

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Θέμα διπλωματικής εργασίας:

Διερεύνηση διπλής κυκλοστασιμότητας ανέμου  
για εφαρμογή σε στοχαστικά μοντέλα πρόβλεψης

Δεληγιάννης Ηλίας

Επιβλέπων καθηγητής: κ. Κουτσογιάννης Δημήτριος

# 1. Περίληψη

- Συμπεριφορά του ανέμου σε ωριαία, μηνιαία και υπερετήσια κλίμακα.
  - ✓ Ωριαία & μηνιαία → διπλή κυκλοστασιμότητα (περιοδικότητα).
  - ✓ Υπερετήσια → μακροπρόθεσμη εμμονή.
- Φυσική εξήγηση διπλής κυκλοστασιμότητας → τρίπτυχο ακτινοβολία – θερμοκρασία – άνεμος
- Δημιουργία και εφαρμογή μοντέλων διπλής κυκλοστασιμότητας (άνεμος & θερμοκρασία)
- Εξέταση εγκυρότητας δεδομένων reanalysis
- Διερεύνηση μακροπρόθεσμης εμμονής (φαινόμενο Hurst).

## 2. Εισαγωγή

Ανάγκη χρησιμοποίησης ΑΠΕ για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής =>

Ανάγκη μελέτης υδρομετεωρολογικών μεταβλητών =>

Ανάγκη μελέτης αβεβαιότητας, τυχαιότητας, μεταβλητότητας.

Αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας:

Προϋποθέτει συνδυασμό προσδιοριστικών και στοχαστικών μεθόδων.

**ANEMOS:**

Συνήθως μελετάται απλή κυκλοστασιμότητα → λανθασμένη διαχείριση ενέργειας...

### 3. Στόχος της εργασίας



Να αποτελέσει τη βάση για ένα μοντέλο πρόβλεψης ταχύτητας ανέμου.

Το μοντέλο περιλαμβάνει συνδυασμό στοχαστικών και ντετερμινιστικών μεθόδων.

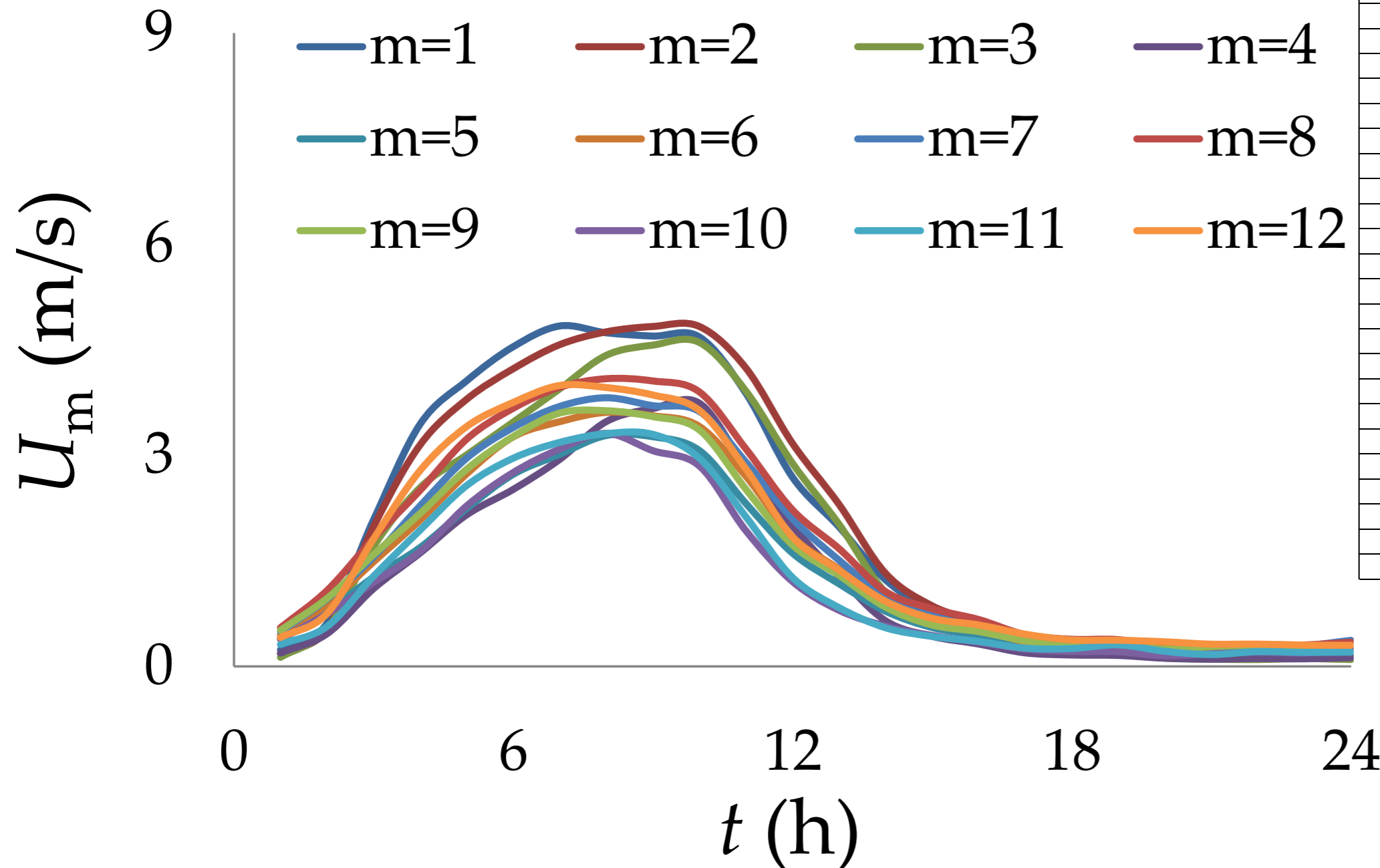
«Ο ΑΝΕΜΟΣ ΠΡΟΒΛΕΠΕΤΑΙ  
ΓΥΡΩ ΣΤΑ 3 ΜΠΟΦΟΡ...»

...ΜΕ ΑΠΟΚΛΙΣΗ  $\pm 5$  ΜΠΟΦΟΡ»

# 4. Διπλή κυκλοστασιμότητα - Γενικά

Στατιστικά χαρακτηριστικά (π.χ.  $\mu$ ,  $\sigma$ ): διπλά περιοδικά ως προς το χρόνο.

→ Διαφορετική κατανομή για κάθε ώρα και μήνα.



hour \ month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,24	0,19	0,13	0,19	0,40	0,45	0,50	0,55	0,51	0,39	0,31	0,41
2	0,61	0,53	0,53	0,46	0,78	0,88	0,96	1,08	0,97	0,75	0,57	0,75
3	2,08	1,99	1,70	1,11	1,27	1,49	1,55	1,82	1,59	1,19	1,28	1,81
4	3,44	3,15	2,54	1,61	1,69	2,08	2,28	2,50	2,17	1,63	1,94	2,78
5	4,06	3,80	3,01	2,15	2,24	2,74	2,96	3,23	2,80	2,28	2,57	3,41
6	4,54	4,23	3,47	2,52	2,73	3,26	3,40	3,67	3,27	2,76	2,96	3,75
7	4,84	4,57	3,95	2,94	3,01	3,48	3,70	3,97	3,60	3,09	3,18	3,99
8	4,74	4,75	4,42	3,48	3,28	3,61	3,82	4,09	3,63	3,31	3,31	3,96
9	4,69	4,83	4,57	3,66	3,26	3,56	3,71	4,06	3,55	3,07	3,30	3,86
10	4,68	4,83	4,60	3,74	3,07	3,41	3,62	3,90	3,36	2,85	2,96	3,64
11	3,88	4,24	3,91	2,83	2,32	2,70	2,90	3,09	2,52	1,93	2,13	2,81
12	2,69	3,17	2,89	2,00	1,61	1,84	2,10	2,23	1,73	1,21	1,27	1,84
13	1,98	2,30	2,02	1,28	1,18	1,38	1,51	1,67	1,30	0,80	0,84	1,37
14	1,23	1,32	1,05	0,65	0,79	0,90	0,99	1,06	0,84	0,57	0,55	0,93
15	0,80	0,86	0,68	0,43	0,55	0,64	0,72	0,82	0,59	0,44	0,43	0,69
16	0,60	0,63	0,51	0,32	0,44	0,53	0,56	0,67	0,50	0,34	0,36	0,59
17	0,36	0,33	0,26	0,19	0,30	0,35	0,42	0,45	0,36	0,25	0,26	0,46
18	0,28	0,24	0,19	0,16	0,24	0,28	0,34	0,39	0,28	0,21	0,25	0,38
19	0,25	0,22	0,18	0,16	0,23	0,31	0,35	0,38	0,29	0,21	0,31	0,37
20	0,20	0,15	0,12	0,12	0,20	0,30	0,29	0,28	0,25	0,15	0,22	0,35
21	0,20	0,12	0,10	0,10	0,20	0,23	0,26	0,26	0,25	0,18	0,17	0,32
22	0,22	0,13	0,10	0,11	0,20	0,28	0,29	0,31	0,25	0,20	0,21	0,32
23	0,19	0,11	0,11	0,11	0,20	0,29	0,30	0,31	0,29	0,19	0,20	0,30
24	0,18	0,11	0,10	0,13	0,23	0,33	0,37	0,34	0,29	0,24	0,20	0,30

# 5. Δεδομένα (1)

1600+200=1800 σταθμοί παγκοσμίως. (πηγή: NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration)

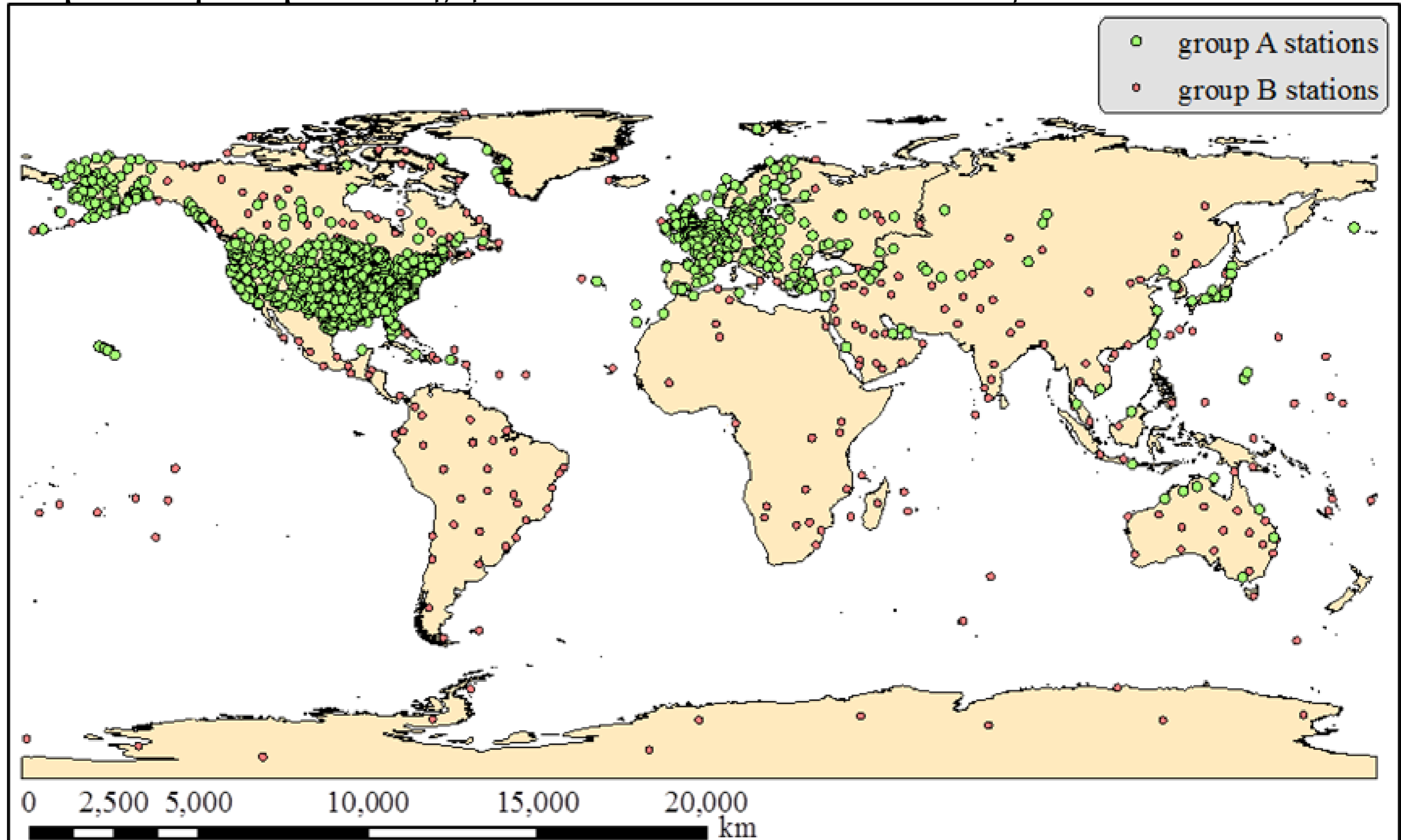
1600 σταθμοί:

✓ 100.000 μετρήσεις.

✓ 1 μέτρηση ανά ώρα.

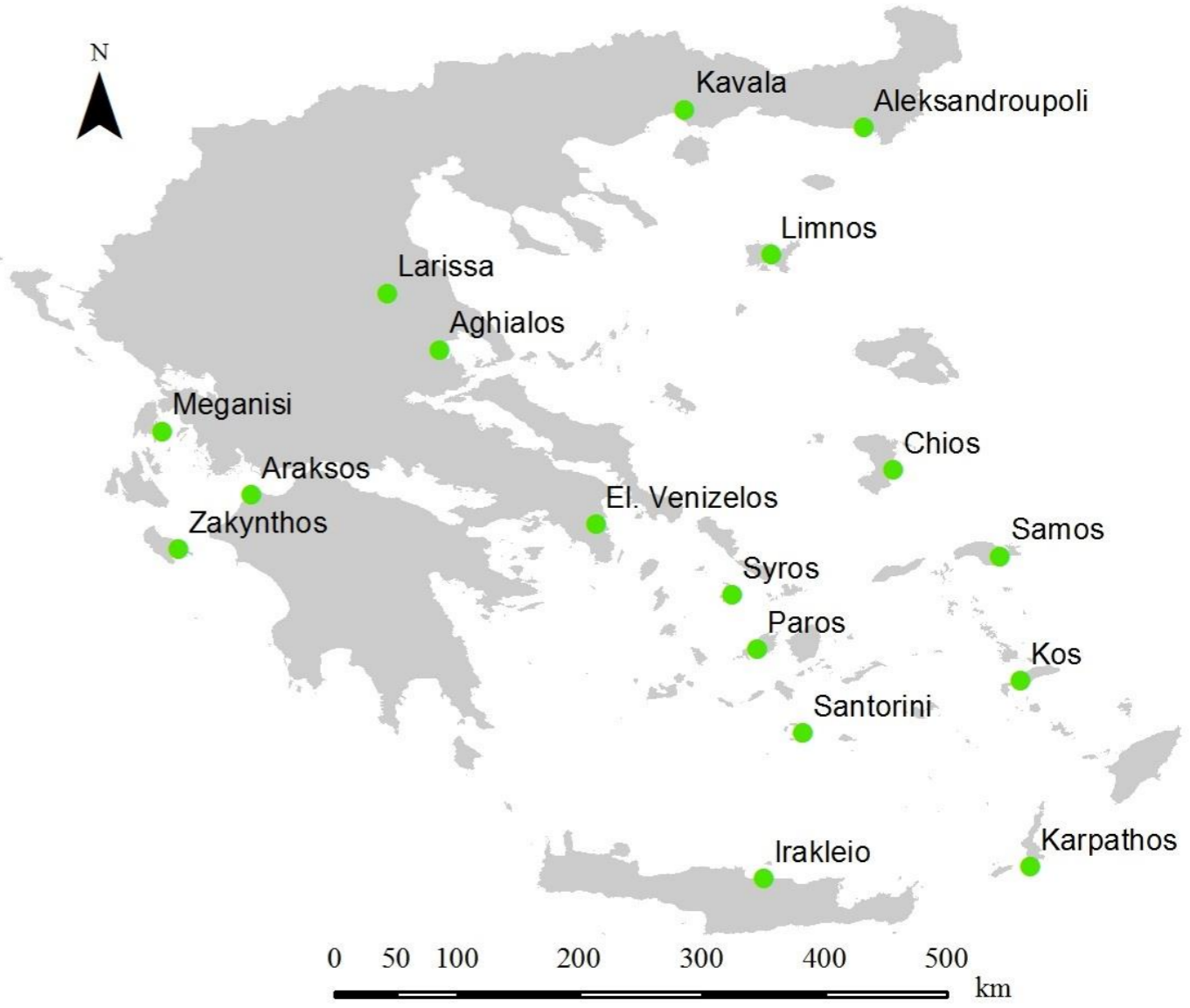
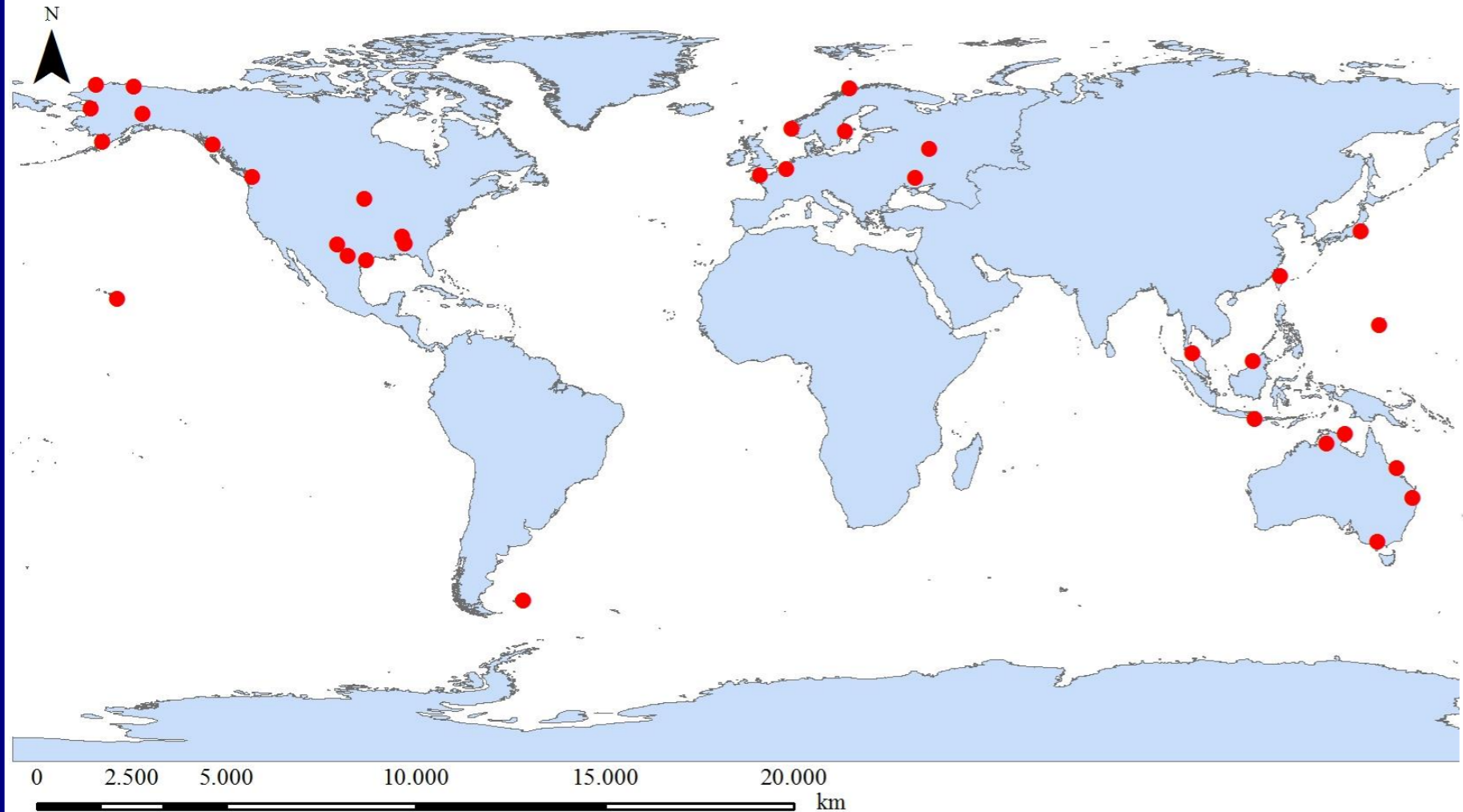
200 σταθμοί:

✓ 1 μέτρηση ανά 4ωρο.



# 6. Δεδομένα (2)

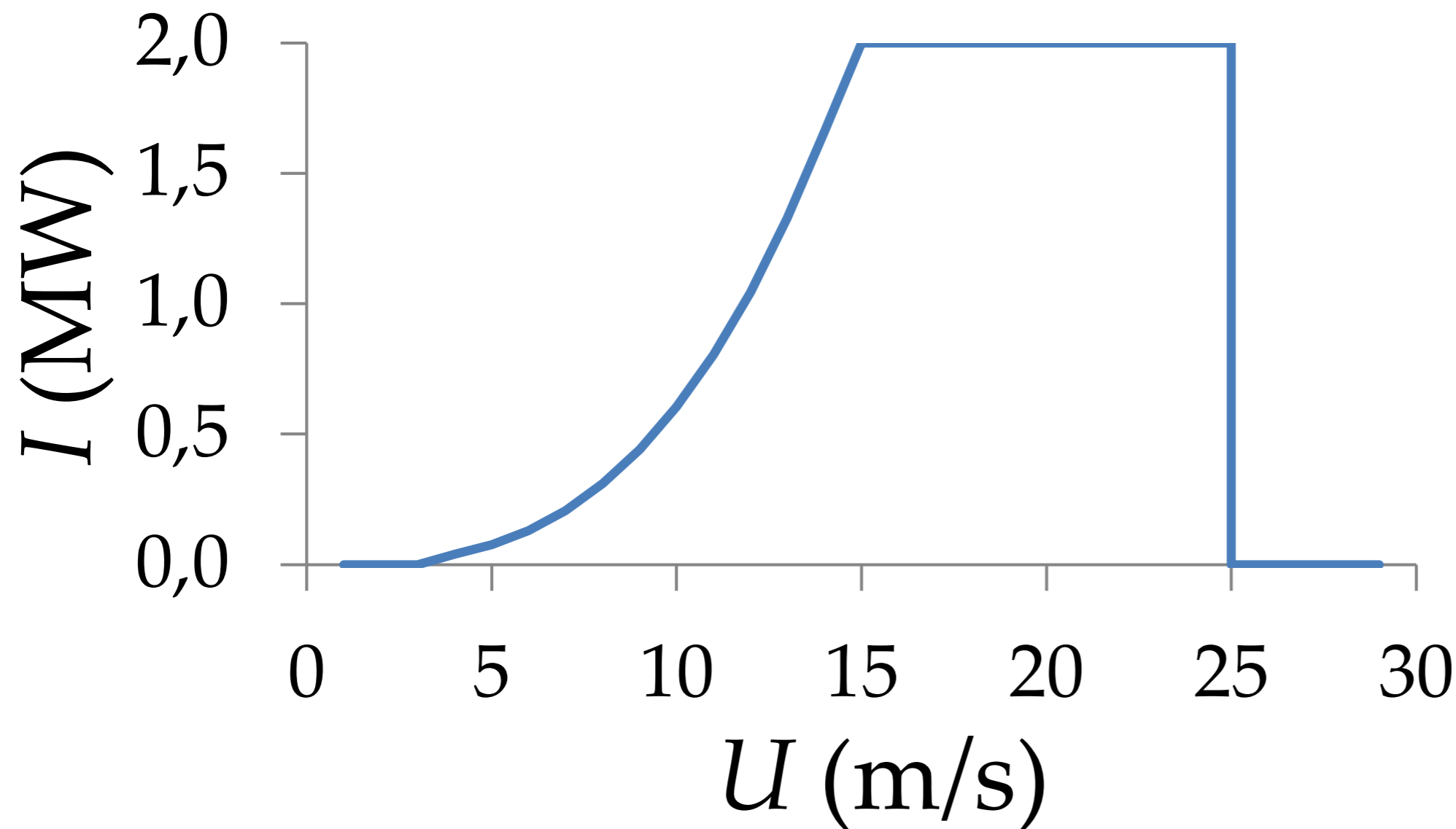
Αρχική μελέτη: 33 σταθμοί παγκοσμίως



Τελικά αποτελέσματα: έλεγχος σε 17 σταθμούς στην Ελλάδα

## 7. Σημασία διπλής περιοδικότητας (2 +1 λόγοι)

- 1) Επηρεάζει τη διαστασιολόγηση έργων αποθήκευσης ενέργειας.
- 2) Επηρεάζει τη διαχείριση ενέργειας (μη γραμμική καμπύλη ισχύος α/γ)



Εφαρμογή: Τοποθέτηση 1 α/γ των 2MW σε κάθε σταθμό.  
E1: διπλή κυκλοστασιμότητα  
E2: απλή κυκλοστασιμότητα  
E3: στασιμότητα  
(μη ρεαλιστικές παραδοχές, αλλά ενδεικτικές...)

$$\begin{aligned} E_1 &= 600 \text{ GWh} \\ E_2 &= 510 \text{ GWh} \\ E_3 &= 460 \text{ GWh} \end{aligned}$$

E2: -15%  
E3: -24%

$\Rightarrow$

Ημερήσια περιοδικότητα πιο καθοριστική από την εποχιακή.  
Όμως αμελείται συνήθως!



## 8. Σημασία διπλής περιοδικότητας (+1)

Νίκη σε μία σχετικά χαμένη παρτίδα!

*Inspired by Bobby Fischer, "game of the century", 1956*



Ισοπαλία σε ολοκληρωτικά χαμένη θέση!

*Αφιερωμένο στο σκακιστή Δεληγιάννη Νικόλαο*



## 9. Φυσική εξήγηση διπλής περιοδικότητας

### Ακτινοβολία-θερμοκρασία

Κάθε σώμα που έχει  $T > 0 \text{ K}$ , εκπέμπει ακτινοβολία.  
Ακτινοβολία  $\sim T^4 \text{ (K)}$

$\Rightarrow$  Συσχέτιση στη μικροκλίμακα

Ηλιακή ακτινοβολία  $\Rightarrow$  Ηλιακή ενέργεια  
 $\Rightarrow$  θερμότητα  $\Rightarrow$  Αύξηση θερμοκρασίας

$\Rightarrow$  Συσχέτιση στη μακροκλίμακα

### Θερμοκρασία-ταχύτητα ανέμου

Θερμική και κινητική ενέργεια μορίων αέρα:  
σχετίζονται.

$\Rightarrow$  Συσχέτιση μικρο - μακροκλίμακας

Διαφορά θερμοκρασίας  $\Leftrightarrow$  Διαφορά πίεσης  
 $\Leftrightarrow$  άνεμος

$\Rightarrow$  Συσχέτιση στη μακροκλίμακα

(παρόμοια με θερμική στρωμάτωση λίμνης)

# 10. Ακτινοβολία στο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας

Εξαρτάται από γεωγραφικό πλάτος, ημέρα του έτους, ώρα της ημέρας.

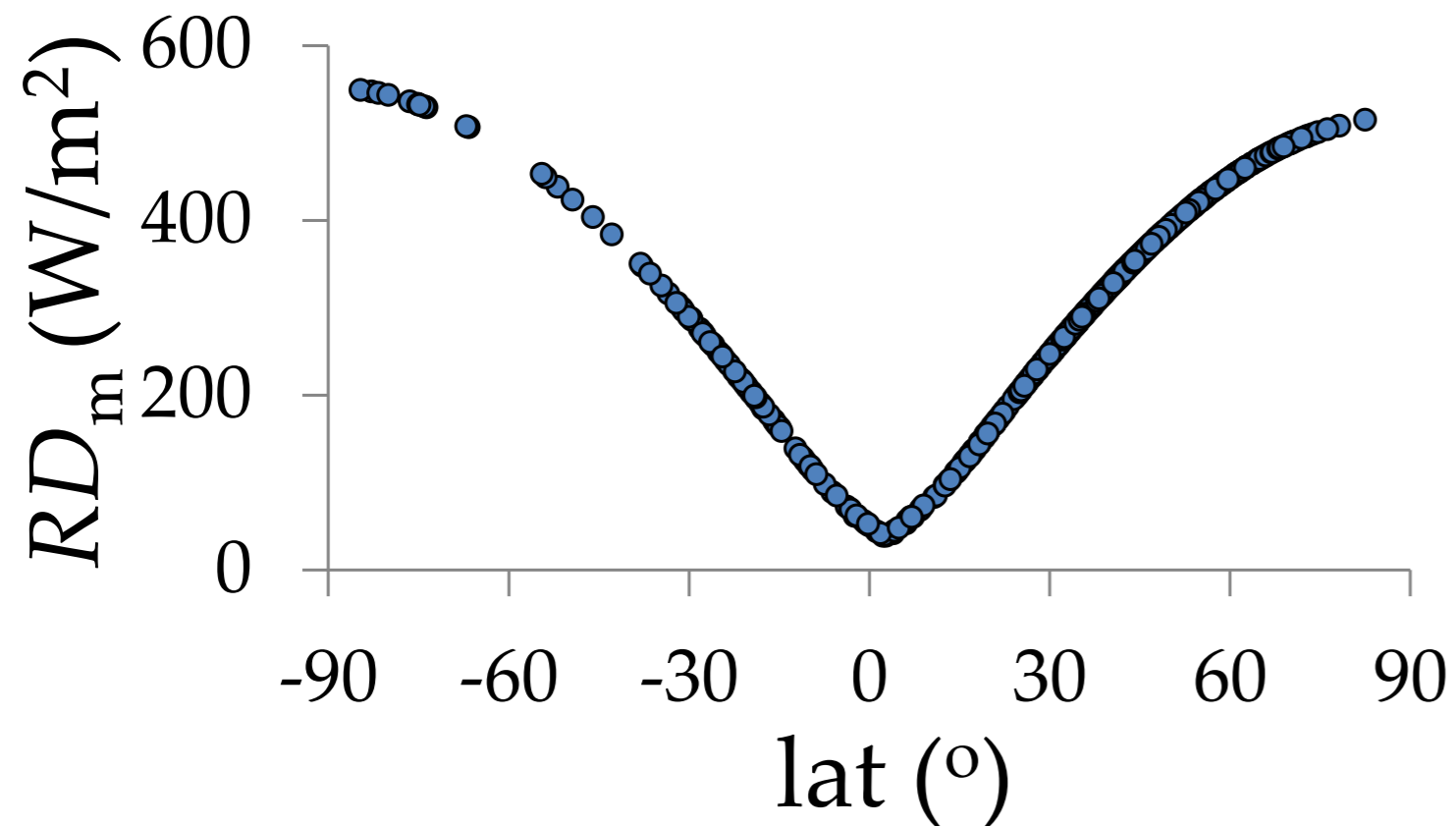
Μηνιαία διακύμανση ακτινοβολίας:

$RD_m$  = Μέγιστη μηνιαία – ελάχιστη μηνιαία.

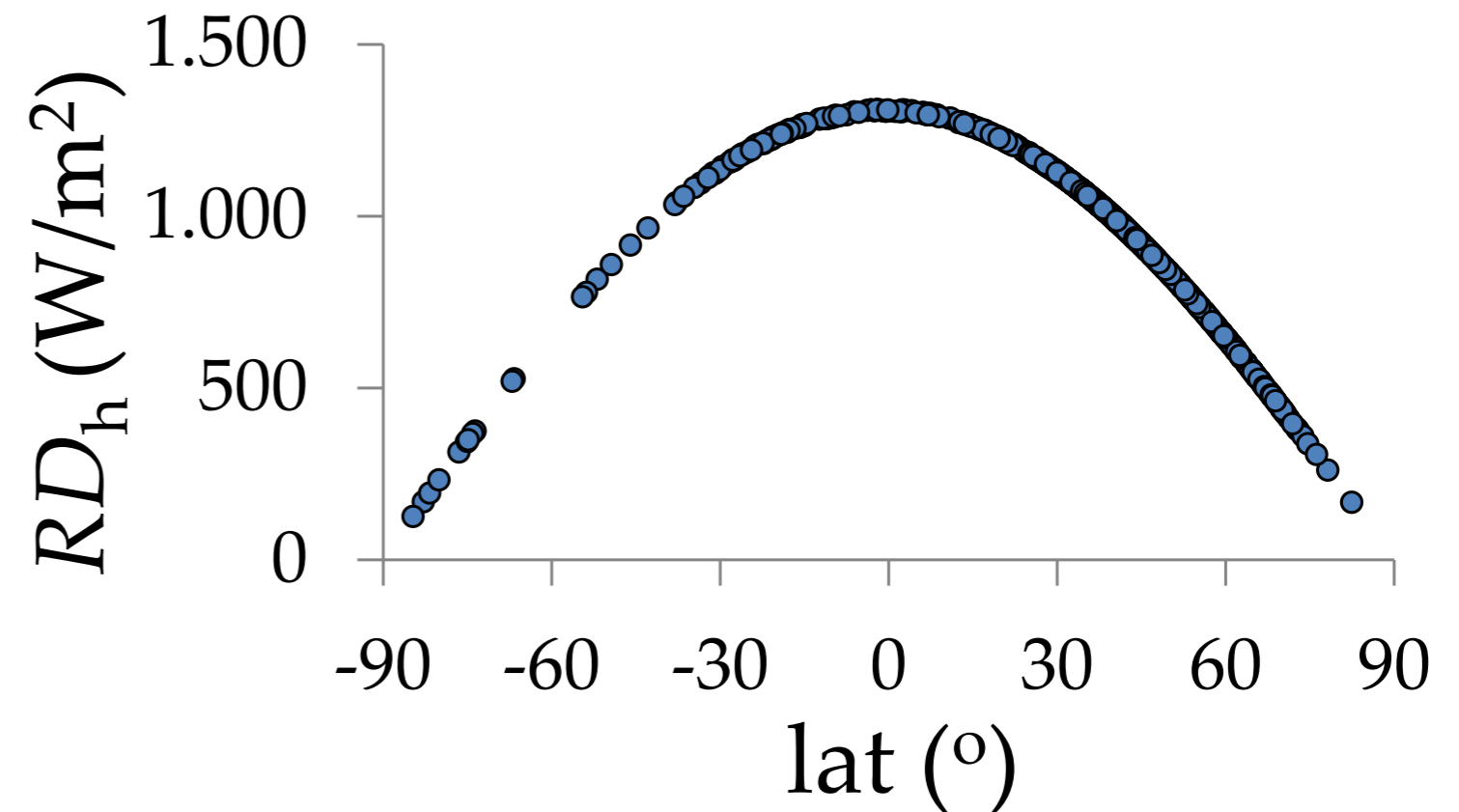
Ωριαία διακύμανση ακτινοβολίας:

$RD_h$  = Μέγιστη ωριαία – ελάχιστη ωριαία.

(και μέσος όρος για τους 12 μήνες)



Μεγάλη μηνιαία διακύμανση στους πόλους.

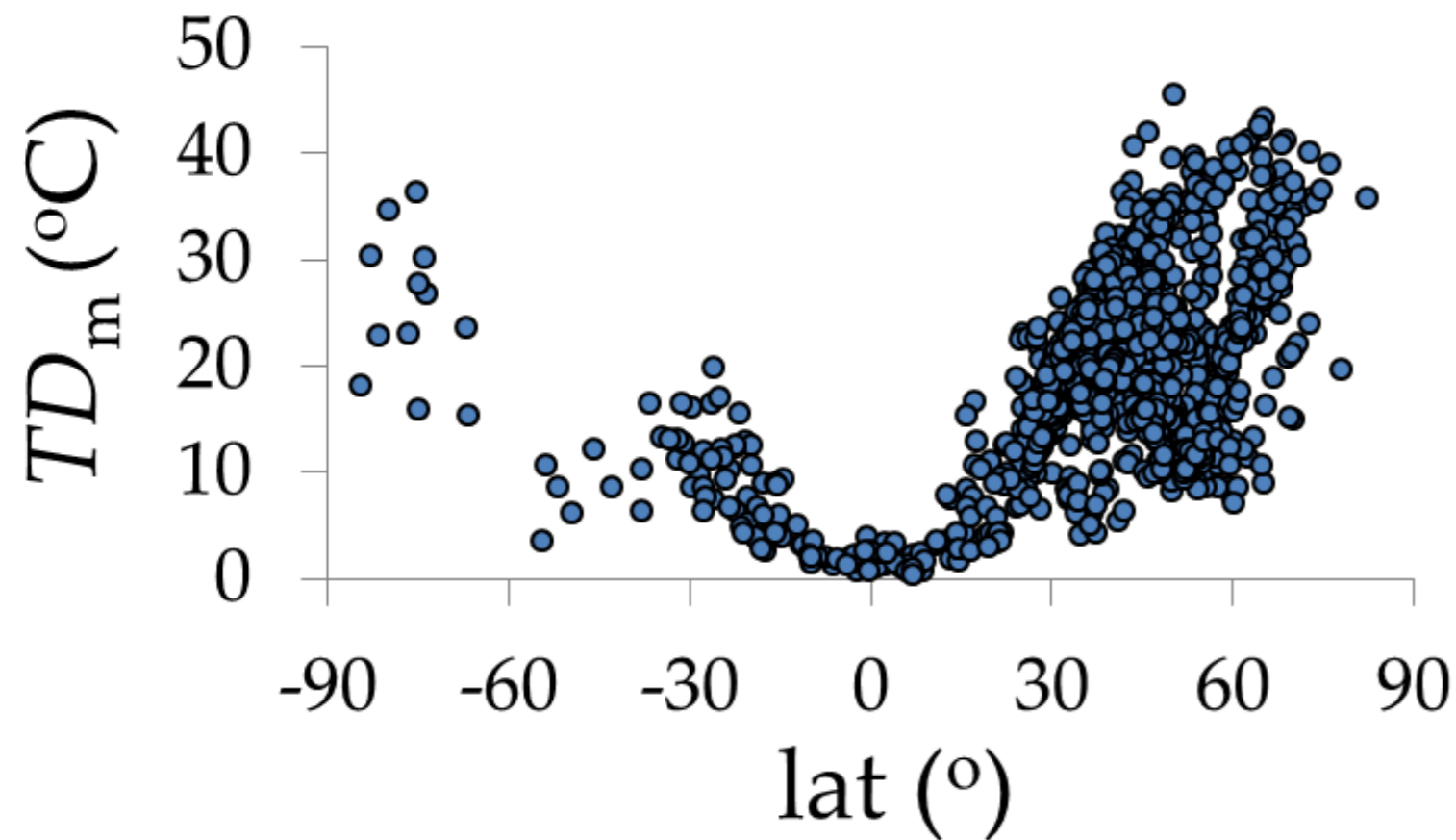


Μεγάλη ωριαία διακύμανση στον ισημερινό.

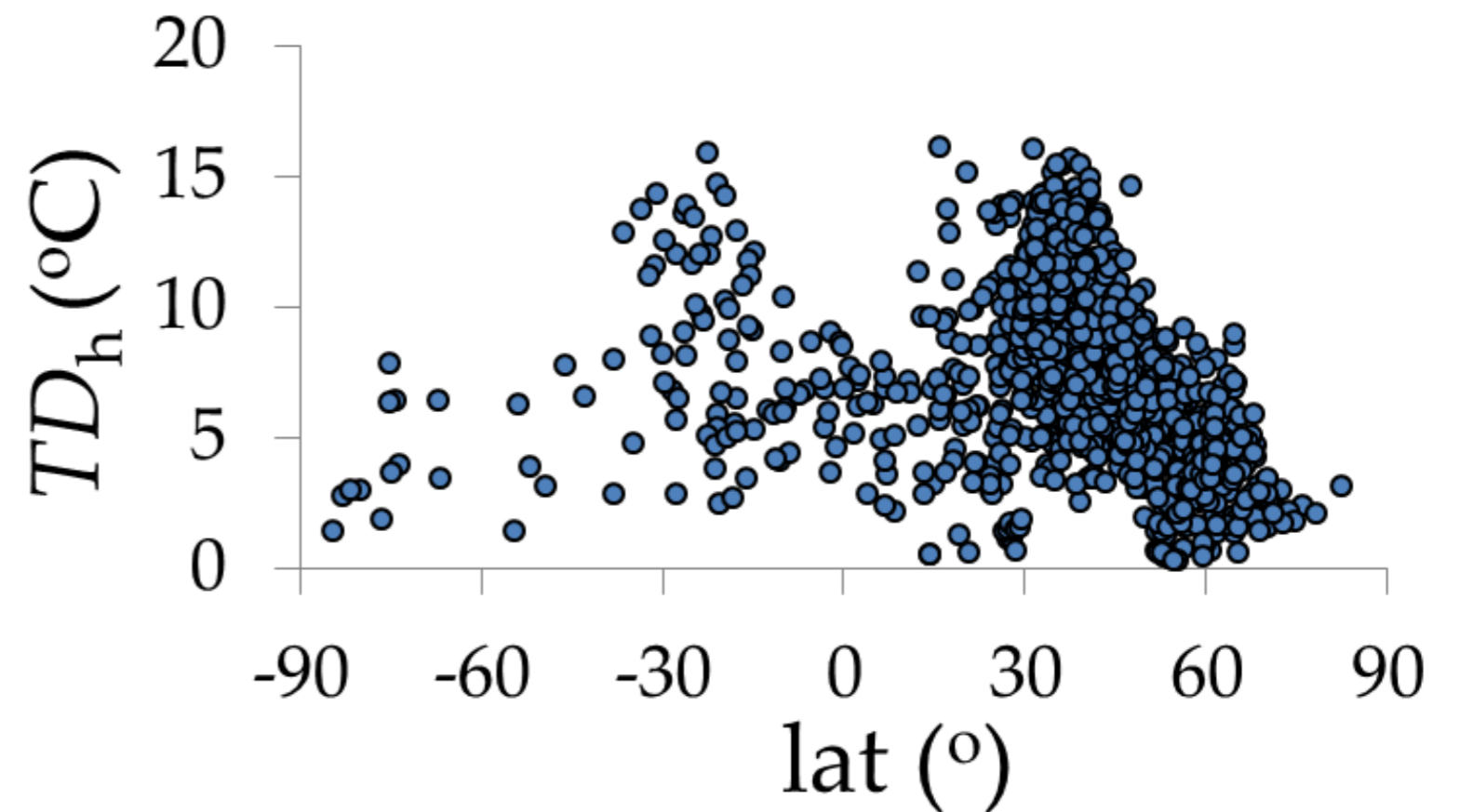
# 11. Θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα

Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας:  
 $TD_m = \text{Μέγιστη μηνιαία} - \text{ελάχιστη μηνιαία}.$

Ωριαία διακύμανση θερμοκρασίας:  
 $TD_h = \text{Μέγιστη ωριαία} - \text{ελάχιστη ωριαία}.$   
(και μέσος όρος για τους 12 μήνες)



Μεγάλη μηνιαία διακύμανση στους πόλους.

