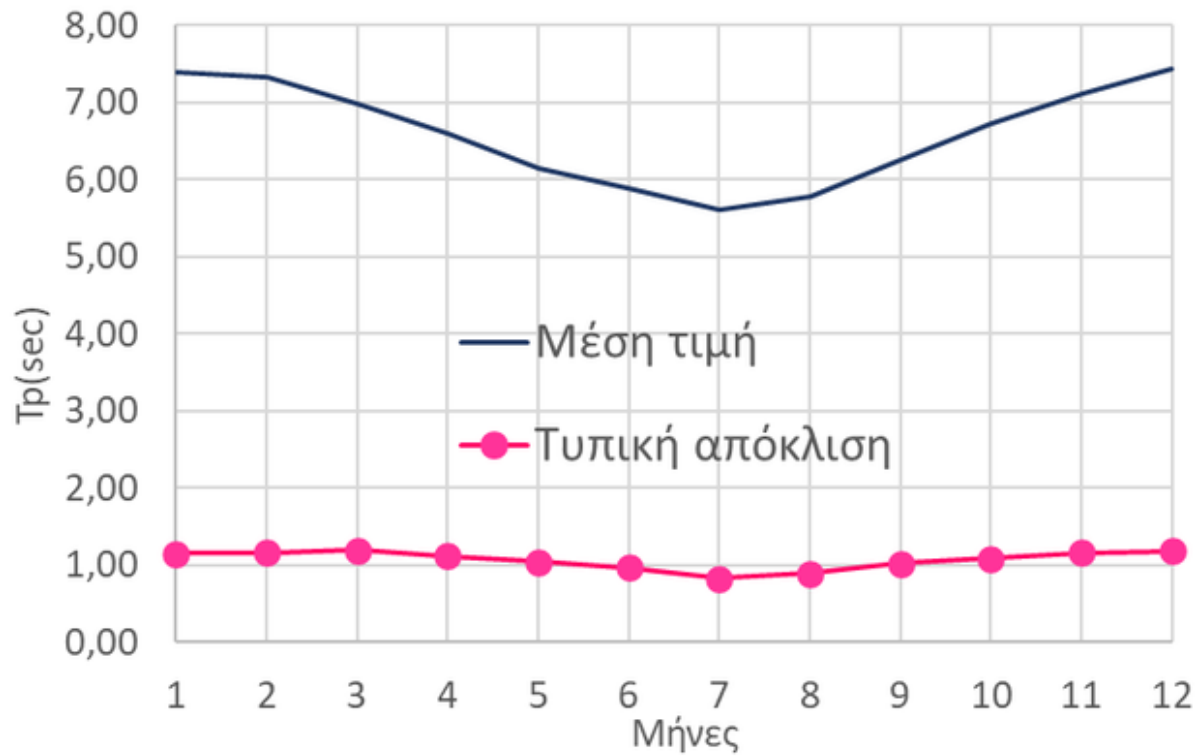
Περιοδικότητα ταχύτητας ανέμου:



Περιοδικότητα ύψους κύματος:



Περιοδικότητα περιόδου κύματος:



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ

ΑΝΑΛΥΣΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατανομή Pareto-Burr-Feller

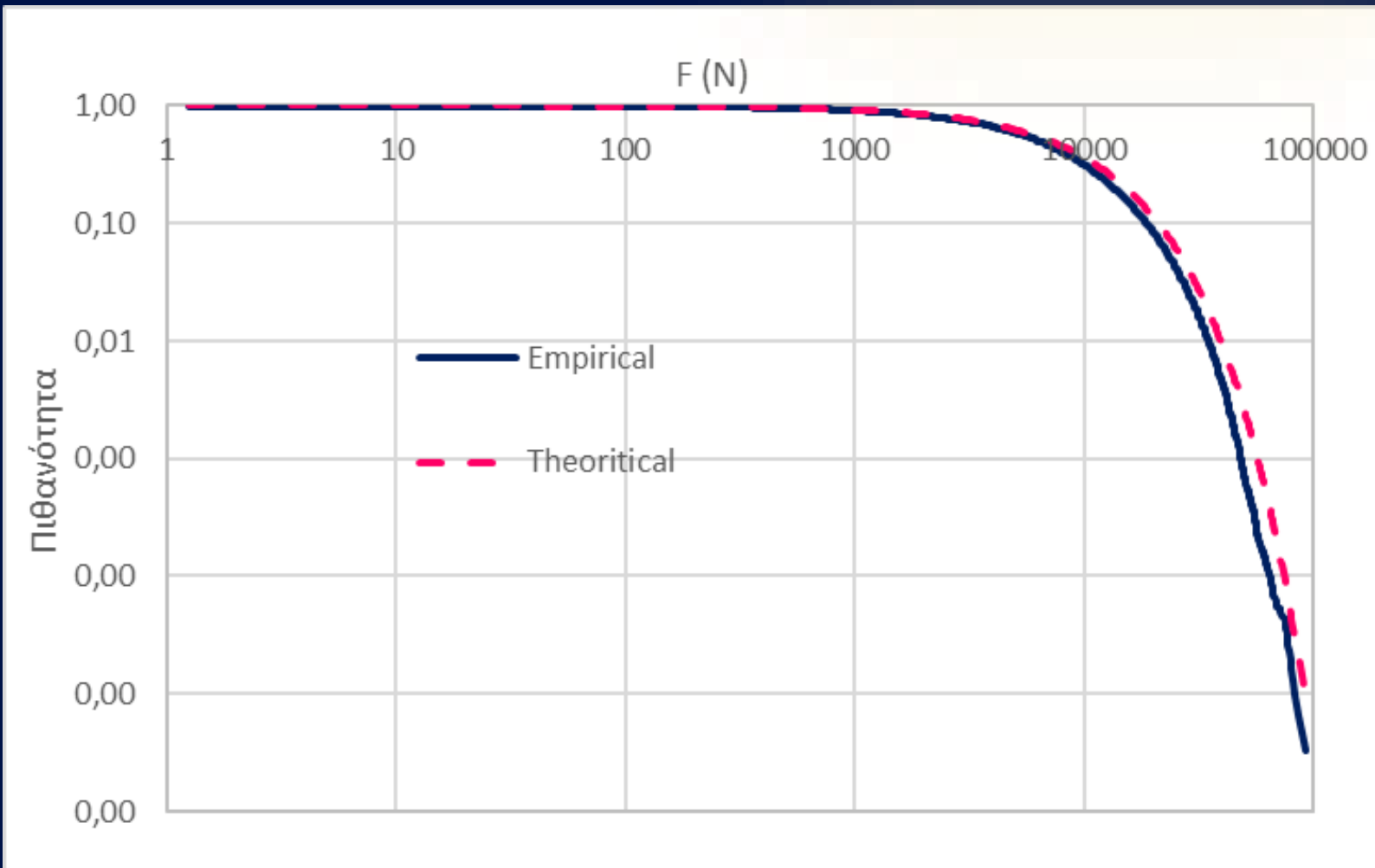
$$\text{Cdf: } F(x; \alpha, \beta, \lambda) = 1 - \left(1 + \left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right)^{-\lambda}$$

Όπου α, λ παράμετροι σχήματος και β η παράμετρος κλίμακας

Η προσαρμογή γίνεται στην συνάρτηση πιθανότητας υπέρβασης της εμπειρικής κατανομής.

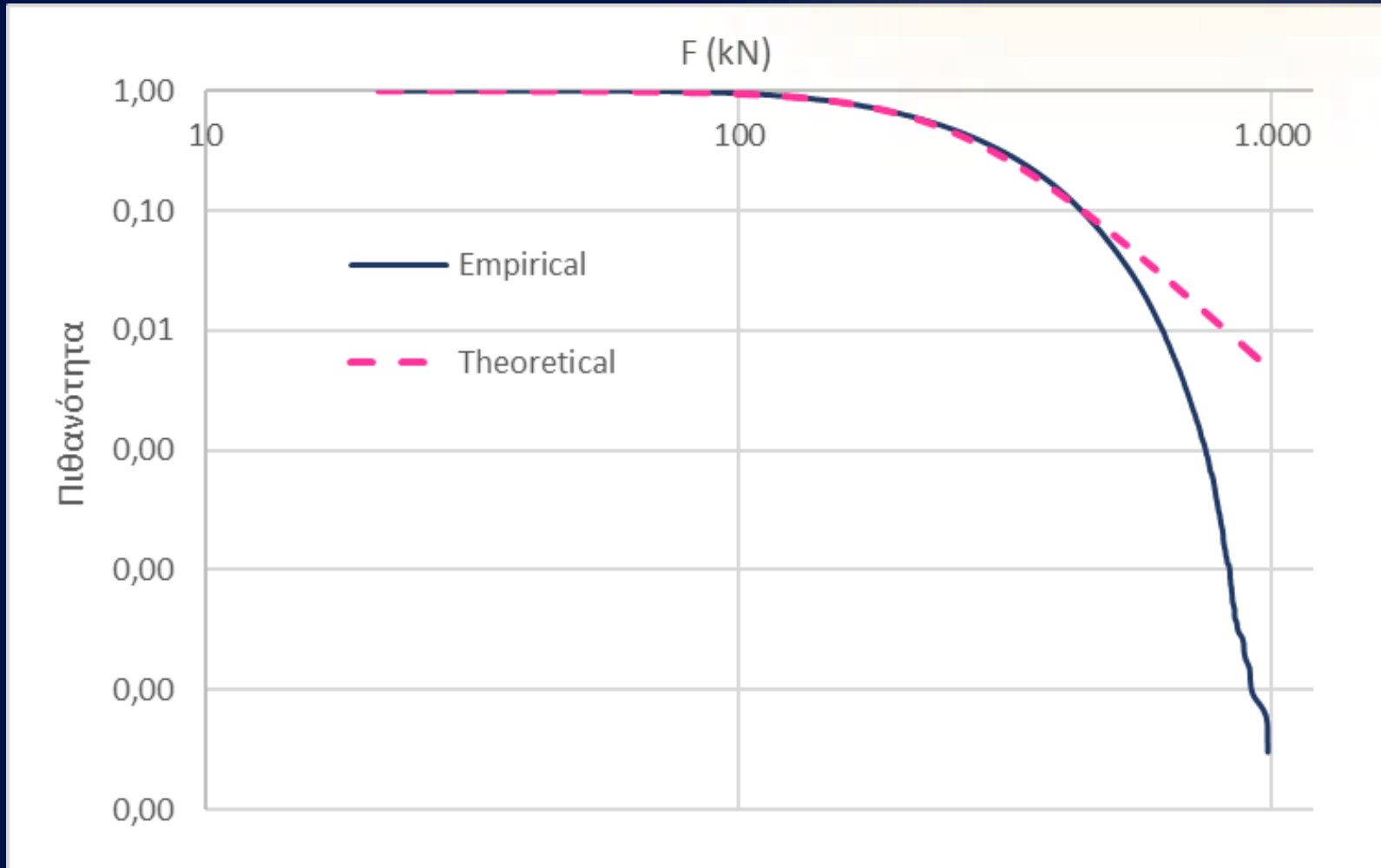
$$\bar{F}(x) := P\{\underline{x} > x\} = 1 - F(x)$$