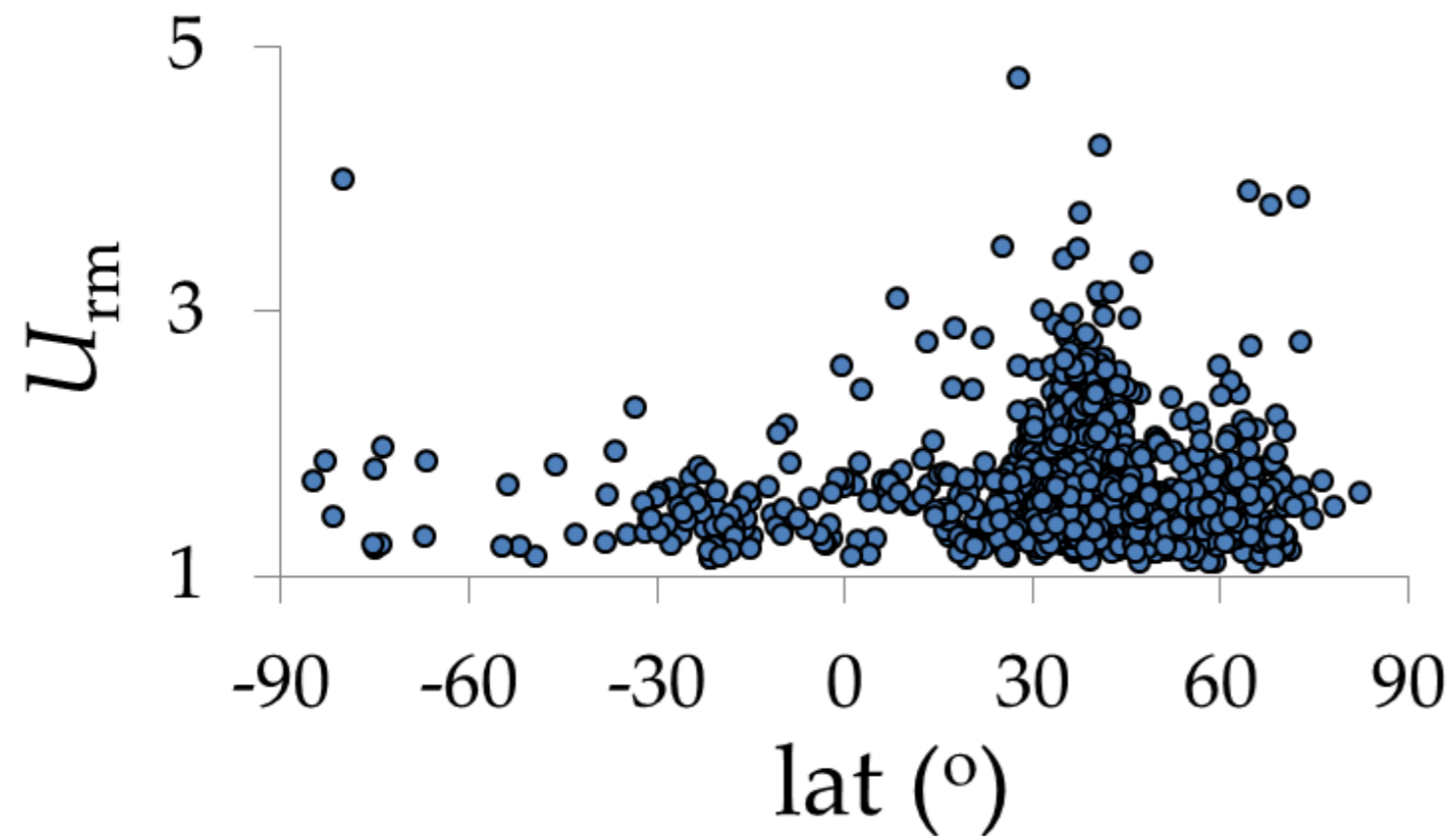


Μεγάλη ωριαία διακύμανση στους τροπικούς – μορφή «M»

## 12. Ταχύτητα ανέμου

Μηνιαία διακύμανση ανέμου:

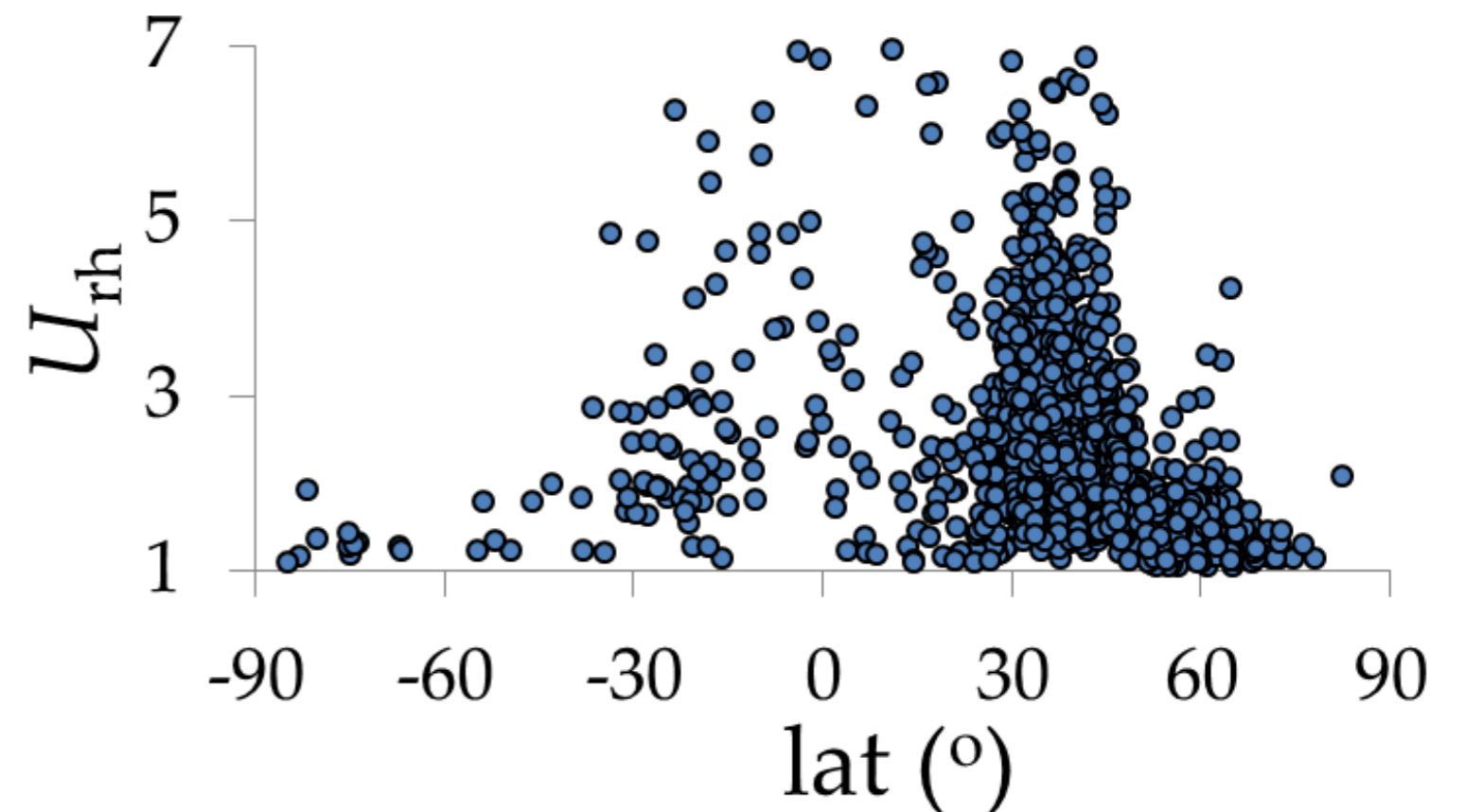
$UR_m = \text{Μέγιστη μηνιαία} / \text{ελάχιστη μηνιαία}$ .



Σημαντική μηνιαία διακύμανση:  
2/3 των σταθμών:  $UR_m > 1,5$

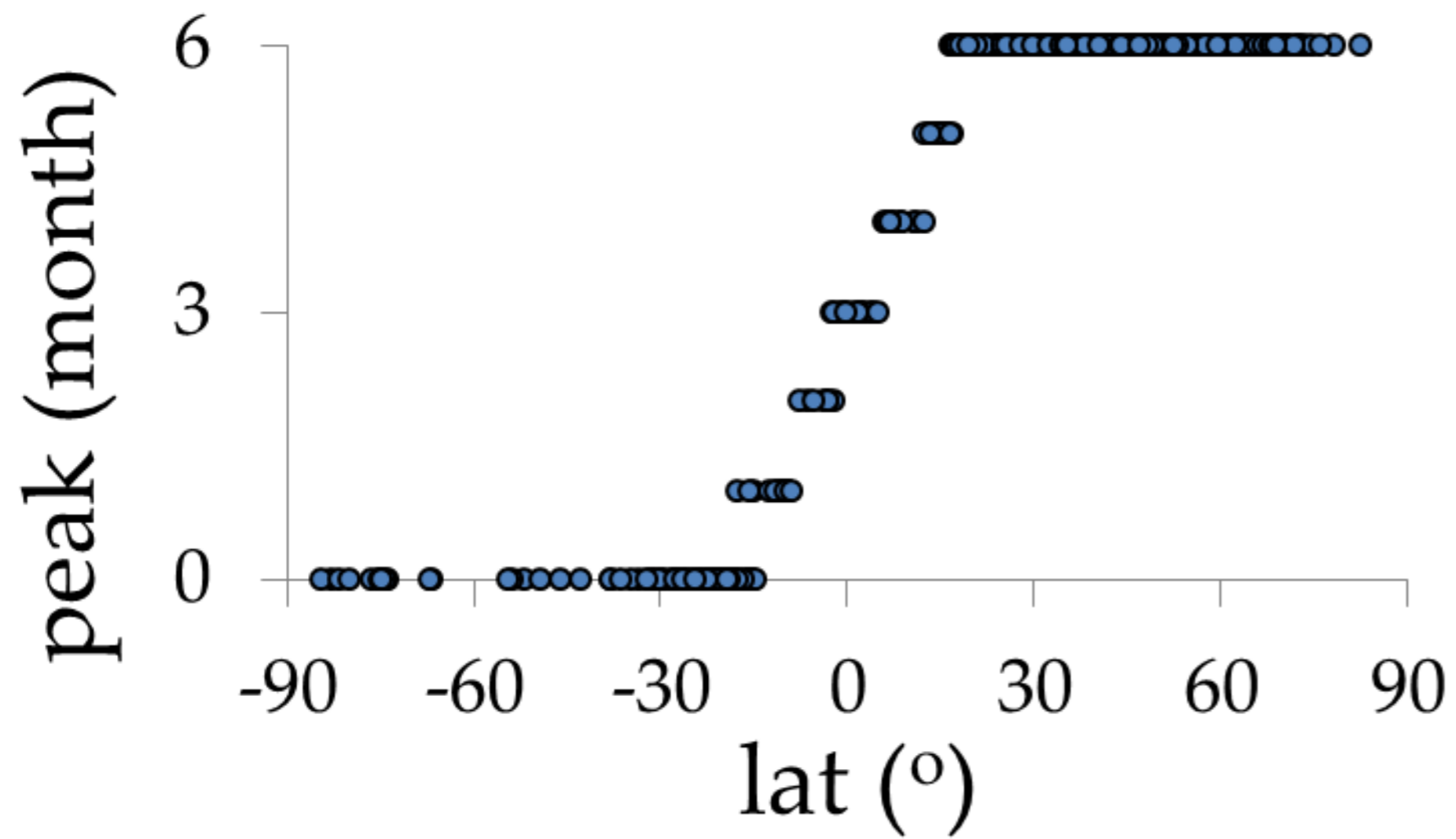
Ωριαία διακύμανση ανέμου:

$UR_h = \text{Μέγιστη ωριαία} / \text{ελάχιστη ωριαία}$ .  
(και μέσος όρος για τους 12 μήνες)



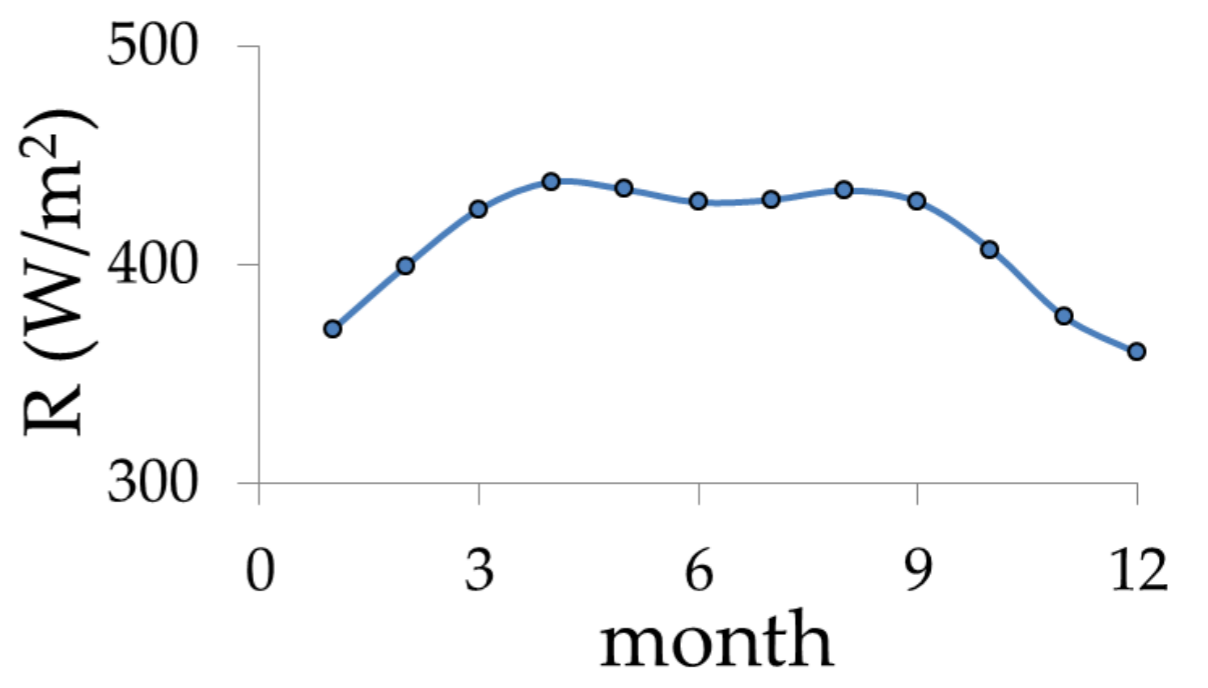
Σημαντική ωριαία διακύμανση:  
46% σταθμών:  $UR_h > 2$

# 13. Αιχμή ακτινοβολίας (μηνιαία)

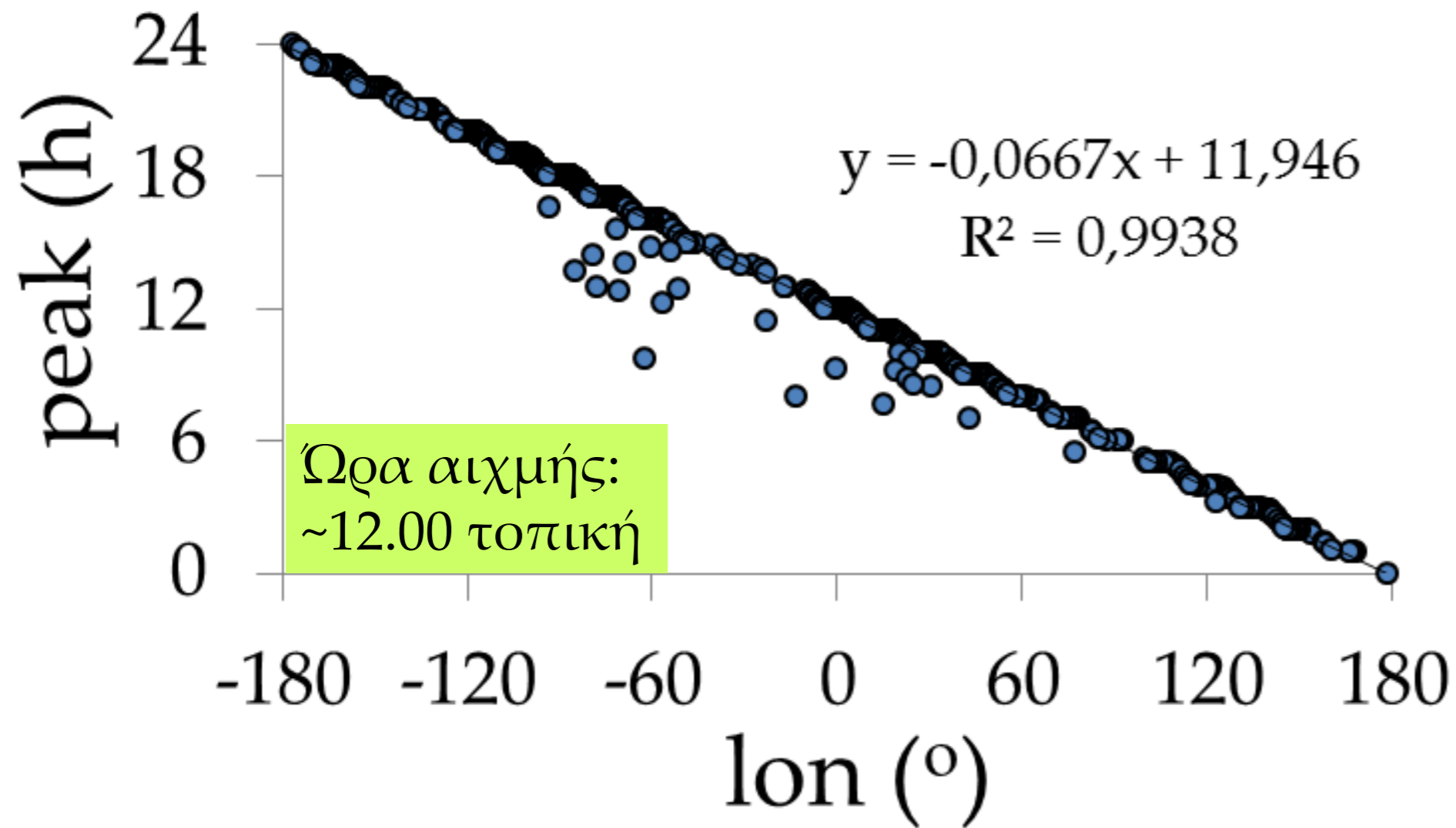


Μήνας αιχμής: Ιούνιος & Δεκέμβριος (Βόρειο & Νότιο)

π.χ. 10° Βόρεια:  
μαθηματικά ο Απρίλιος,  
πρακτικά ο Ιούνιος...



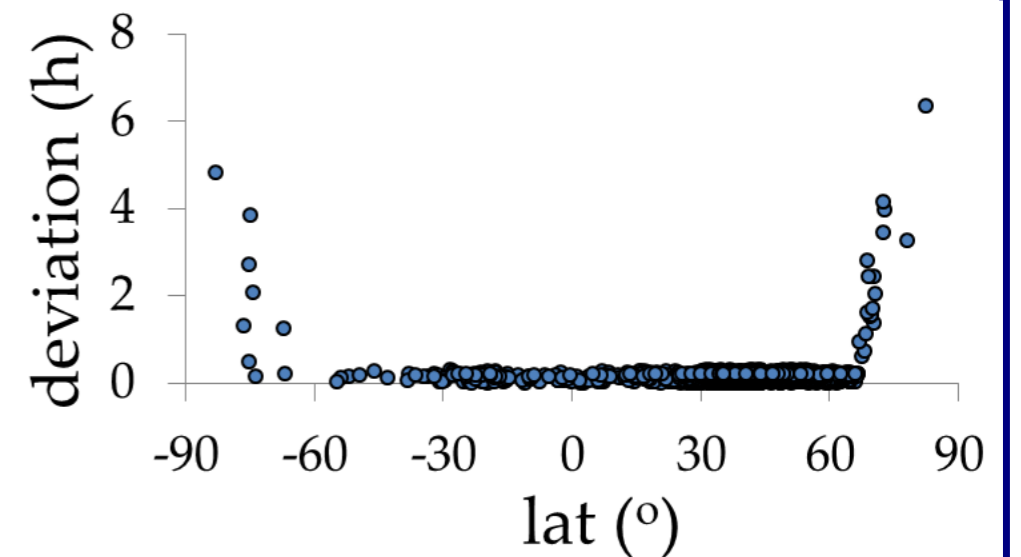
# 14. Αιχμή ακτινοβολίας (ωριαία)



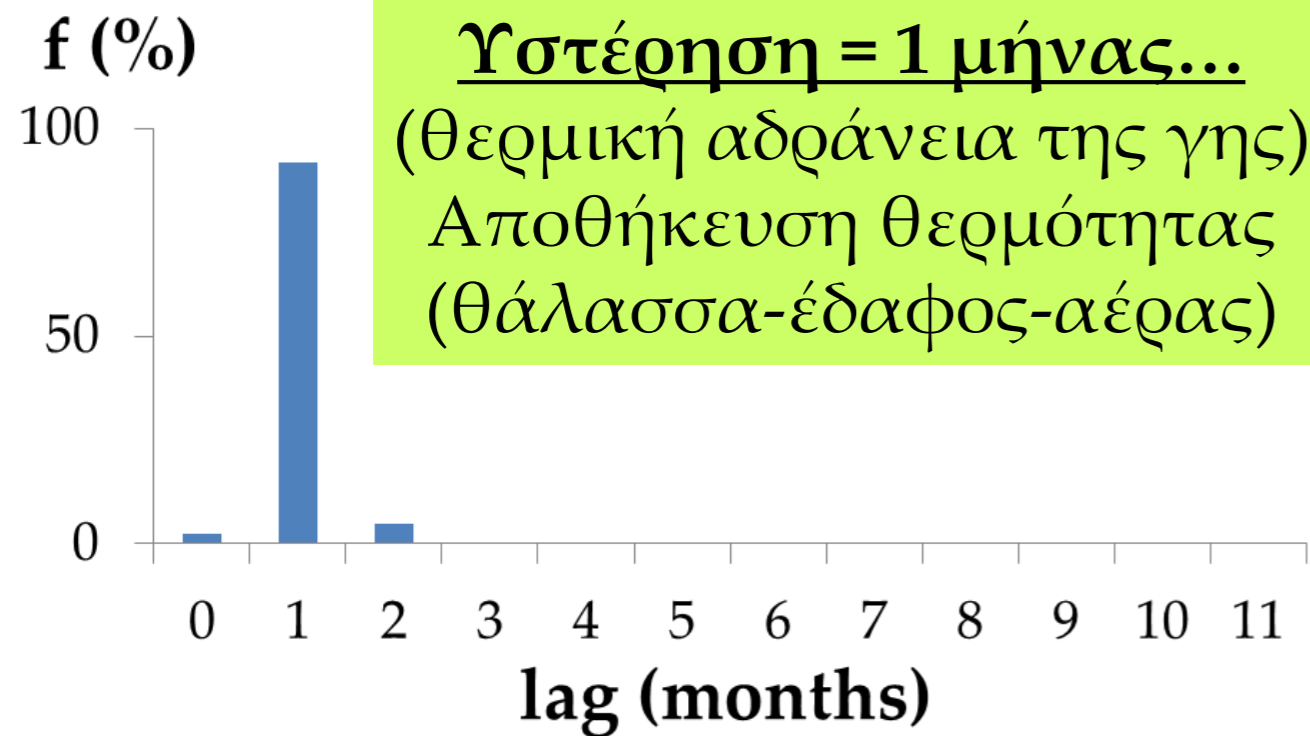
Greenwich → γραμμική με το γεωγραφικό μήκος.  
Γιατί δουλεύω με ώρα Greenwich???

- 1) Ευκολότερη διερεύνηση συσχέτισης με άνεμο, θερμοκρασία
- 2) Παράκαμψη δυσκολιών με τοπικές ώρες, αποστάσεις από μεσημβρινούς: μόνο γ. μήκος

Μικρές αποκλίσεις μόνο κοντά στους πόλους (ασάφεια ώρας αιχμής)



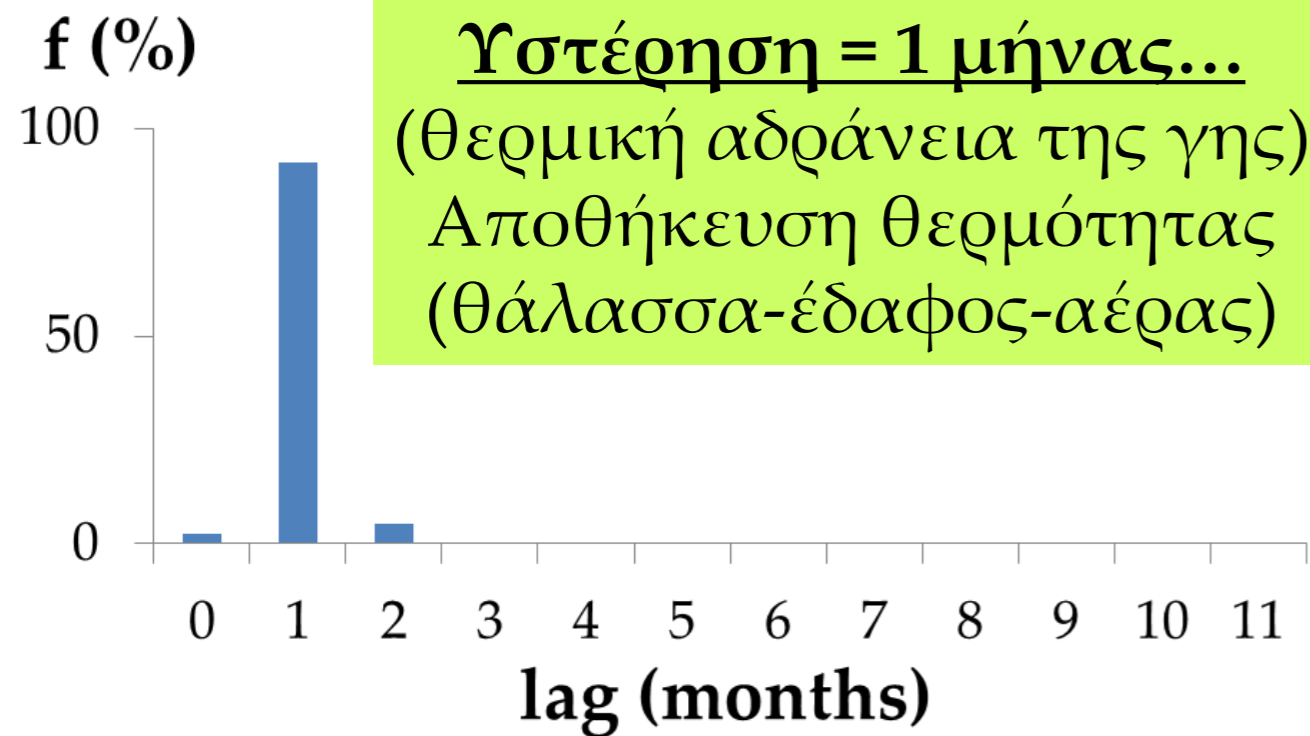
# 15. Συσχέτιση θερμοκρασίας-ακτινοβολίας (μηνιαία)



Μεγάλες ζέστες → Ιούλιος



# 15. Συσχέτιση θερμοκρασίας-ακτινοβολίας (μηνιαία)

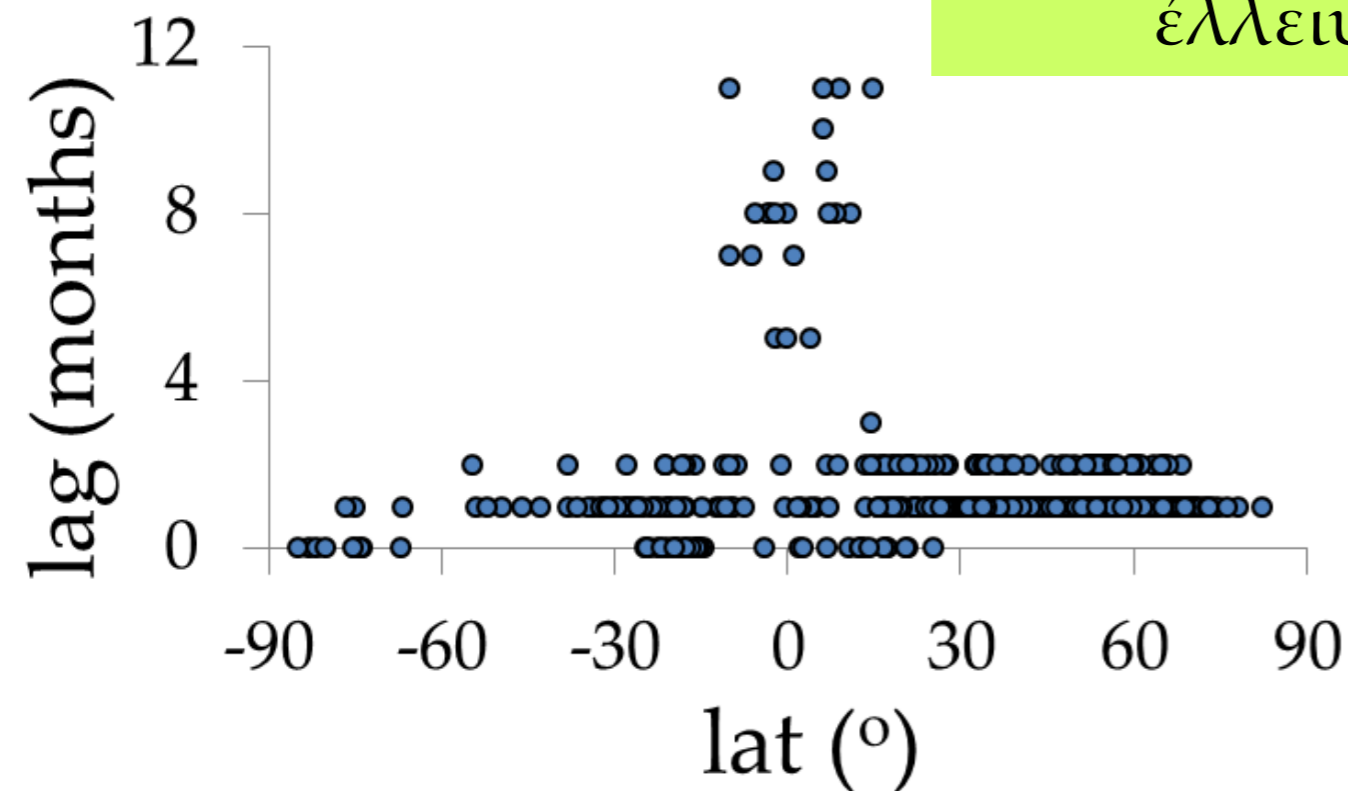


Υστέρηση = 1 μήνας...  
(θερμική αδράνεια της γης)  
Αποθήκευση θερμότητας  
(θάλασσα-έδαφος-αέρας)

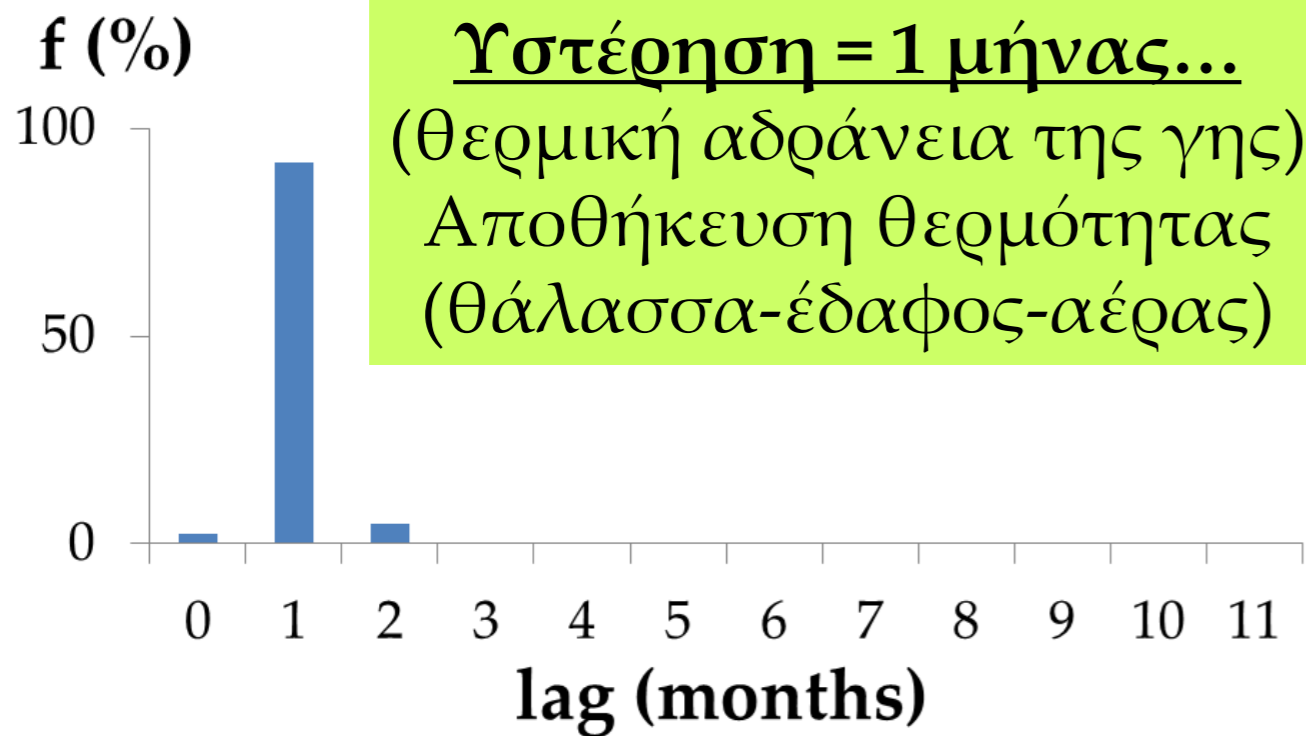


Μεγάλες ζέστες → Ιούλιος

...εκτός από τον ισημερινό.  
(ασάφεια μήνα αιχμής –  
έλλειψη εποχών)



# 15. Συσχέτιση θερμοκρασίας-ακτινοβολίας (μηνιαία)

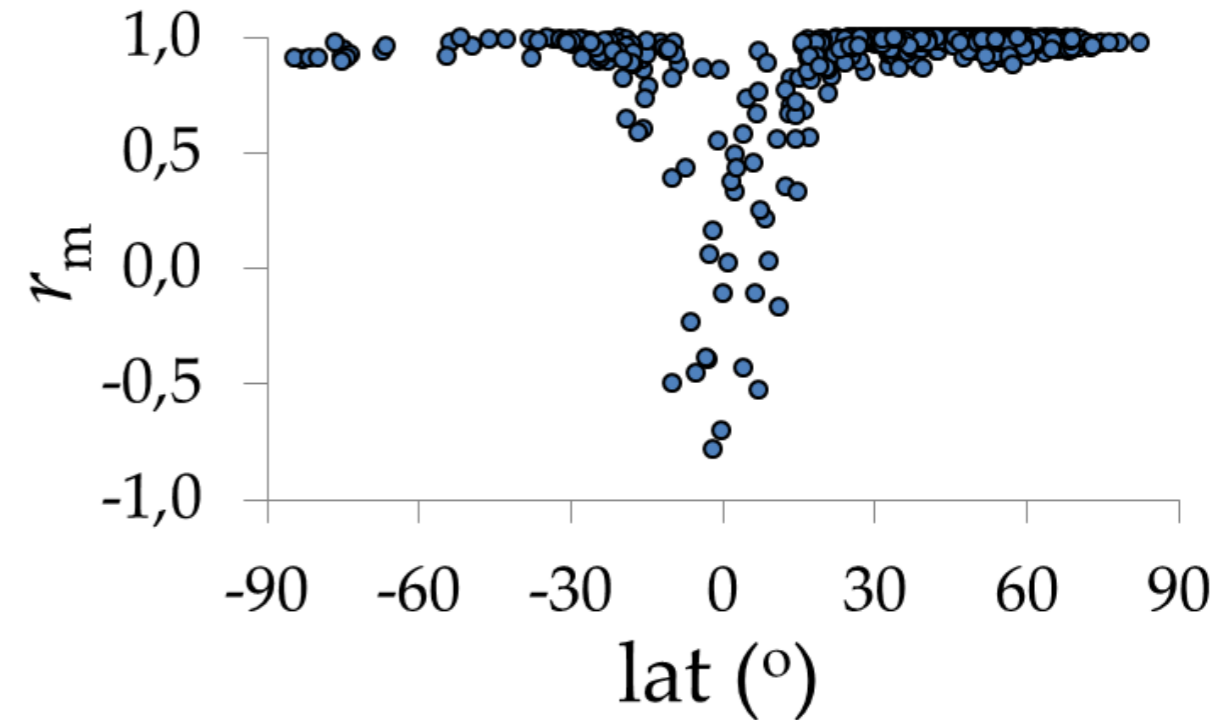
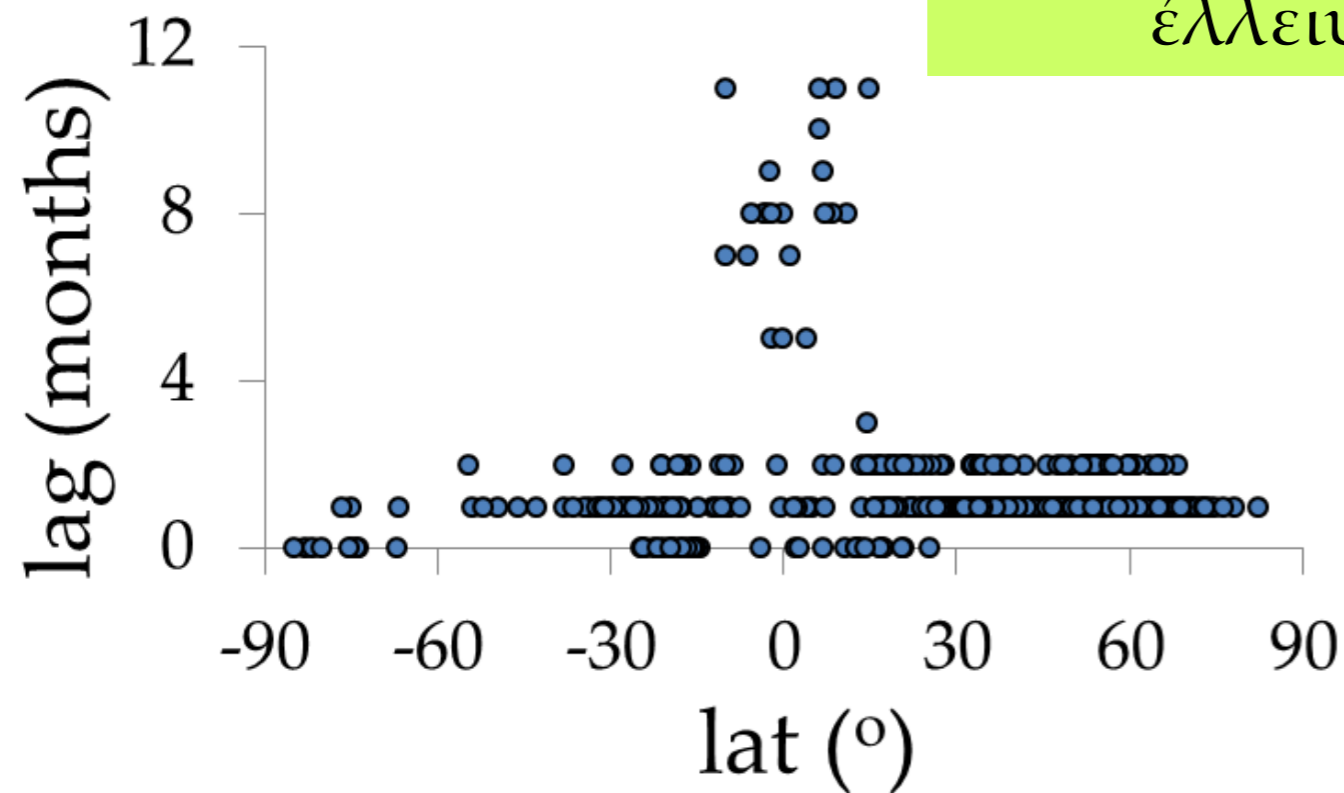


Υστέρηση = 1 μήνας...  
 (θερμική αδράνεια της γης)  
 Αποθήκευση θερμότητας  
 (θάλασσα-έδαφος-αέρας)



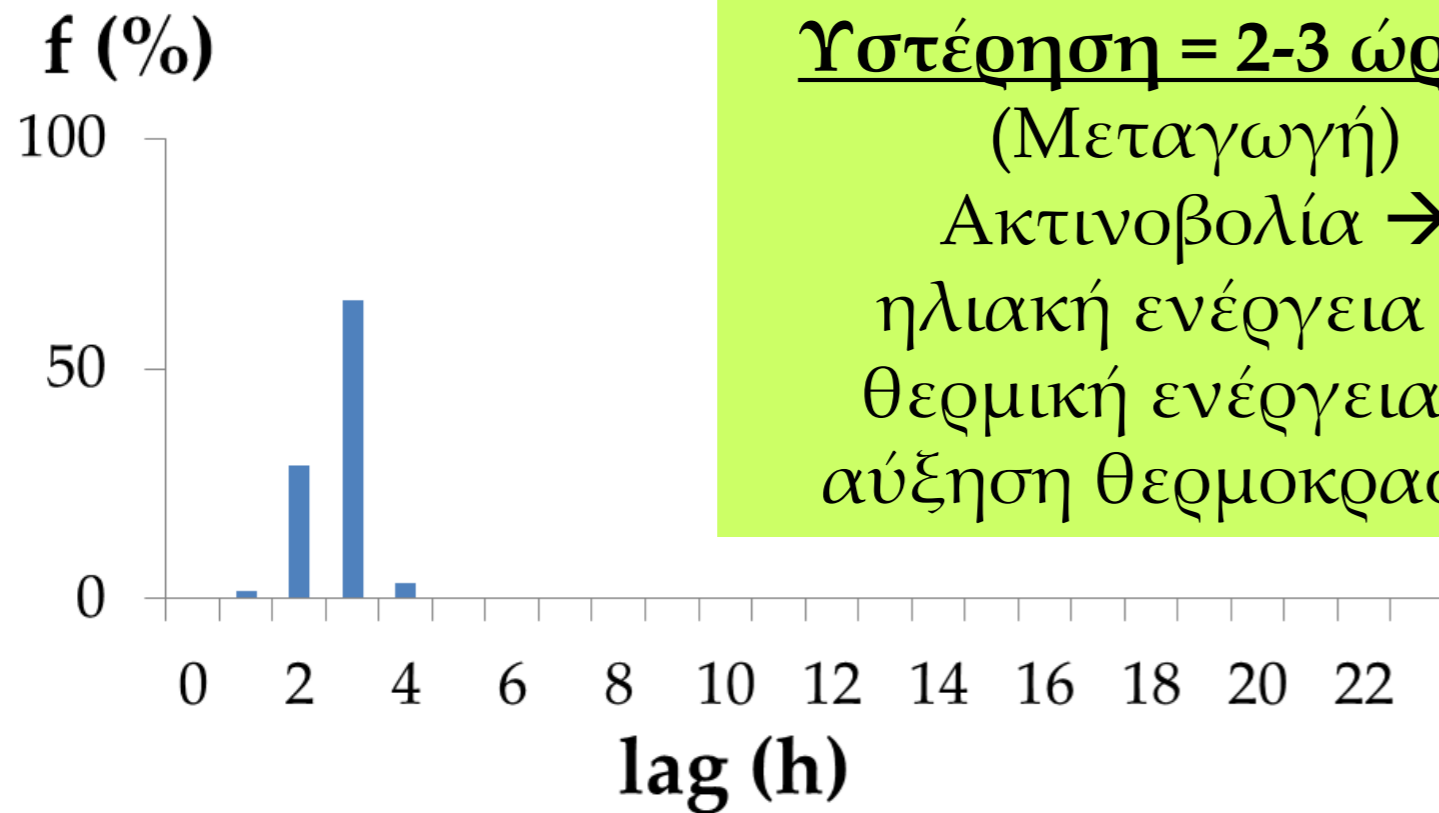
Μεγάλες ζέστες → Ιούλιος

...εκτός από τον ισημερινό.  
 (ασάφεια μήνα αιχμής –  
 έλλειψη εποχών)



Υστέρηση 1 μήνας =>  
 παγκοσμίως πολύ  
υψηλή συσχέτιση.

# 16. Συσχέτιση θερμοκρασίας-ακτινοβολίας (ωριαία)



Υστέρηση = 2-3 ώρες...

(Μεταγωγή)

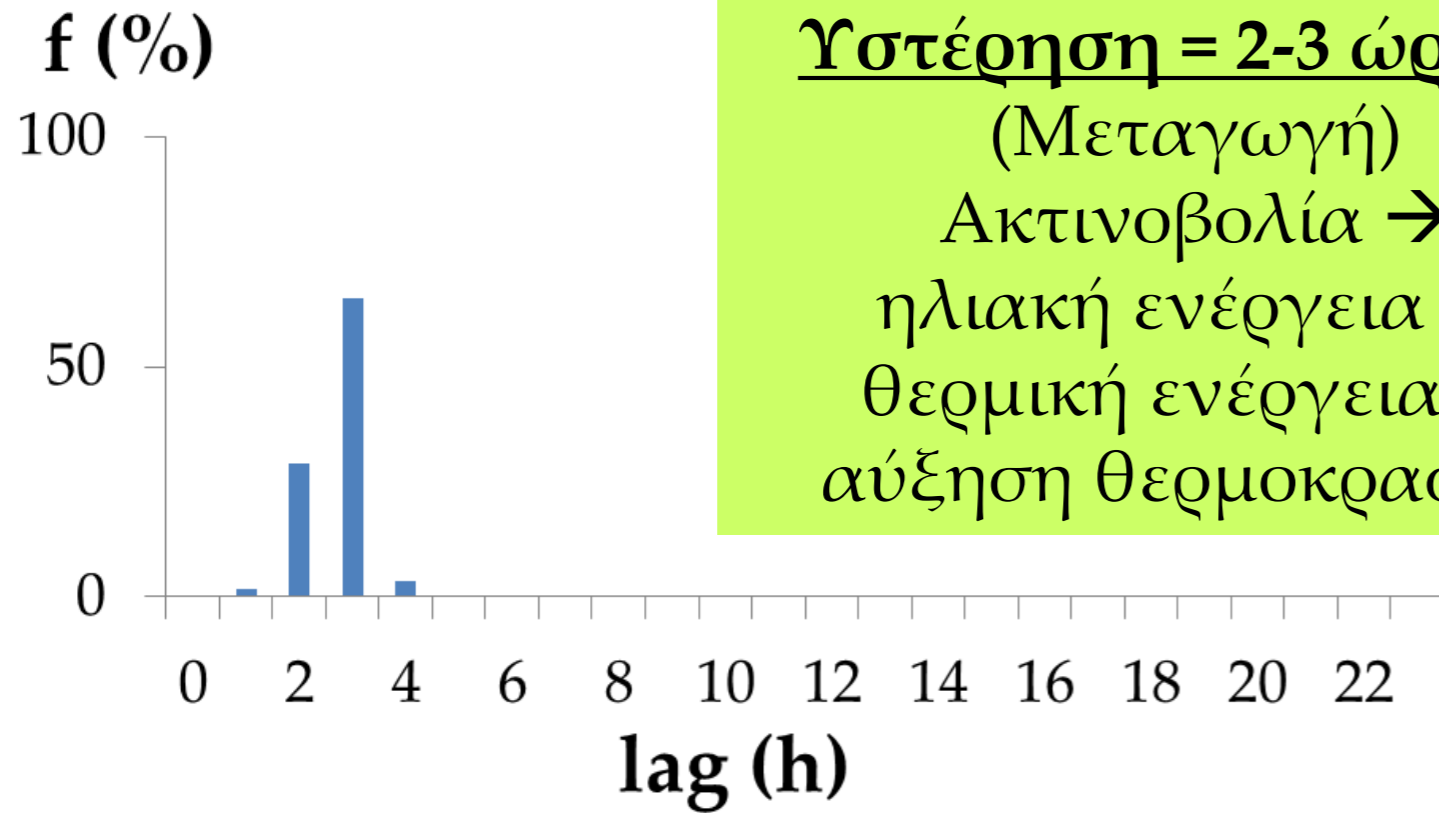
Ακτινοβολία →

ηλιακή ενέργεια →

θερμική ενέργεια →

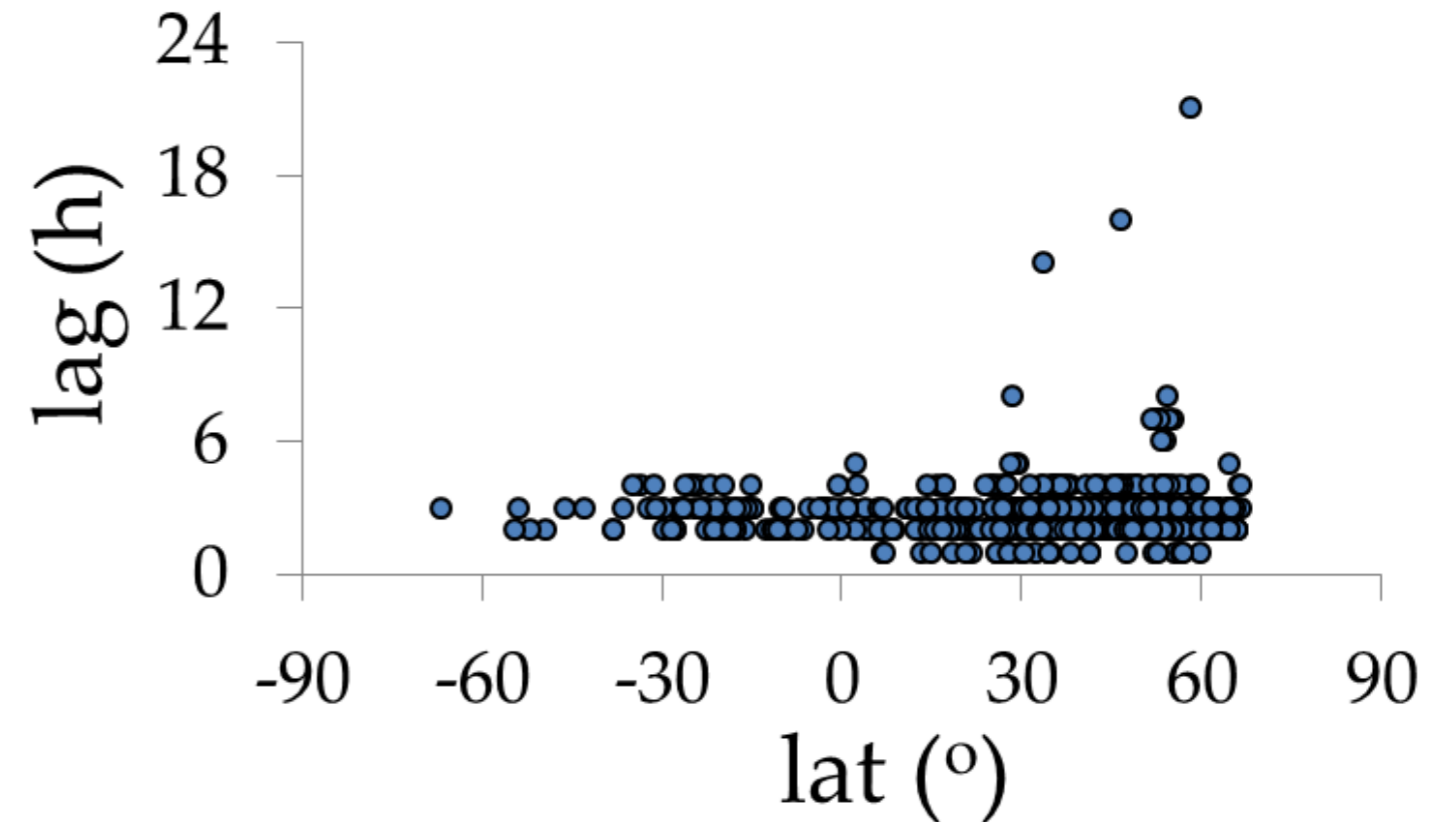
αύξηση θερμοκρασίας

# 16. Συσχέτιση θερμοκρασίας-ακτινοβολίας (ωριαία)

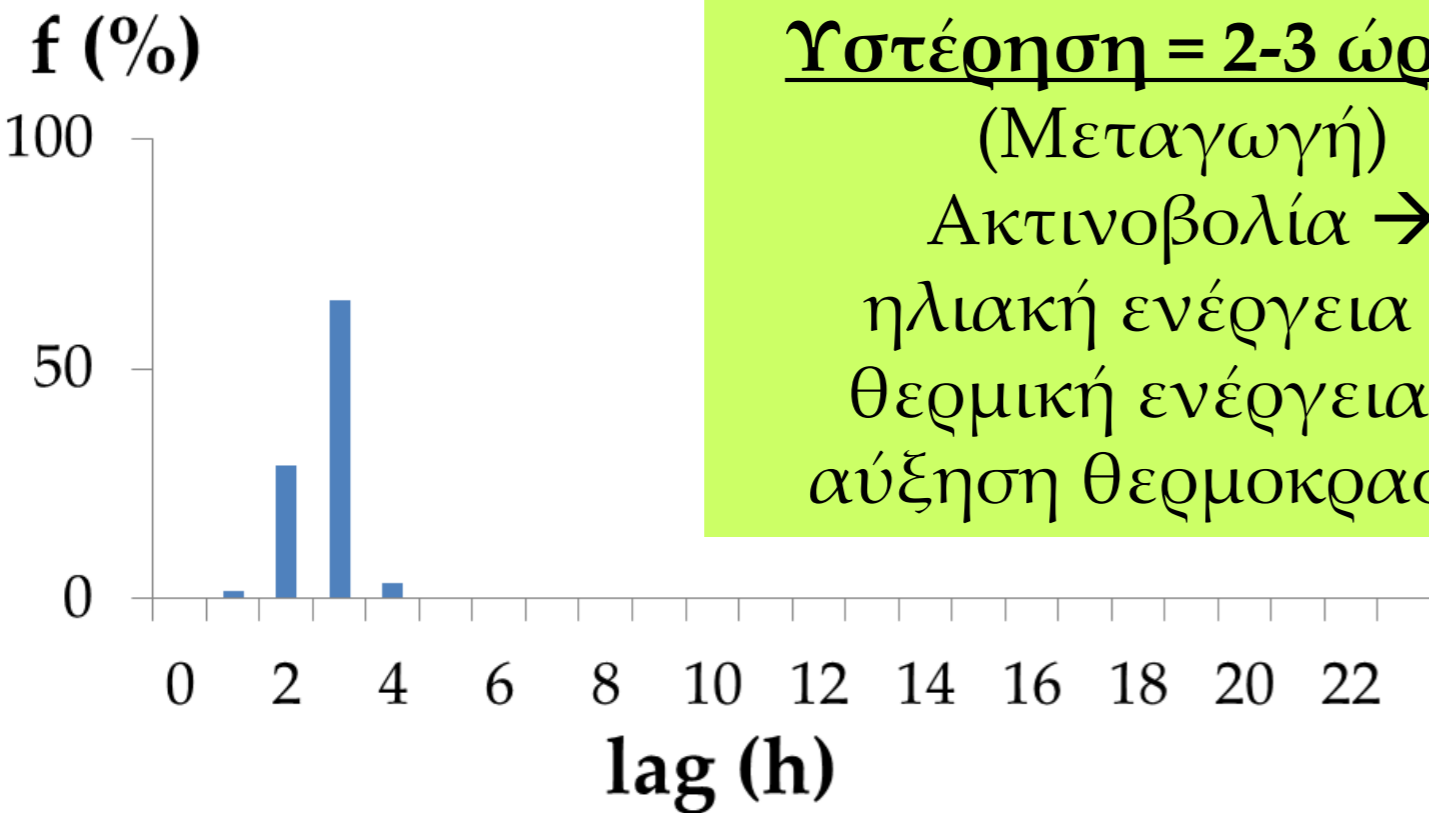


Υστέρηση = 2-3 ώρες...  
(Μεταγωγή)  
Ακτινοβολία →  
ηλιακή ενέργεια →  
θερμική ενέργεια →  
αύξηση θερμοκρασίας

...σε όλους σχεδόν  
τους σταθμούς

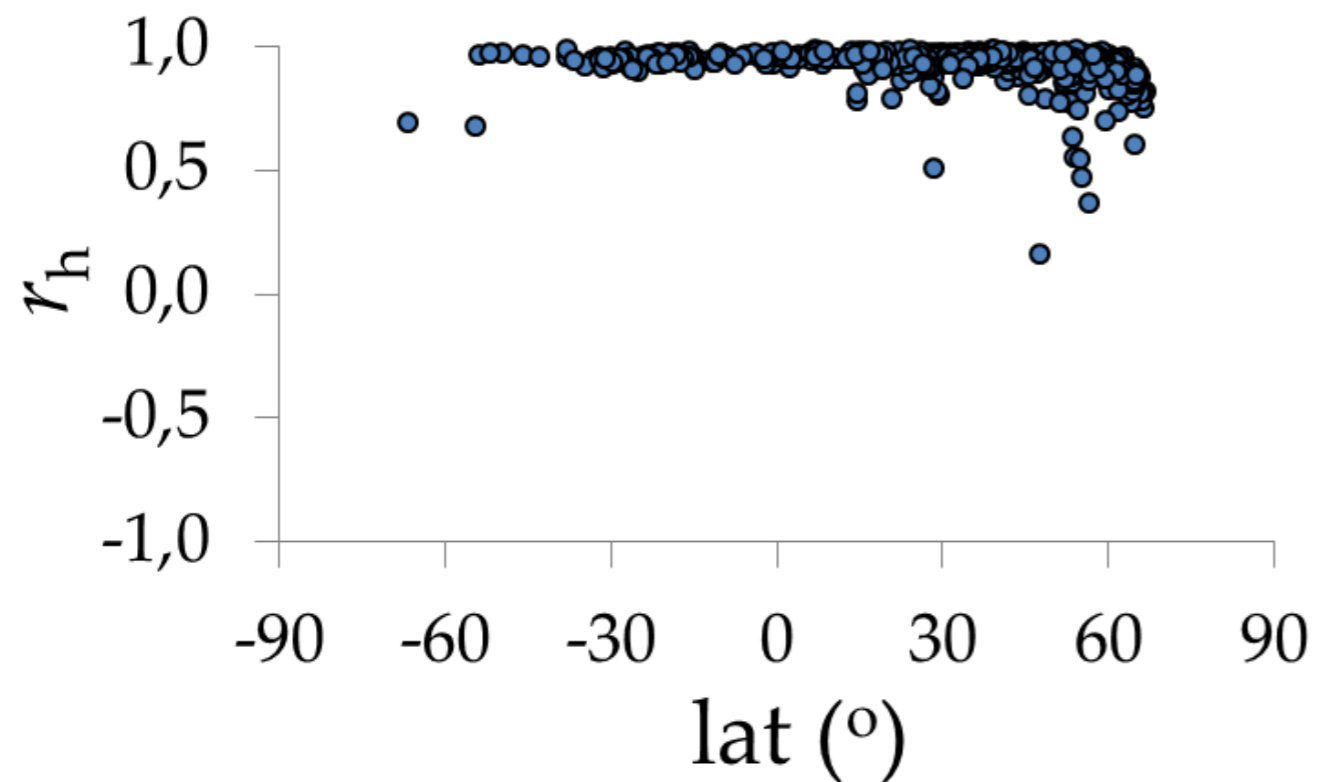
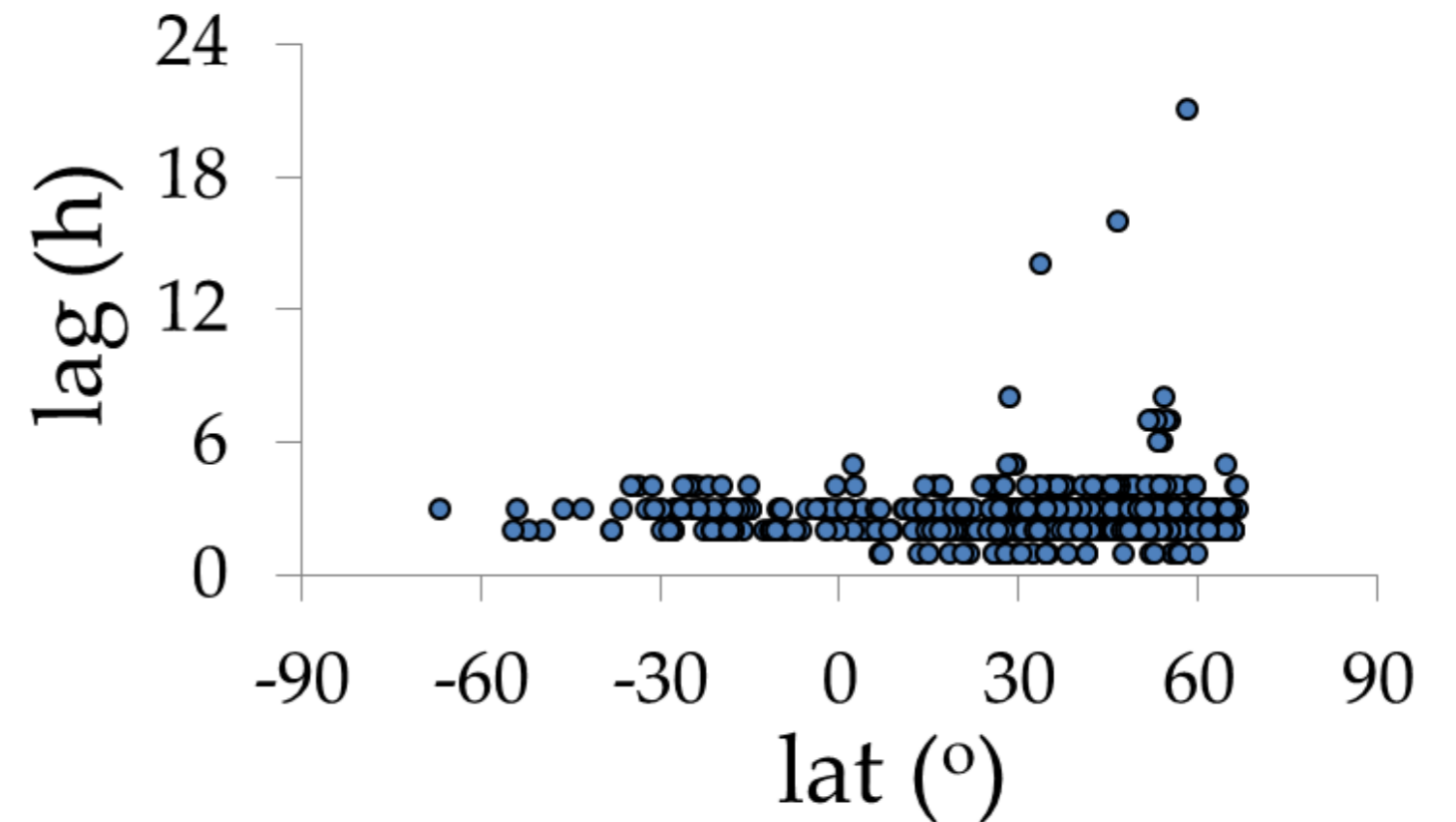


# 16. Συσχέτιση θερμοκρασίας-ακτινοβολίας (ωριαία)



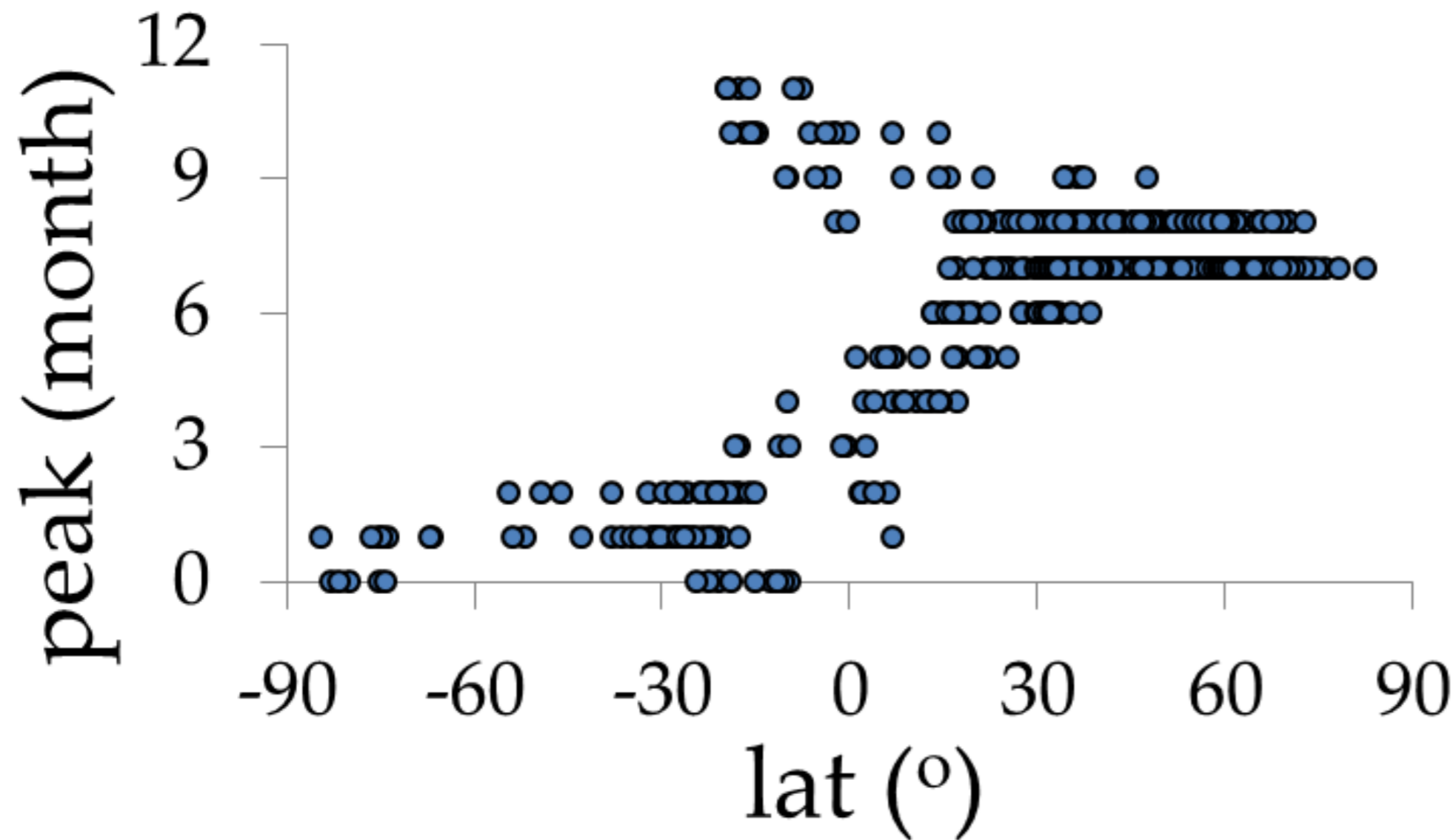
Υστέρηση = 2-3 ώρες...  
(Μεταγωγή)  
Ακτινοβολία →  
ηλιακή ενέργεια →  
θερμική ενέργεια →  
αύξηση θερμοκρασίας

...σε όλους σχεδόν  
τους σταθμούς



Υστέρηση 3 h => παγκοσμίως  
πολύ υψηλή συσχέτιση  
(93% > 0,93)

# 17. Αιχμή θερμοκρασίας (μηνιαία)



Μήνας αιχμής: 7,23 & 1,20  
(Βόρειο & Νότιο ημισφαίριο)

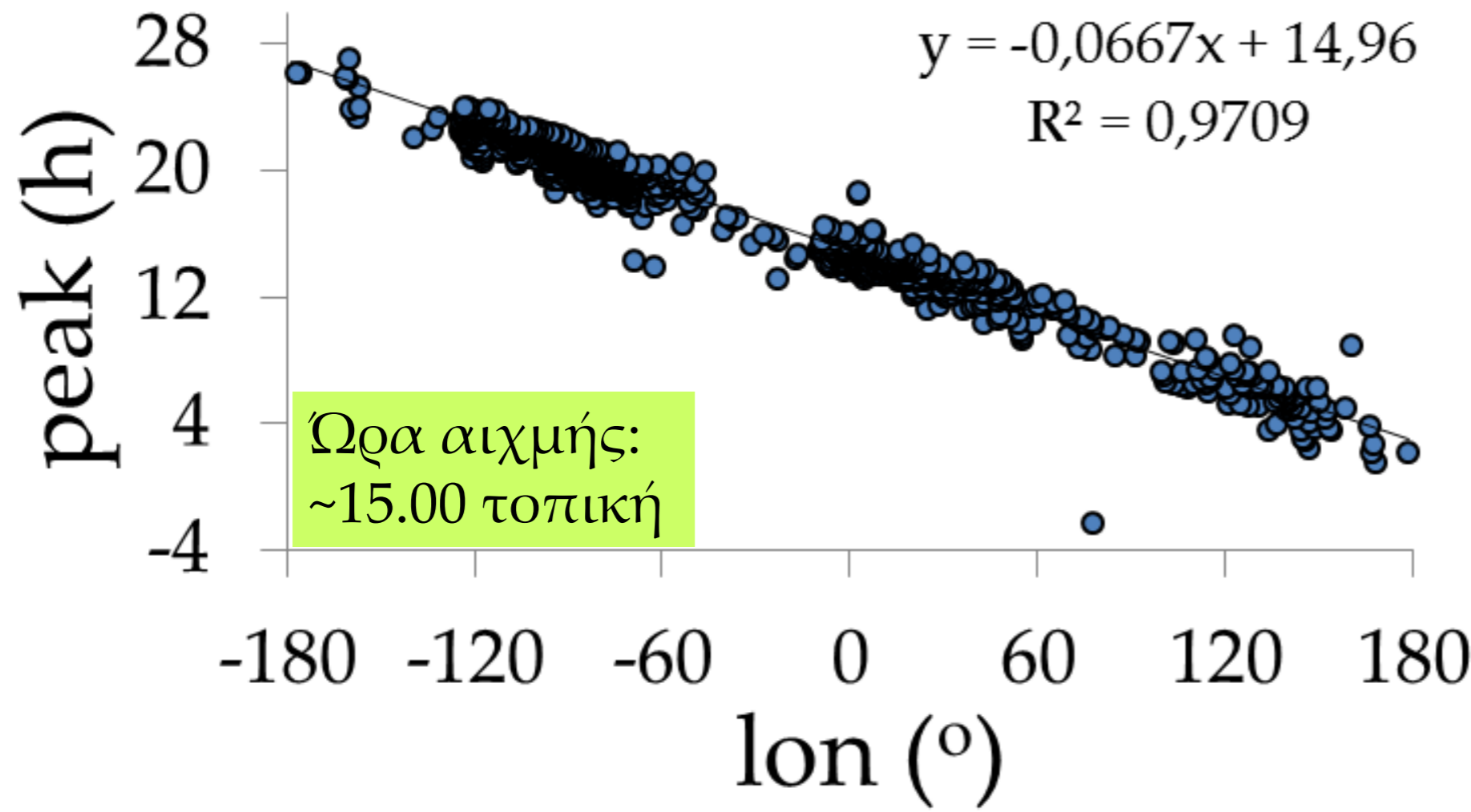
Βόρειο ημισφαίριο:

$\Theta$  (Ιούλιος) >  $\Theta$  (Αύγουστος) >  $\Theta$  (Ιούνιος)

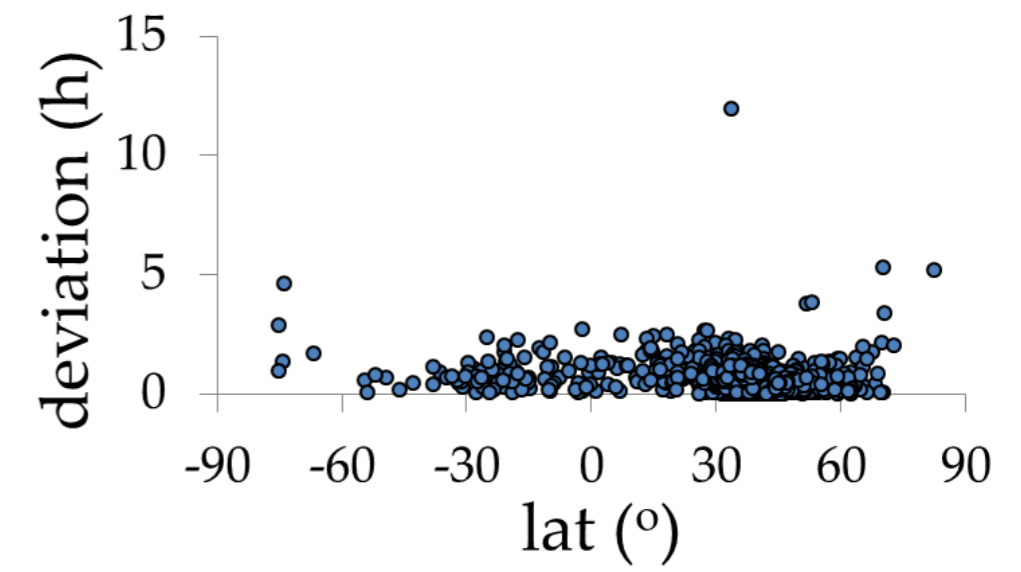
Νότιο ημισφαίριο:

$\Theta$  (Ιανουάριος) >  $\Theta$  (Φεβρουάριος) >  $\Theta$  (Δεκέμβριος)

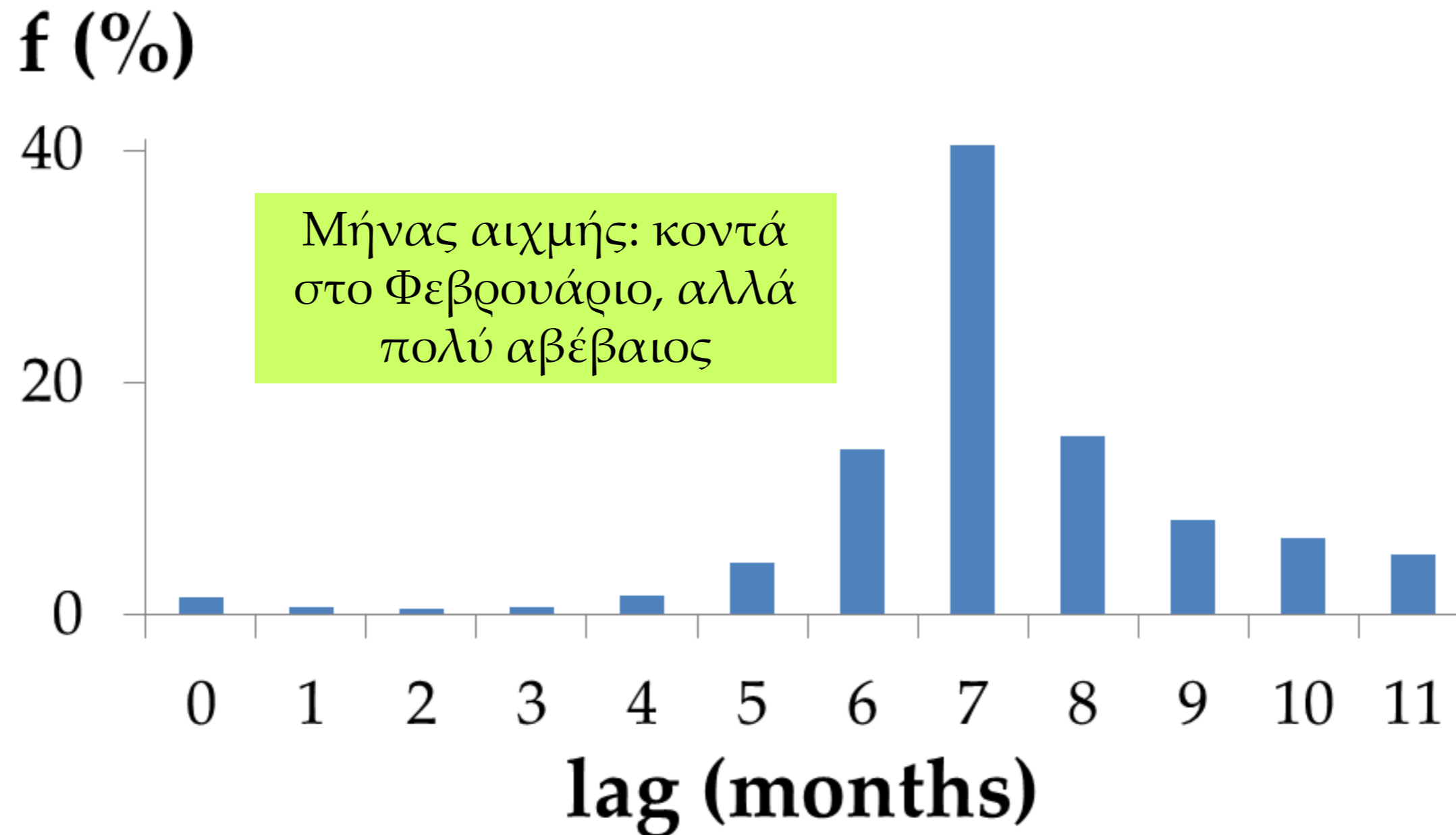
# 18. Αιχμή θερμοκρασίας (ωριαία)



Μεγαλύτερες αποκλίσεις από την ακτινοβολία → λίγο πιο αβέβαιο φαινόμενο (λογικό)



## 19. Συσχέτιση ανέμου-θερμοκρασίας (μηνιαία)

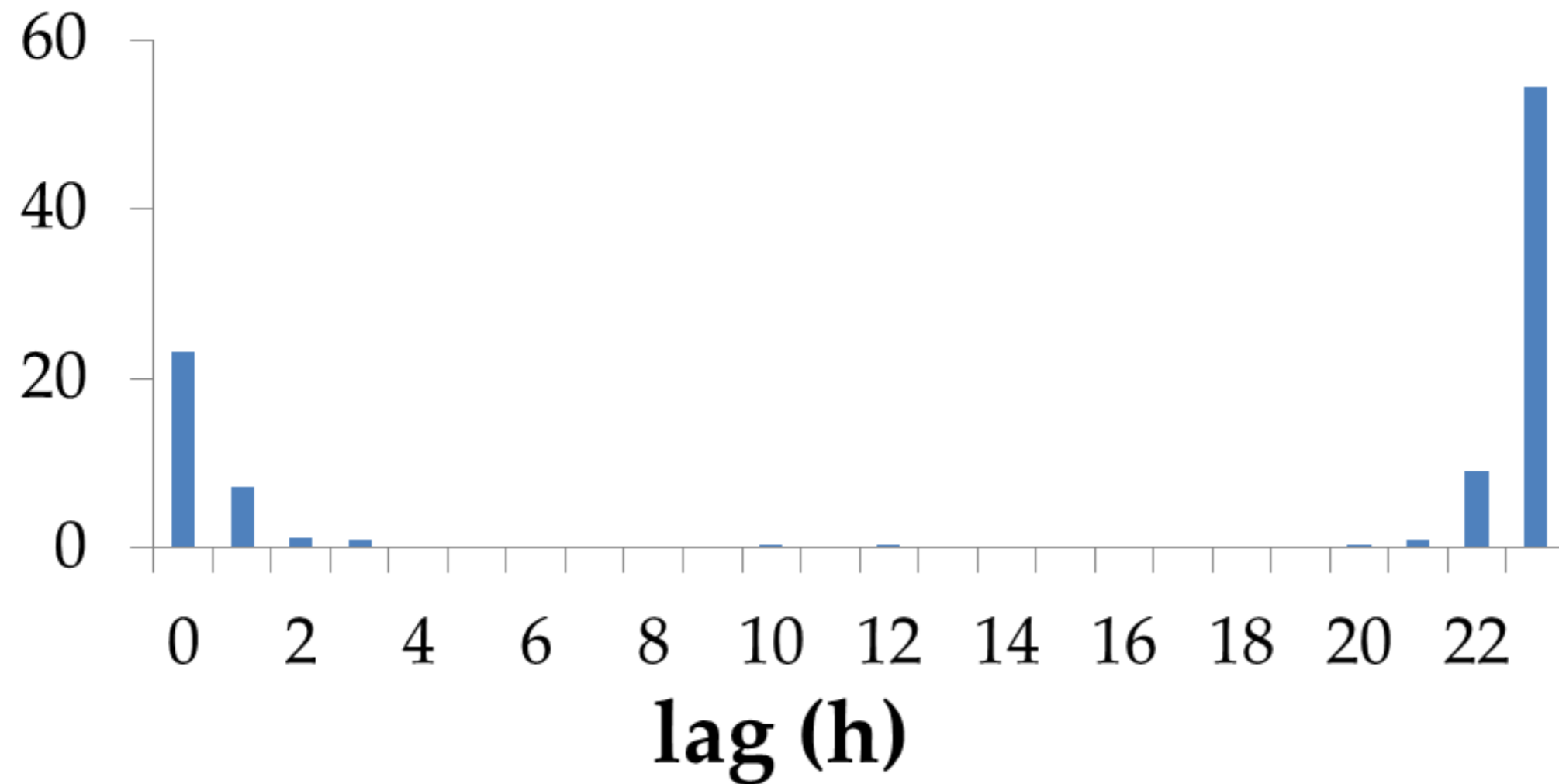


Μηνιαία Υστέρηση = ???...  
Ούτε καν στην Ελλάδα δεν είναι σταθερός ο μήνας αιχμής ανέμου (πχ. μελτέμια)



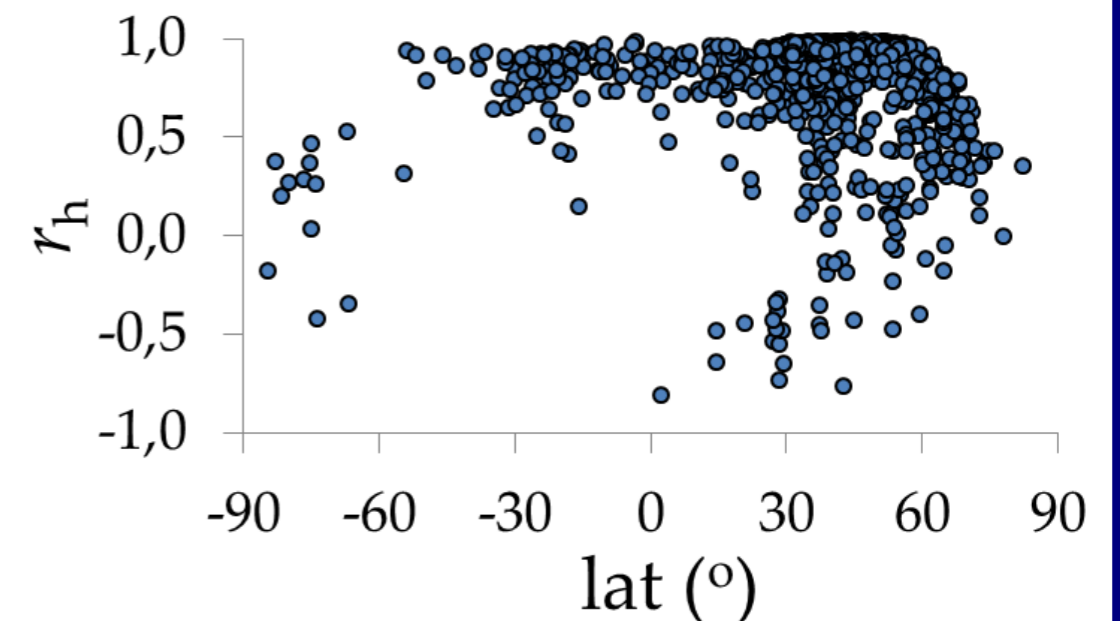
## 20. Συσχέτιση ανέμου-θερμοκρασίας (ωριαία)

$f$  (%)



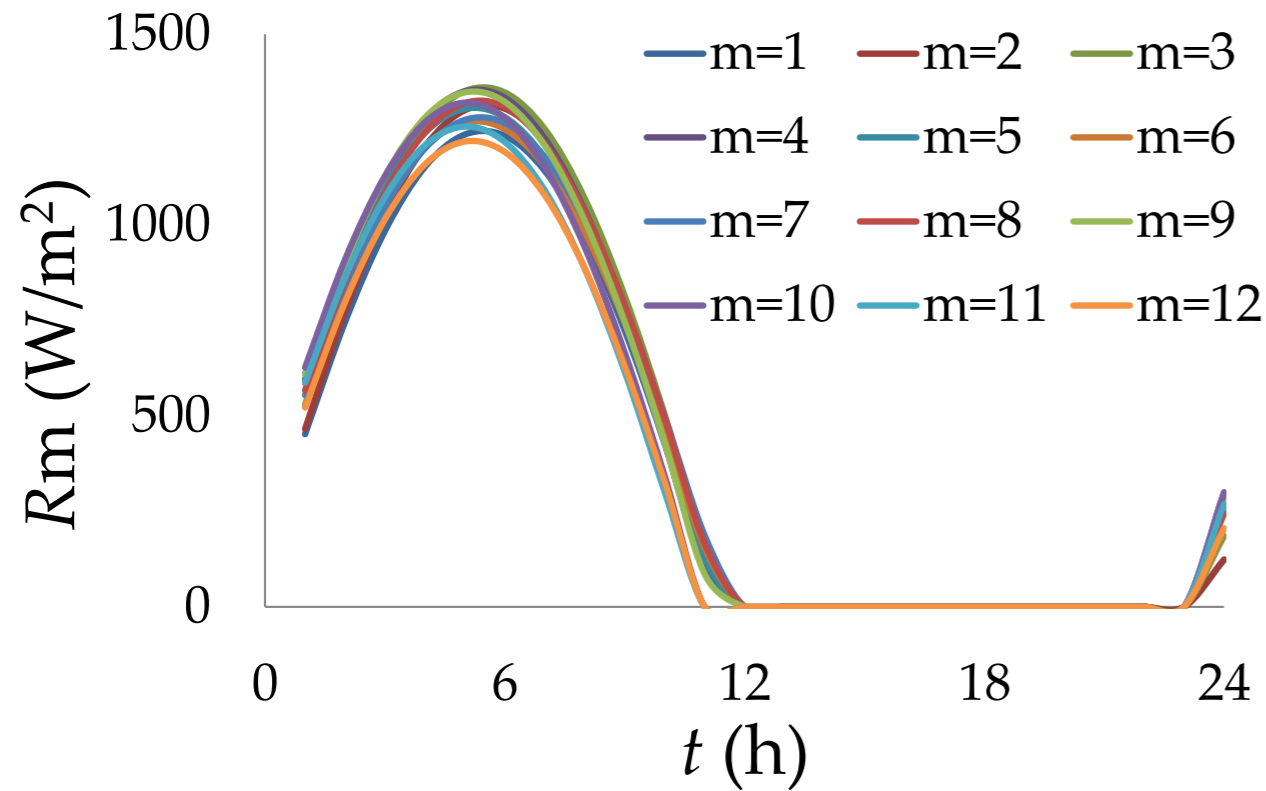
Ωριαία Υστέρηση = 23 = -1!  
Ο άνεμος φέρνει τη  
θερμοκρασία, η οποία  
ρυθμίζεται από τη θάλασσα.

Υστέρηση 1 h =>  
παγκοσμίως πολύ  
υψηλή συσχέτιση  
(65% > 0,9)



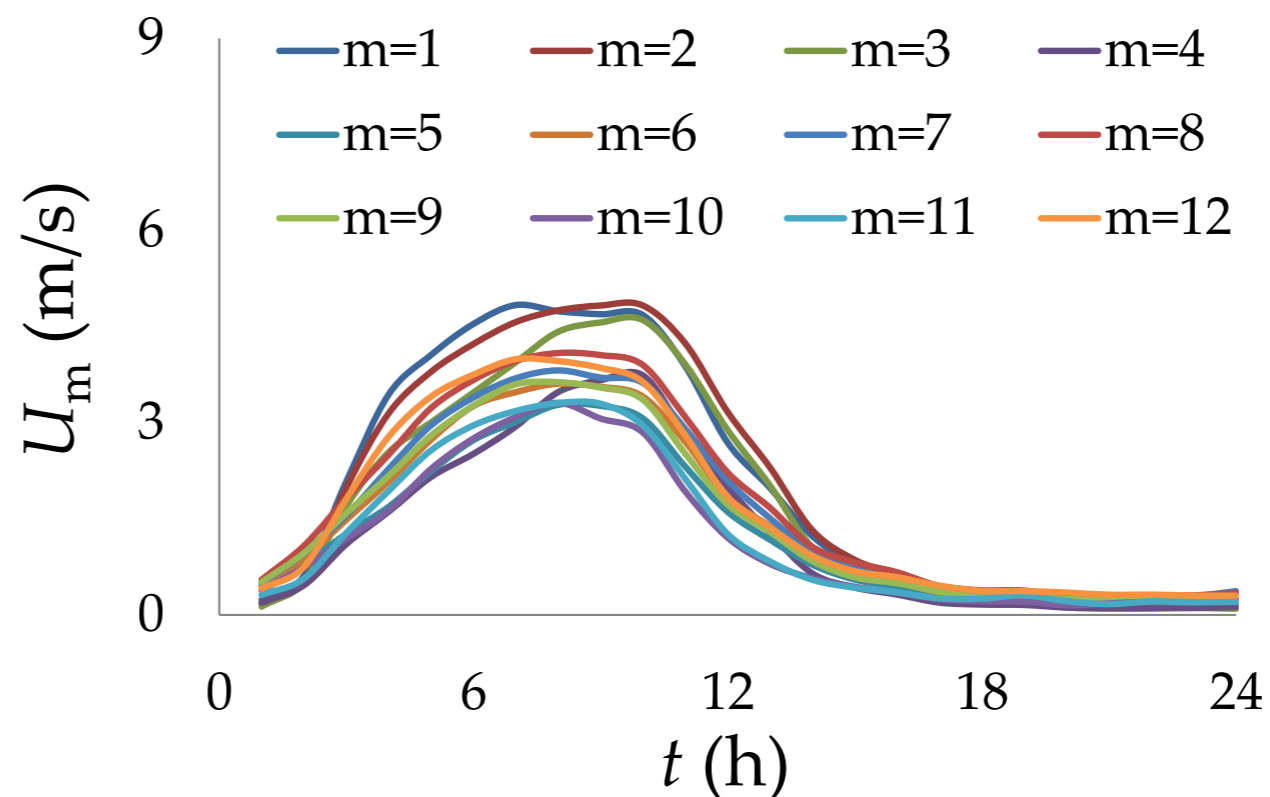
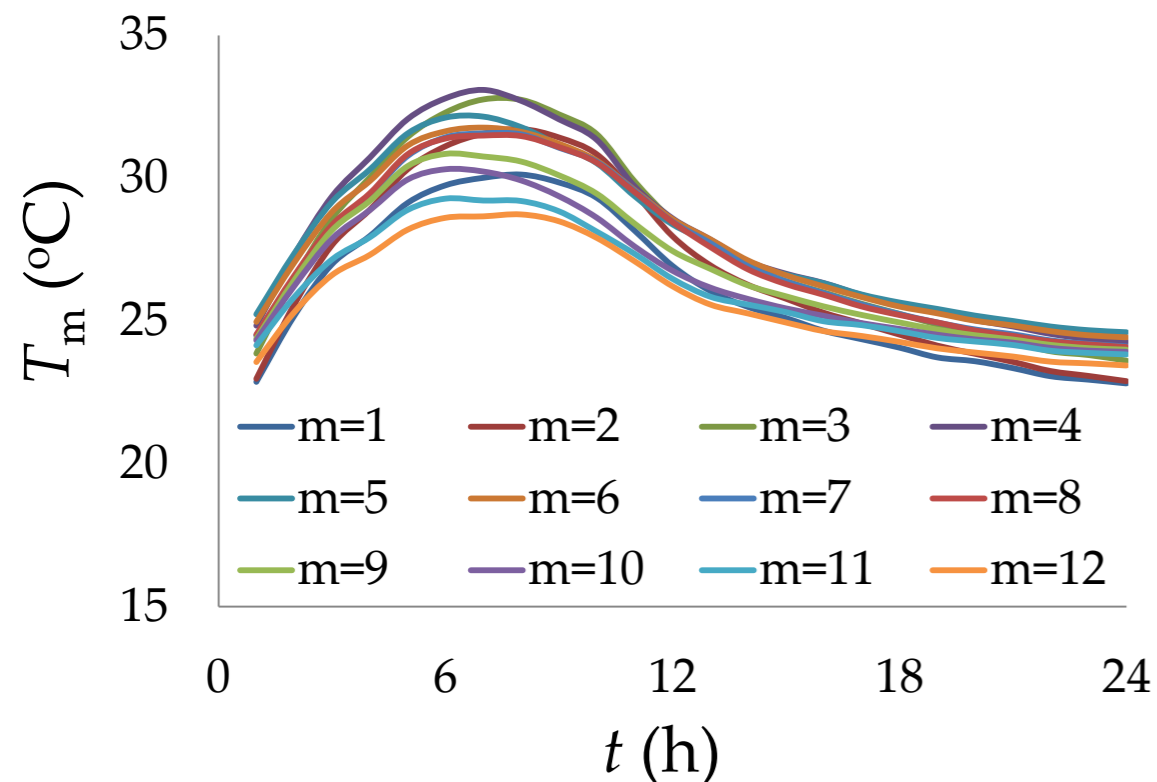
# 21. Μοντέλα διπλής κυκλοστασιμότητας

Εκθετικά + τριγωνομετρικά μοντέλα (συνδυασμός)



Για ποιο λόγο χρειάζεται εκθετικό, αφού η ακτινοβολία είναι καθαρά τριγωνομετρική συνάρτηση???