Κατανομή δύναμης λόγω ανέμου:



α	1,11
β	1168526,85
λ	230,12

Κατανομή δύναμης λόγω κύματος:



α	1,11
β	1168526,85
λ	230,12

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙΑΝΑΛΥΣΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ροπές δύναμης λόγω ανέμου:

	PBF	Εμπειρική
Μέση τιμή	8496,8	8492,7
Τυπική απόκλιση	14277,5	7659,9
Ασυμμετρία	0,3	1,7
Κύρτωση	0,6	3,9



Ροπές δύναμης λόγω κύματος:

	PBF	Εμπειρική
Μέση τιμή	269,2	266,4
Τυπική απόκλιση	412,3	125,5
Ασυμμετρία	0,2	0,8
Κύρτωση	20,4	0,5



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ

ΑΝΑΛΥΣΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

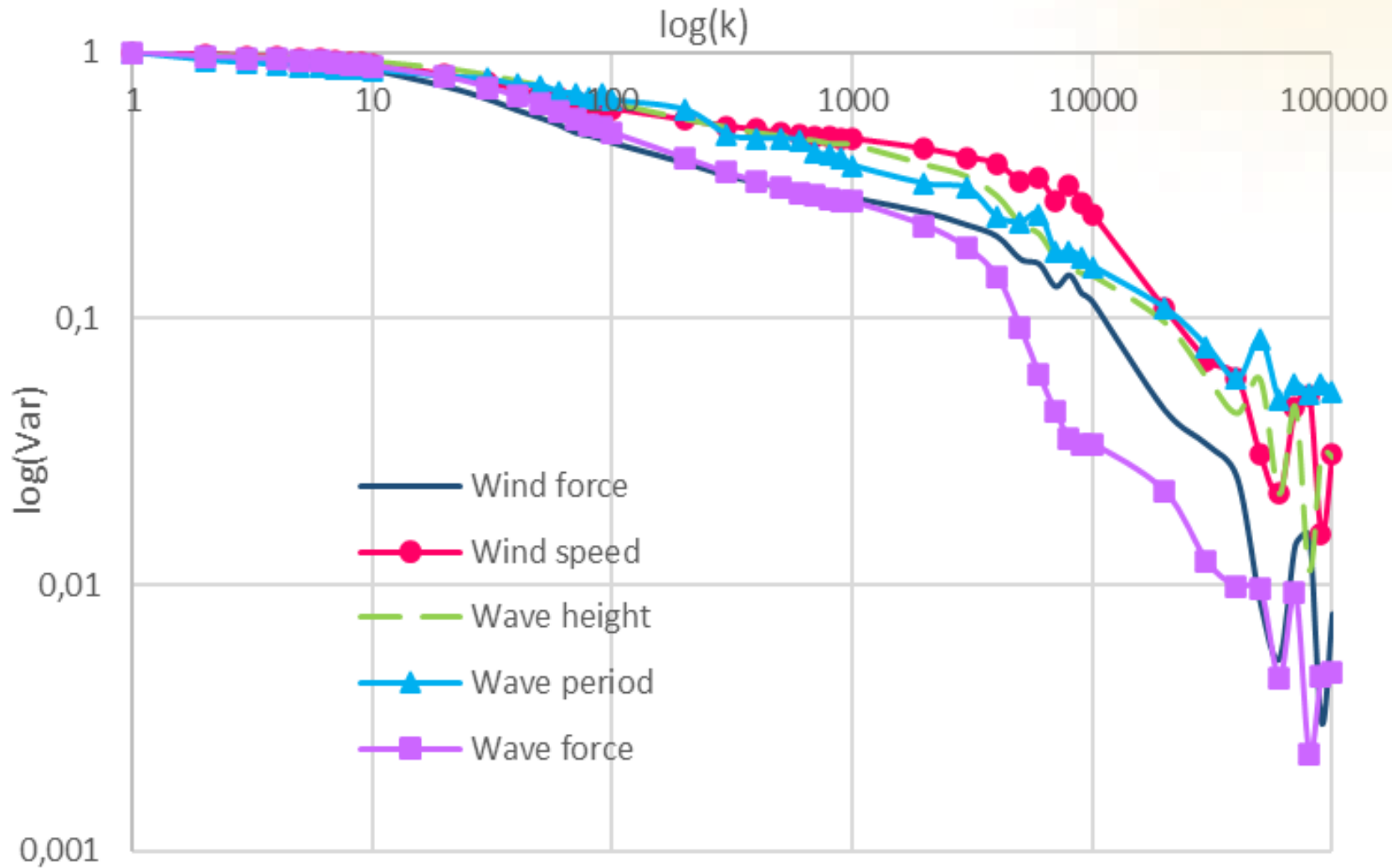
Το κλιμακόγραμμα είναι ένα στοχαστικό εργαλείο το οποίο συσχετίζει την διασπορά μιας ανέλιξης με την κλίμακα του χρόνου.

Το κλιμακόγραμμα:

- Ποσοτικοποιεί τη παράμετρο Hurst.
- Υπερισχύει έναντι της αυτοσυσχέτισης και του φάσματος ισχύος.
- Συνδέεται με εξισώσεις με την αυτοσυσχέτιση και το φάσμα ισχύος.

Ως μέγιστη κλίμακα συνάθροισης ορίζεται ως το 50% των τιμών του δείγματος. **Εδώ: 150.000 τιμές.**

Η προσαρμογή των μοντέλων και ο υπολογισμός της παραμέτρου Hurst γίνεται στο 10% της κλίμακας λόγω του μεγαλύτερου σφάλματος στις μεγαλύτερες κλίμακες. **Εδώ: μέχρι την κλίμακα 30.000.**



Μέγεθος	Hurst
Ταχύτητα ανέμου	0,93
Ύψος κύματος	0,90
Περίοδος κύματος	0,90
Δύναμη λόγω ανέμου	0,86
Δύναμη λόγω κύματος	0,81

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ

ΑΝΑΛΥΣΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εξετάζεται η προσαρμογή των ακόλουθων μοντέλων στα κλιμακογράμματα:

Μοντέλο Hurst-Kolmogorov (HK)

$$\gamma_k = \gamma_1 k^{2H-2}$$

Μοντέλο Hybrid Hurst-Kolmogorov (HHK)