- 1) Θεωρητικά είναι τριγωνομετρική, όμως μηδενίζεται αν  $R < 0$ . Άρα μοιάζει με εκθετική!!!
- 2) Έχουν γίνει μελέτες => εκθετικές συναρτήσεις.
- 3) Θα ελεγχθεί ότι το εκθετικό είναι απαραίτητο.



Απότομη αύξηση το μεσημέρι – αργή μείωση το βράδυ.

## 22. Εκδοχές μοντέλων ανέμου (1)

ΕΚΔΟΧΗ 1:

$$\mu_c = \left( (a_1 + a_2 C_m(t)) \exp(C_h(t)) + a_3 C_m(t) + a_4 \right) \mu$$

$$C_m(t) = \cos\left(2\pi \frac{(t_m - a_m)}{T_m}\right)$$

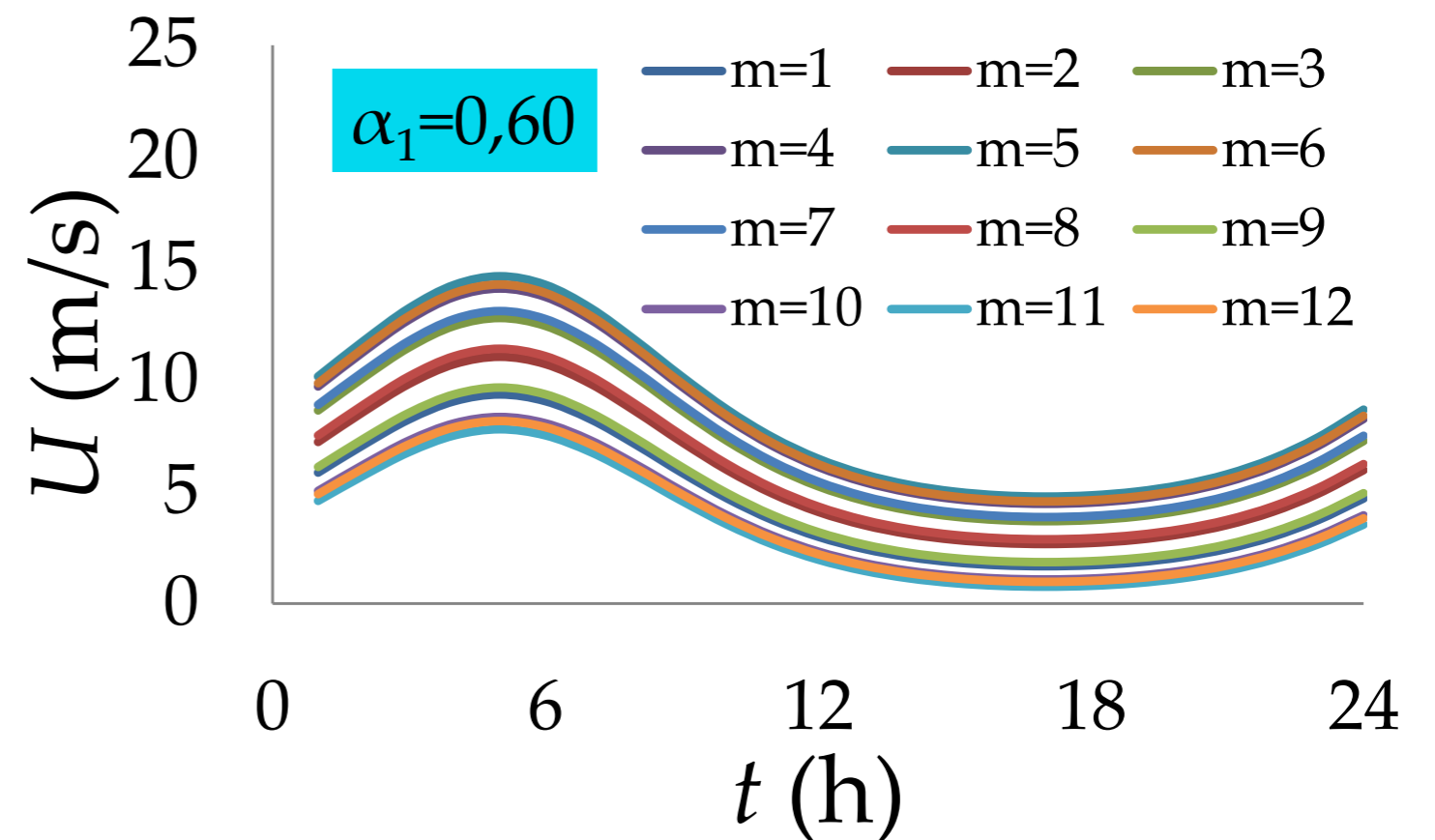
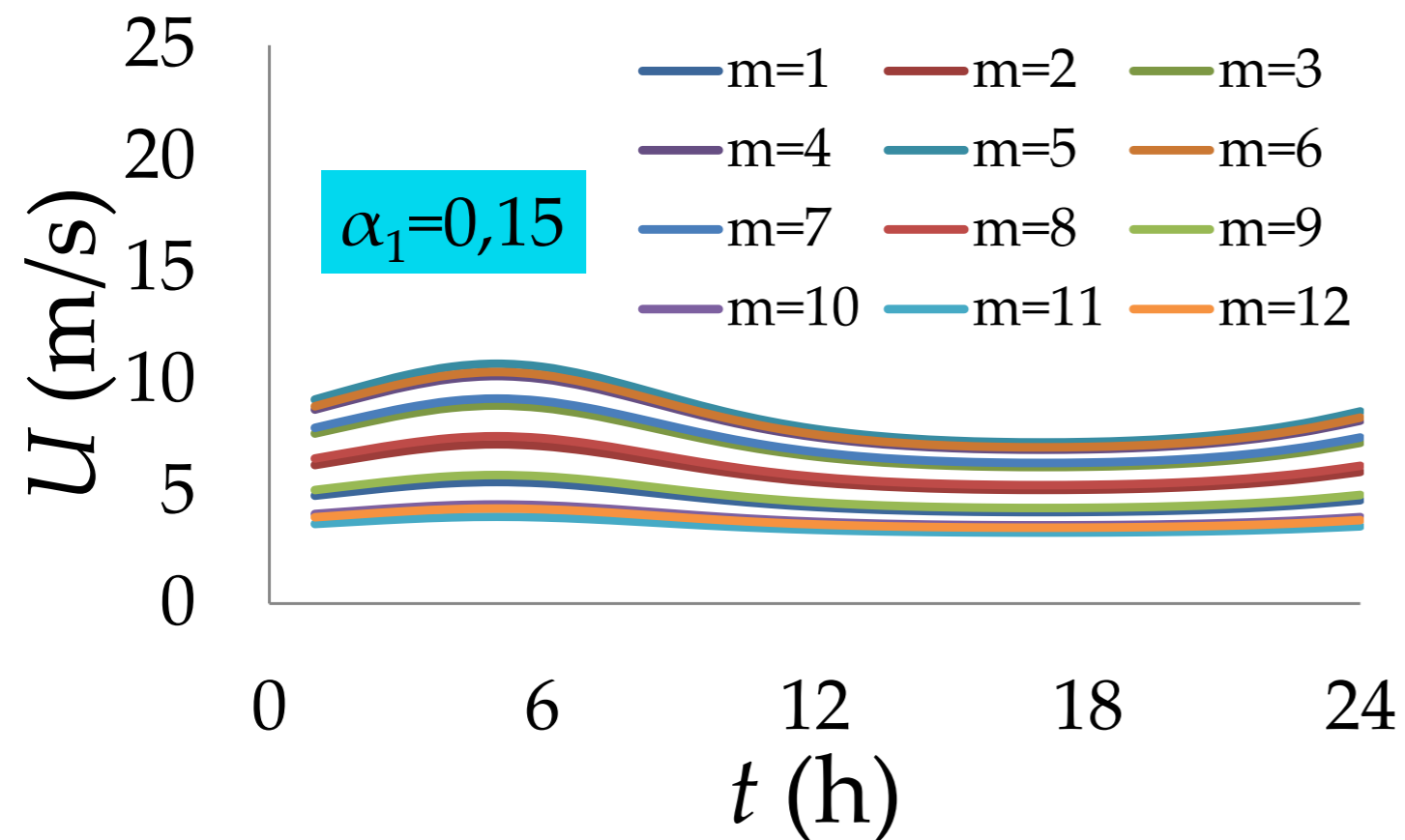
$$C_h(t) = \cos\left(2\pi \frac{(t_h - a_h)}{T_h}\right)$$

## 22. Εκδοχές μοντέλων ανέμου (1)

ΕΚΔΟΧΗ 1:

$$\mu_c = \left( (a_1 + a_2 C_m(t)) \exp(C_h(t)) + a_3 C_m(t) + a_4 \right) \mu$$

$\alpha_1 \Leftrightarrow$  ωριαία διακύμανση



## 22. Εκδοχές μοντέλων ανέμου (1)

ΕΚΔΟΧΗ 1:

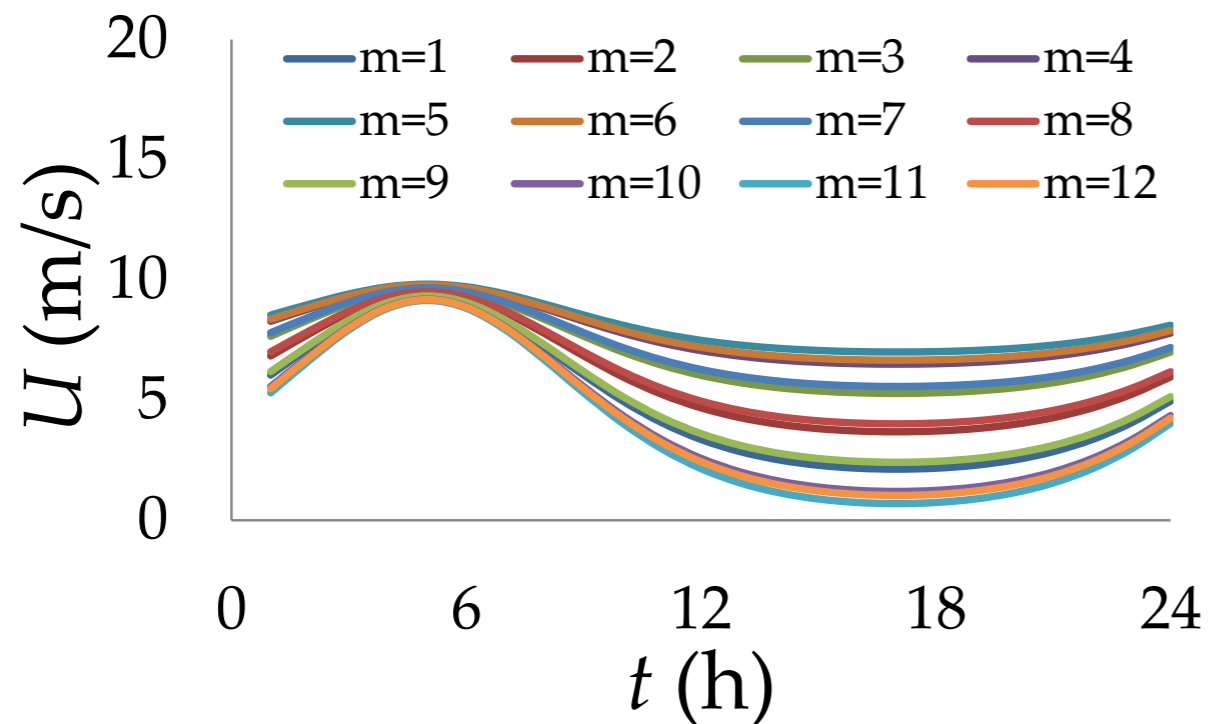
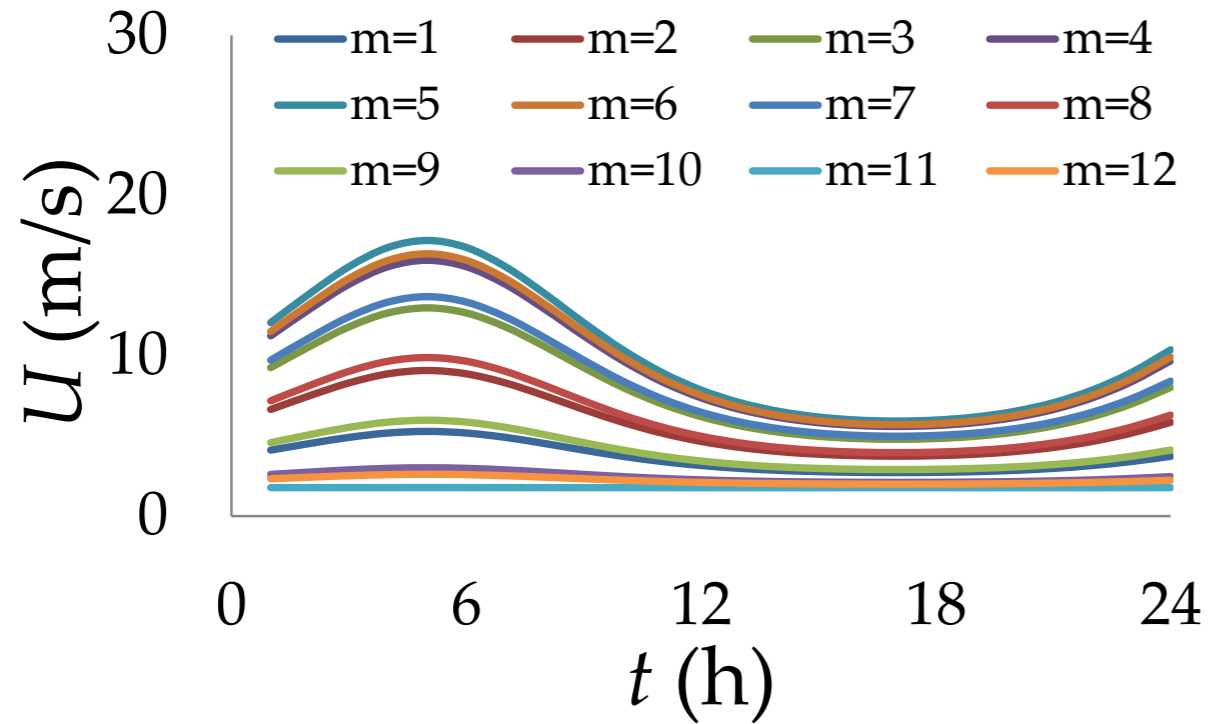
$$\mu_c = \left( (a_1 + a_2 C_m(t)) \exp(C_h(t)) + a_3 C_m(t) + a_4 \right) \mu$$

$$a_4 = 1 - a_1 \int_0^{2\pi} \exp(\cos x) dx = 1 - 1,2661 a_1$$

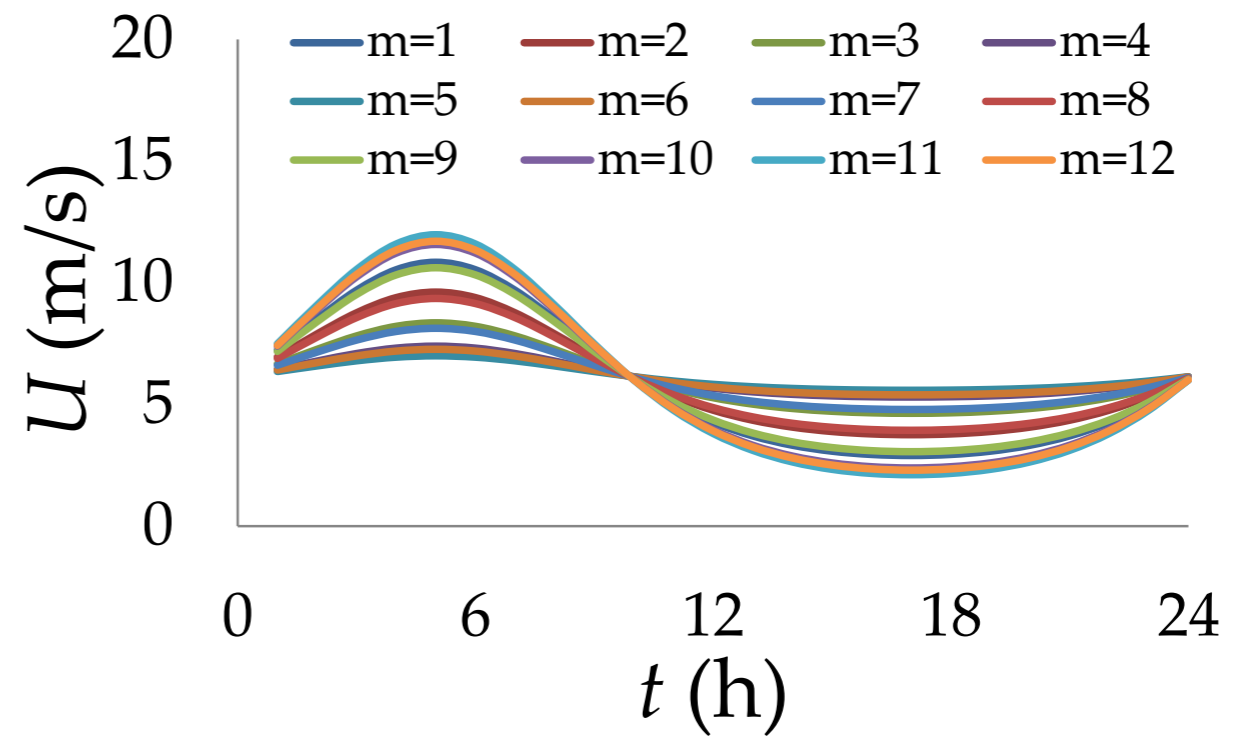
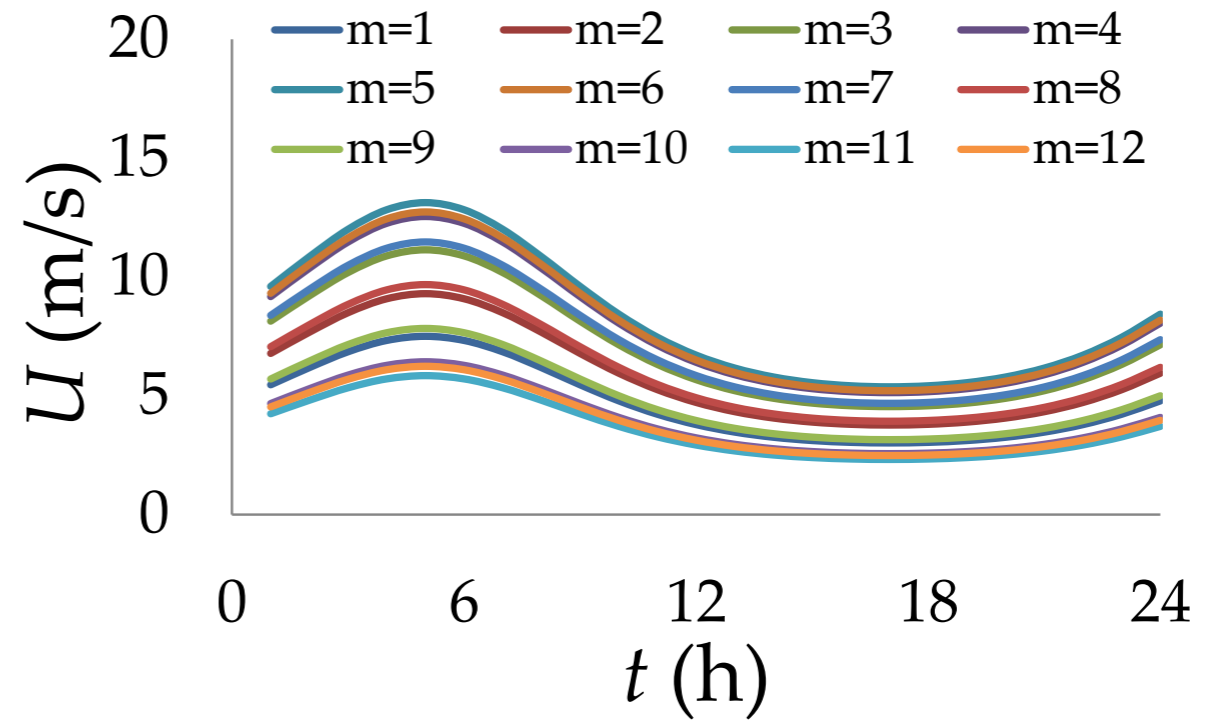
# 23. Εκδοχές μοντέλων ανέμου (2)

## ΕΚΔΟΧΗ 1:

$\alpha_3 \Leftrightarrow$  μηνιαία διακύμανση



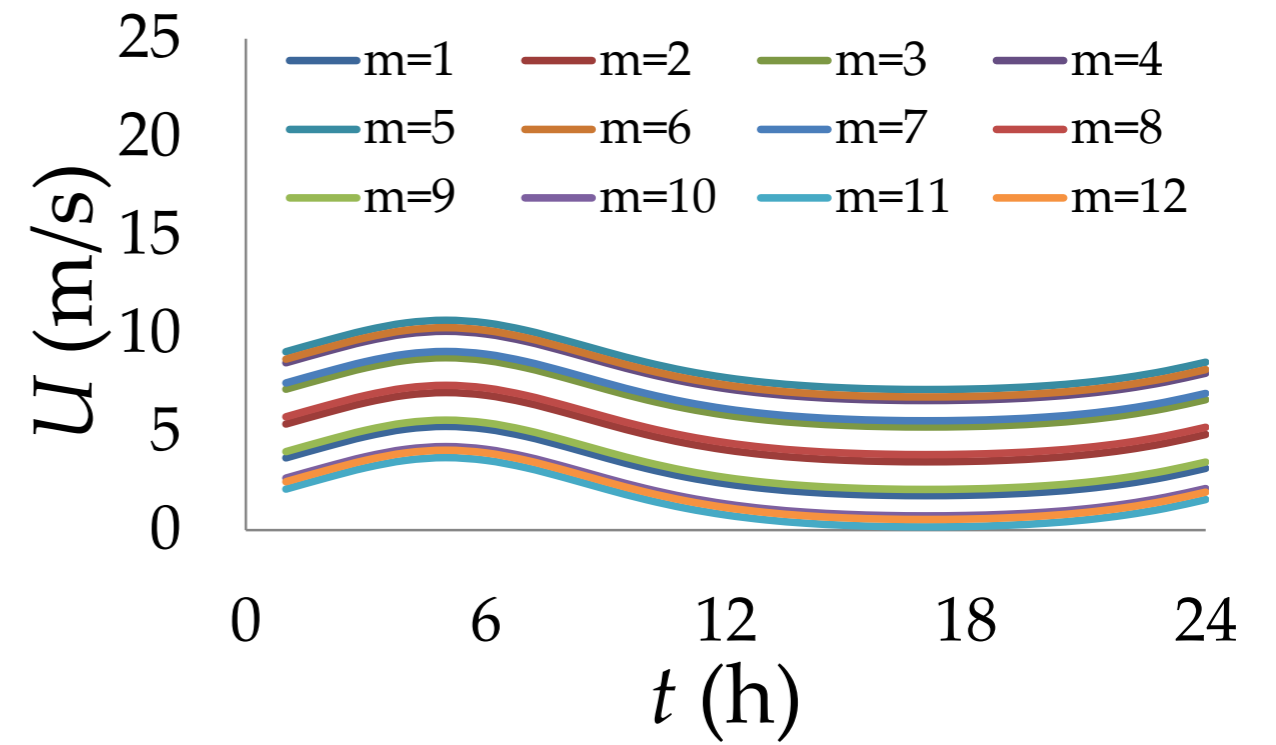
$\alpha_2 \Leftrightarrow$  συνδυασμός με  $\alpha_3$  για υψηλή ευελιξία



# 24. Εκδοχές μοντέλων ανέμου (3)

ΕΚΔΟΧΗ 2:

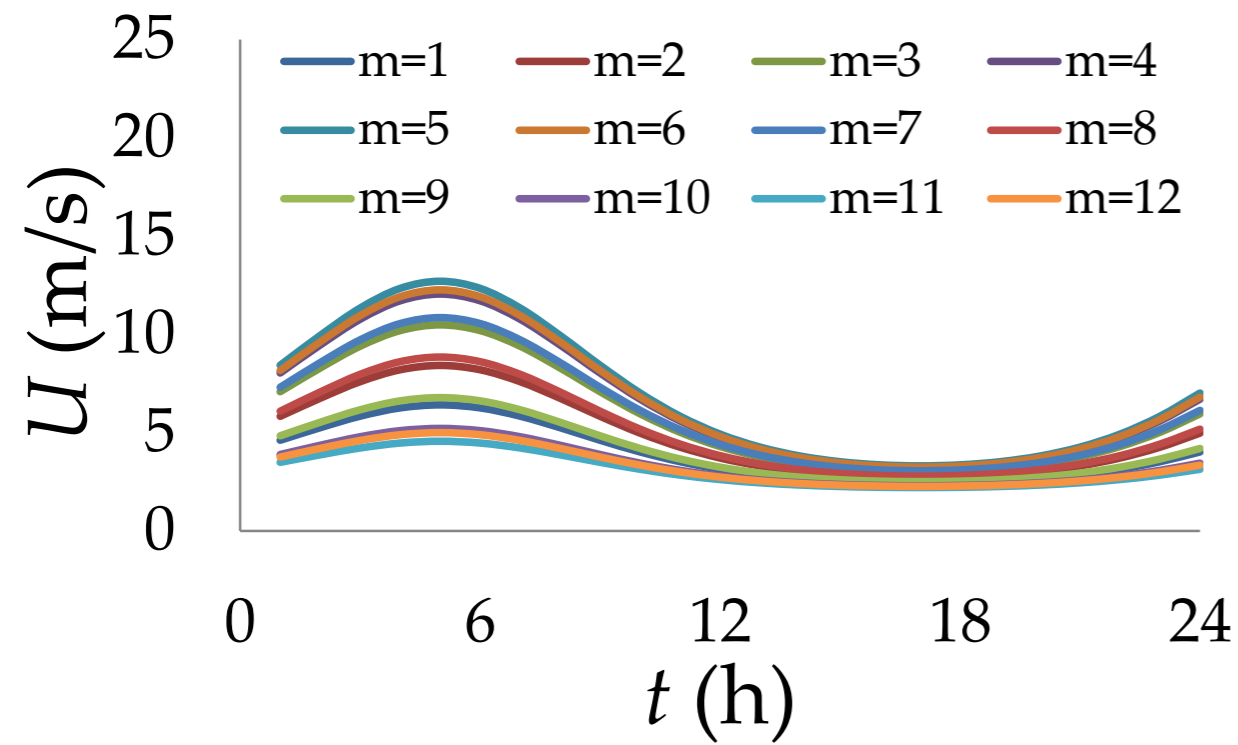
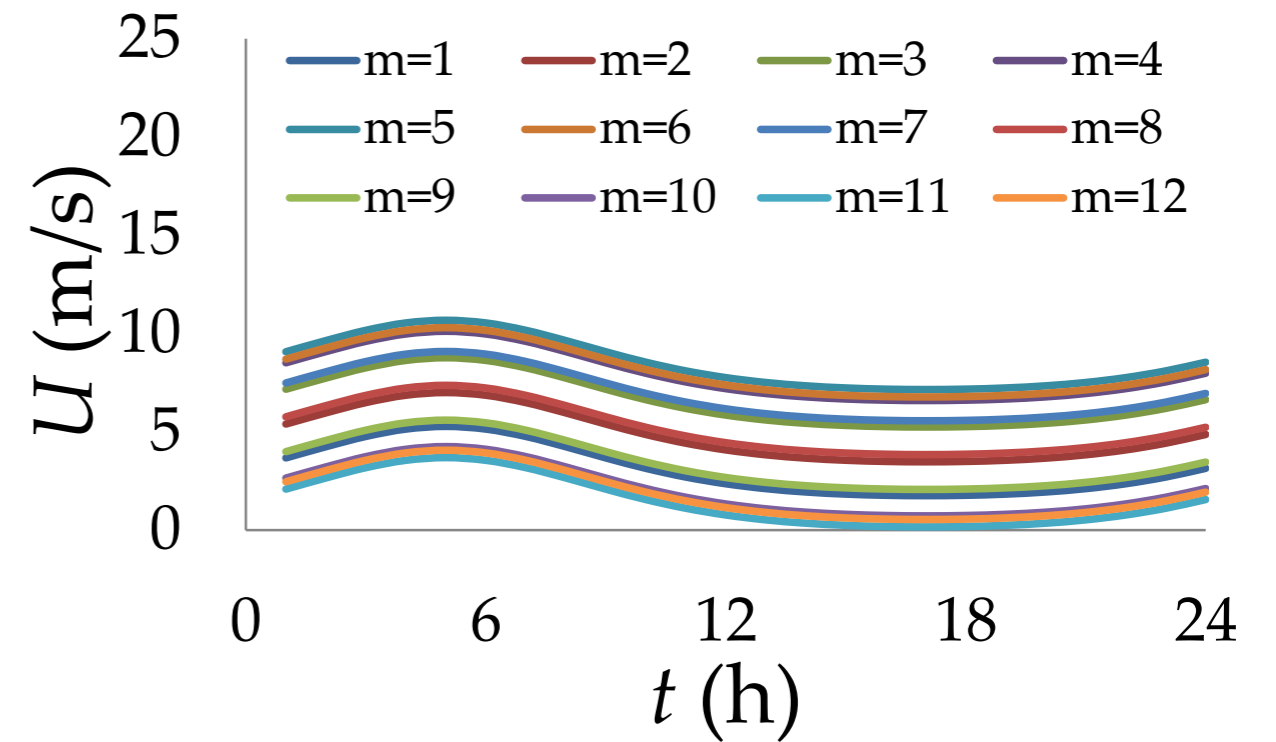
$\alpha_2 = 0 \Leftrightarrow$  παράλληλες μηνιαίες καμπύλες



# 24. Εκδοχές μοντέλων ανέμου (3)

## ΕΚΔΟΧΗ 2:

$\alpha_2 = 0 \Leftrightarrow$  παράλληλες μηνιαίες καμπύλες



## ΕΚΔΟΧΗ 3:

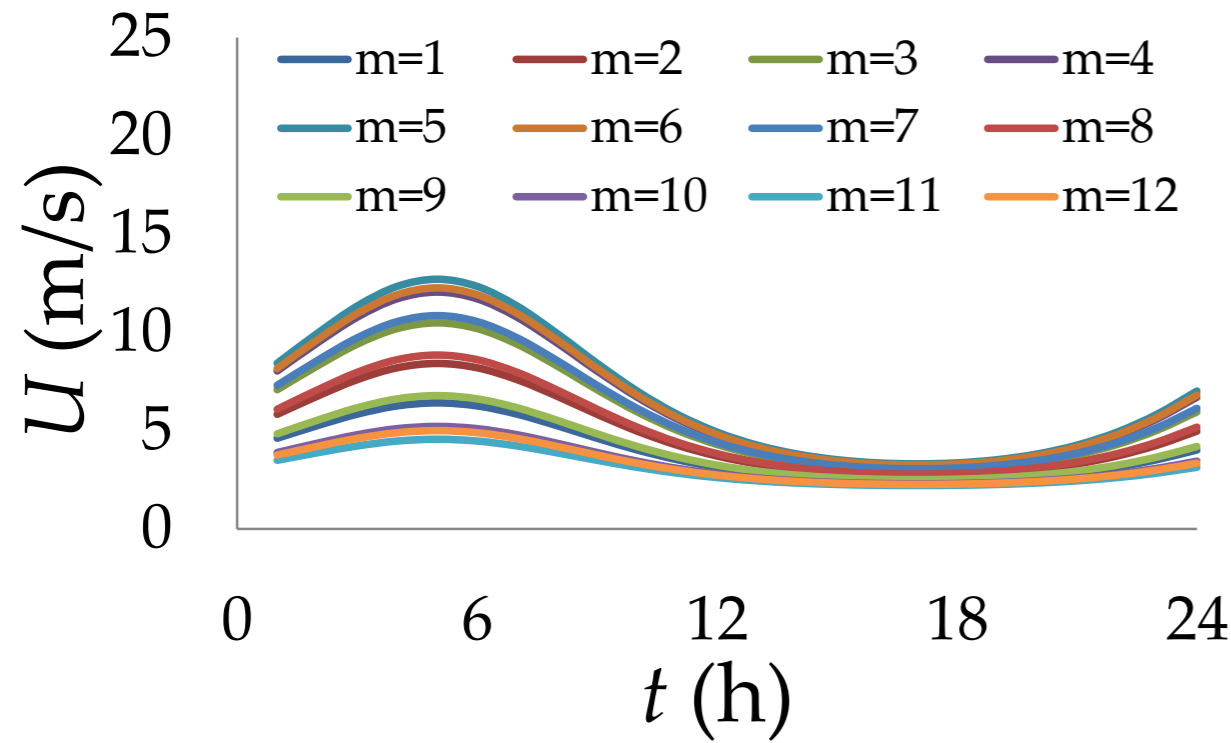
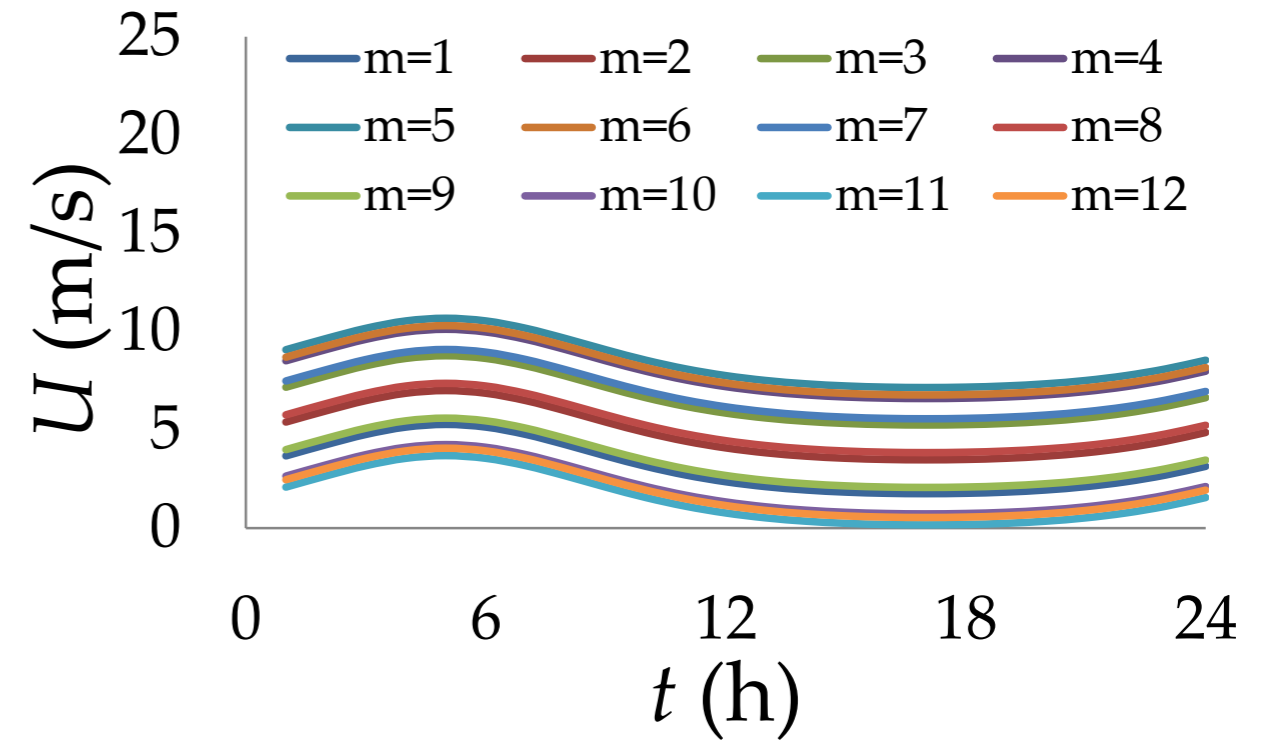
$\alpha_3 = 0 \Leftrightarrow$  απότομη ωριαία αύξηση στο μήνα αιχμής



# 24. Εκδοχές μοντέλων ανέμου (3)

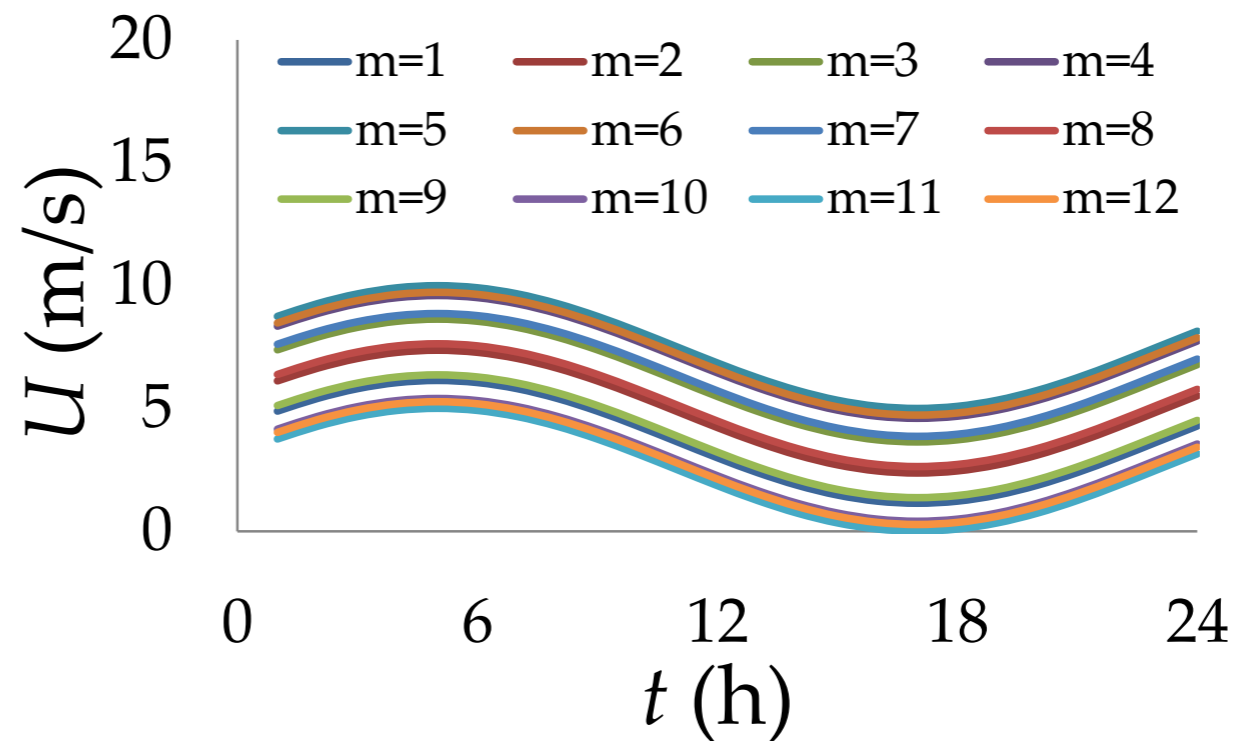
## ΕΚΔΟΧΗ 2:

$\alpha_2 = 0 \Leftrightarrow$  παράλληλες μηνιαίες καμπύλες



## ΕΚΔΟΧΗ 3:

$\alpha_3 = 0 \Leftrightarrow$  απότομη ωριαία αύξηση στο μήνα αιχμής



## ΕΚΔΟΧΗ 4:

Όμοια με τη 2, αλλά με απλό συνημίτονο αντί για εκθετικό

## 25. Επιλογή μοντέλων (άνεμος και θερμοκρασία)

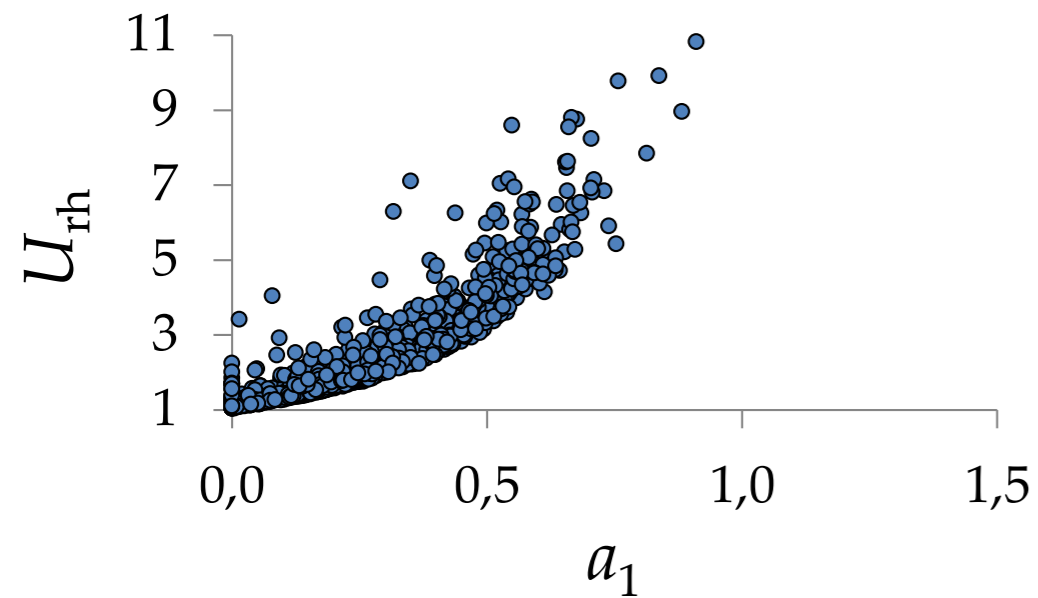
### Άνεμος

ΕΚΔΟΧΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	$r_m$	$r_h$	$e_N$
1	4	0,873	0,851	0,124
2	3	0,873	0,839	0,132
3	3	0,873	0,819	0,160
4	3	0,873	0,815	0,142

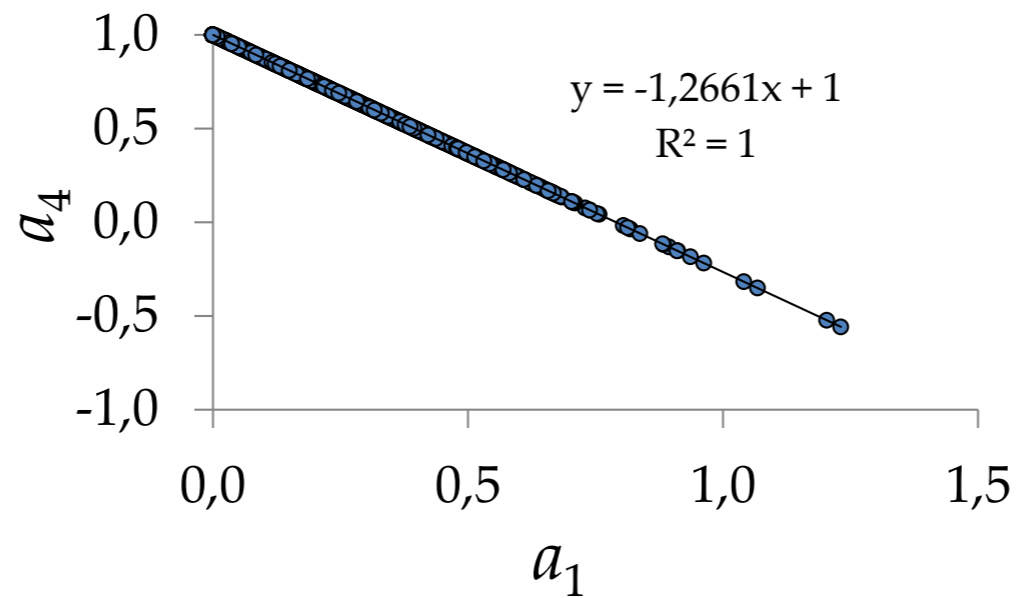
### Θερμοκρασία

ΕΚΔΟΧΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	$r_m$	$r_h$	$e_N$
1	4	0,973	0,936	0,182
2	3	0,962	0,934	0,196
3	3	0,962	0,394	0,489
4	2	0,963	0,922	0,201

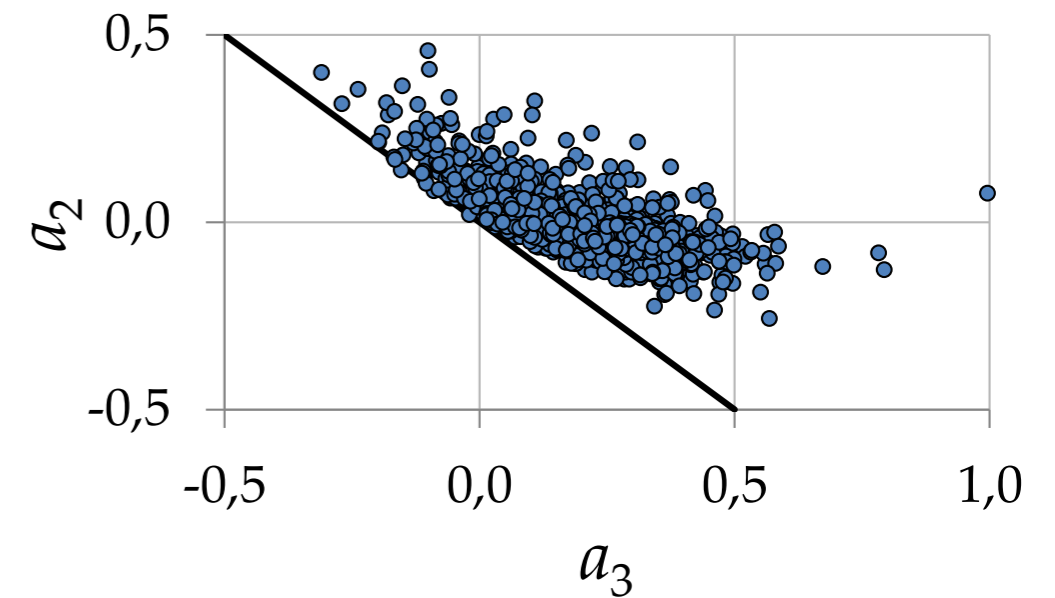
## 26. Αποτελέσματα μοντέλου ανέμου (1)



$\alpha_1 \Leftrightarrow$  ωριαία διακύμανση

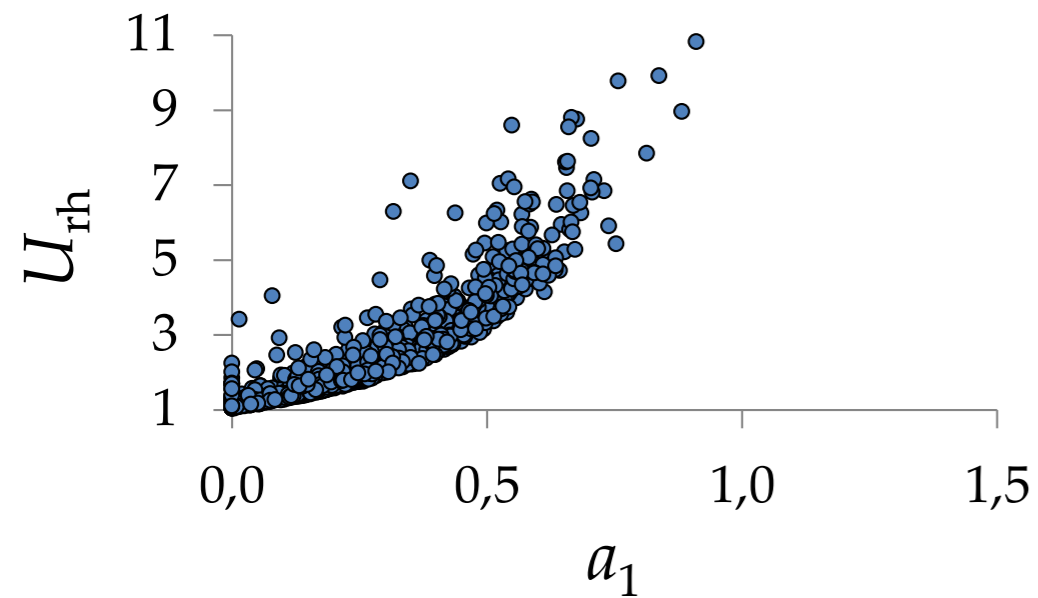


$\alpha_4 \rightarrow$  σταθερά μοντέλου

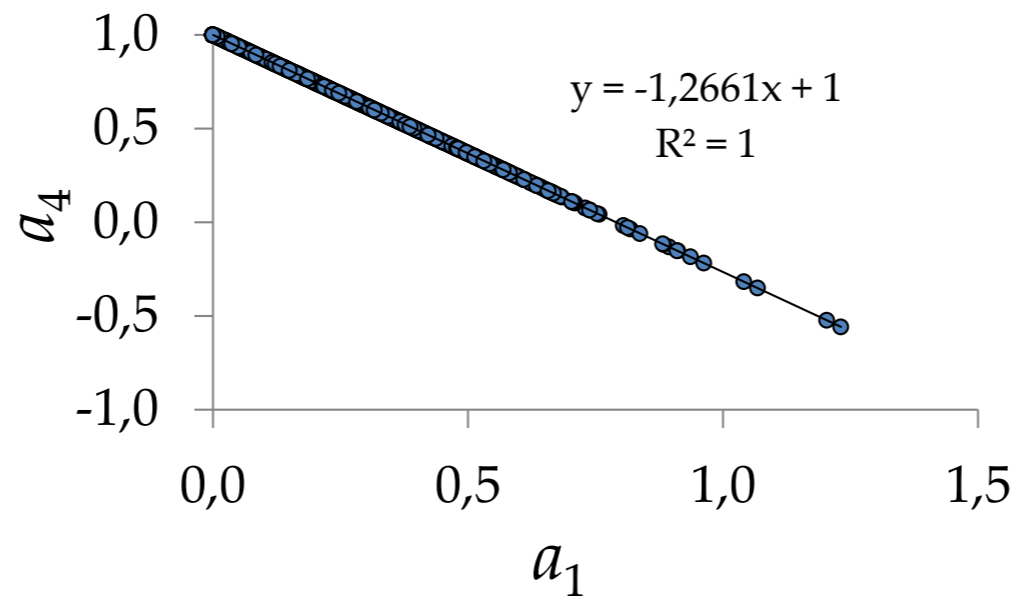


$\alpha_2 + \alpha_3 > 0$

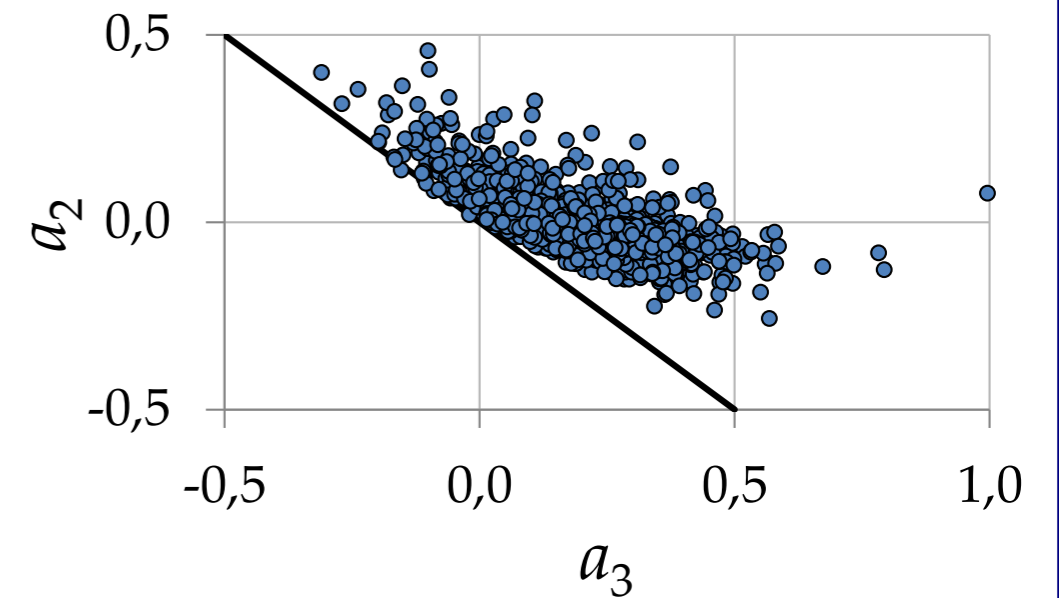
# 26. Αποτελέσματα μοντέλου ανέμου (1)



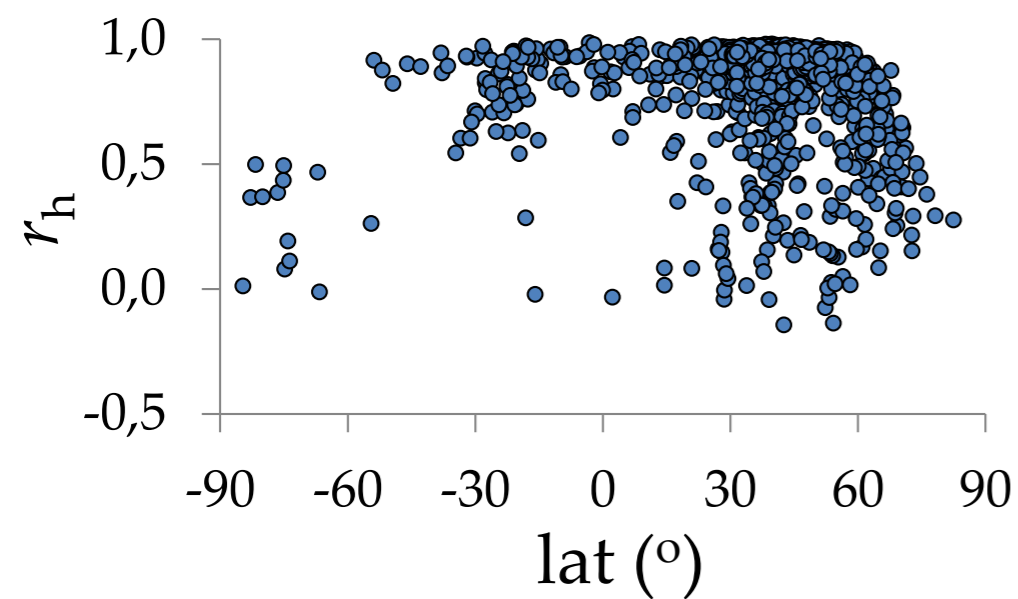
$\alpha_1 \Leftrightarrow$  ωριαία διακύμανση



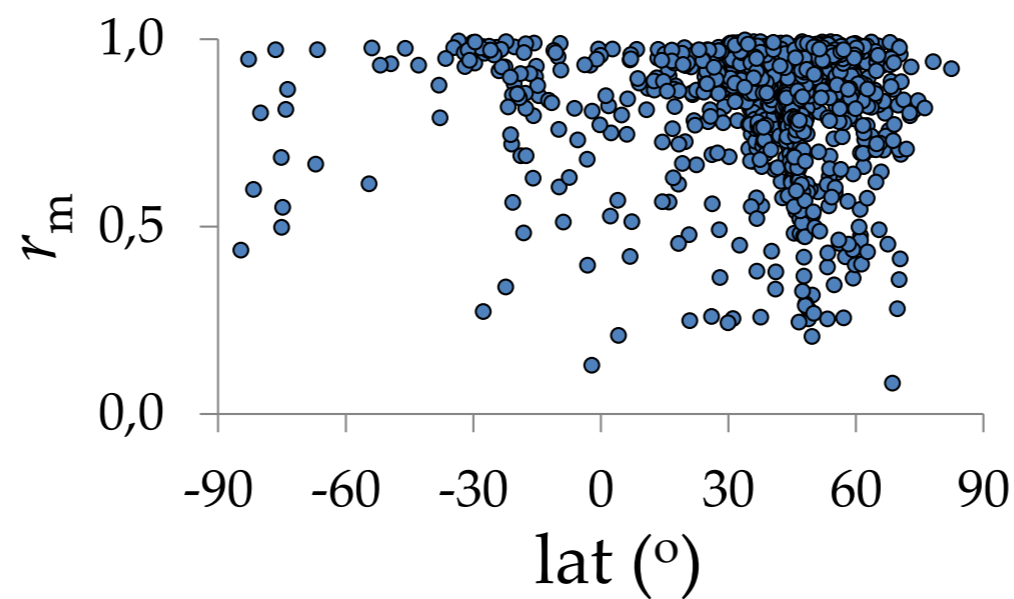
$\alpha_4 \rightarrow$  σταθερά μοντέλου



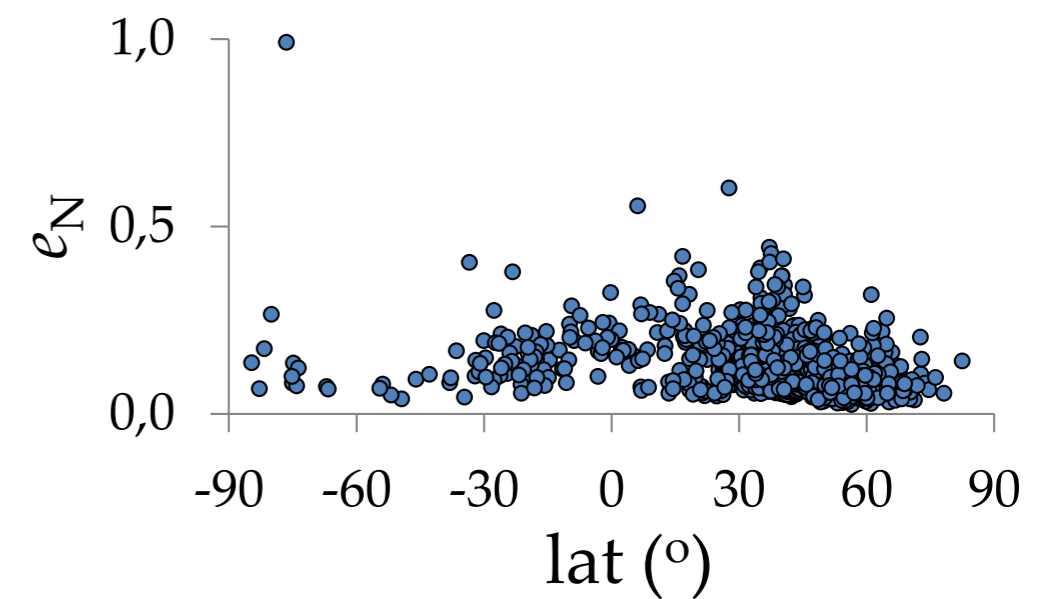
$\alpha_2 + \alpha_3 > 0$



$r_h$  κοντά στο 1

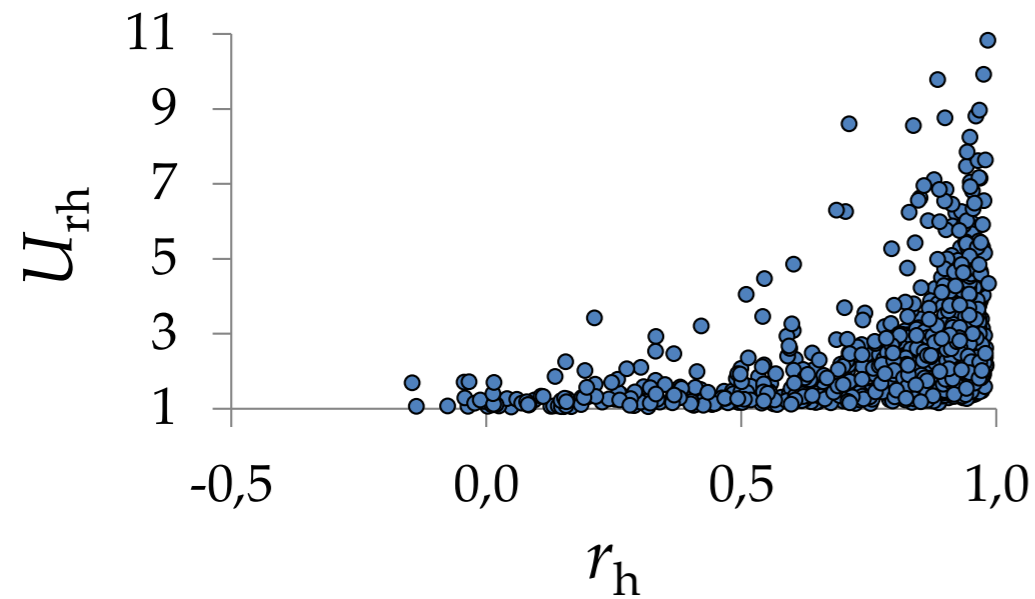


$r_m$  κοντά στο 1

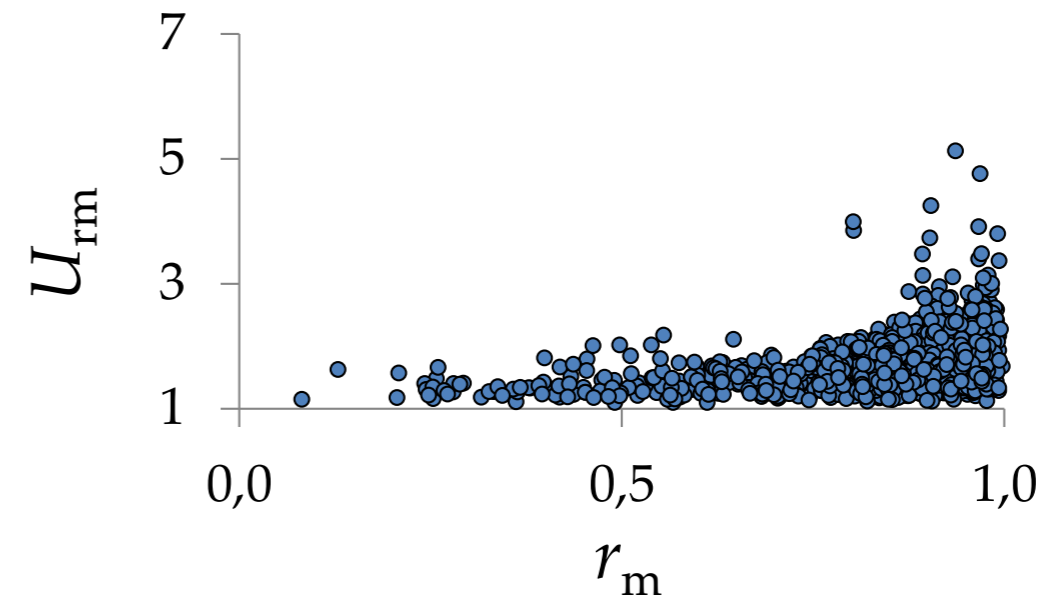


$e_N$  κοντά στο 0

## 27. Αποτελέσματα μοντέλου ανέμου (2)

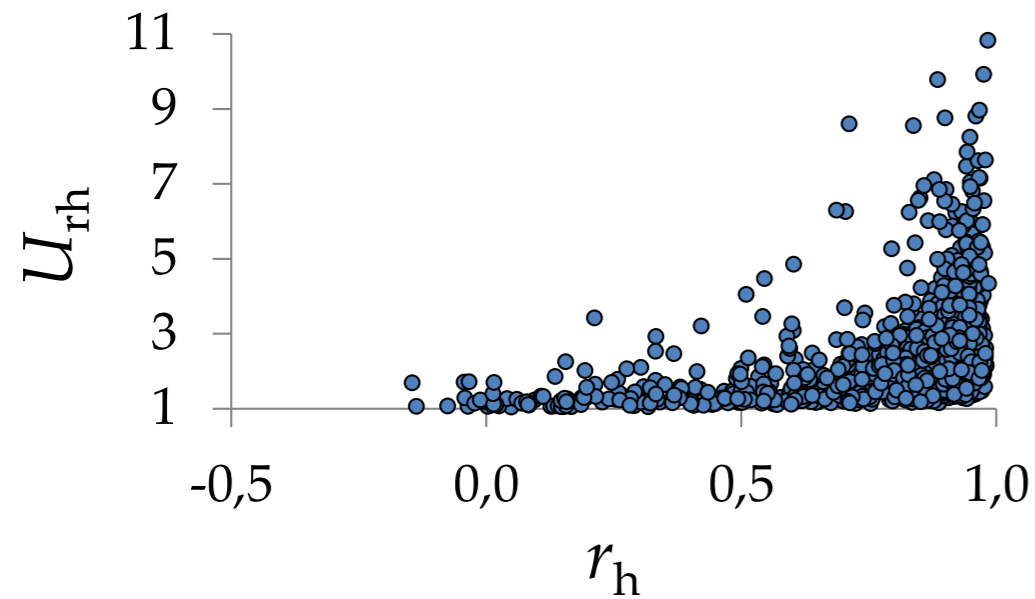


$r_h$  μικρό  $\rightarrow$  μικρή ωριαία διακύμανση

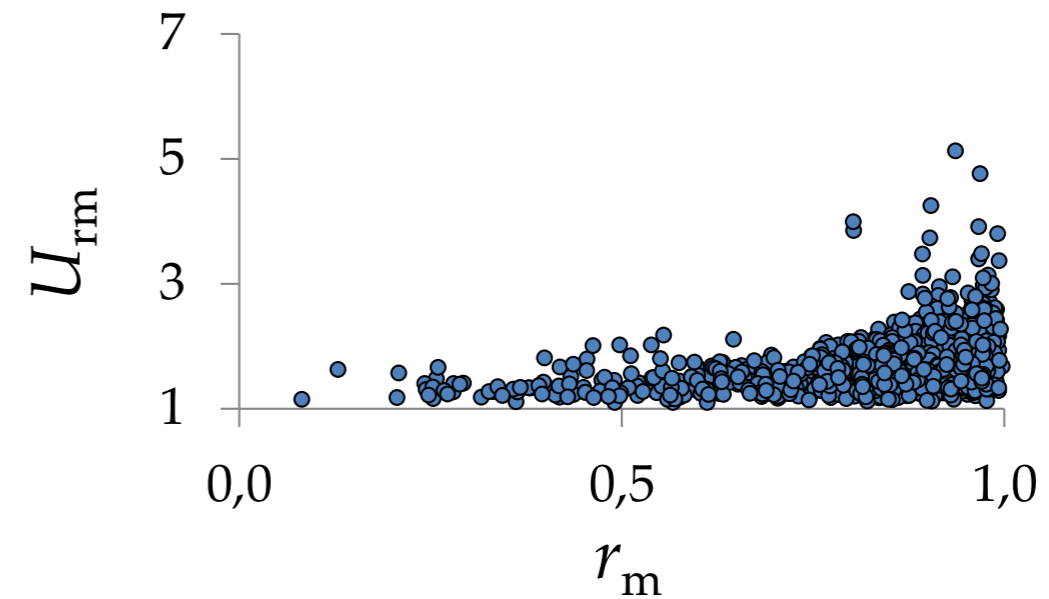


$r_m$  μικρό  $\rightarrow$  μικρή μηνιαία διακύμανση

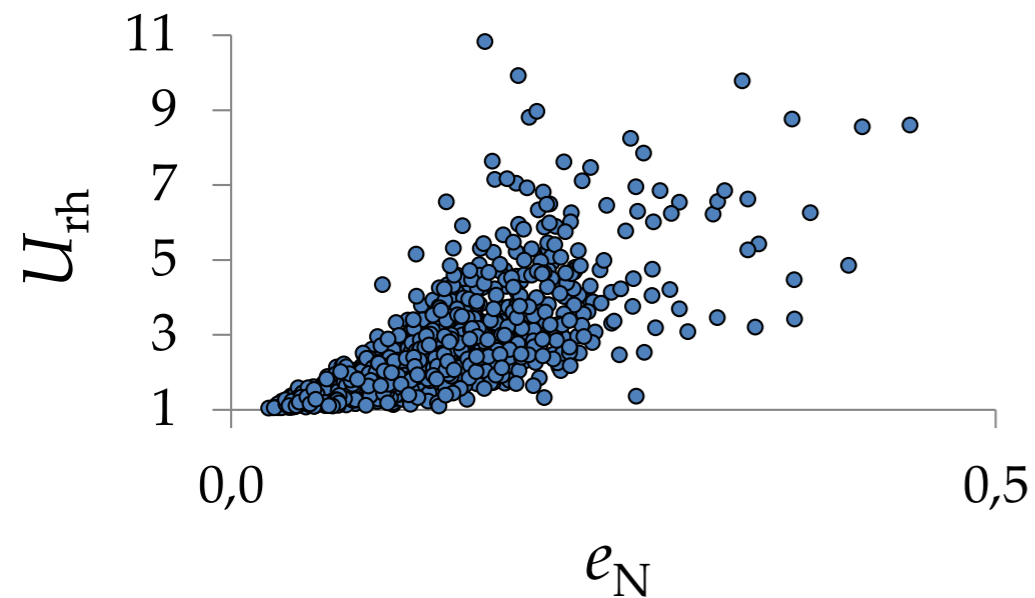
## 27. Αποτελέσματα μοντέλου ανέμου (2)



$r_h$  μικρό  $\rightarrow$  μικρή ωριαία διακύμανση



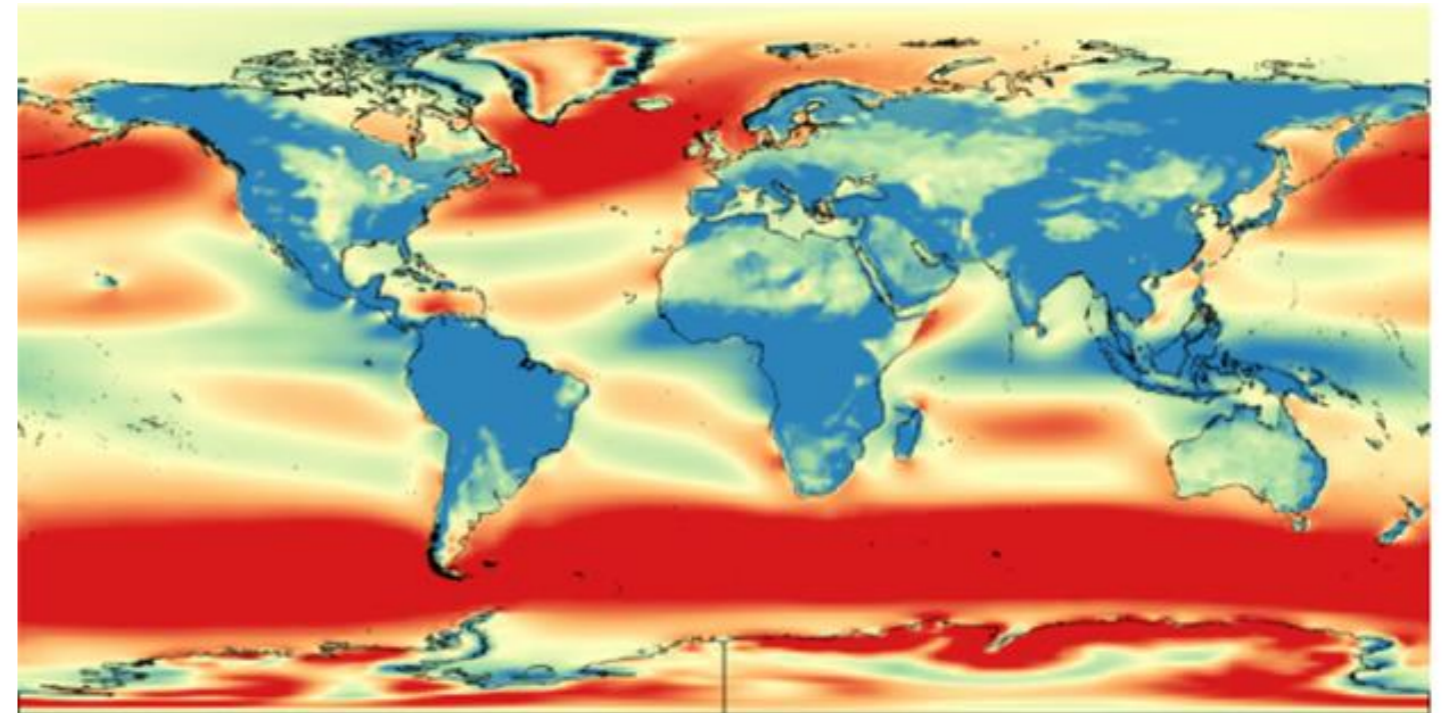
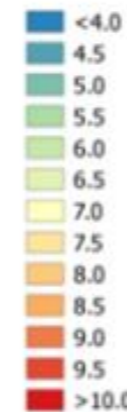
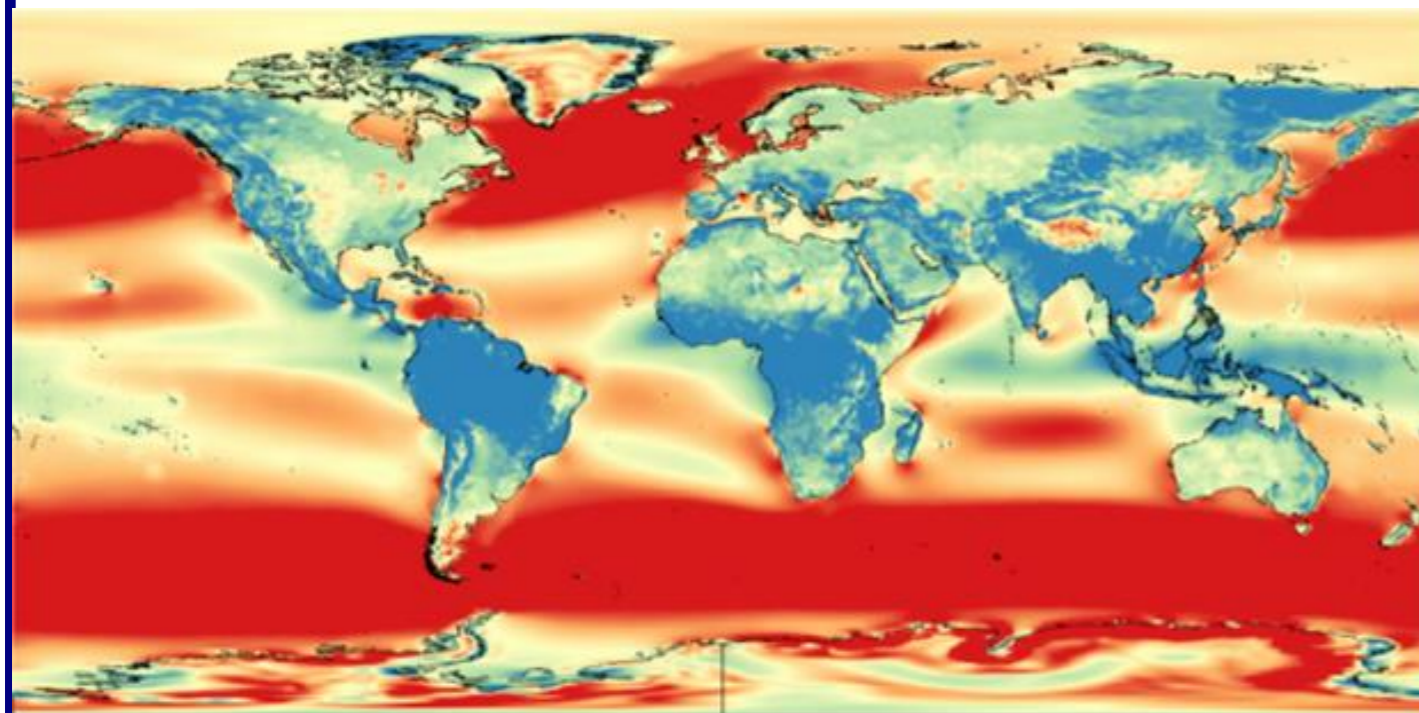
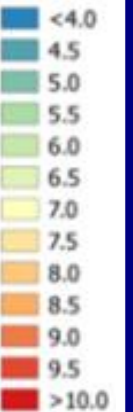
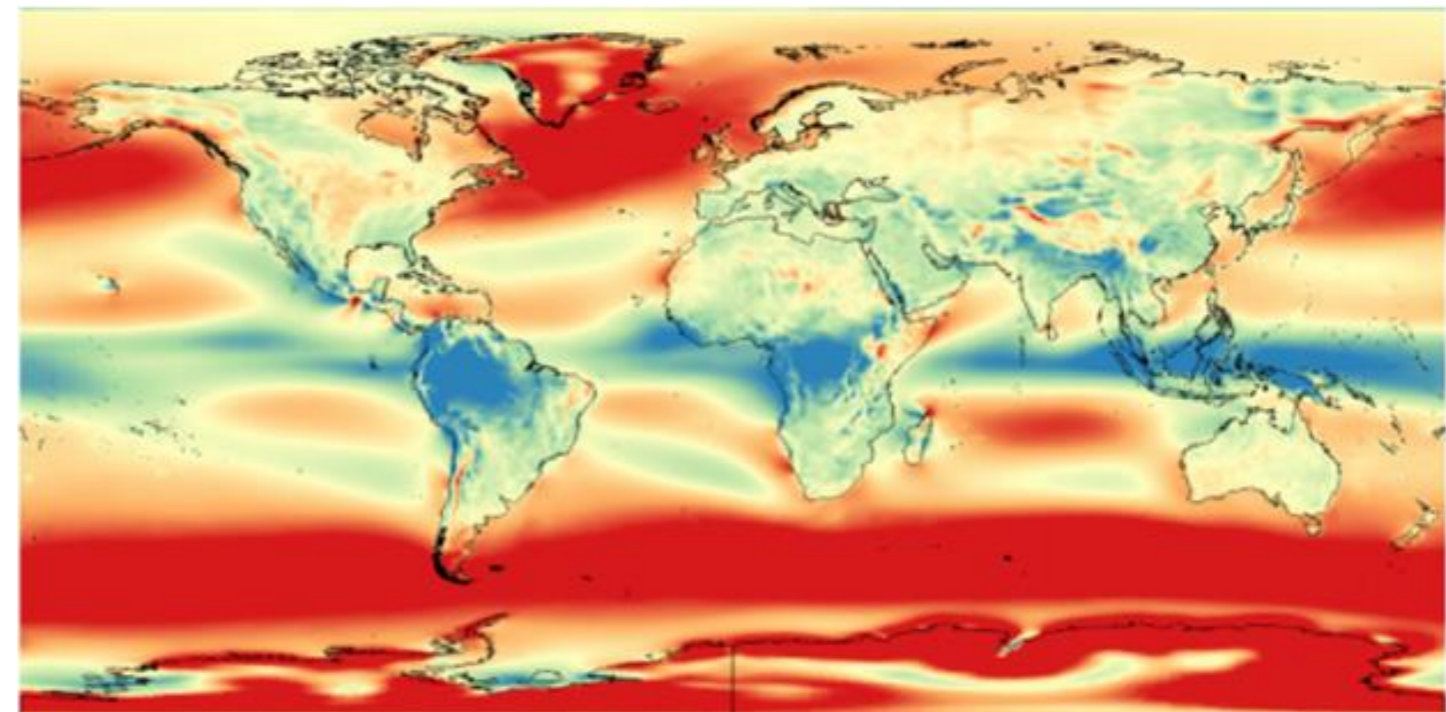
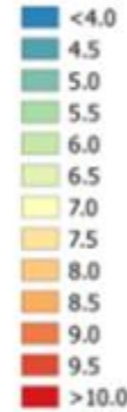
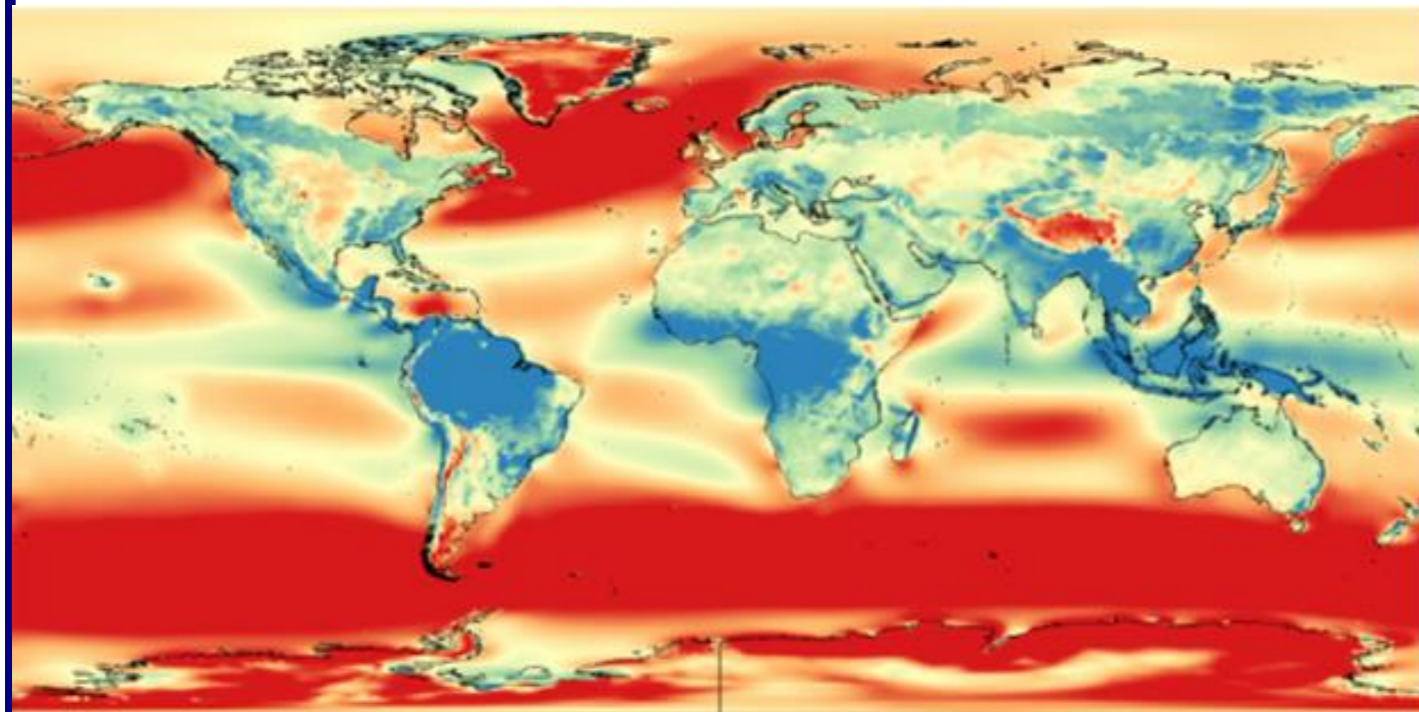
$r_m$  μικρό  $\rightarrow$  μικρή μηνιαία διακύμανση



μικρή ωριαία  
διακύμανση  $\rightarrow$   
μικρό σφάλμα

Άρα το μοντέλο είναι  
σχεδόν πάντα  
**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟ!**

## 28. Δεδομένα reanalysis - Global Wind Atlas (1)

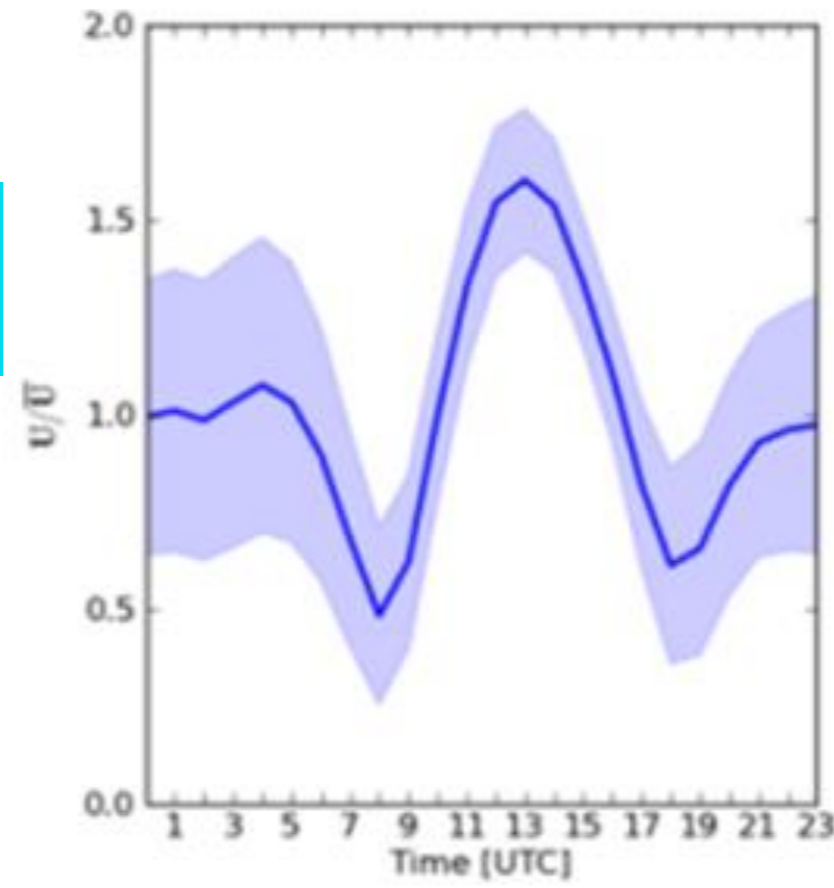


4 μοντέλα,  
περίπου ίδια περίοδος

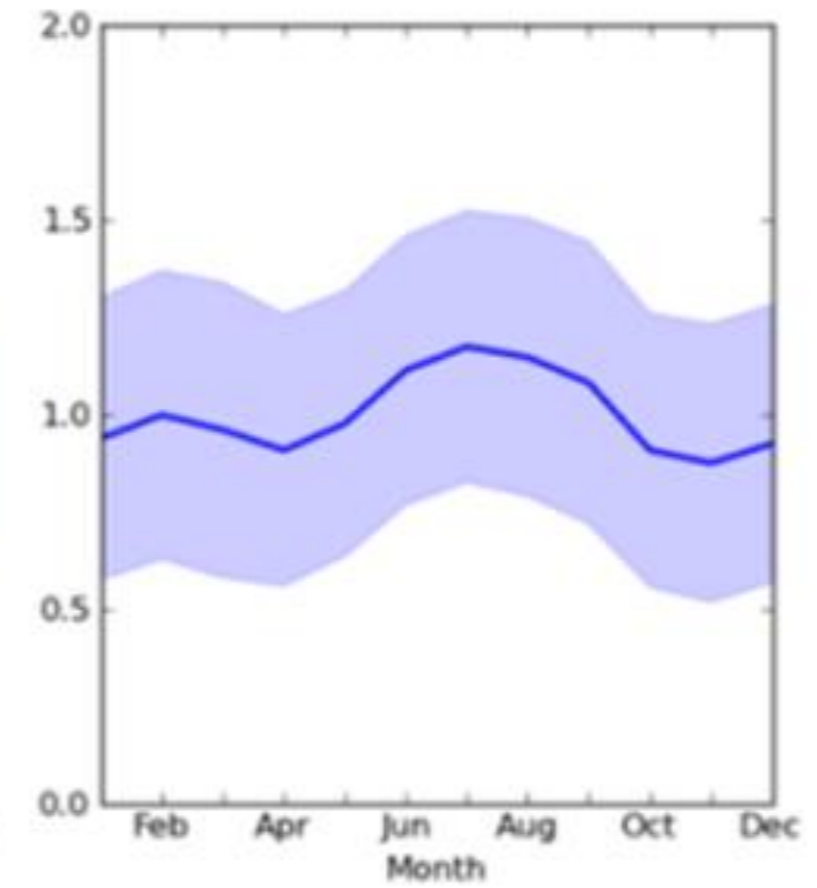
Αξιόπιστα αποτελέσματα μόνο στους πόλους και στους ωκεανούς.  
Διαφορετικές οριακές συνθήκες → Διαφορές στις ηπείρους.