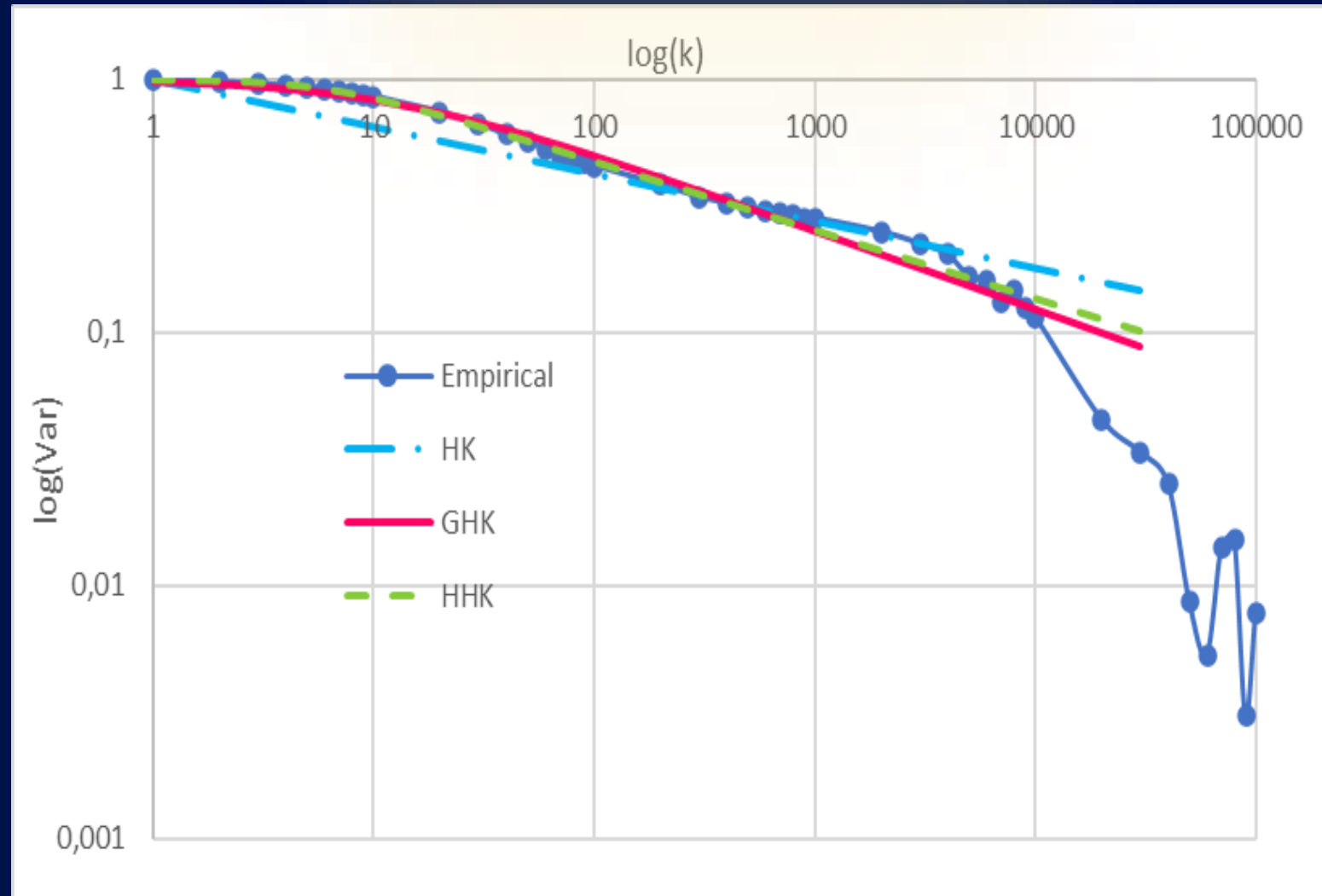
$$\gamma(k) = \frac{\lambda}{(1 + (k/q)^{2M})^{\frac{1-H}{M}}}$$

Μοντέλο Generalized Hurst-Kolmogorov (GHK)

$$\gamma(k) = \frac{\lambda}{(1 + k/q)^{2-2H}}$$

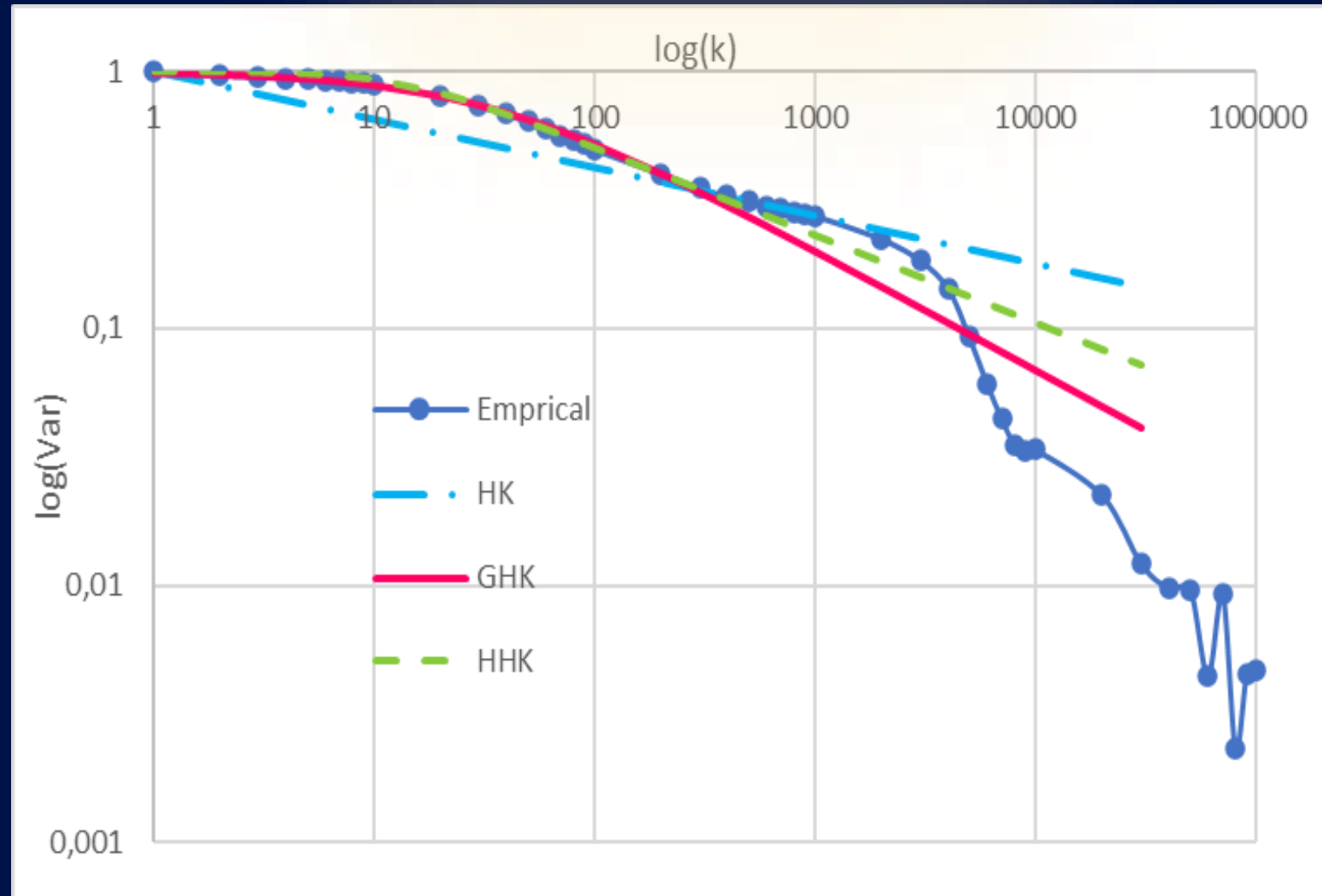
Για την δύναμη λόγω ανέμου:

Παράμετρος	HK	GHK	HHK
H	0,91	0,85	0,92
Q	-	11,73	4,93
λ	-	1,00	1,00
M	-	-	0,62



Για την δύναμη λόγω κύματος:

Παράμετρος	HK	GHK	HHK
H	0,91	0,77	0,92
Q	-	32,97	9,12
λ	-	1,00	1,00
M	-	-	0,46



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ

ΑΝΑΛΥΣΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στοχαστική σύνθεση:

- Χρησιμοποιείται το στοχαστικό μοντέλο GHK στο σχήμα SMA (Symmetric Moving Average).
- $\underline{x}_i = \sum_{j=-l}^l \alpha_{|j|} \underline{v}_{i+j}$
- Παράμετροι εισόδου: 4 πρώτες κεντρικές ροπές της κατανομής και οι συντελεστές H, α, λ από την προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα.
- Παραγωγή 360.000 τιμών που αντιστοιχούν σε 41 έτη.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ

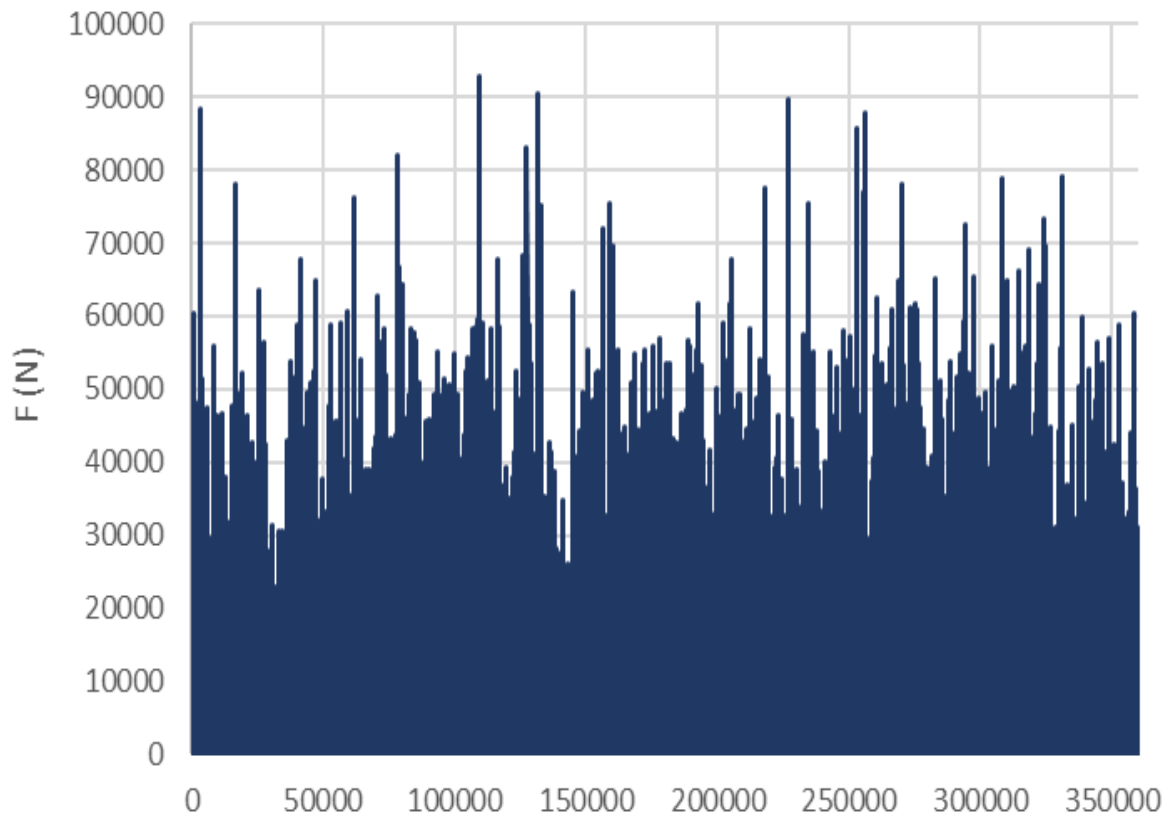
ΑΝΑΛΥΣΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

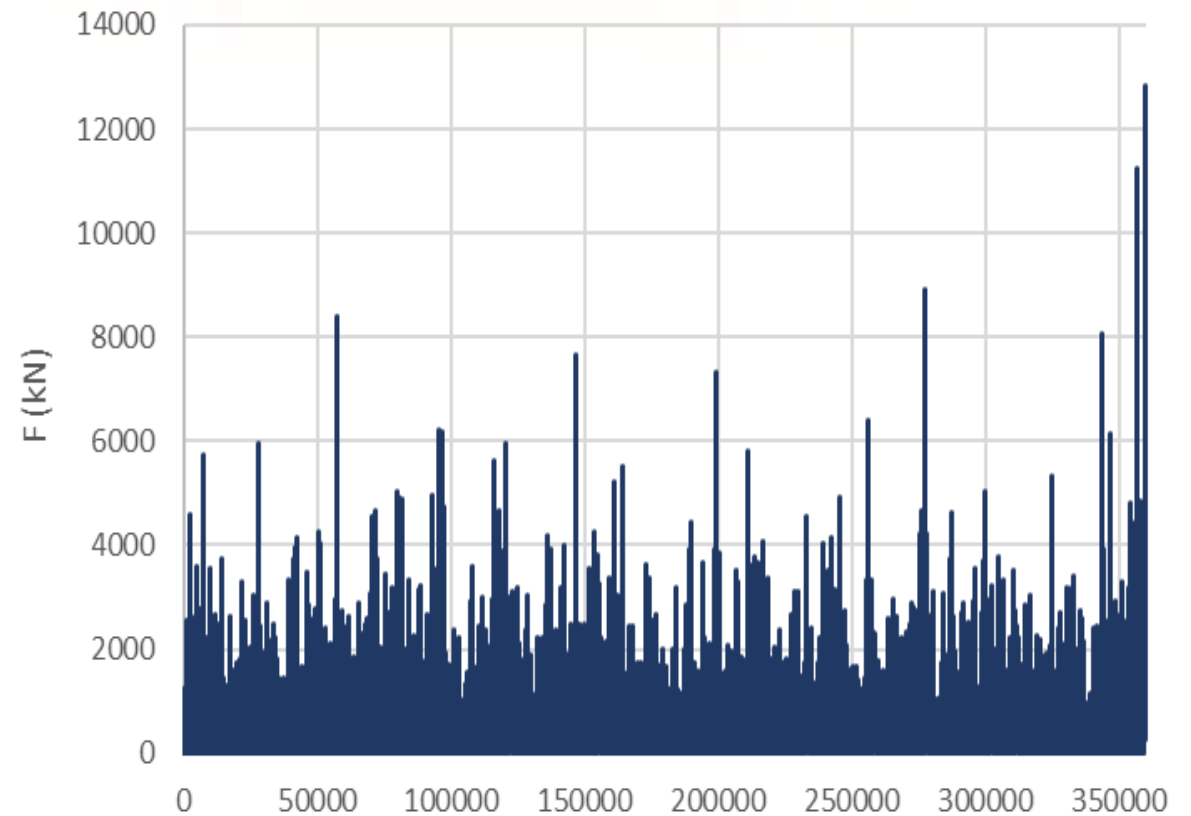
ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

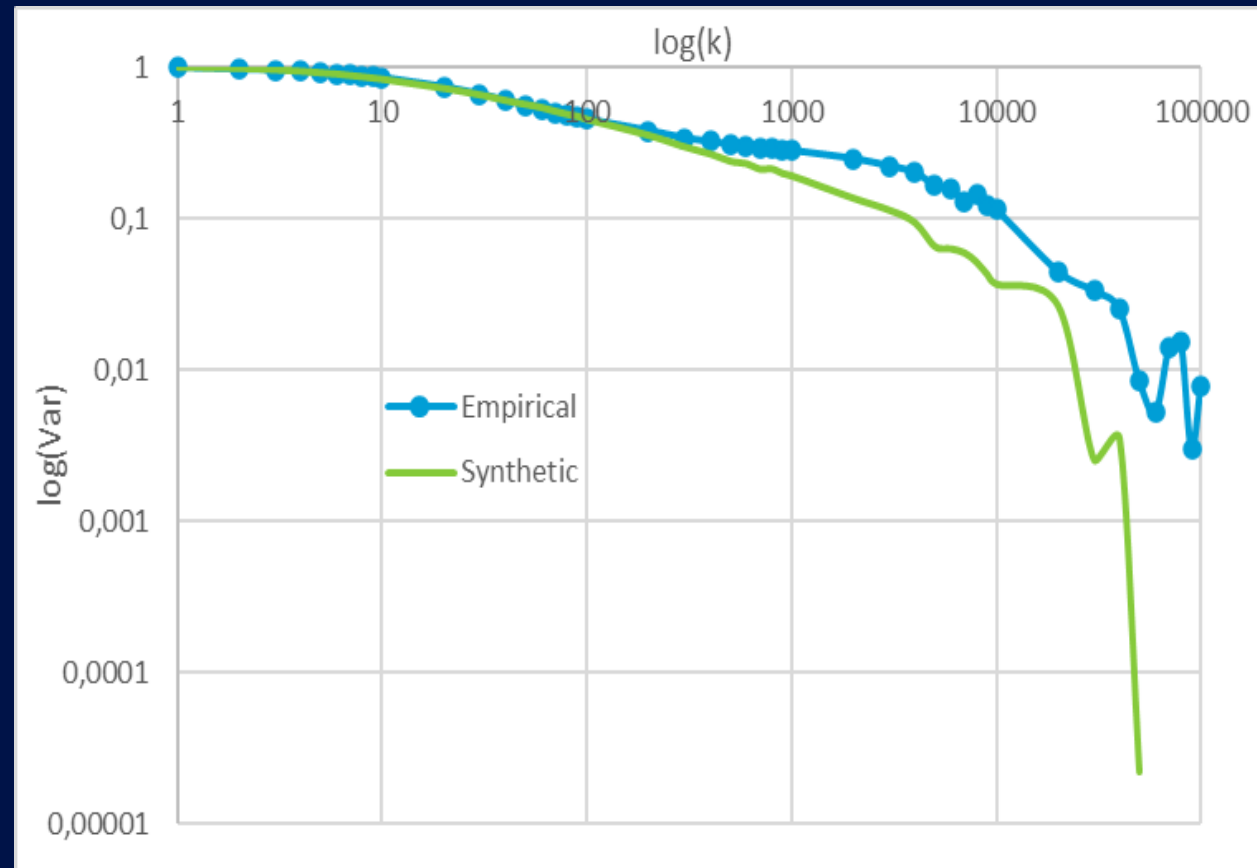
Συνθετική χρονοσειρά δύναμης λόγω ανέμου:



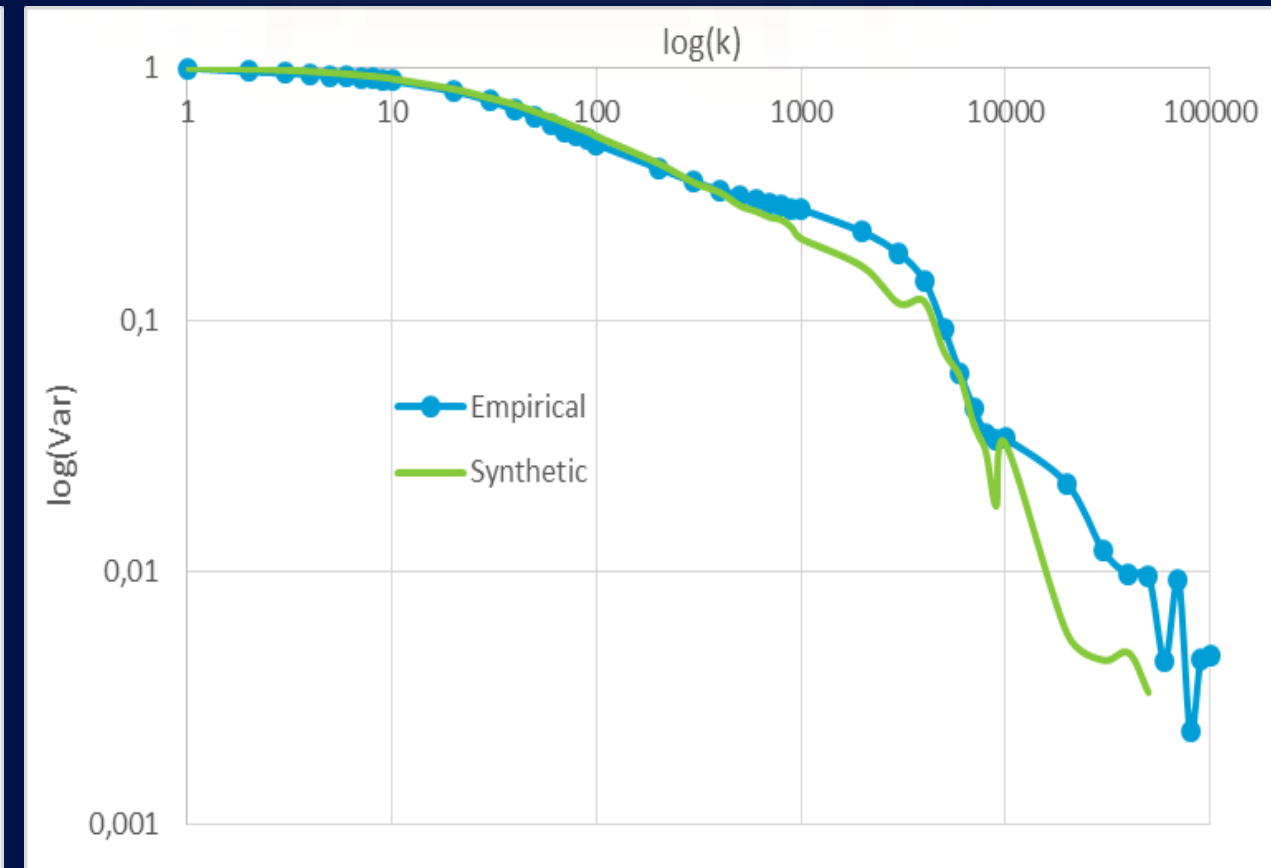
Συνθετική χρονοσειρά δύναμης λόγω κύματος:



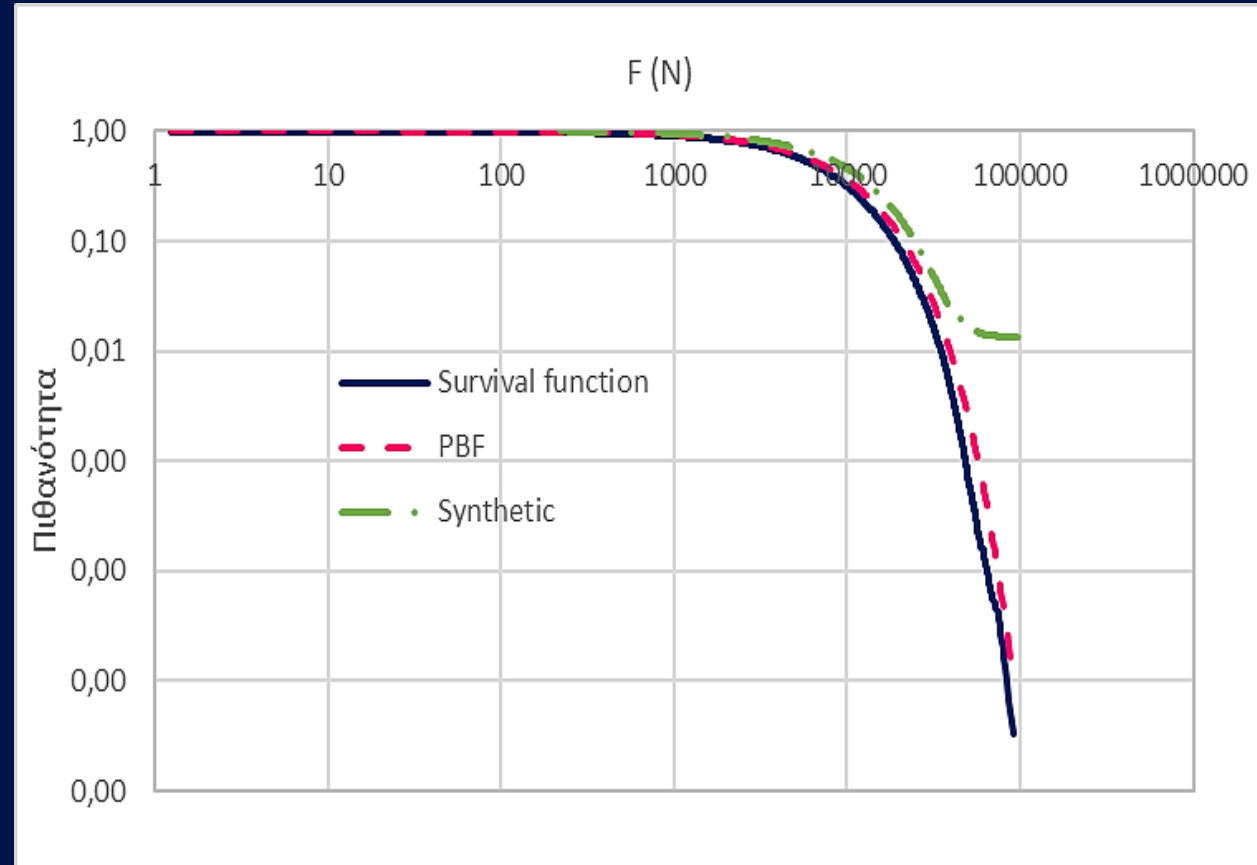
Εμπειρικό και συνθετικό κλιμακόγραμμα
δύναμης λόγω ανέμου:



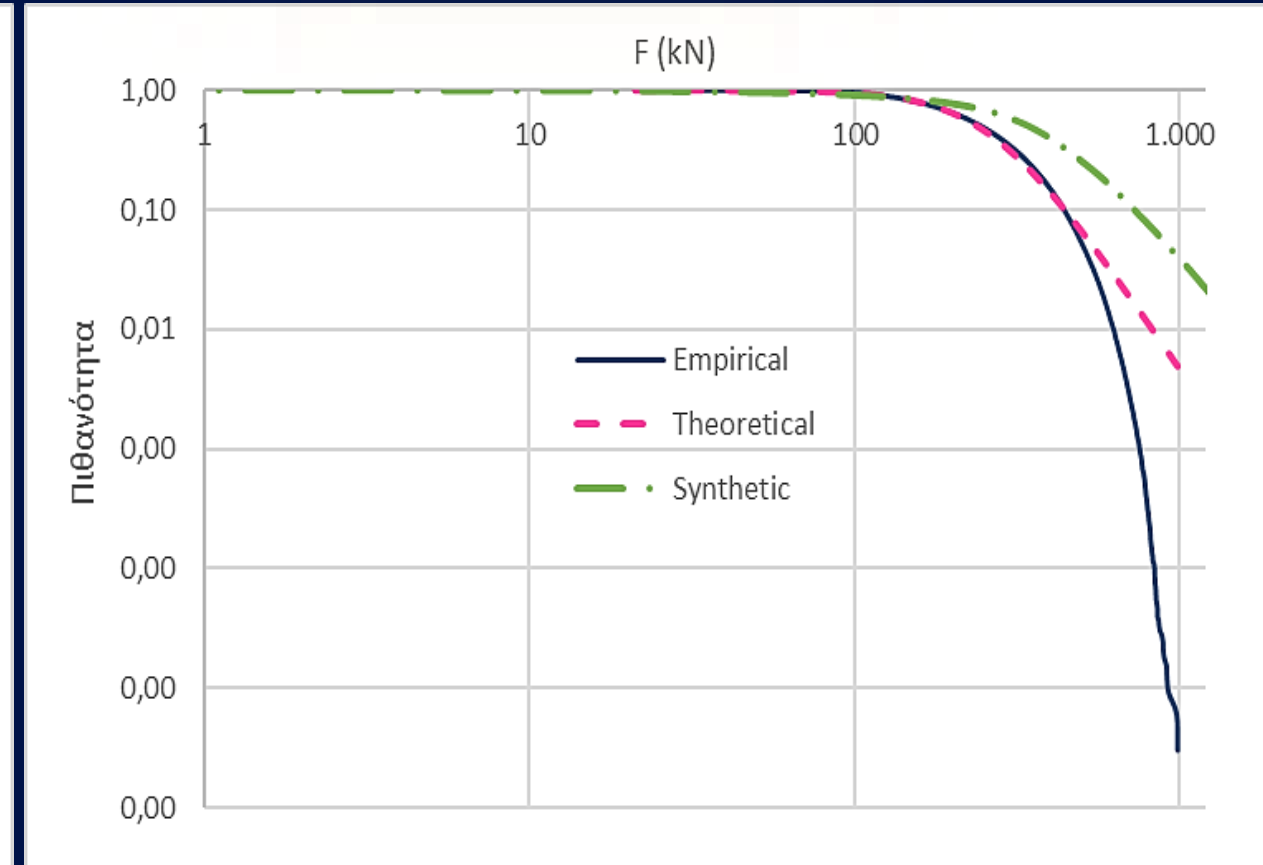
Εμπειρικό και συνθετικό κλιμακόγραμμα
δύναμης λόγω κύματος:



Εμπειρική, θεωρητική και συνθετική κατανομή
χρονοσειράς δύναμης λόγω ανέμου:



Εμπειρική, θεωρητική και συνθετική κατανομή
χρονοσειράς δύναμης λόγω κύματος:



Συμπεράσματα (1):

- Το μήκος προσομοίωσης που χρησιμοποιείται στον υπολογισμό των δυνάμεων από τα πρότυπα μπορεί να μην λάβει υπόψη ακραίες τιμές.
- Όταν διατίθενται λίγα δεδομένα για την περιοχή σχεδιασμού προτείνεται η χρήση δεδομένων από γειτονικές τοποθεσίες.
- Το μικρό μήκος προσομοίωσης δεν λαμβάνει υπόψη την μακροπρόθεσμη εμμονή. Οι επιδράσεις της μακροπρόθεσμης εμμονής, πχ. κόπωση θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό.



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

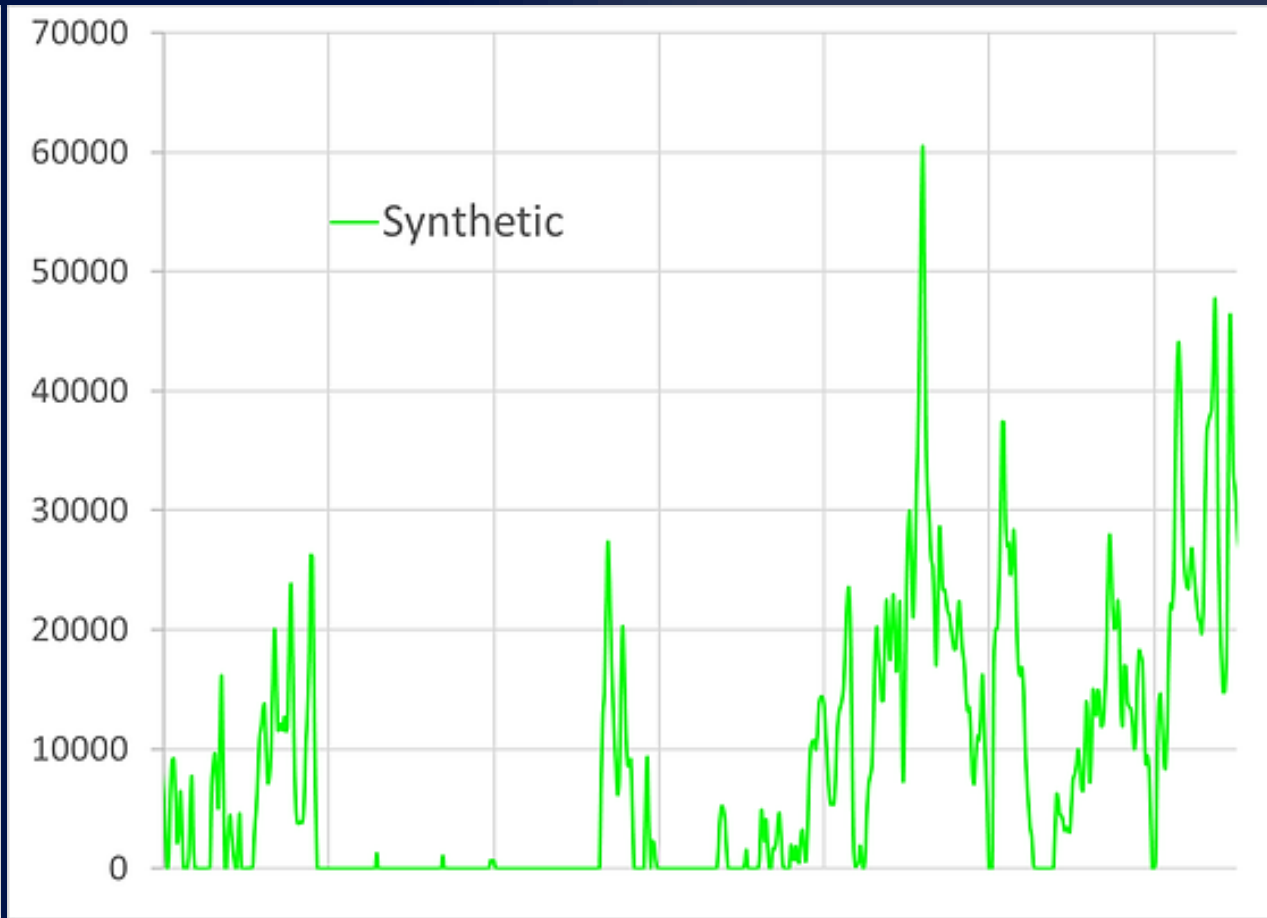
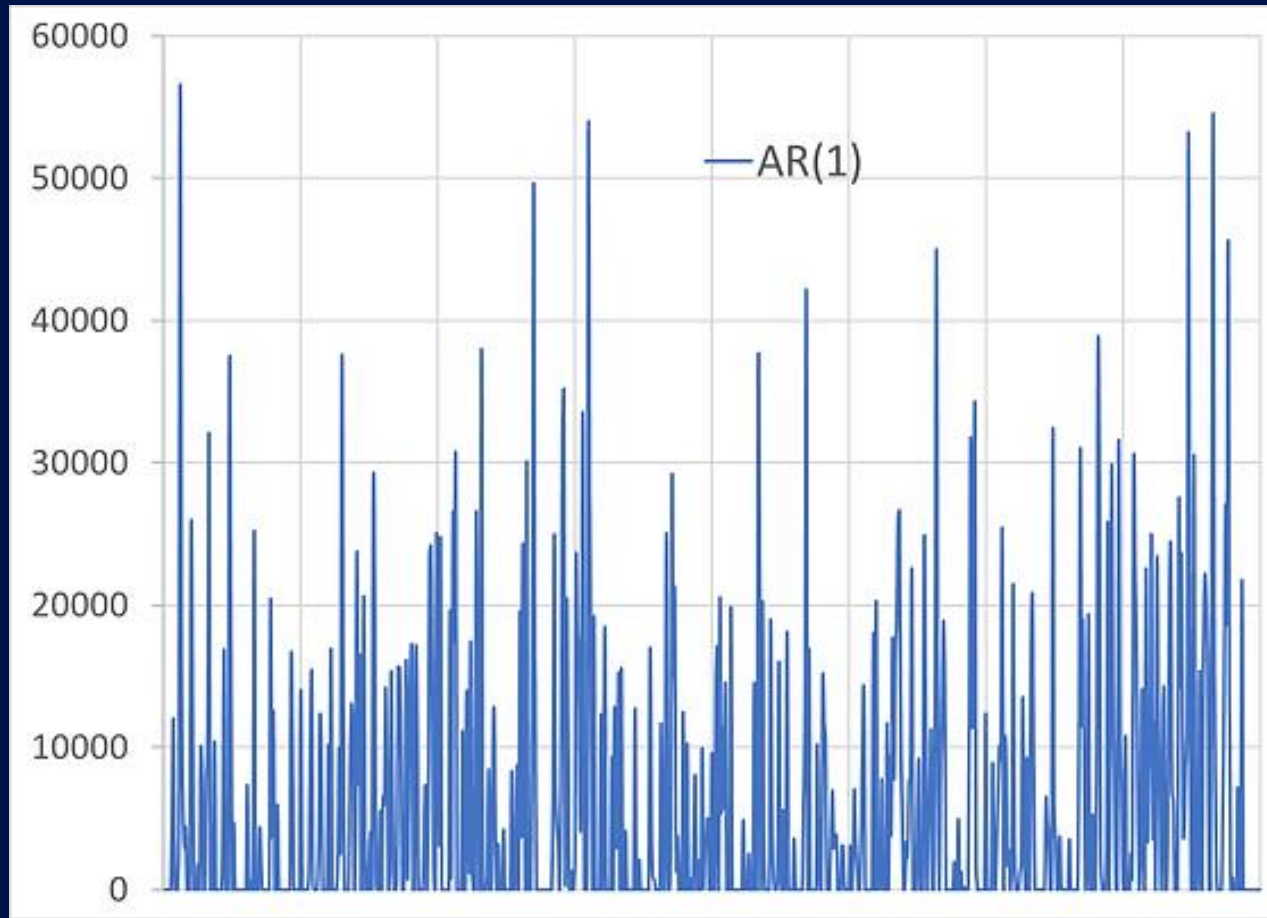
ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ

ΑΝΑΛΥΣΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

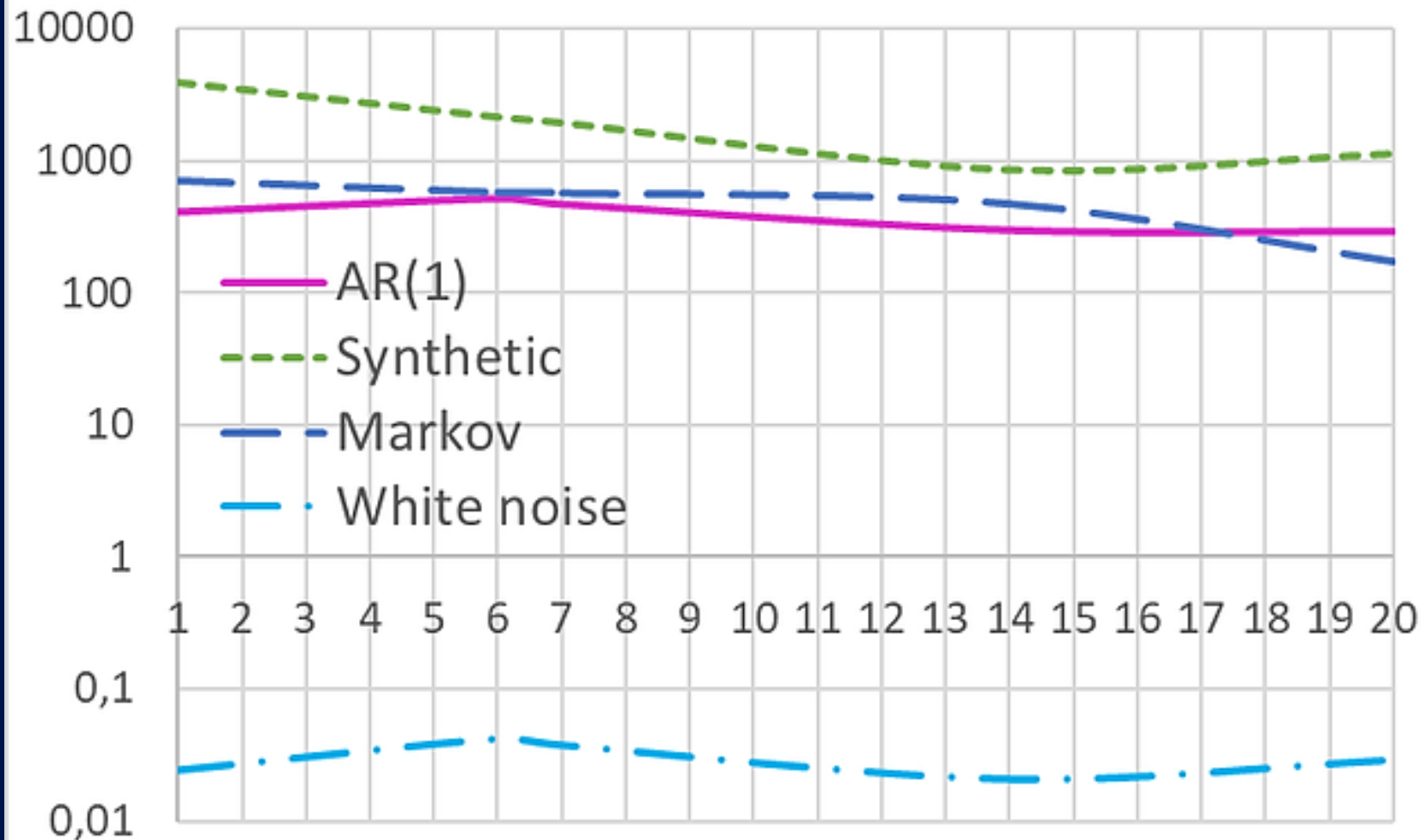
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



Συμπεράσματα (2):

- Οι αρχικές φυσικές διεργασίες παρουσιάζουν διαφορές στις κατανομές και στα κλιμακογράμματα σε σχέση με τις δυνάμεις που προκύπτουν από αυτές.
- Η προτεινόμενη από τα πρότυπα μέθοδος προσομοίωσης δεν λαμβάνει υπόψη τη συσχέτιση αλλά μόνο τη βραχυπρόθεσμη συμπεριφορά της δύναμης.





Άξονας x : έτη

Άξονας y: διακύμανση της
χαρακτηριστικής δύναμης F_k

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΙΣΧΥΟΥΣΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ

ΑΝΑΛΥΣΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

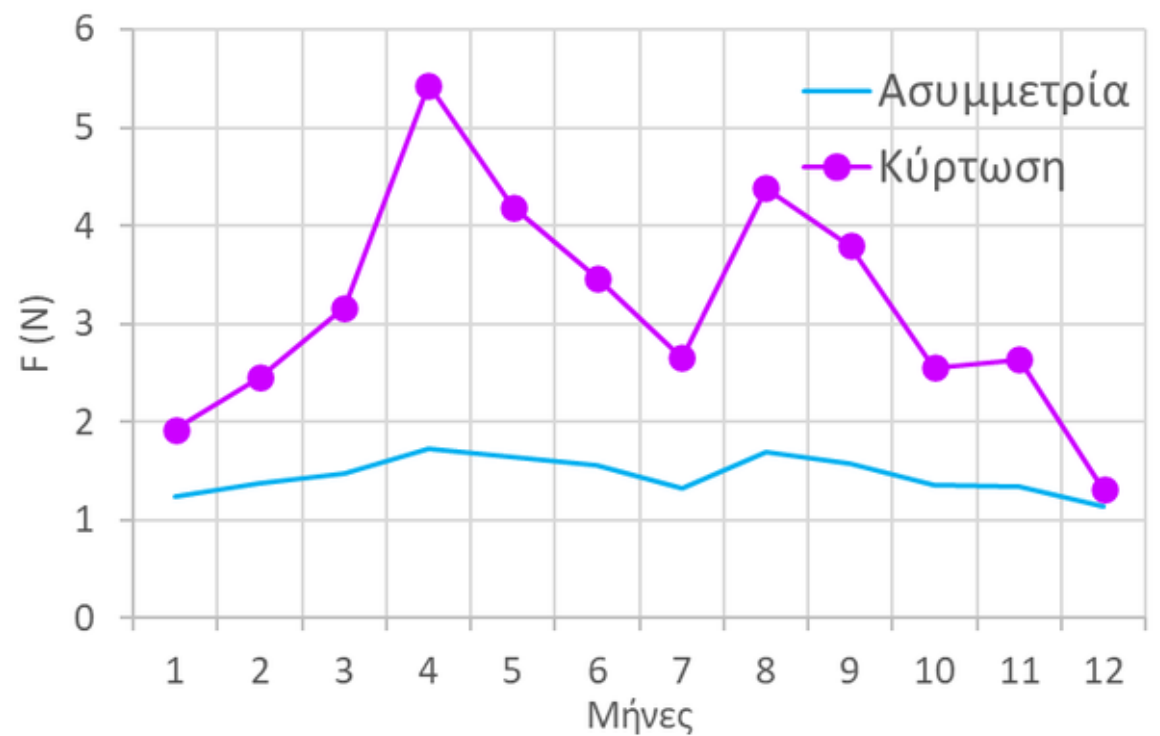
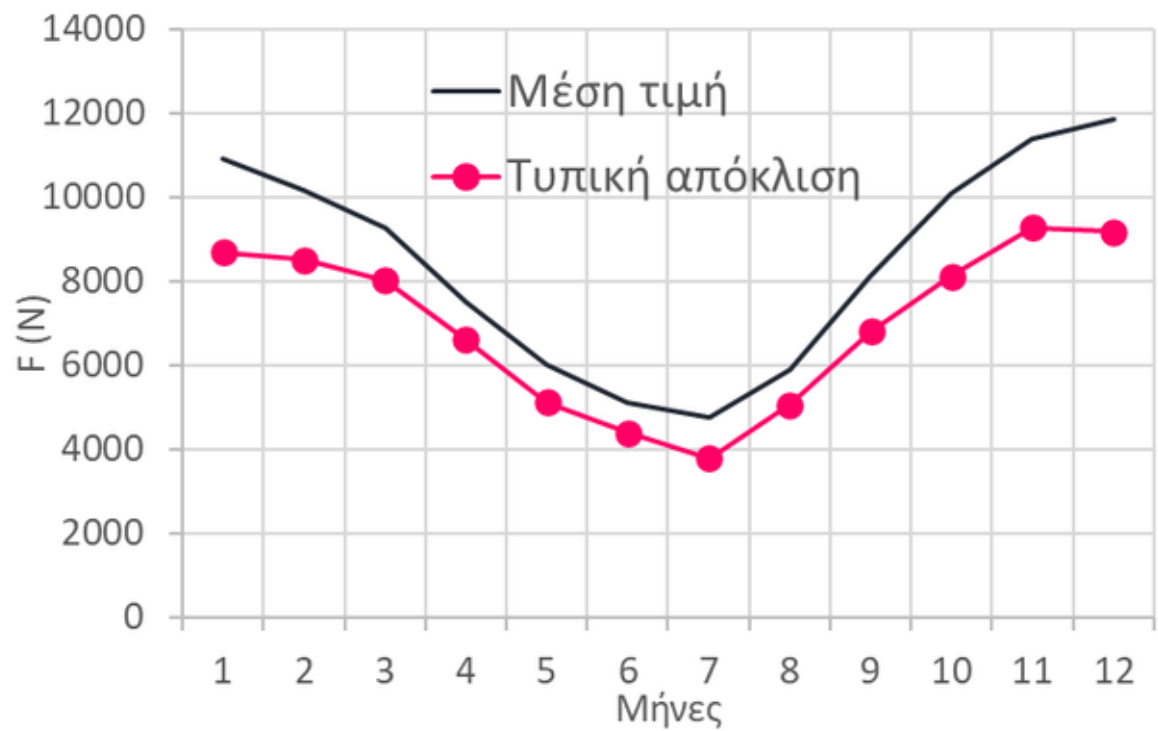
Παραδοχές-προτάσεις για βελτίωση:

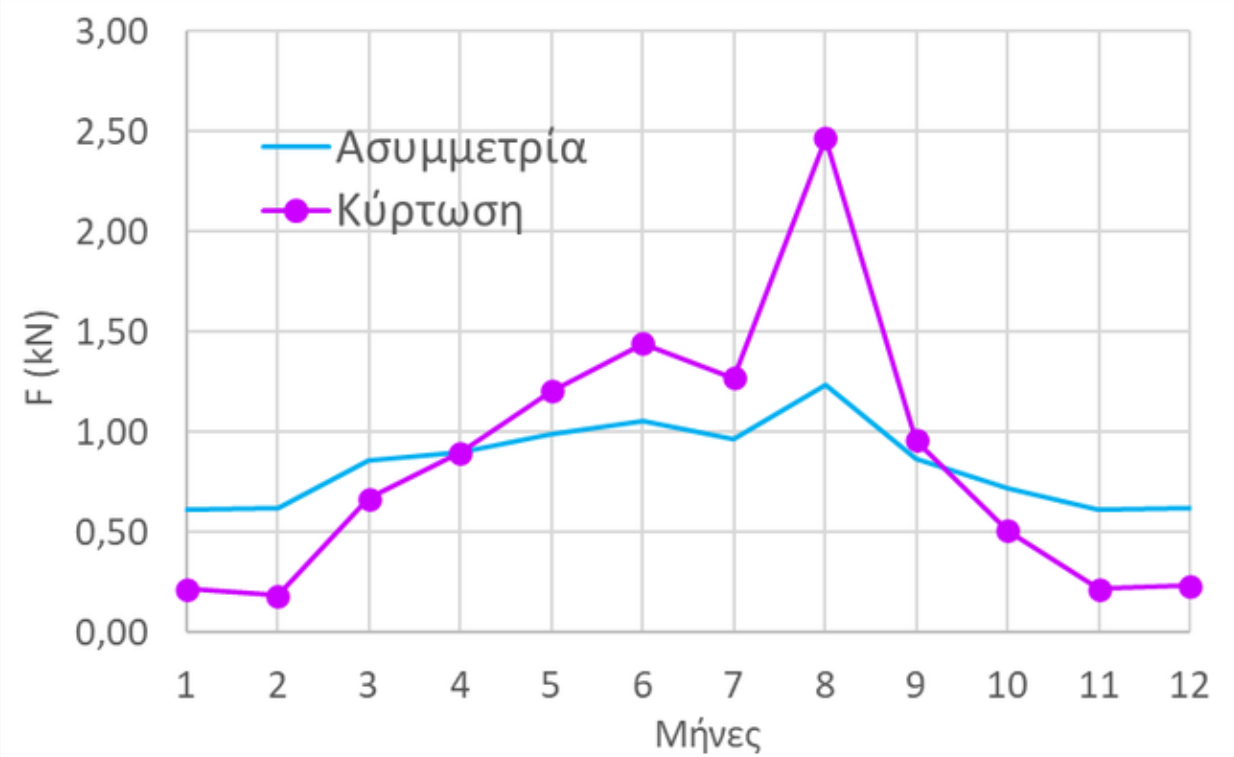
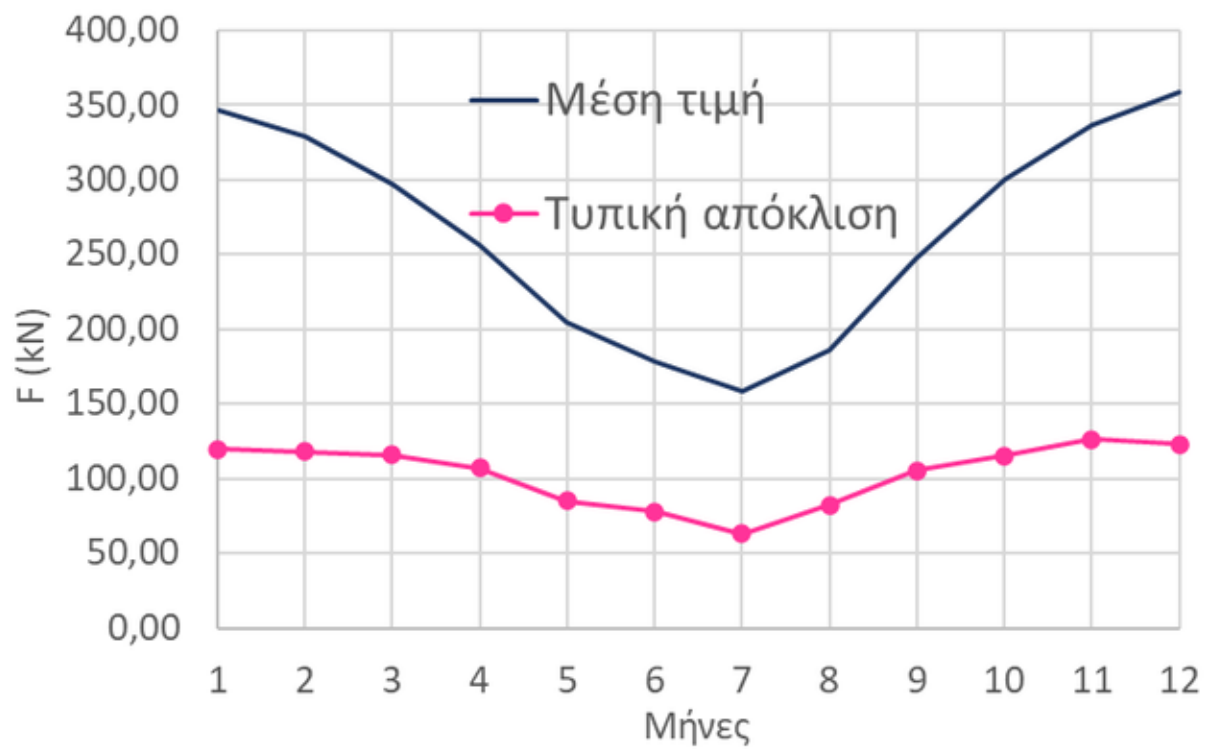
- Τρόπος υπολογισμού της δύναμης
- Δοκιμή άλλων θεωρητικών κατανομών
- Χρήση διαφορετικού μοντέλου
- Αφαίρεση μεροληψίας από τον συντελεστή Hurst



Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας!







Υπολογισμοί για Morison

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi}$$

$$U = \pi H/T e^{kz} \cos(kx - \sigma t)$$

	$h/L < 0.50$	$h/L \geq 0.50$
Ταχύτητα φάσεως	$C = \frac{g}{\sigma} \tanh kh$	$C_o = \frac{g}{\sigma}$
Ταχύτητα ομάδας κυμάτων	$C_g = C \frac{1}{2} (1 + 2kh / \sinh 2kh)$	$C_{g0} = \frac{C_o}{2}$
Μήκος κύματος	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh kh$	$L_o = \frac{gT^2}{2\pi}$
Αριθμός κύματος	$k = \frac{2\pi}{L}$	$k_o = \frac{2\pi}{L_o}$
Οριζόντια ταχύτητα σωματιδίων	$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(y+h)}{\sinh kh} \cos(kx - \sigma t)$	$u = \frac{\pi H_o}{T} \exp(k_o y) \cos(k_o x - \sigma t)$
Κατακόρυφη ταχύτητα σωματιδίων	$v = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh k(y+h)}{\sinh kh} \sin(kx - \sigma t)$	$v = \frac{\pi H_o}{T} \exp(k_o y) \sin(k_o x - \sigma t)$
Οριζόντια θέση σωματιδίων	$x = x_o - \frac{H}{2} \frac{\cosh k(y_o+h)}{\sinh kh} \sin(kx_o - \sigma t)$	$x = x_o - \frac{H_o}{2} \exp(k_o y_o) \sin(k_o x_o - \sigma t)$
Κατακόρυφη θέση σωματιδίων	$y = y_o + \frac{H}{2} \frac{\sinh k(y_o+h)}{\sinh kh} \cos(kx_o - \sigma t)$	$y = y_o + \frac{H_o}{2} \exp(k_o y_o) \cos(k_o x_o - \sigma t)$
Πίεση	$p = -\rho g y + \rho g \frac{H}{2} \frac{\cosh k(y+h)}{\cosh kh} \cos(kx - \sigma t)$	$p = -\rho g y + \rho g \frac{H_o}{2} \exp(k_o y) \cos(k_o x - \sigma t)$
Ενέργεια	$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 L$	$E = \frac{1}{8} \rho g H_o^2 L_o$
Ροή ενέργειας	$P = \frac{1}{8} \rho g H^2 C \frac{1}{2} (1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh})$	$P = \frac{1}{16} \rho g H_o^2 C_o$