# 29. Δεδομένα reanalysis - Global Wind Atlas (2)

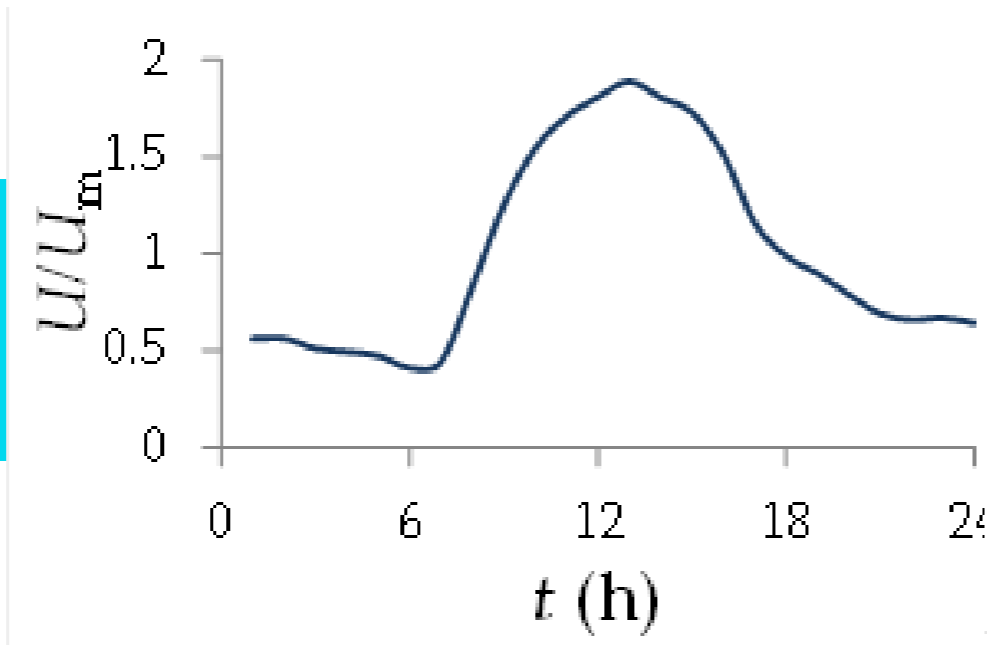
Μέση ωριαία κατανομή reanalysis



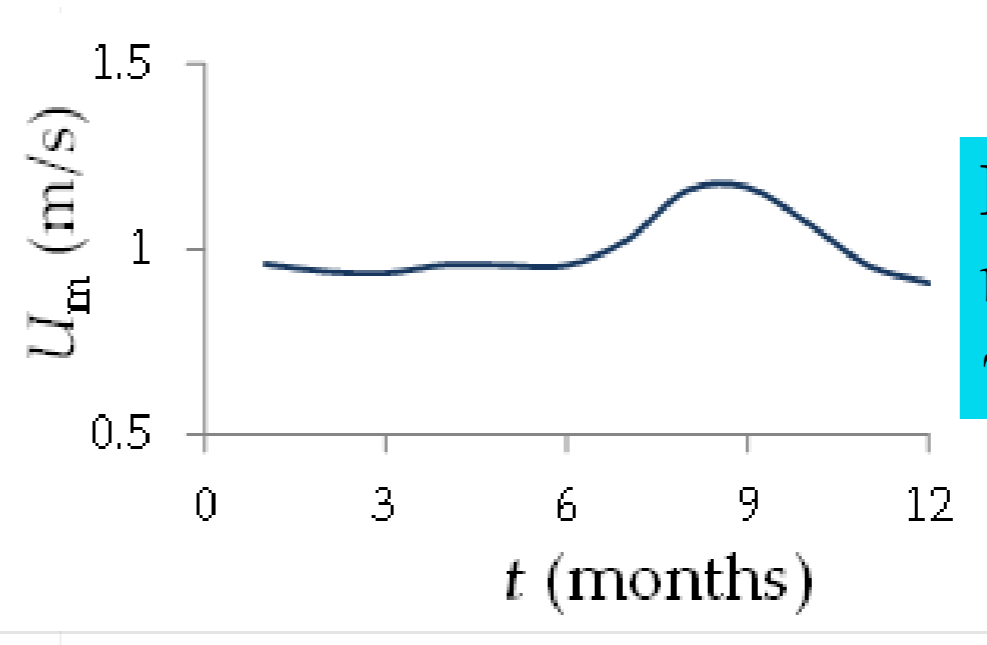
Μηνιαία κατανομή reanalysis



Μέση ωριαία κατανομή παρατηρήσεων



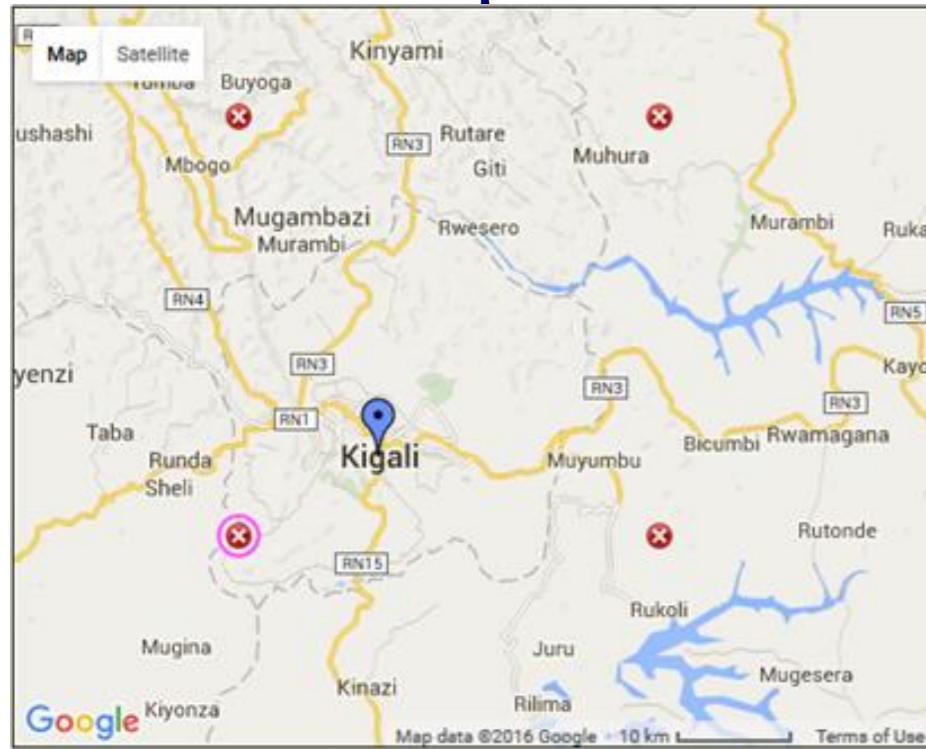
Μηνιαία κατανομή παρατηρήσεων



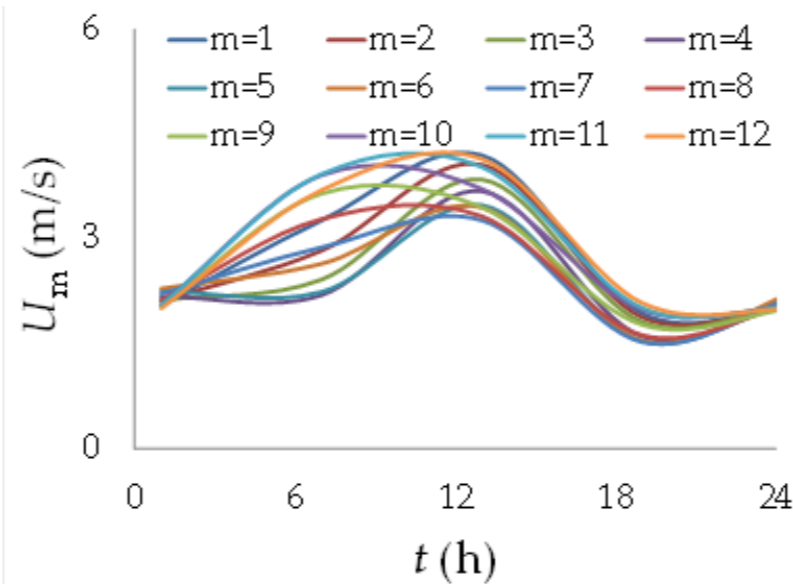
Ικανοποιητικά αποτελέσματα



# 30. Δεδομένα reanalysis - National Centre for Atmospheric Research (1)



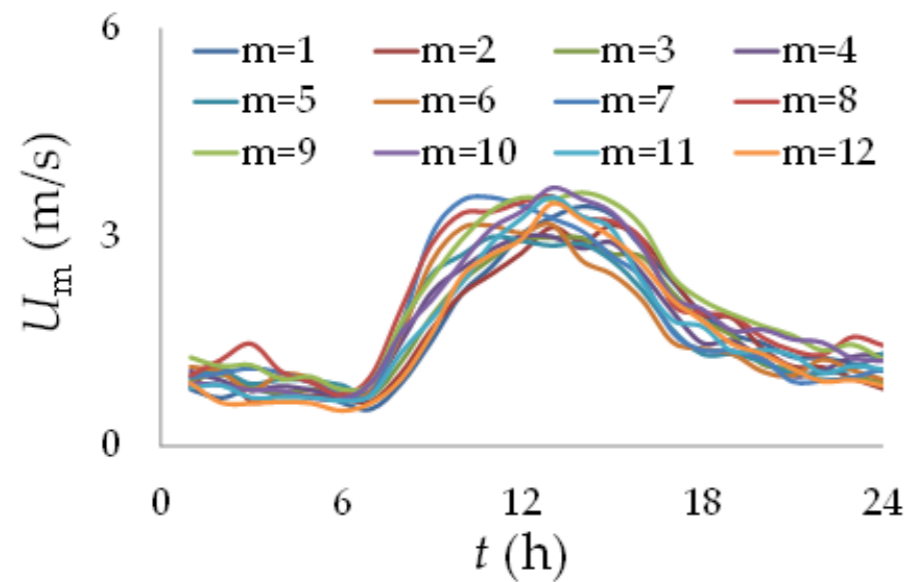
Κατανομή reanalysis  
(ανά 6 h)



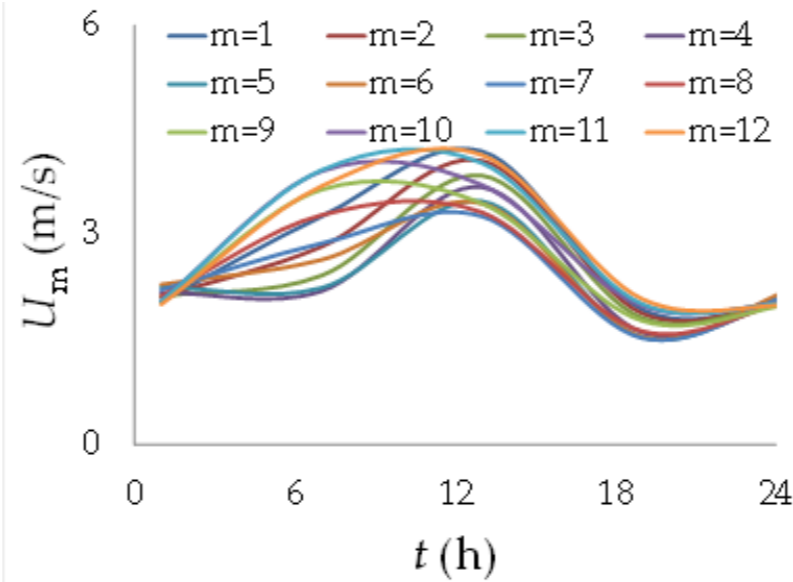
Φανερή διπλή  
κυκλοστασιμότητα

# 30. Δεδομένα reanalysis - National Centre for Atmospheric Research (2)

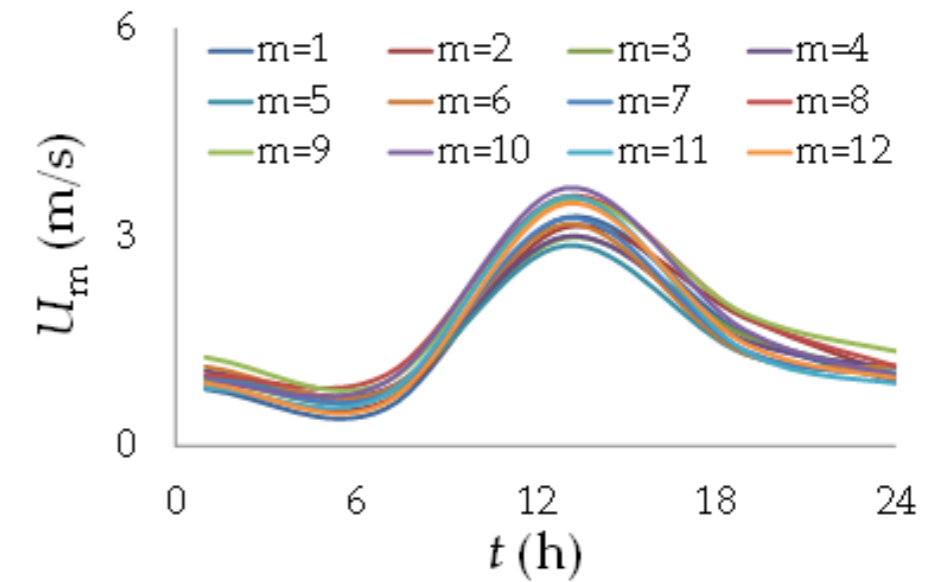
Πραγματική  
κατανομή



Κατανομή reanalysis  
(ανά 6 h)



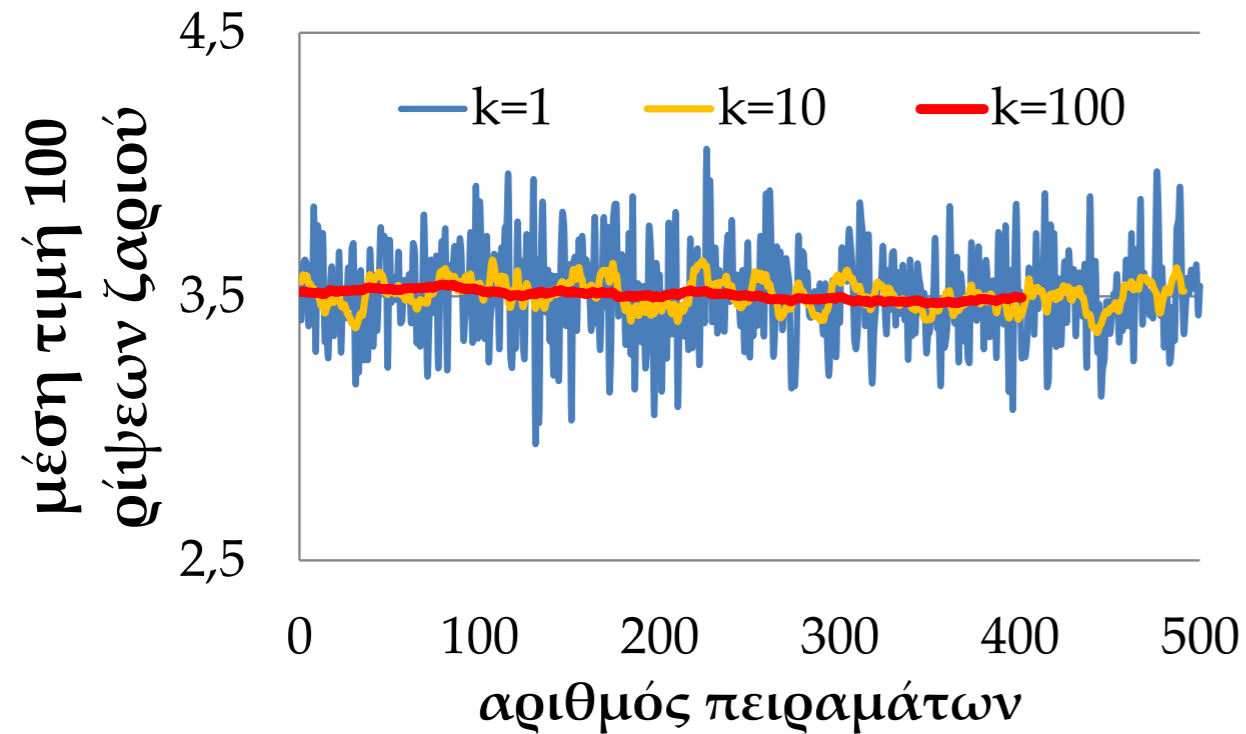
Πραγματική  
κατανομή (ανά 6 h)



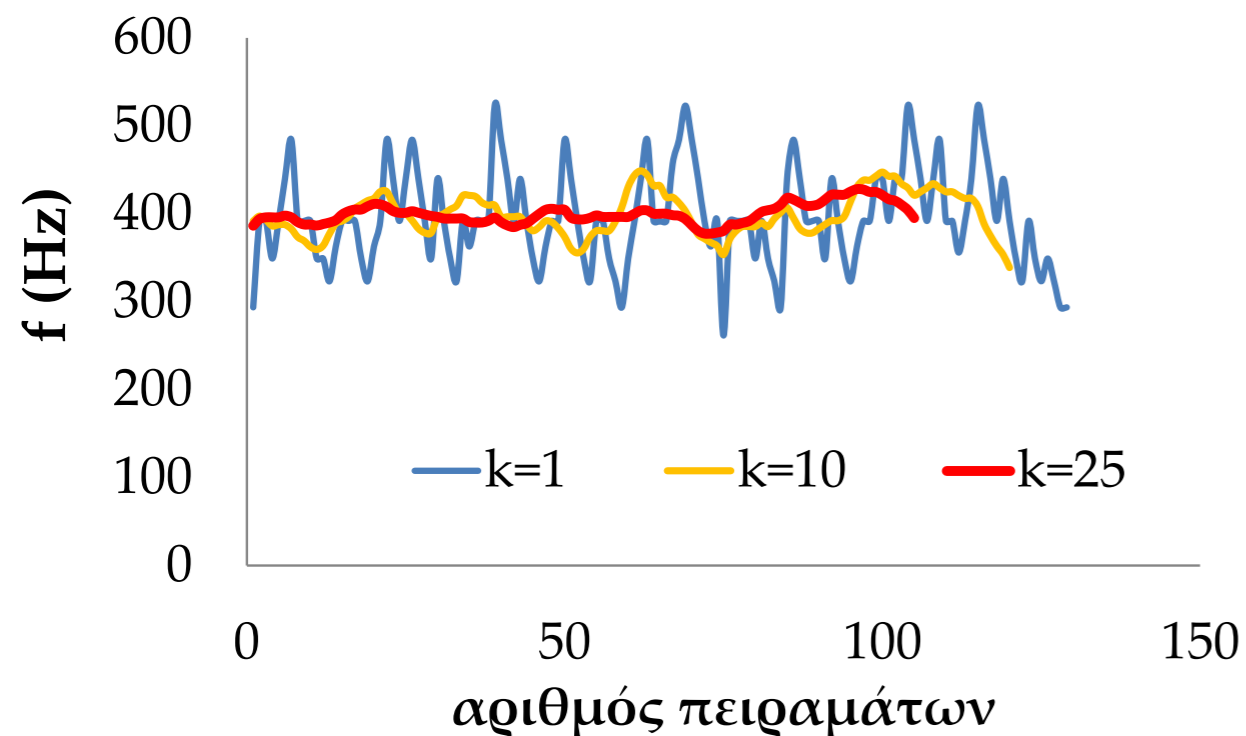
Πολύ άσχημα αποτελέσματα  
στους μισούς μήνες.  
Μέτρια αποτελέσματα στους  
υπολοίπους.  
Δεν πιάνει ούτε μέσο όρο.

# 31. Στοχαστική δομή - παραδείγματα

## Ρίψη ζαριού 100 φορές



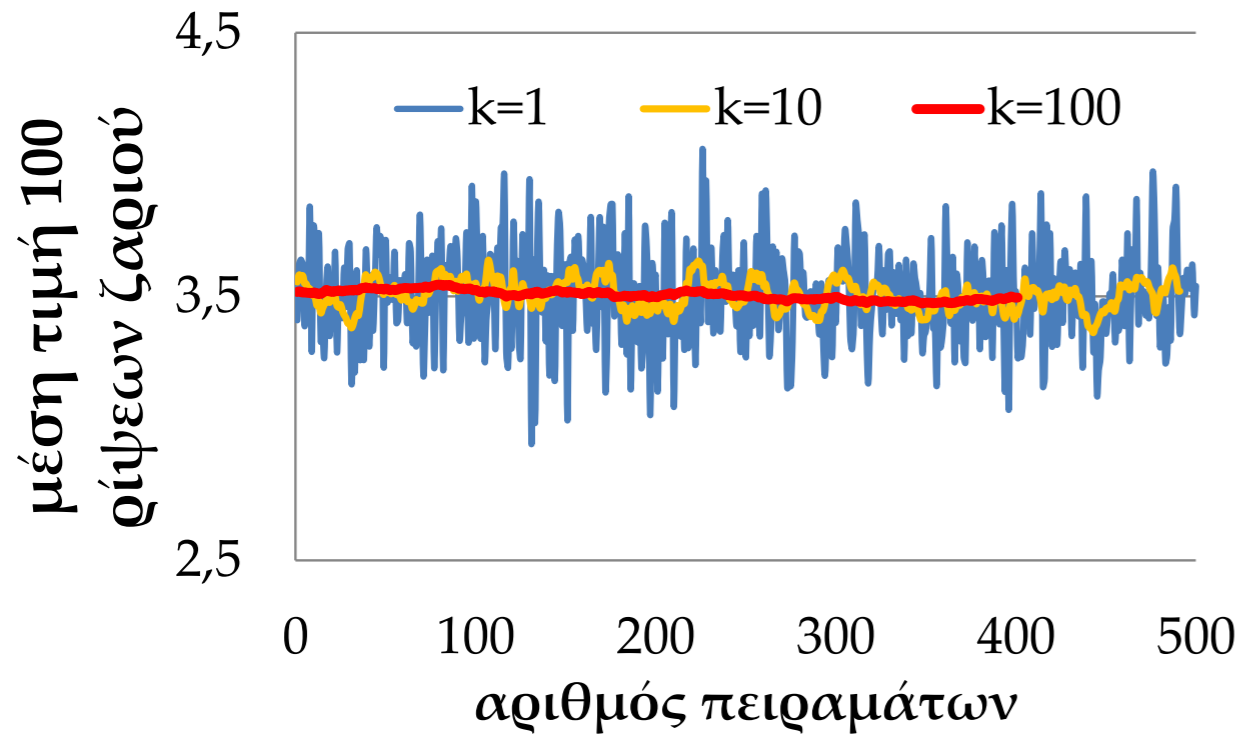
## Καταγραφή κομματιού Βυζαντινής μουσικής



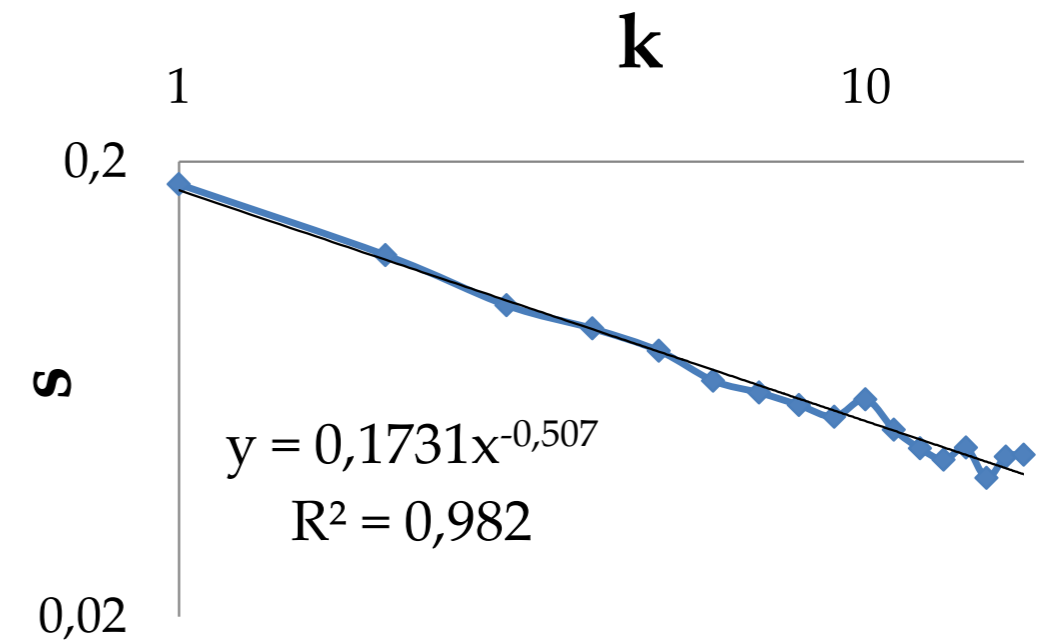
*«Τοῦ λίθου σφραγισθέντος»,  
αφιερωμένο στον ταλαντούχο  
μαθητή Β. Μουσικής  
Δεληγιάννη Ραφαήλ.*

# 31. Στοχαστική δομή - παραδείγματα

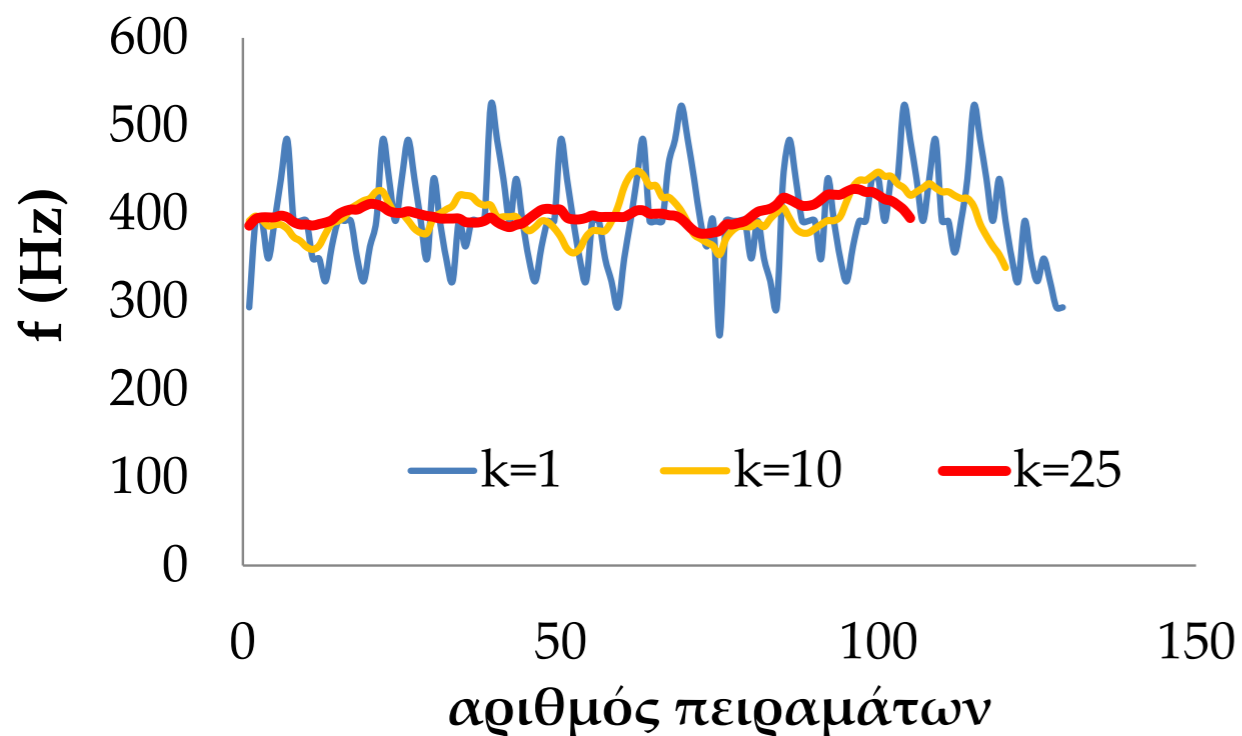
Ρίψη ζαριού 100 φορές



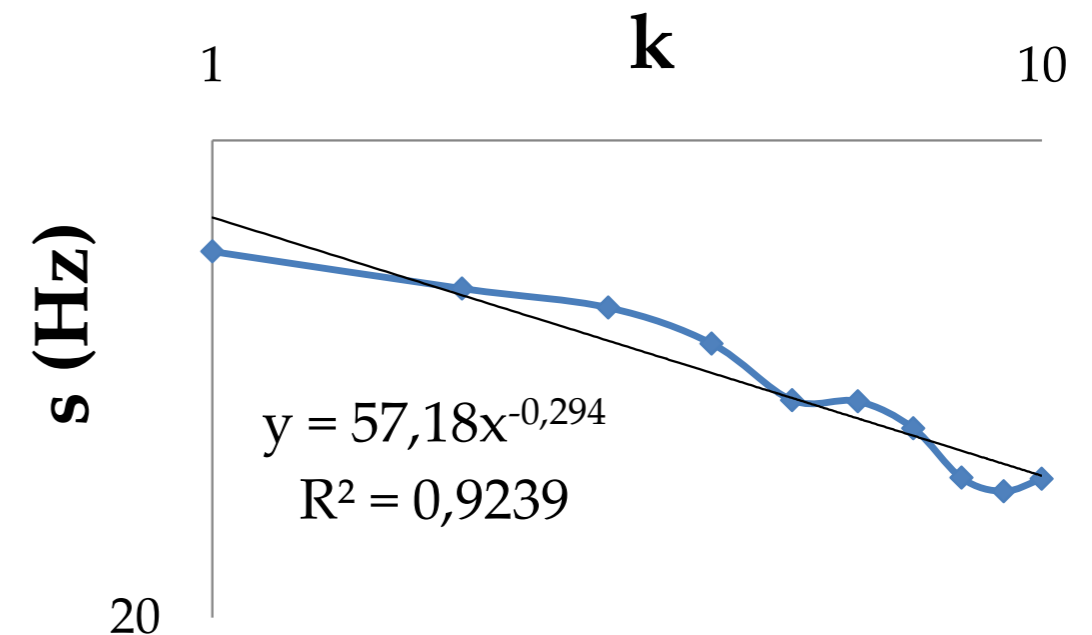
Αβεβαιότητα στις μικρές κλίμακες  
→  $H = 0,5$



Καταγραφή κομματιού Βυζαντινής μουσικής

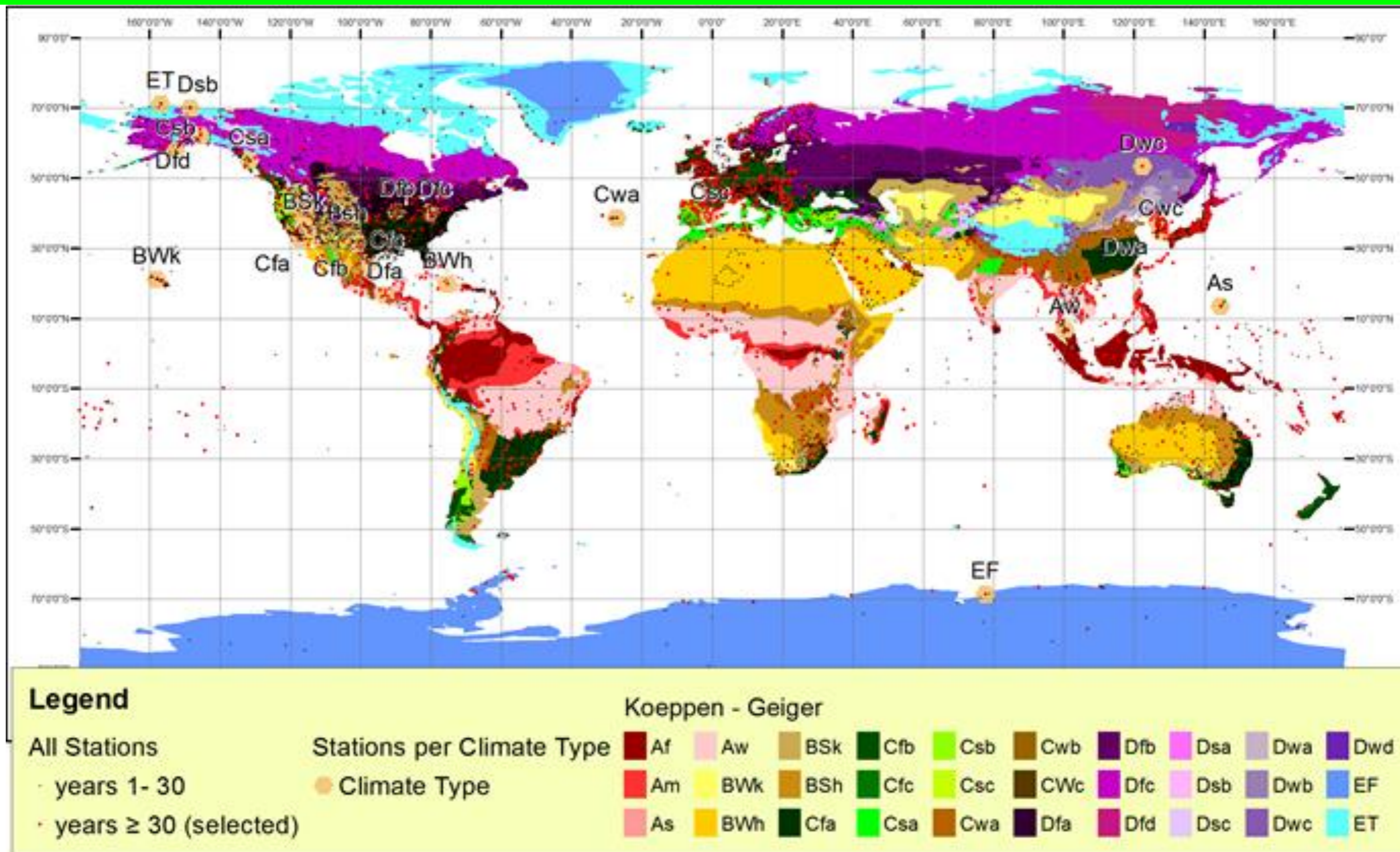


Αβεβαιότητα στις μεγάλες κλίμακες  
→  $H > 0,5$  (εδώ  $H = 0,7$ )

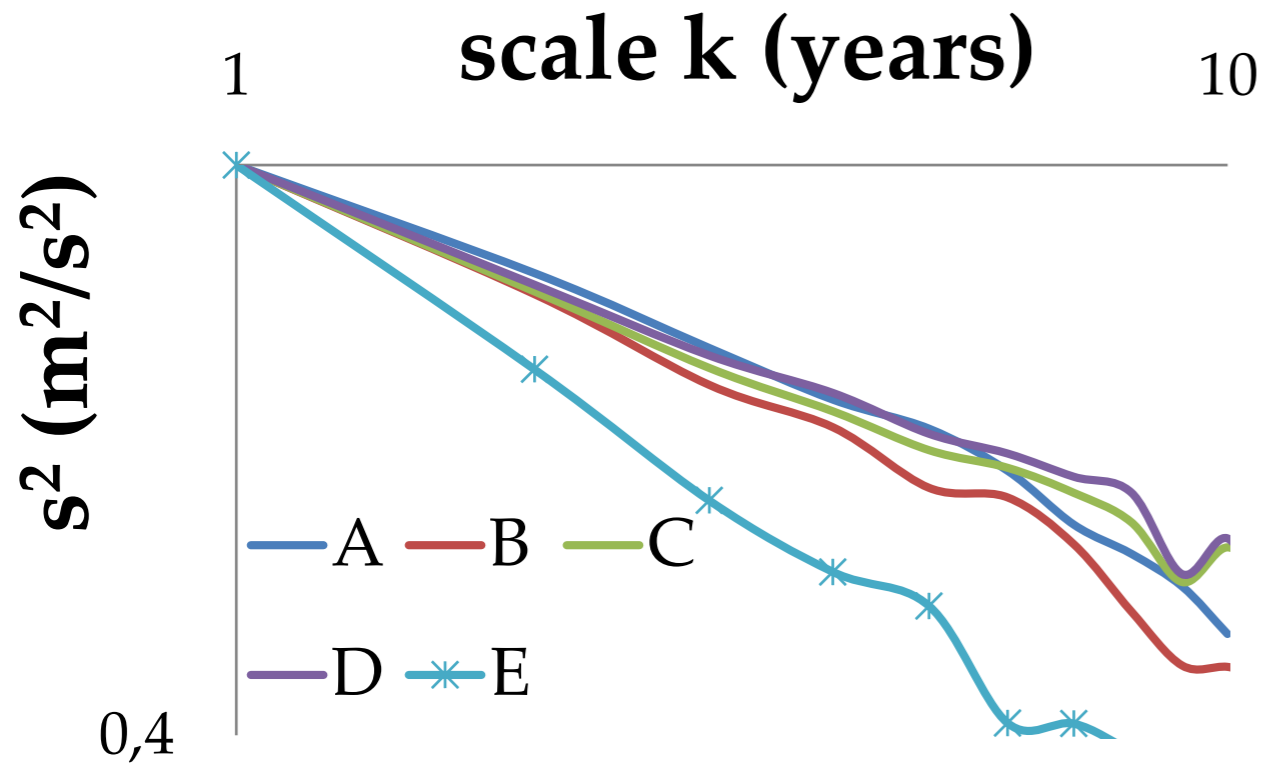


# 32. Δεδομένα

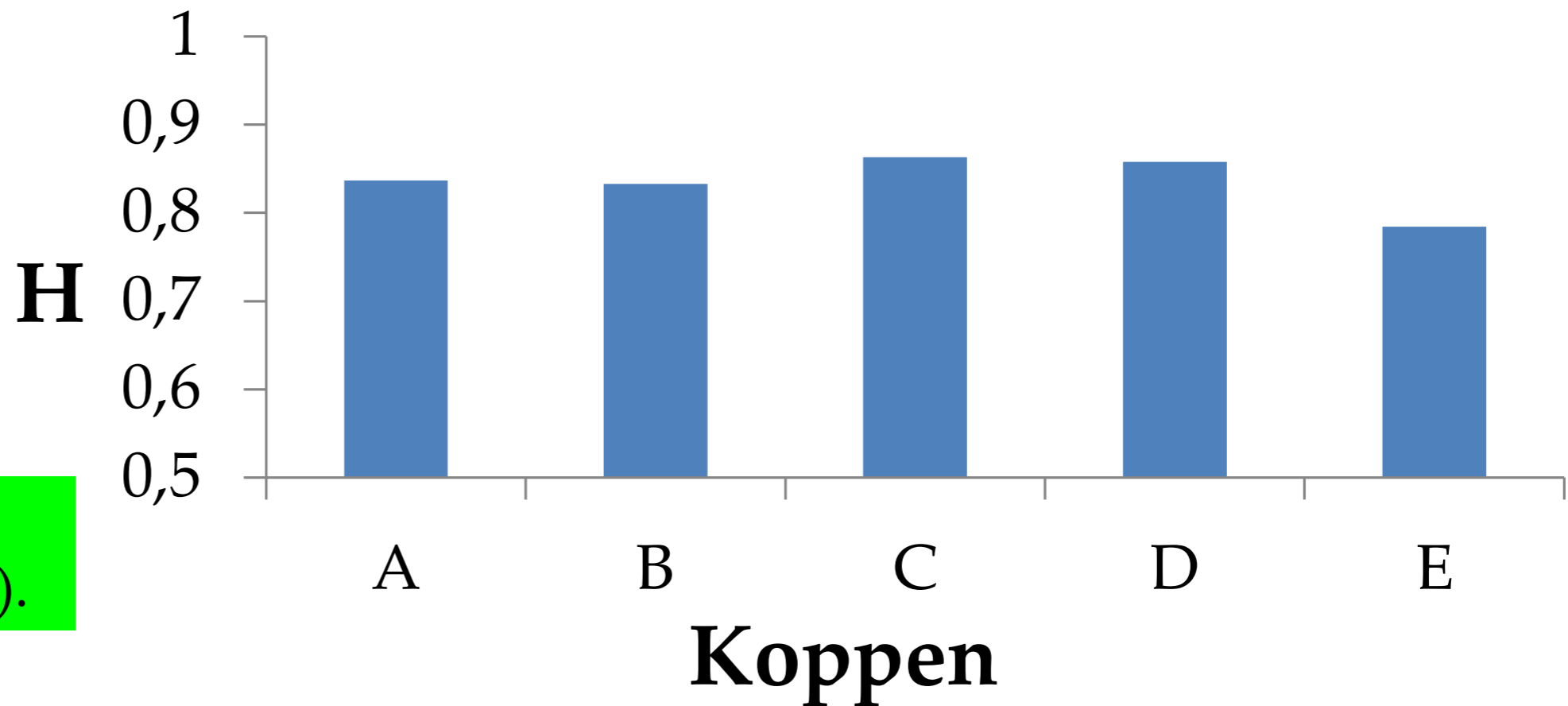
1300 σταθμοί: (α) 30 χρόνια, (β) 2400 μετρήσεις ανά έτος (1 μέτρηση ανά 3 h για 10 μήνες)



# 33. Κλιμακογράμματα

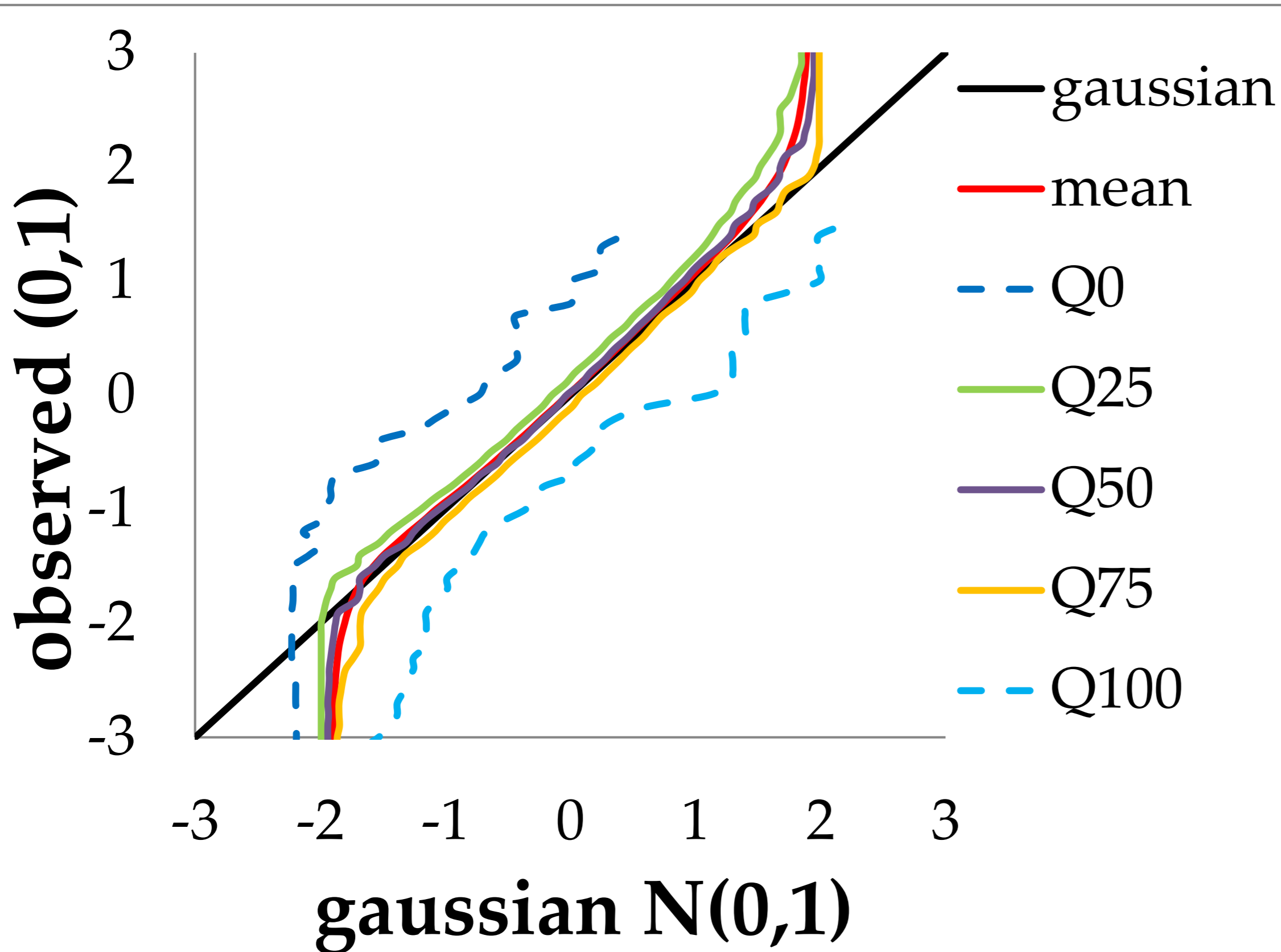


Ισχυρή μακροπρόθεσμη εμμόνη παγκοσμίως.



$H = 0,85$  γενικώς.  
 $H = 0,78$  στους πόλους (E).

## 34. Τελευταίο σχόλιο...



Κανονική κατανομή  
μέσων ετησίων τιμών.

$X < \mu - 2\sigma$  : απόκλιση για  
τεχνικούς λόγους.  
 $X > \mu - 2\sigma$  : απόκλιση για  
στατιστικούς λόγους.

Παραγωγή ενέργειας  
→ κύριο σώμα →  
κανονική κατανομή:  
αποτελεσματική!

## 35. Συμπεράσματα

Διπλή κυκλοστασιμότητα ανέμου,  
όπως ακτινοβολία και θερμοκρασία.

Εξαιρετικό μοντέλο διπλής κυκλοστασιμότητας  
για άνεμο και θερμοκρασία.

Δεδομένα reanalysis: περιγράφουν κάπως τη συμπεριφορά  
αυτή, αλλά με σφάλμα.

Μακροπρόθεσμη εμμονή ανέμου.

Μοντέλο πρόγνωσης: θα είναι αποτελεσματικό μόνο αν  
συνδυαστούν οι 2 συμπεριφορές του ανέμου!



## 36. Πιθανές απορίες:

A1: Δεν έχω πειστεί ότι ο άνεμος είναι πιο έντονος το μεσημέρι.  
Σίγουρα δεν είναι το βράδυ???!!!

A2: Σε ποιες περιοχές της γης υπερτερεί πολύ η εκδοχή 1 έναντι των άλλων;

A3: Πώς αποδεικνύεται ότι η ώρα αιχμής σε ένα σταθμό είναι ίδια για όλους τους μήνες; Αν δεν ισχύει, το μοντέλο είναι λάθος...!

A4: Μοντέλο θερμοκρασίας – διαφορά με το μοντέλο ανέμου.

A5: Μοντέλο θερμοκρασίας – αποτελέσματα.

A6: Κλιμακογράμματα – Μέσο παγκόσμιο και μέσο ελληνικό.

A7: Κατανομή μέσων ετησίων τιμών ακτινοβολίας, θερμοκρασίας, ταχύτητας ανέμου.

A8: Παραδείγματα εφαρμογής μοντέλου ανέμου.

A9: Παραδείγματα εφαρμογής μοντέλου θερμοκρασίας.

**ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ !!!**

Ιδιαίτερες ευχαριστίες απευθύνω στον επιβλέποντα κ. Δημήτριο Κουτσογιάννη,  
για την πολύτιμη βοήθεια και στήριξη.

Επιπλέον, ευχαριστώ θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα Παναγιώτη Δημητριάδη,  
διότι μου συμπαραστάθηκε και με βοήθησε σε όλη αυτήν την προσπάθεια.  
Τους εύχομαι καλή συνέχεια στο επιτυχές ερευνητικό έργο που επιτελούν.

# A1. Τελικά πότε φυσάει περισσότερο; Πρωί ή βράδυ;

Έχουμε συνδέσει τον άνεμο με το κρύο επειδή συνήθως φυσάει το χειμώνα. Σωστό είναι αυτό.

Απλώς ισχύει μόνο σε μηνιαία και όχι σε ωριαία κλίμακα.

Είναι και θέμα ψυχολογικό:

Καλοκαίρι: το μεσημέρι έχουμε περισσότερη ανάγκη τον άνεμο.

Άρα νιώθουμε ότι δε φυσάει τόσο.

Χειμώνας: Το βράδυ μας ενοχλεί περισσότερο ο άνεμος.

Άρα νιώθουμε ότι φυσάει πιο πολύ.

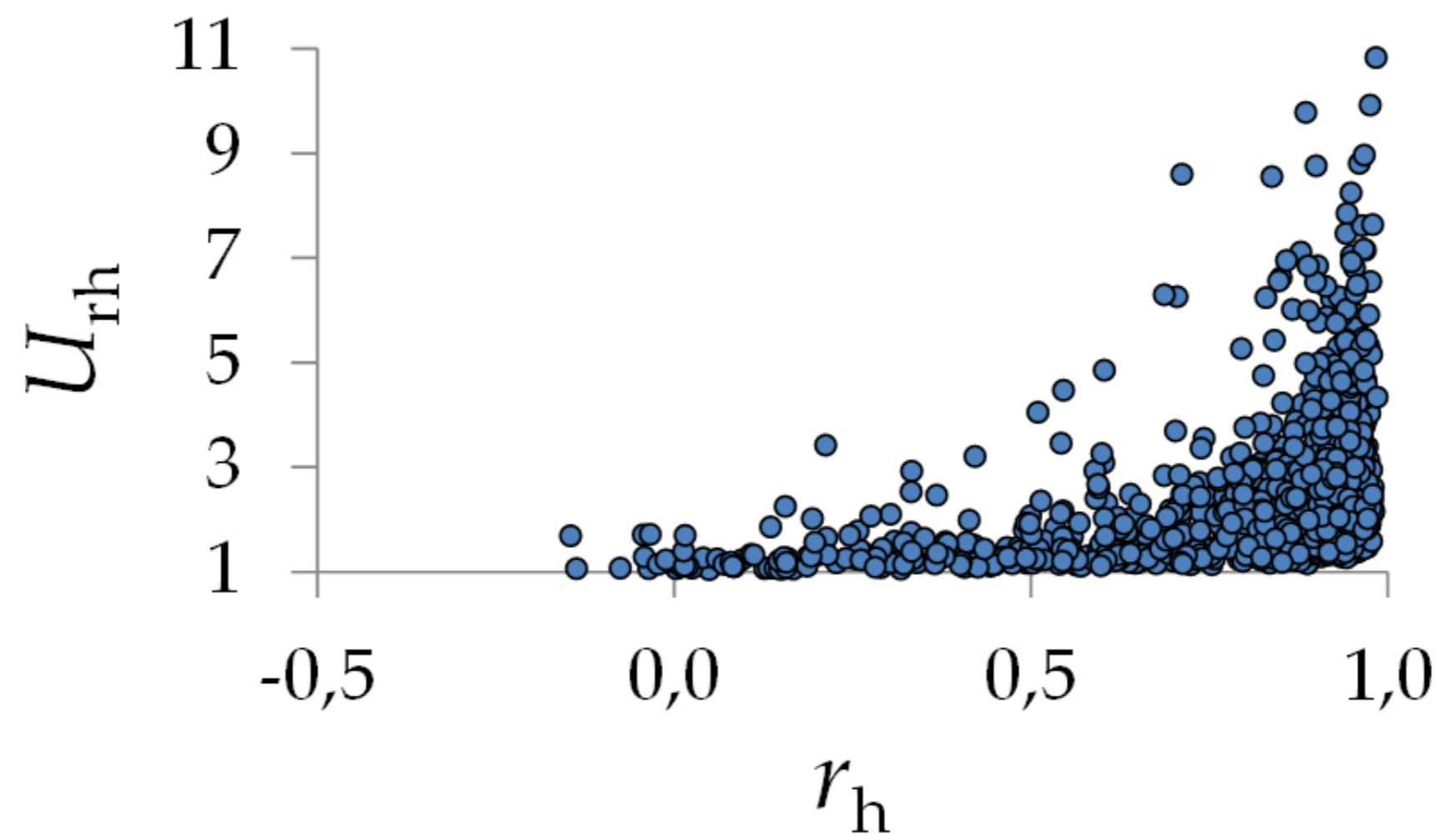
A2. Σε ποιες περιοχές υπερτερεί πολύ η εκδοχή 1;

Κοντά στους πόλους.

Μισές μηνιαίες καμπύλες  $\rightarrow$  σταθερές  
και οι άλλες  $\rightarrow$  με διακύμανση.

A3. Η ώρα αιχμής ανέμου είναι η ίδια για όλους τους μήνες;

Όντως είναι η ίδια. Αν αυτό δεν ίσχυε τότε:  
θα έπρεπε να υπάρχουν σημεία και πάνω αριστερά στο διάγραμμα.



## Α4. Εκδοχή 1 μοντέλου θερμοκρασίας

### ΕΚΔΟΧΗ 1:

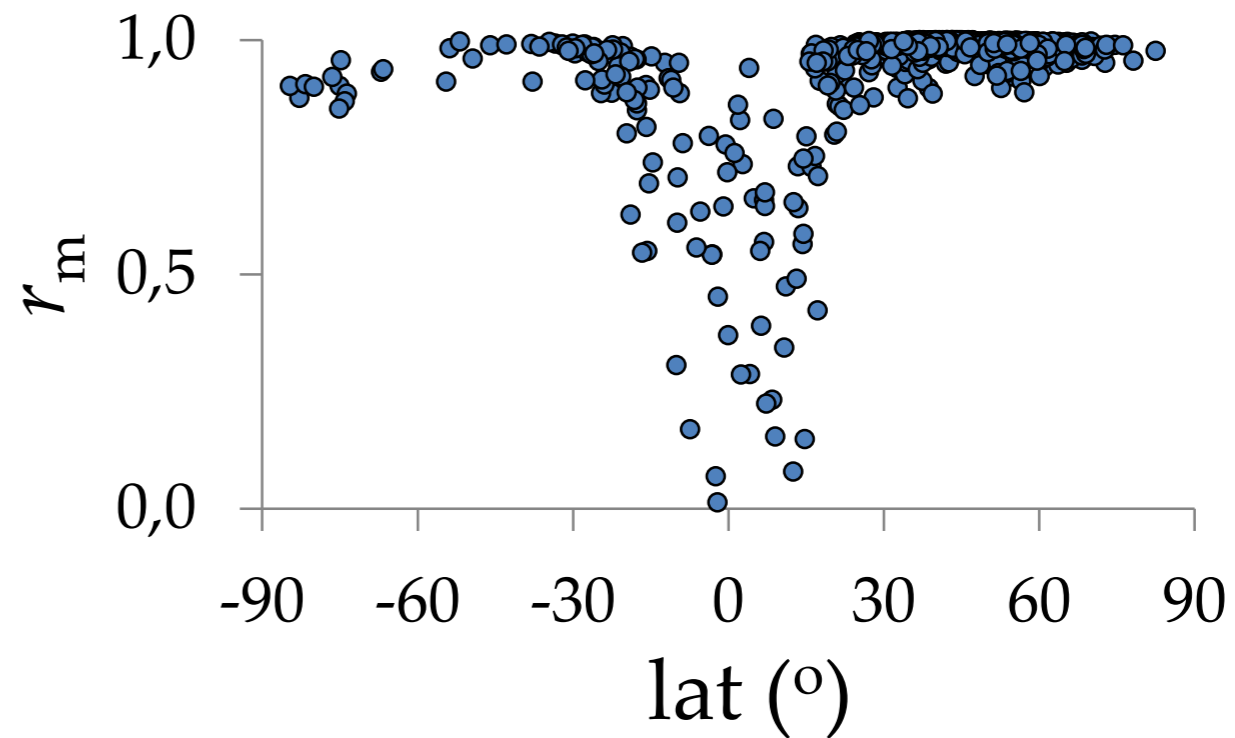
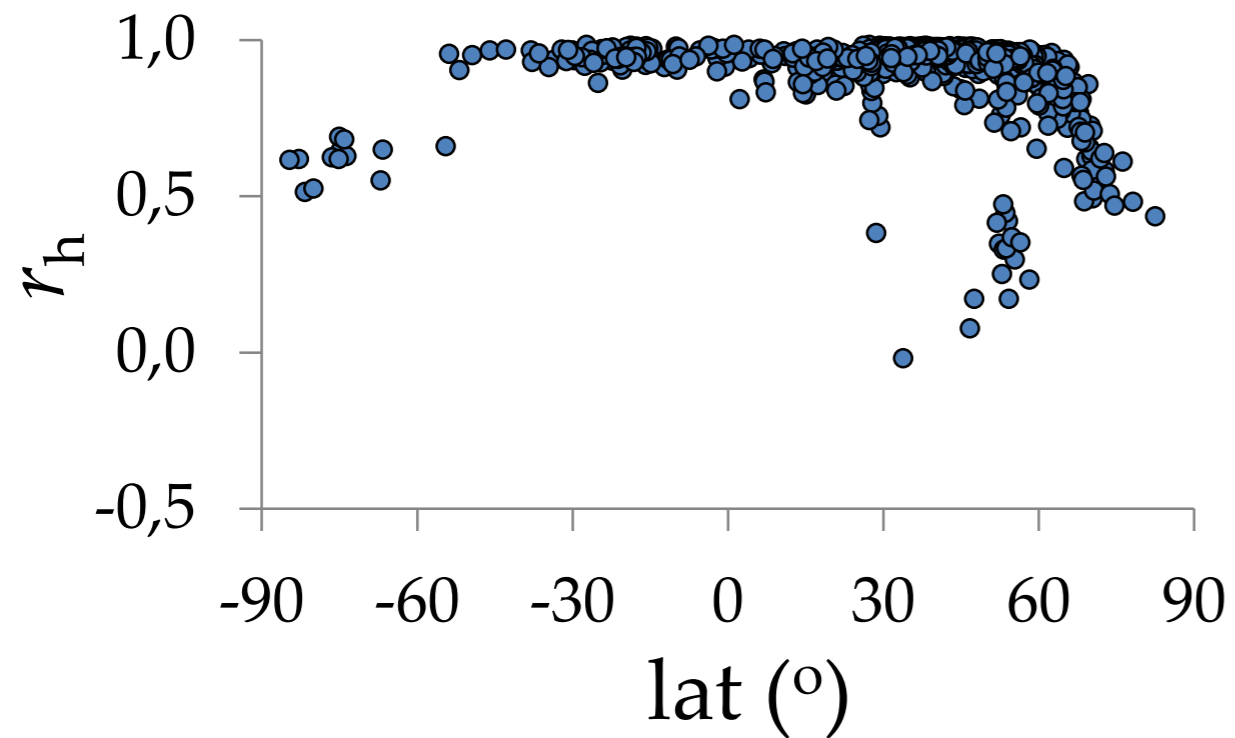
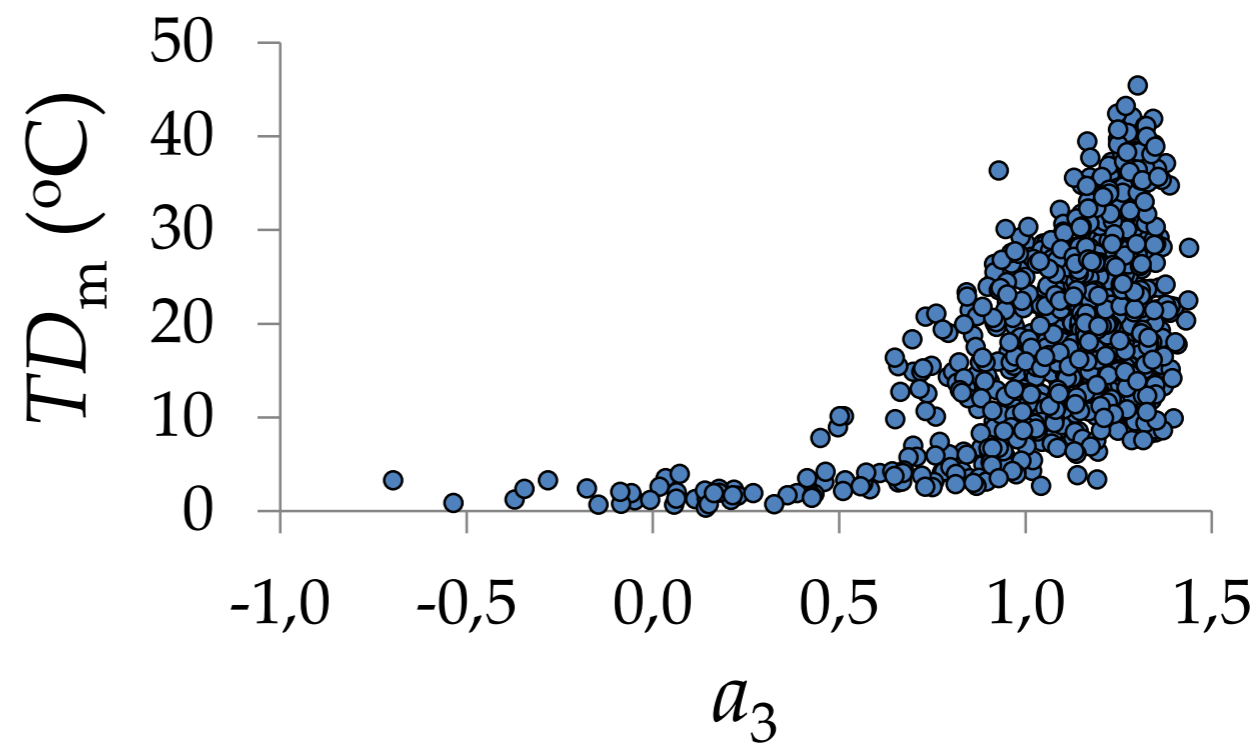
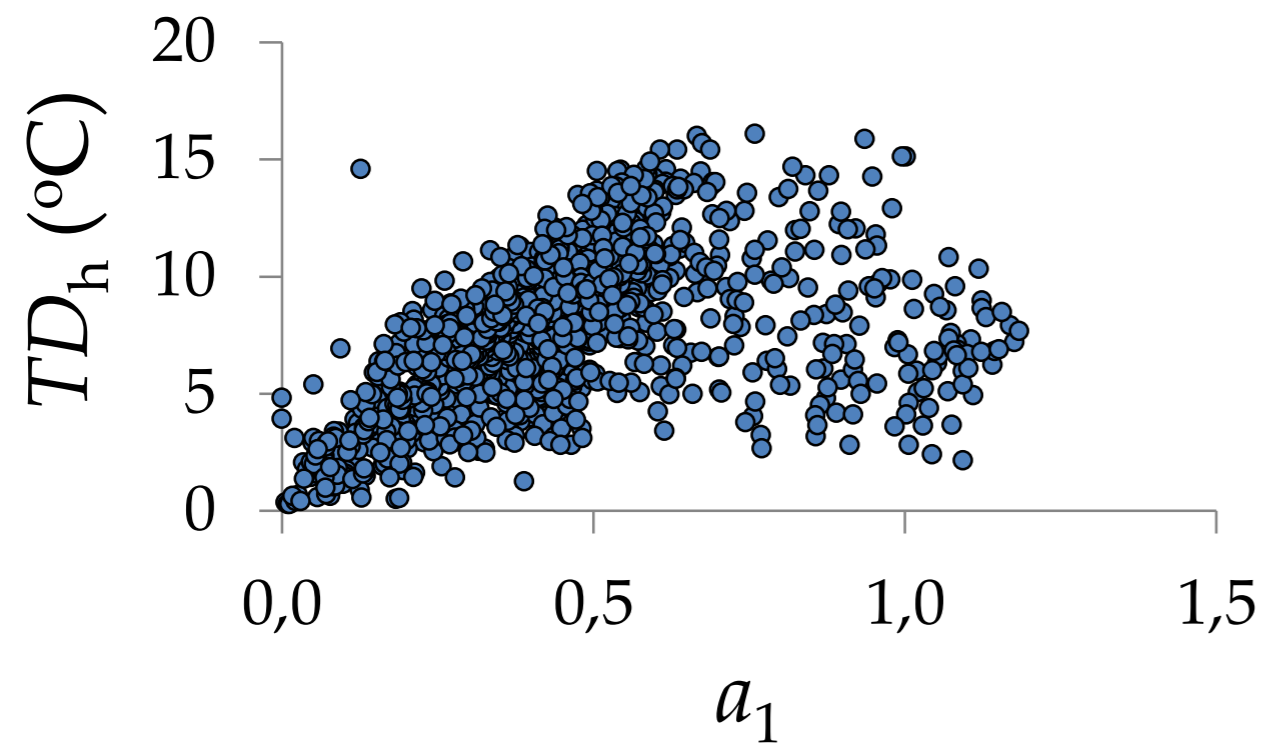
$$\mu_c = \left( (a_1 + a_2 C_m(t)) \exp(C_h(t)) + a_3 C_m(t) \right) \sigma + a_4 \mu$$

$$C_m(t) = \cos \left( 2\pi \frac{(t_m - a_m)}{T_m} \right)$$

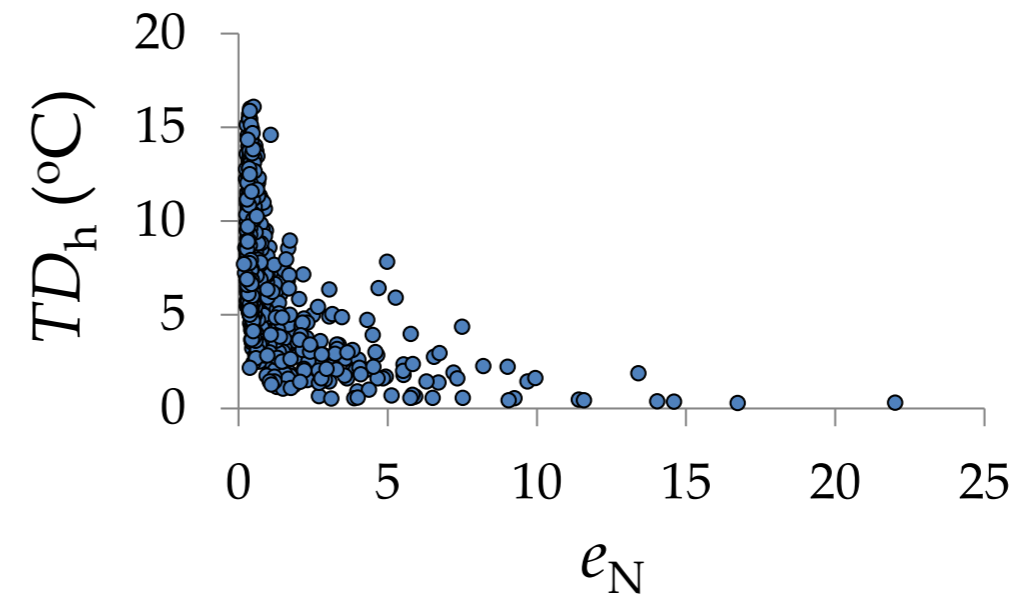
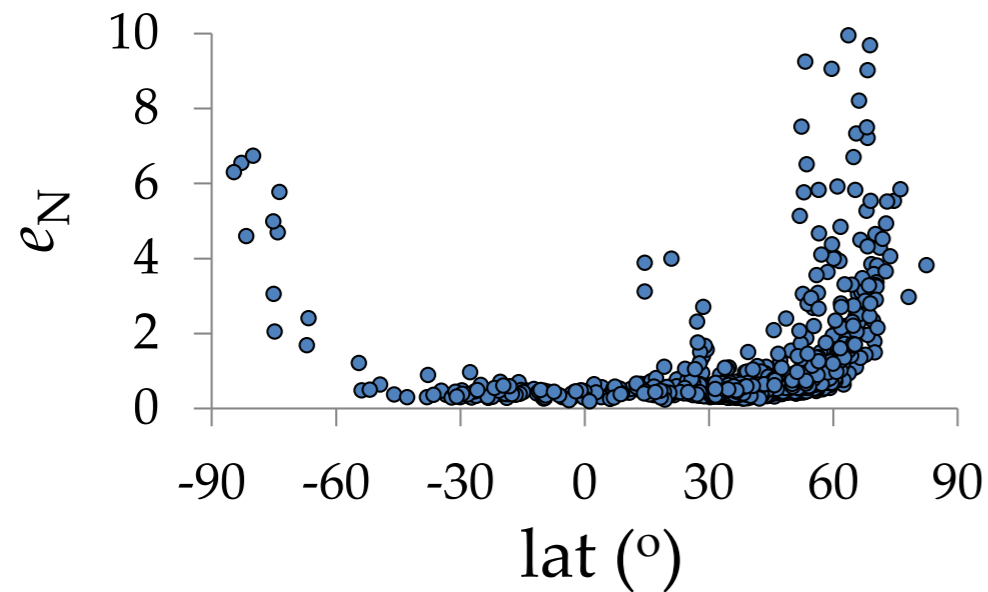
$$C_h(t) = \cos \left( 2\pi \frac{(t_h - a_h)}{T_h} \right)$$

Αδιαστατοποιούμε με την τυπική απόκλιση  
του πίνακα 24X12,  
επειδή  $\sigma > 0$

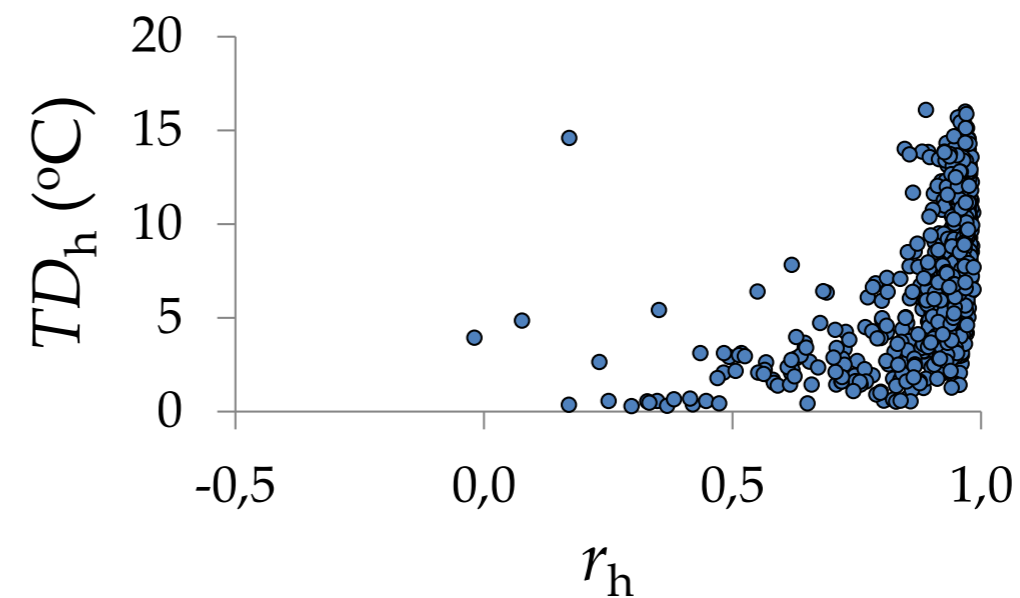
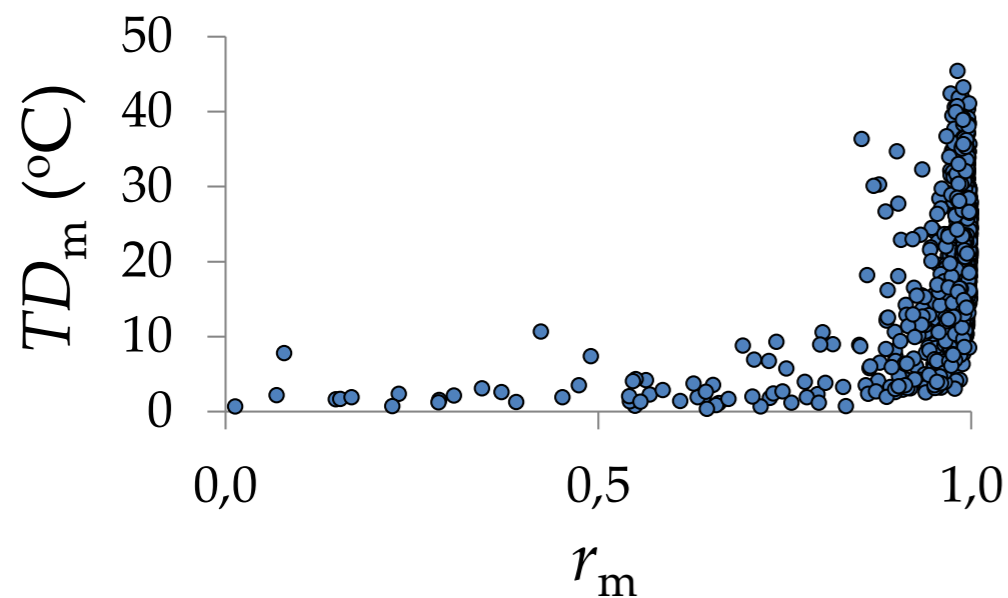
# Α5. Αποτελέσματα μοντέλου θερμοκρασίας (1)



## A5. Αποτελέσματα μοντέλου θερμοκρασίας (2)



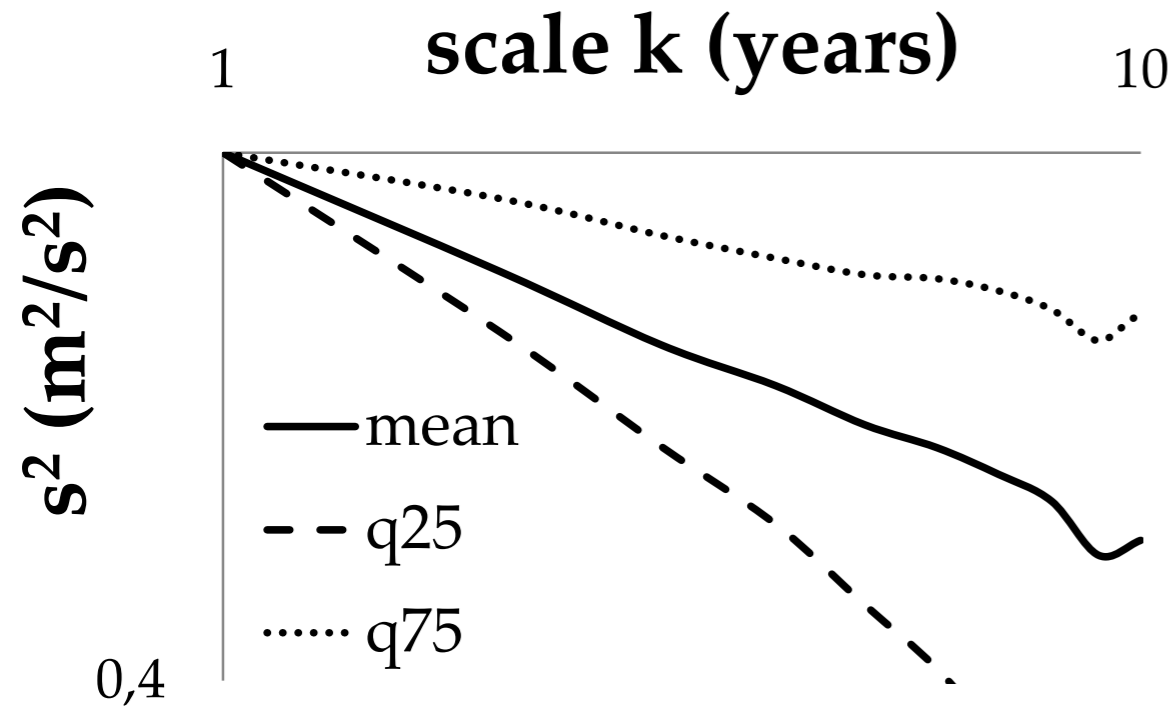
Υπερεκτίμηση σφάλματος κοντά στους πόλους (μικρή διακύμανση)  
διότι  $\sigma$  πολύ μικρό.



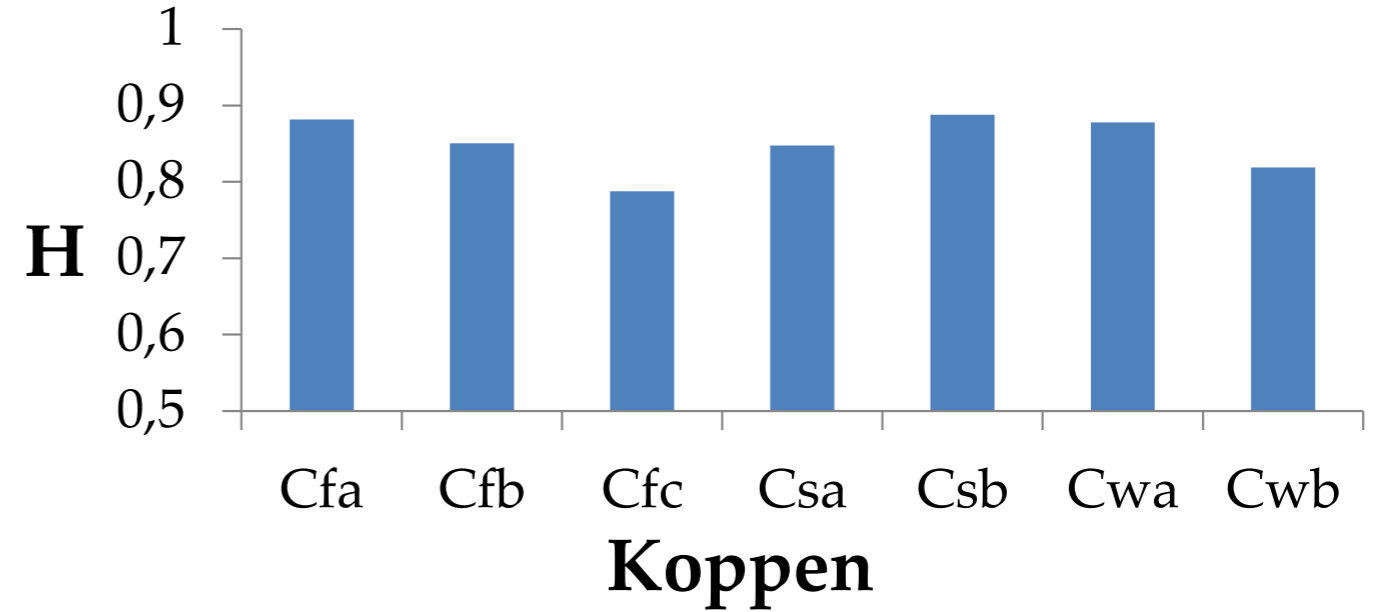
Υποεκτίμηση συσχέτισης  
όταν έχουμε μικρή διακύμανση.



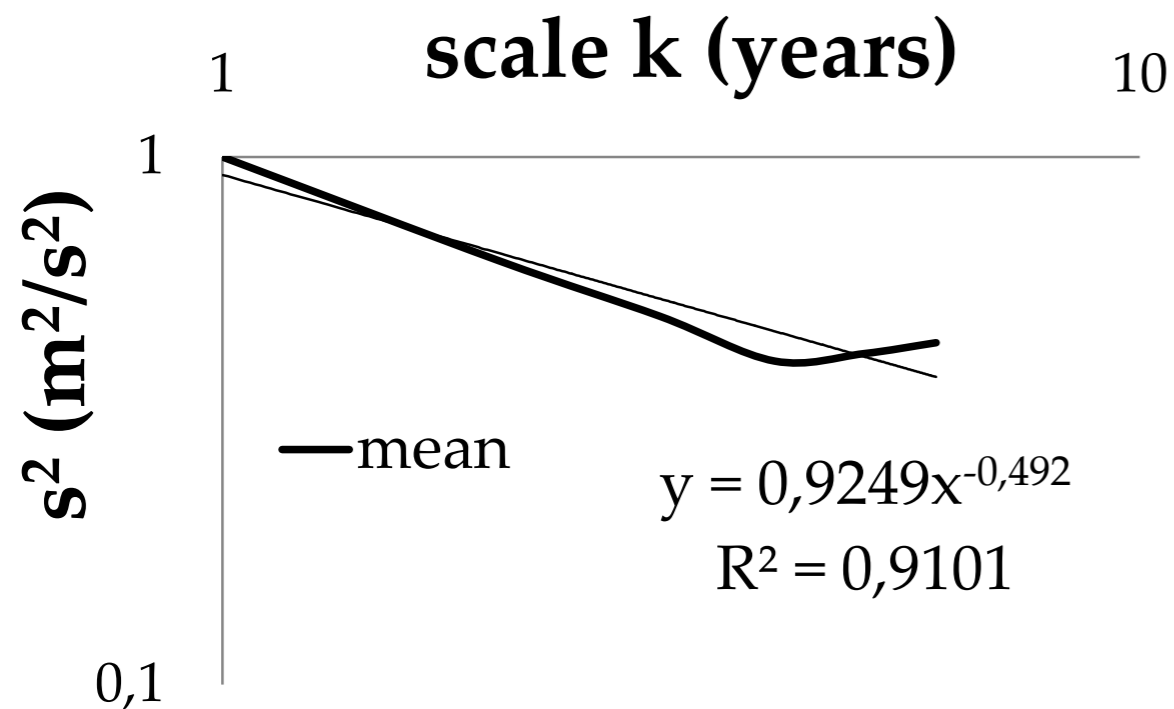
# A6. Κλιμακογράμματα



Μέσο παγκόσμιο κλιμακόγραμμα:  
 $H = 0,85$ ,  $H_{25\%} = 0,76$ ,  $H_{75\%} = 0,94$

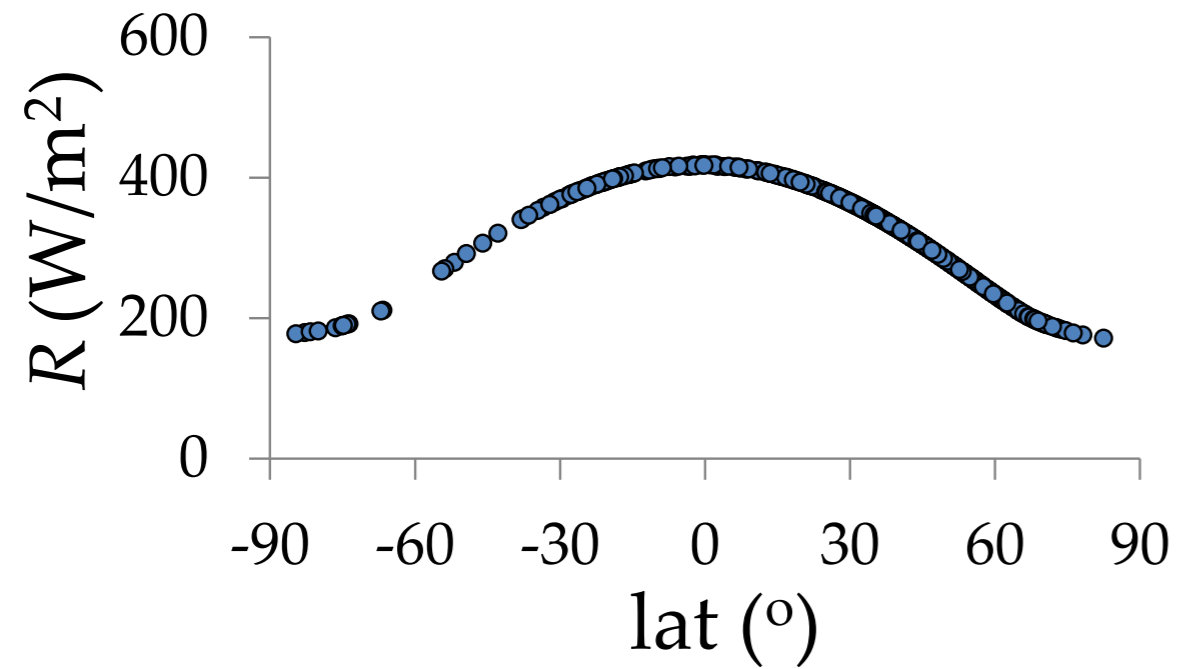


Συντελεστής Hurst για τις υποκατηγορίες Koppen C.

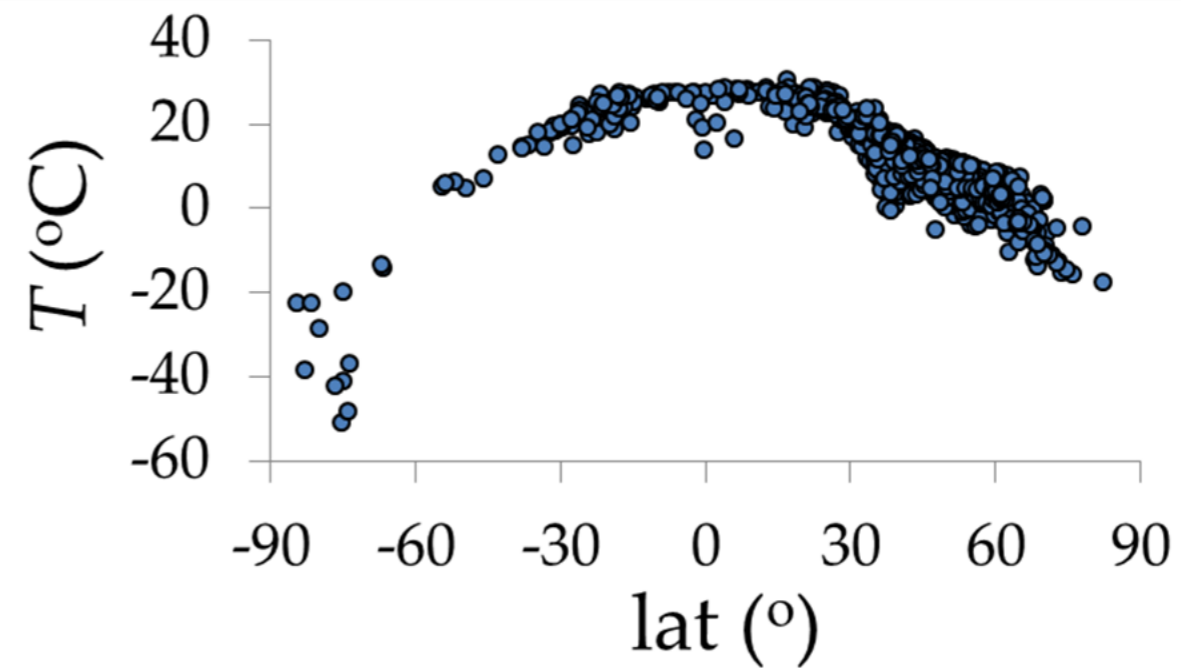


Μέσο ελληνικό κλιμακόγραμμα:  
 $H = 0,75$

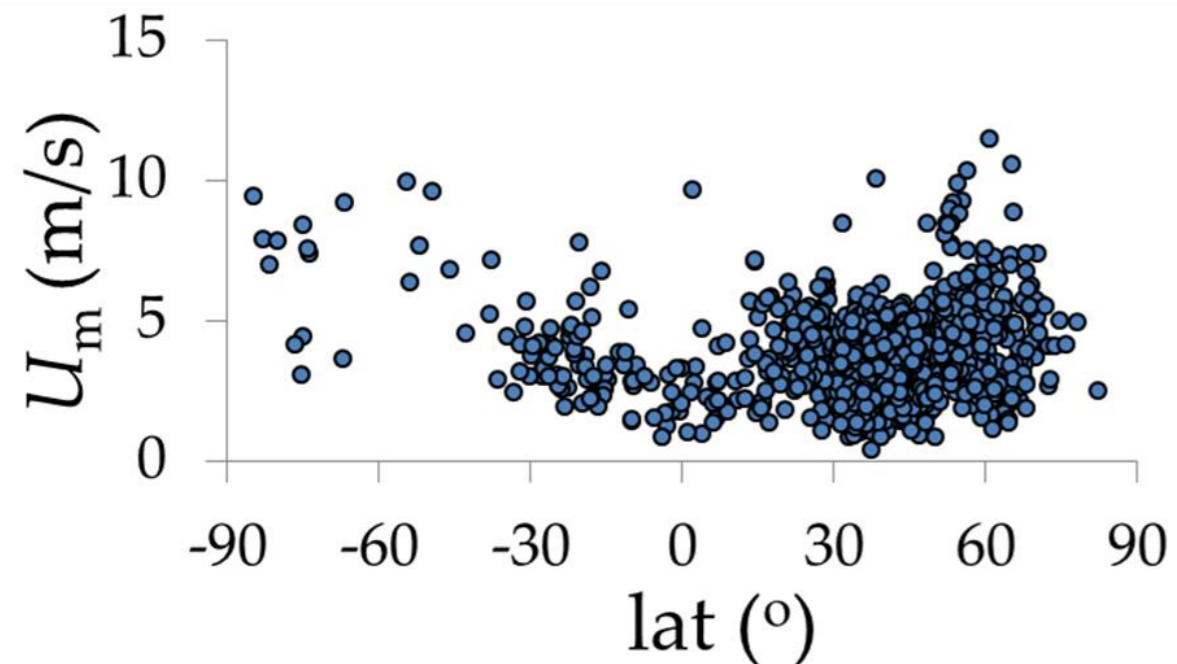
## A7. Μέσες ετήσιες τιμές



Μέση ετήσια ακτινοβολία: διπλάσια στον ισημερινό από ότι στους πόλους.



Μέση ετήσια θερμοκρασία: -50 ~ +30 °C



Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου: ελαφρώς μεγαλύτερη στους πόλους.

# Α8. Παραδείγματα εφαρμογής

Στις ακόλουθες διαφάνειες απεικονίζονται 4 διαγράμματα.

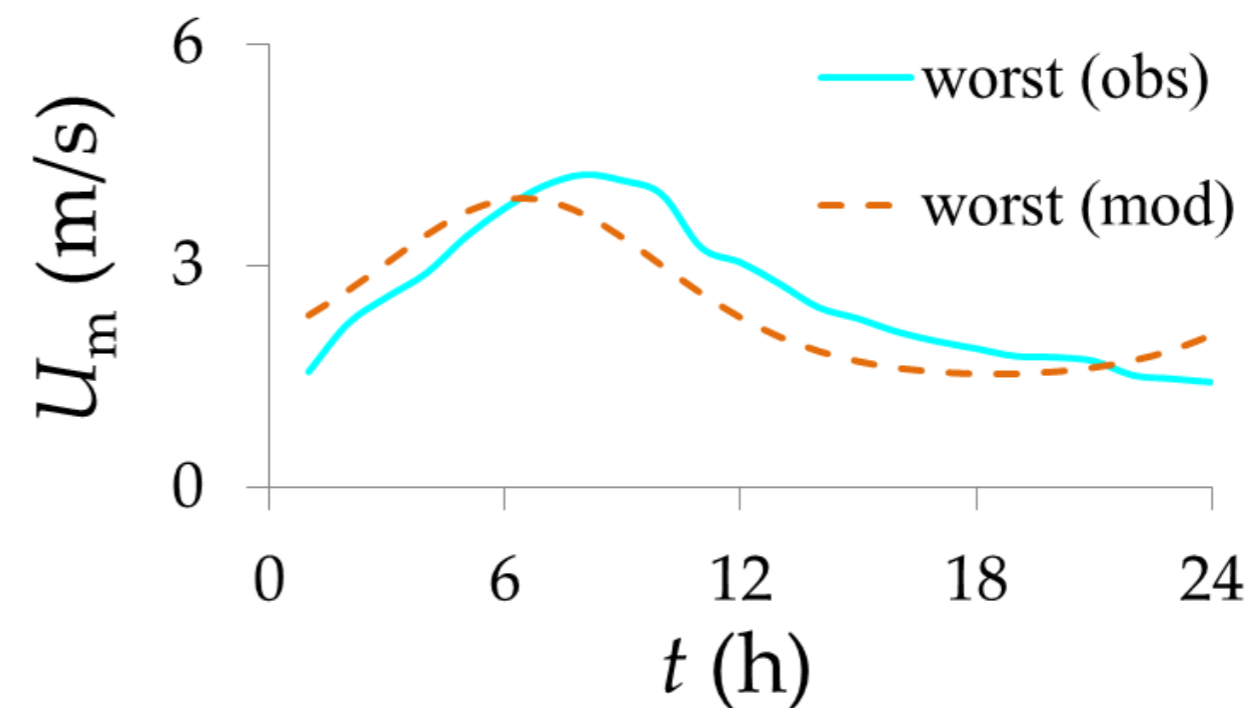
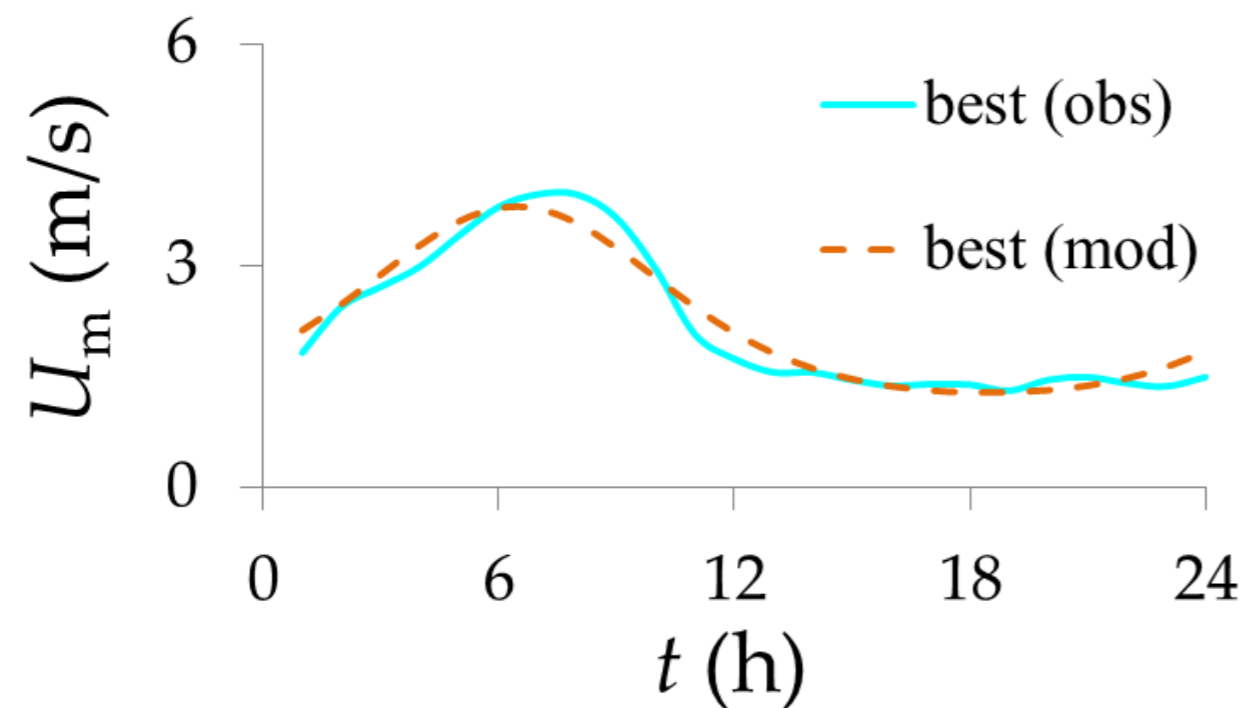
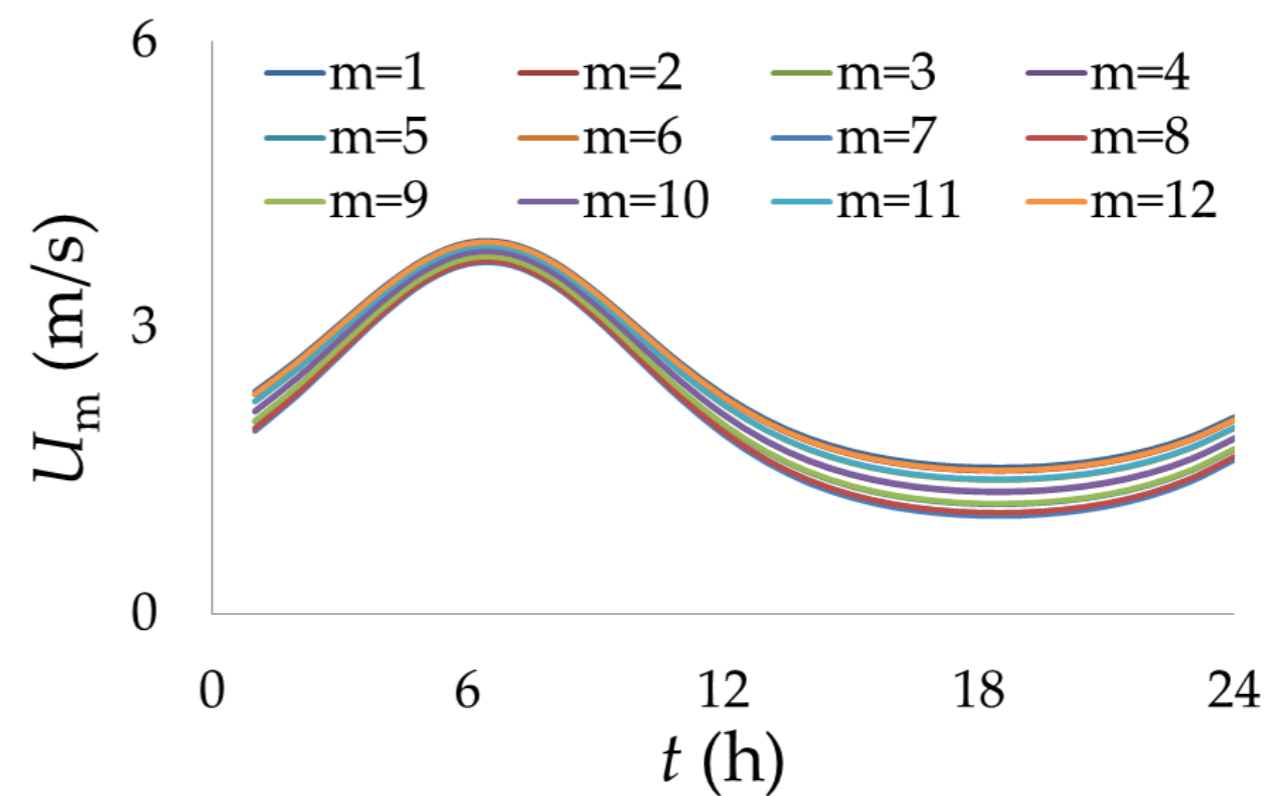
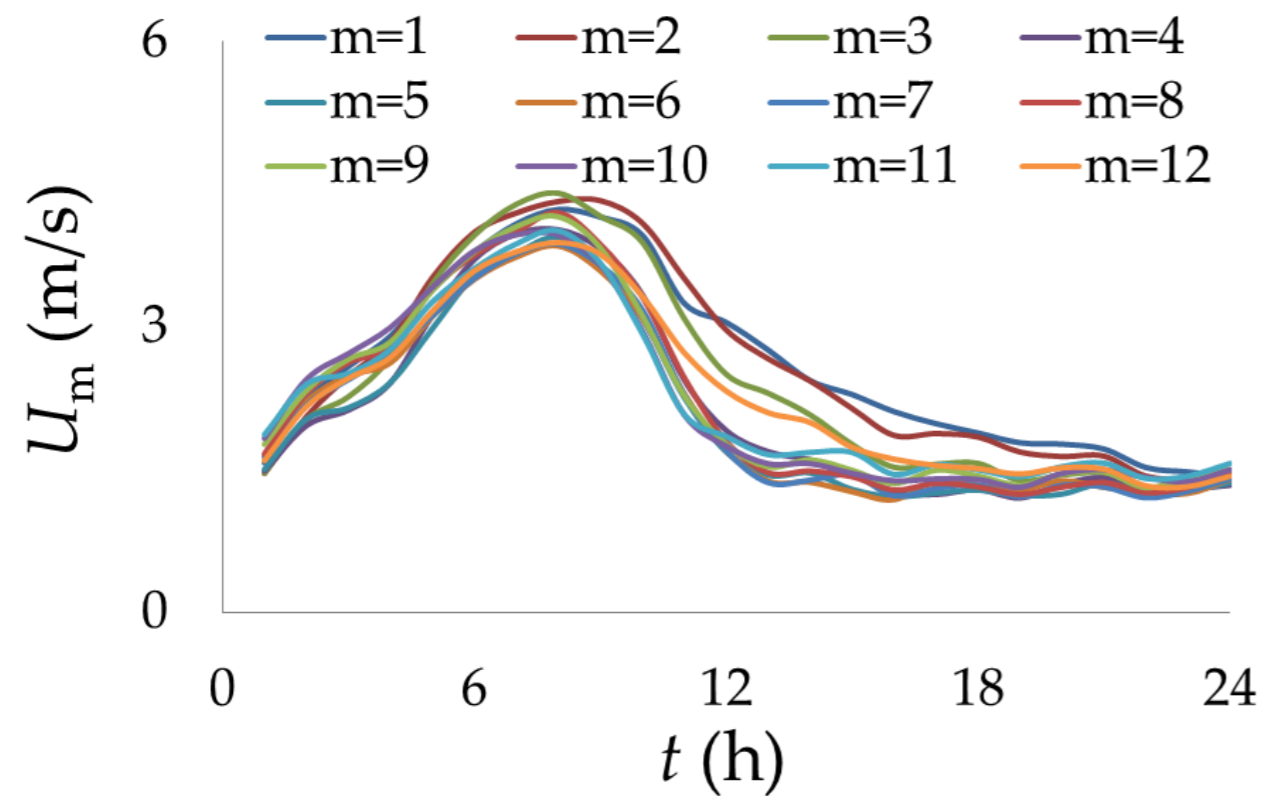
Πάνω αριστερά: Ωριαία κατανομή του ανέμου για κάθε μήνα (παρατηρήσεις).

Πάνω δεξιά: Ωριαία κατανομή του ανέμου για κάθε μήνα (μοντέλο).

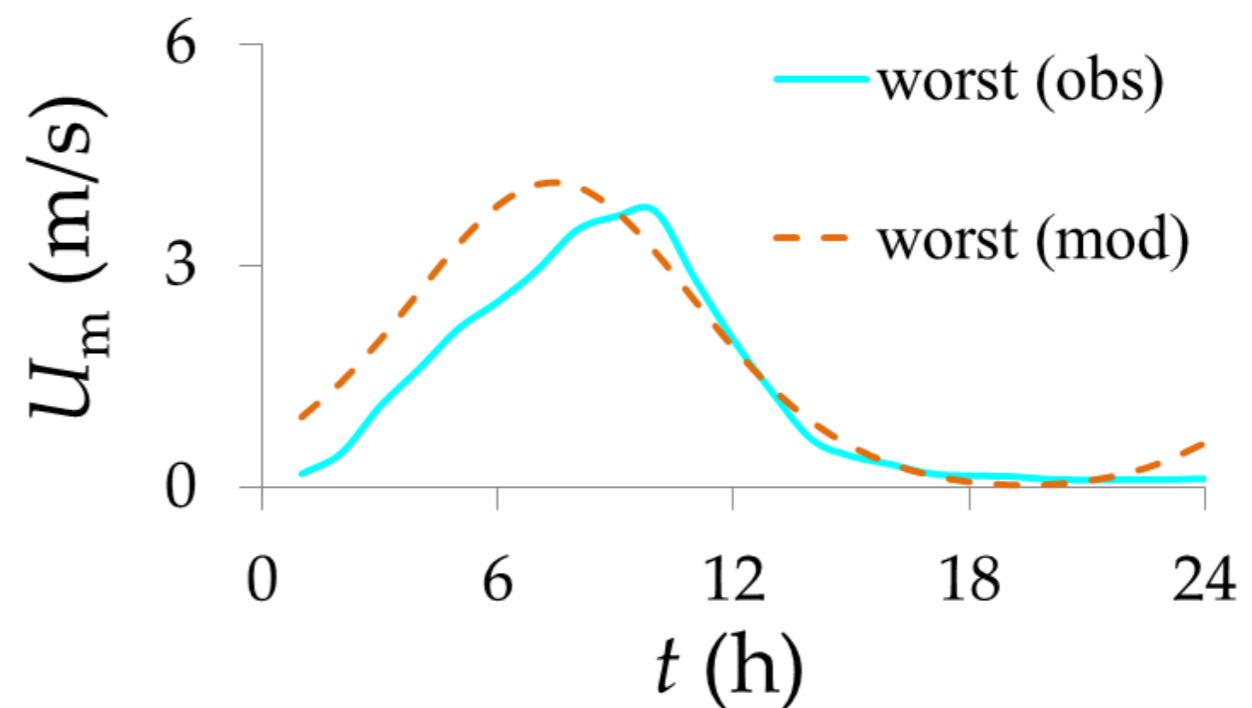
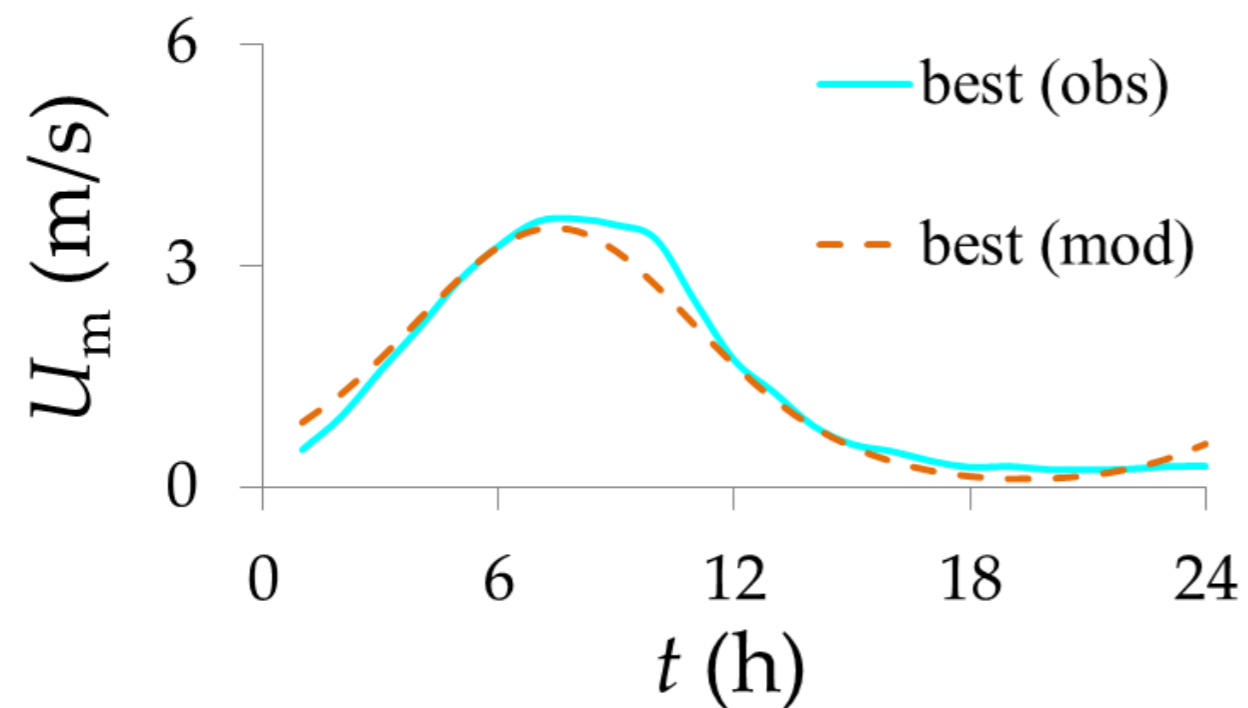
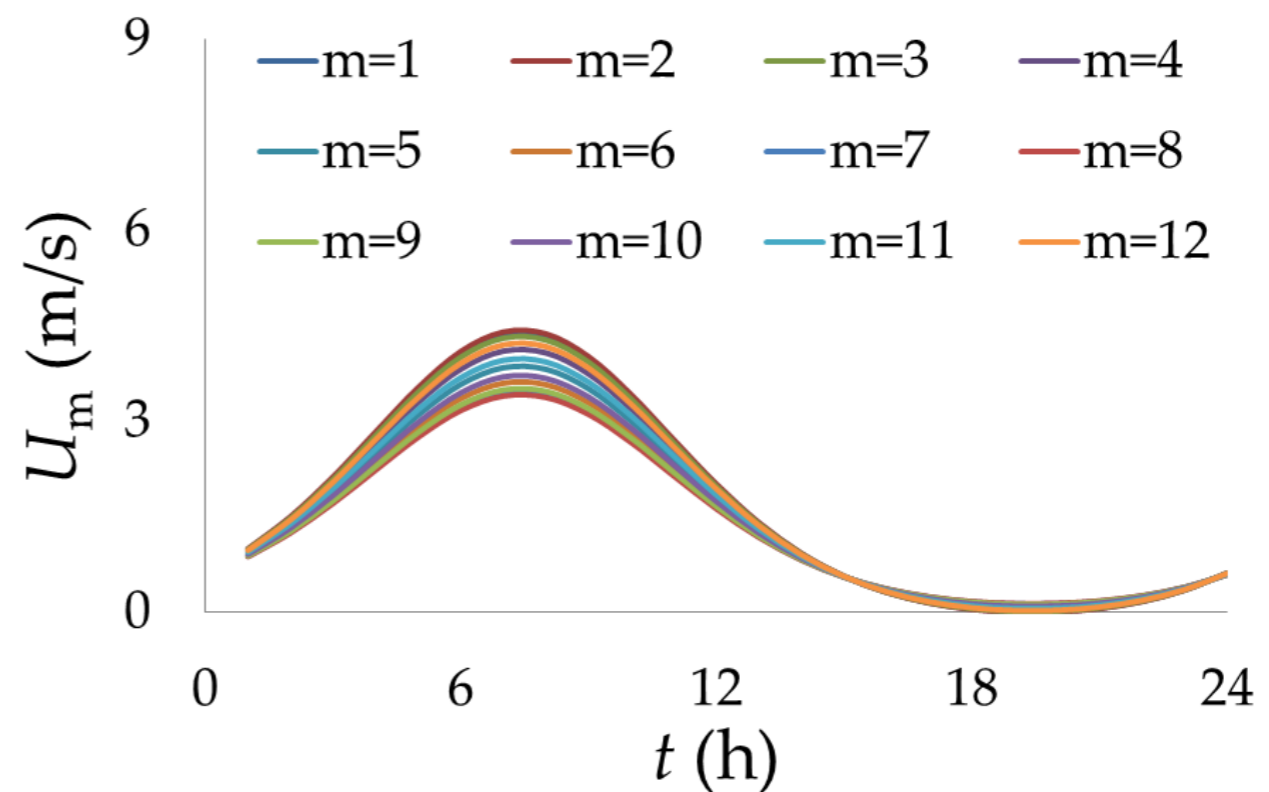
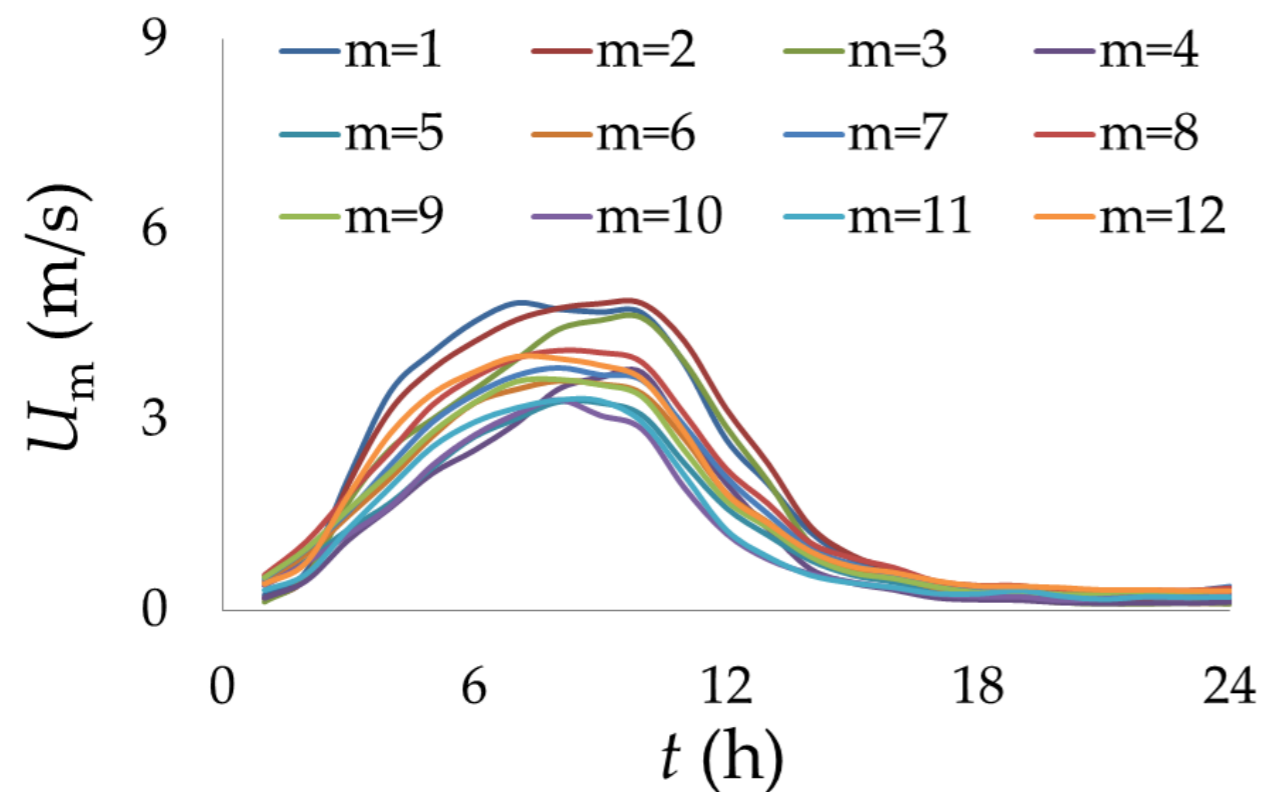
Κάτω αριστερά: Καλύτερος μήνας (παρατηρήσεις και μοντέλο)

Κάτω δεξιά: Χειρότερος μήνας (παρατηρήσεις και μοντέλο)

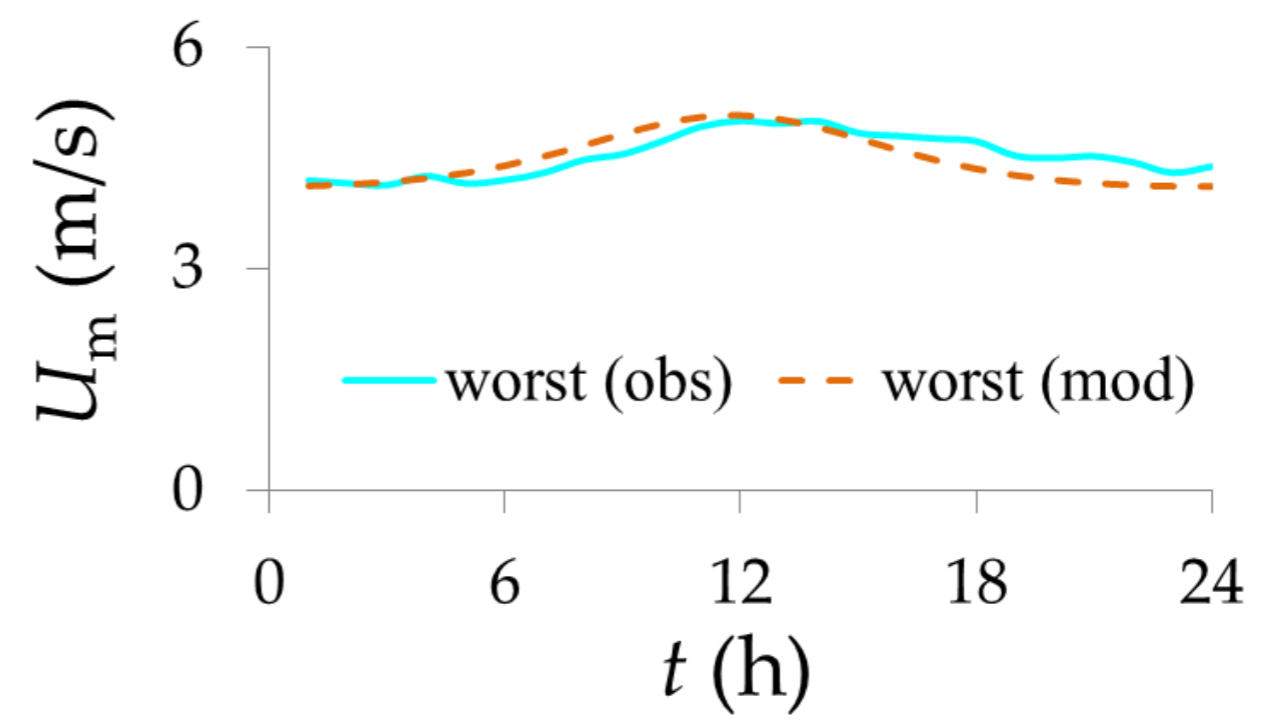
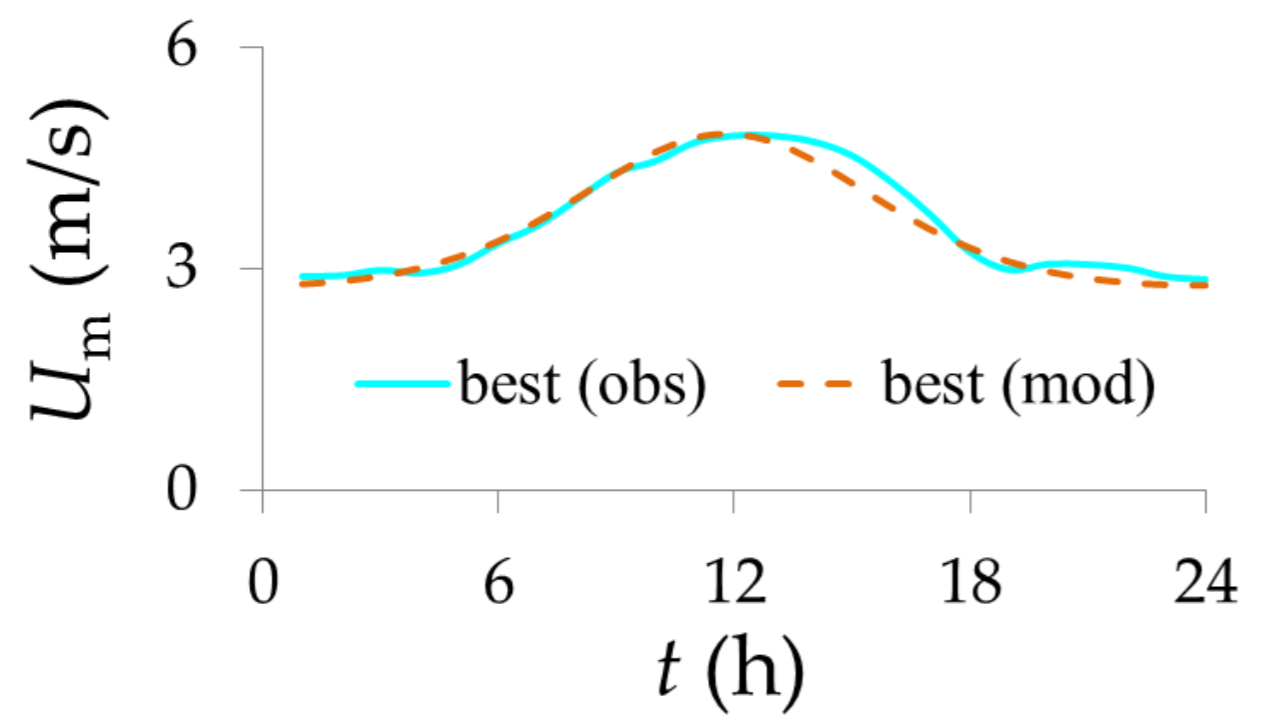
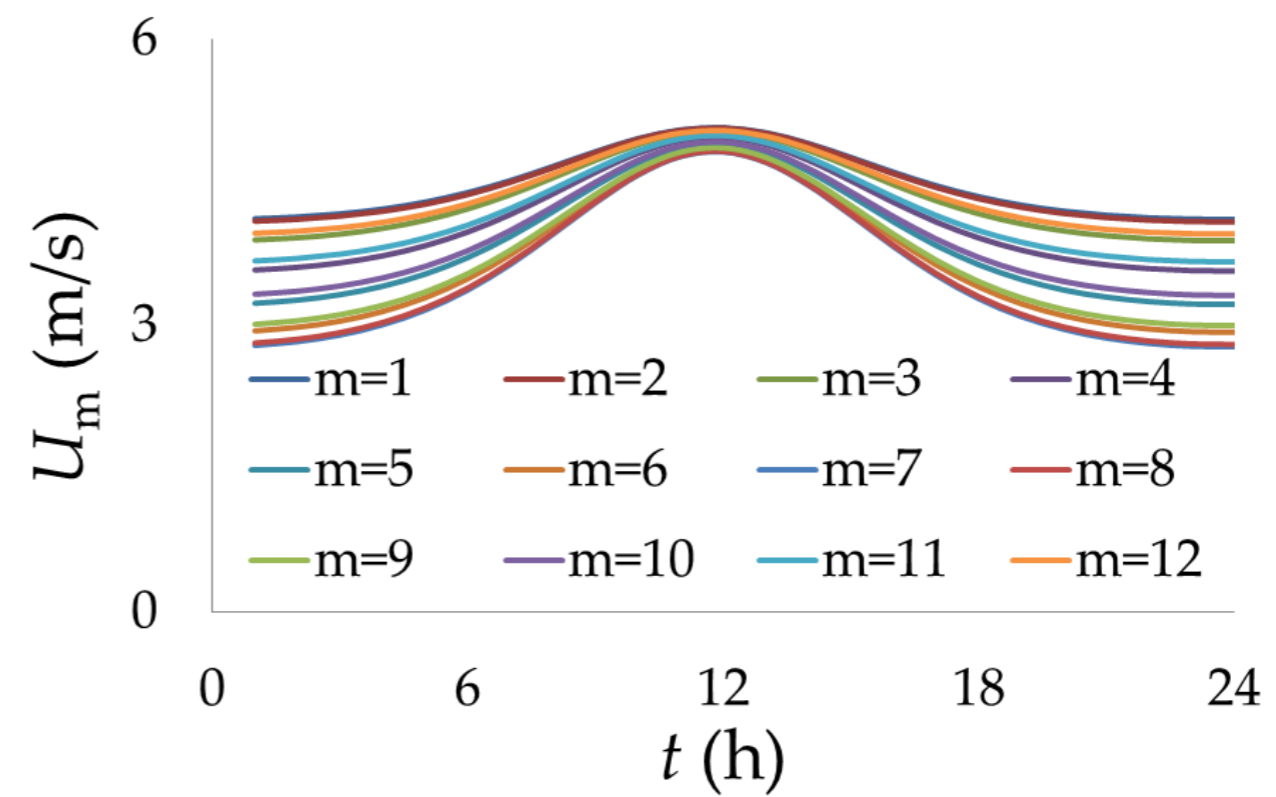
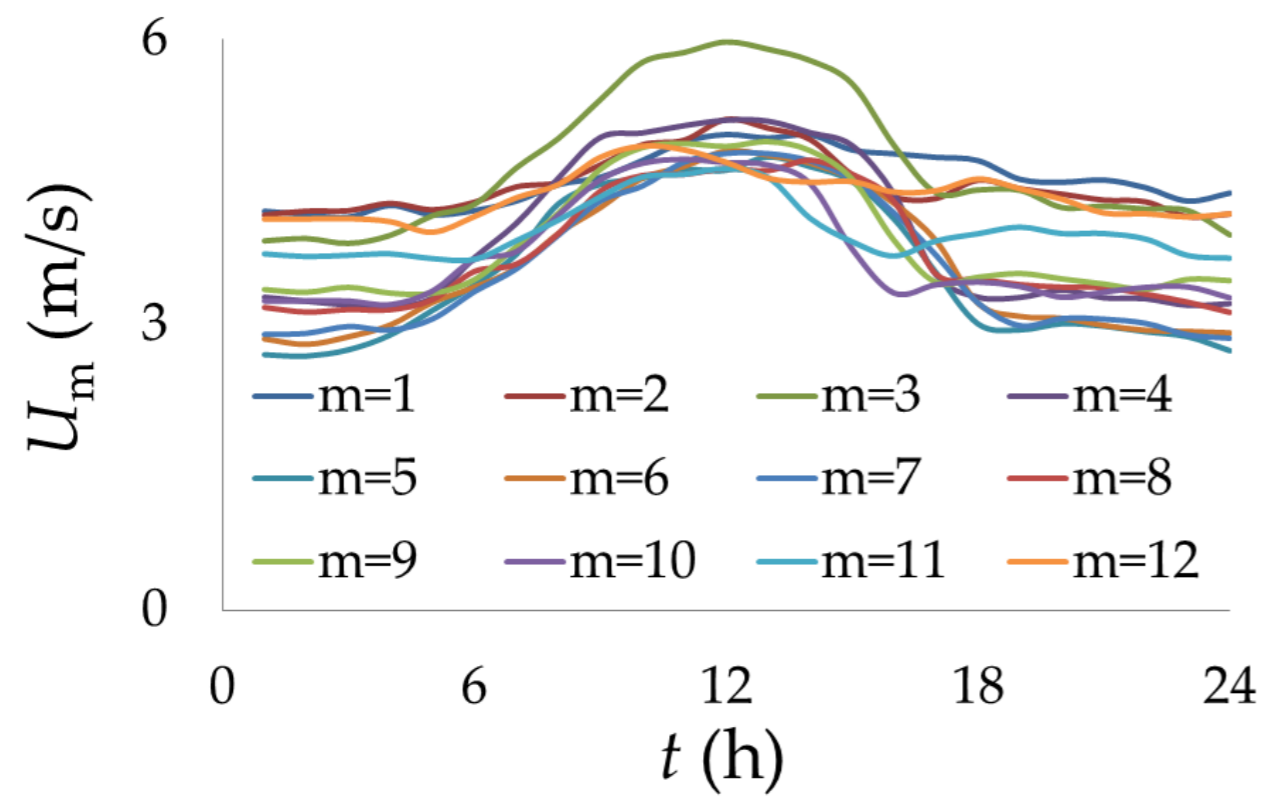
# Α8. Παραδείγματα εφαρμογής (Brunei)



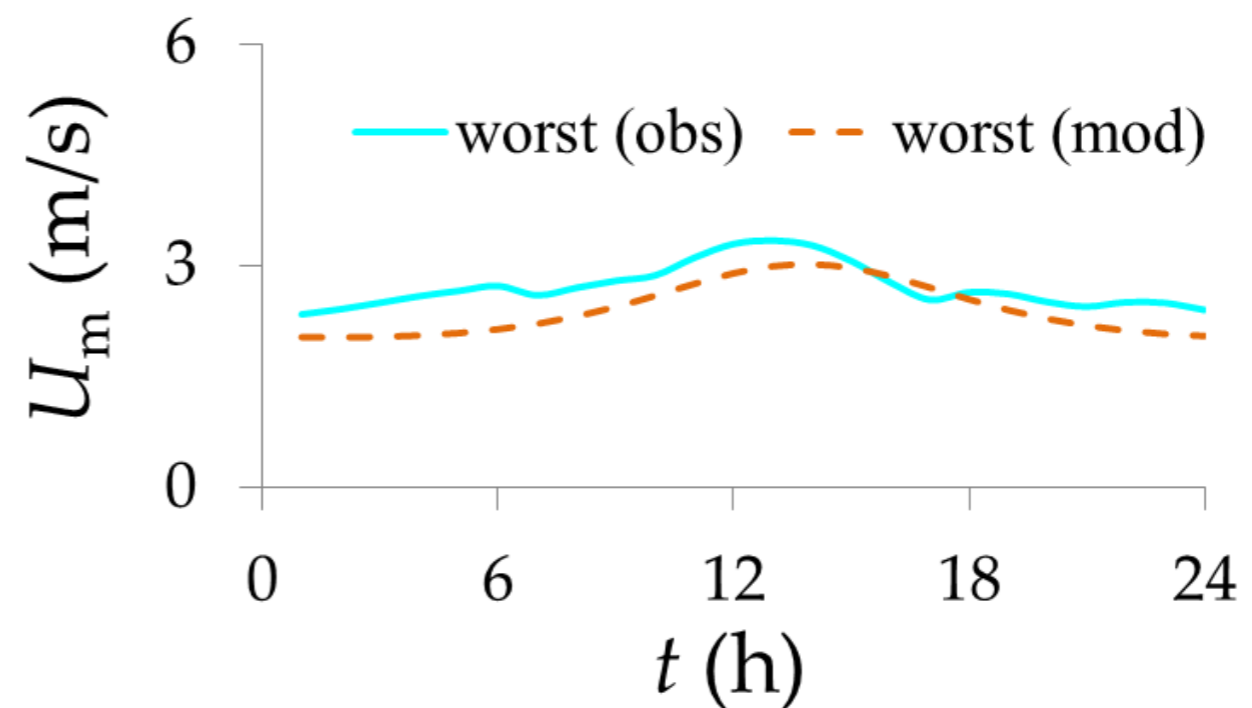
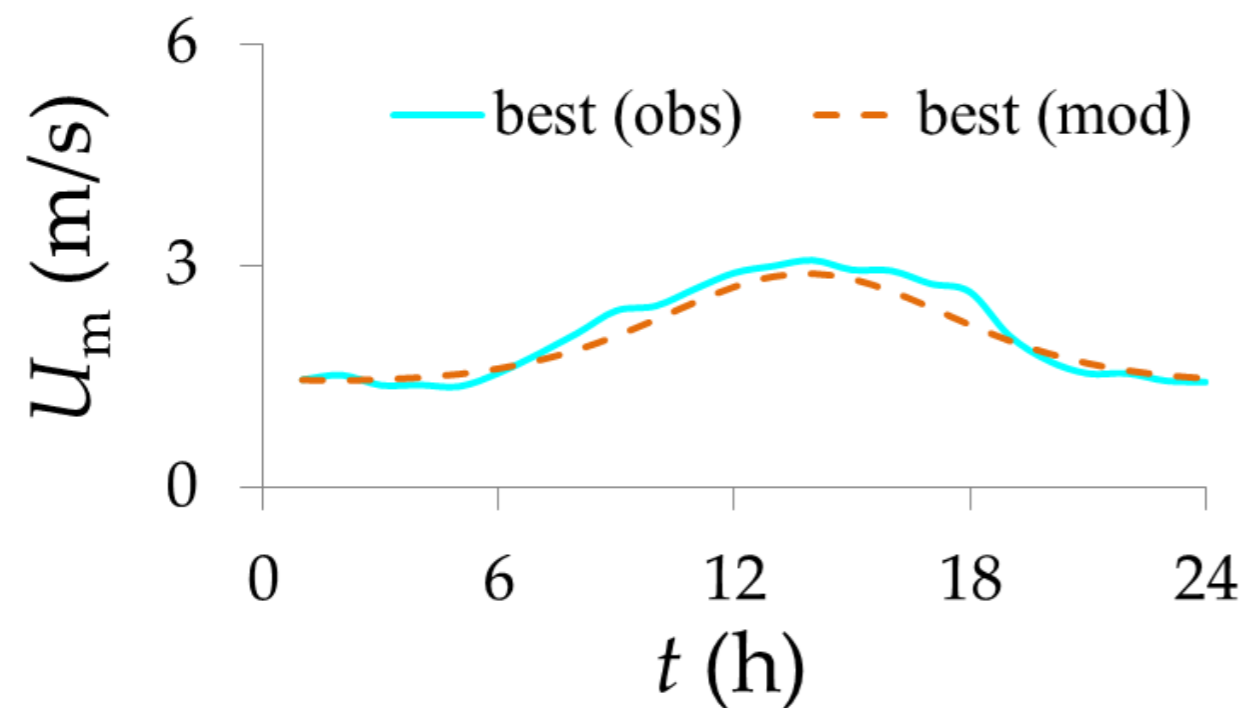
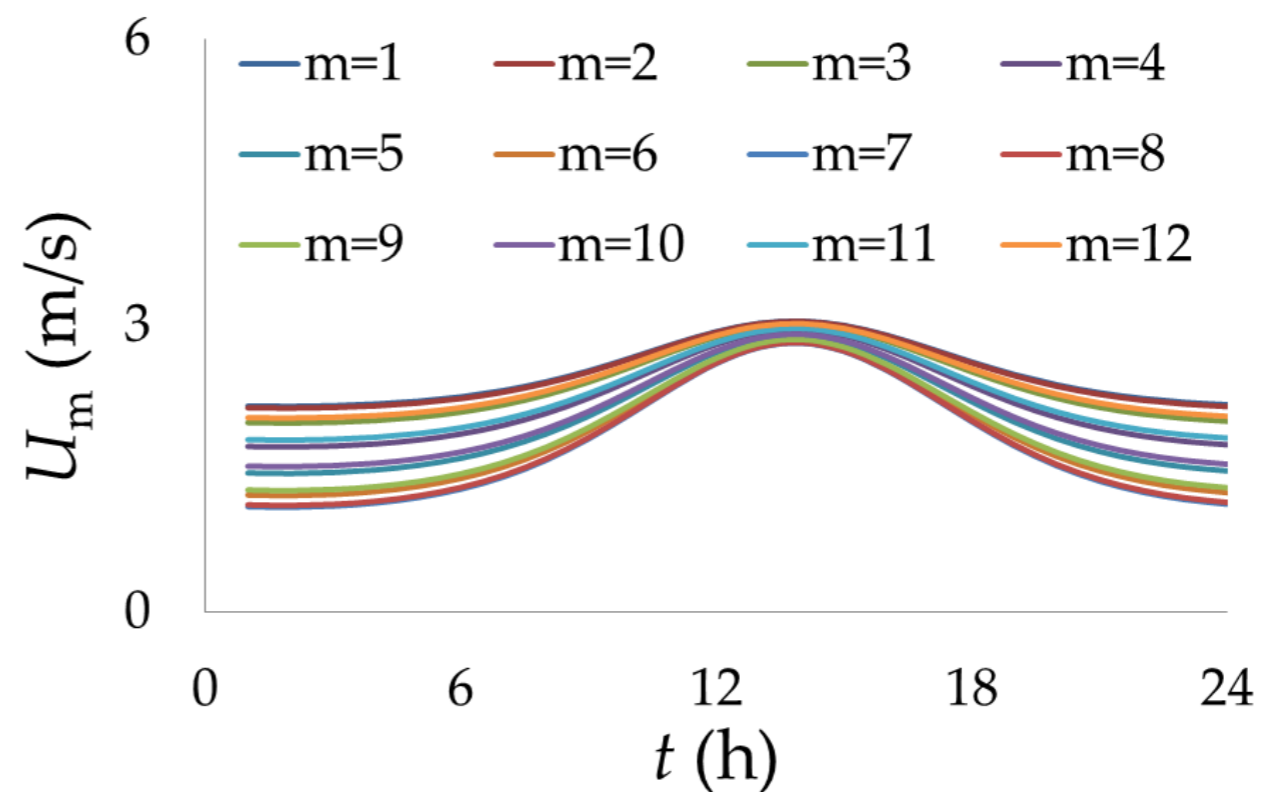
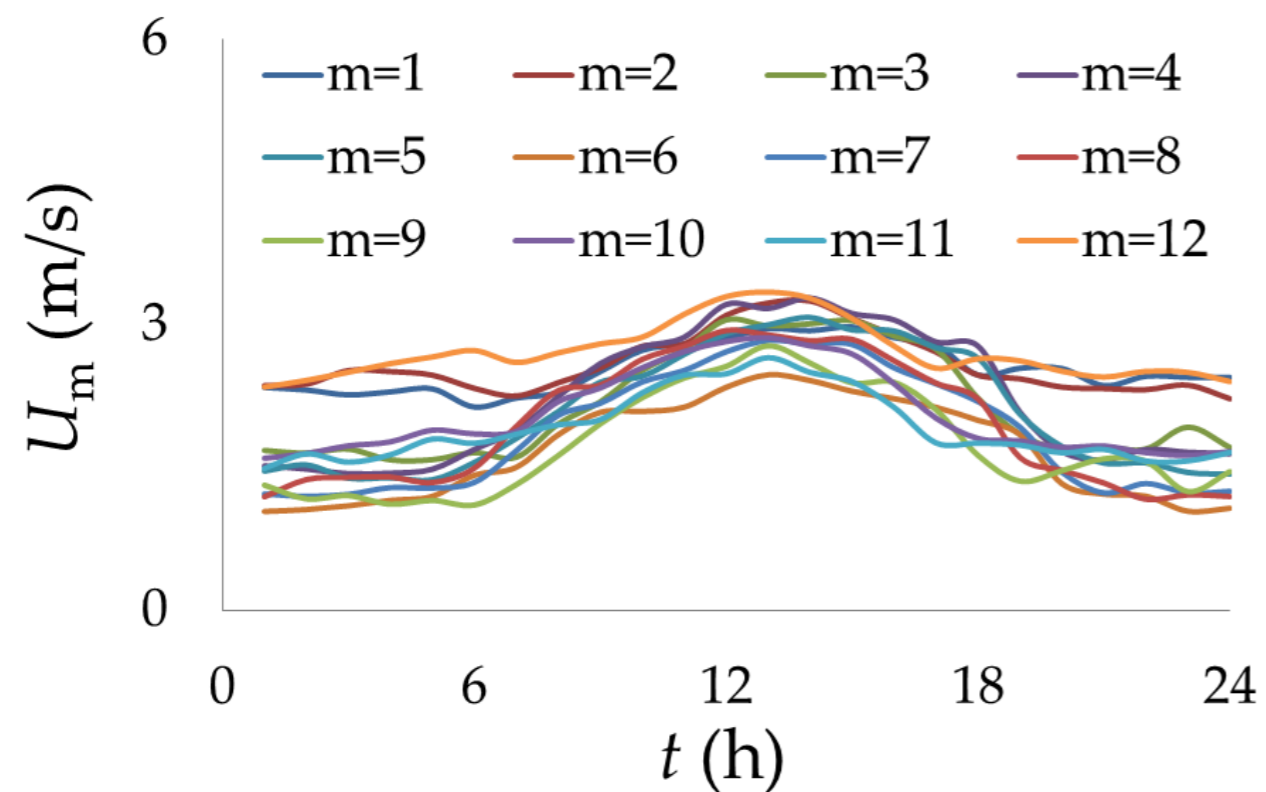
# Α8. Παραδείγματα εφαρμογής (Malaysia)



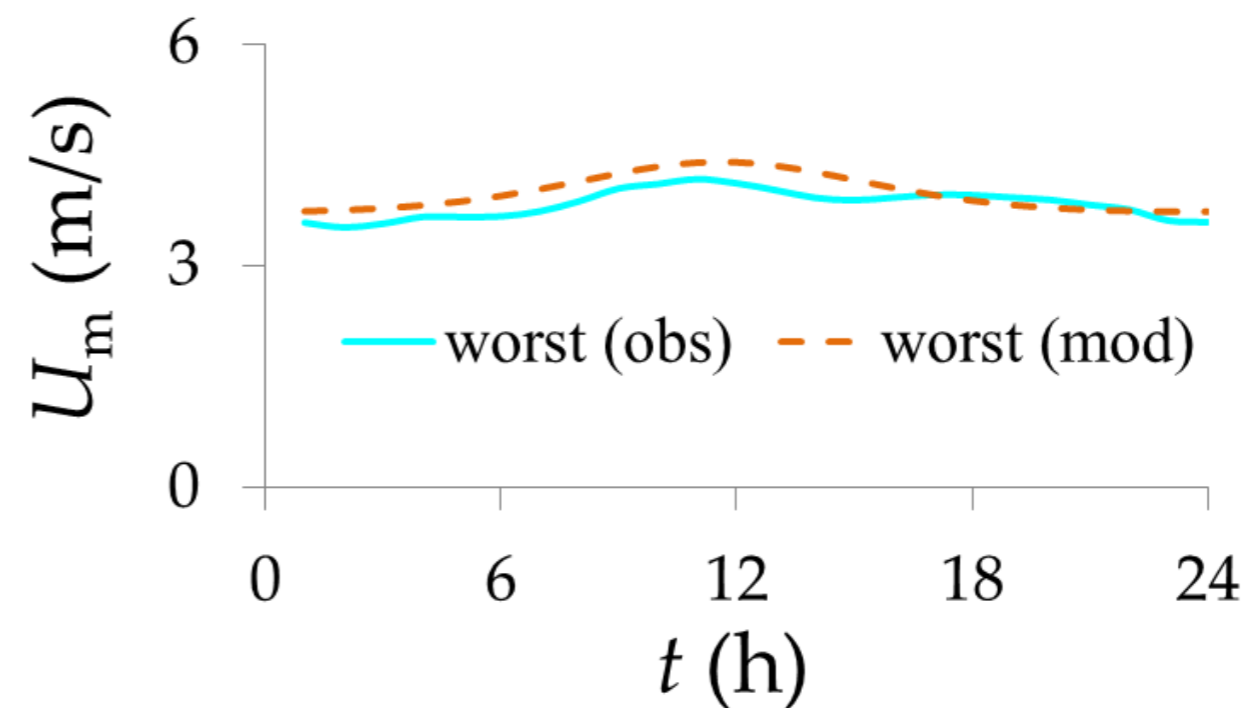
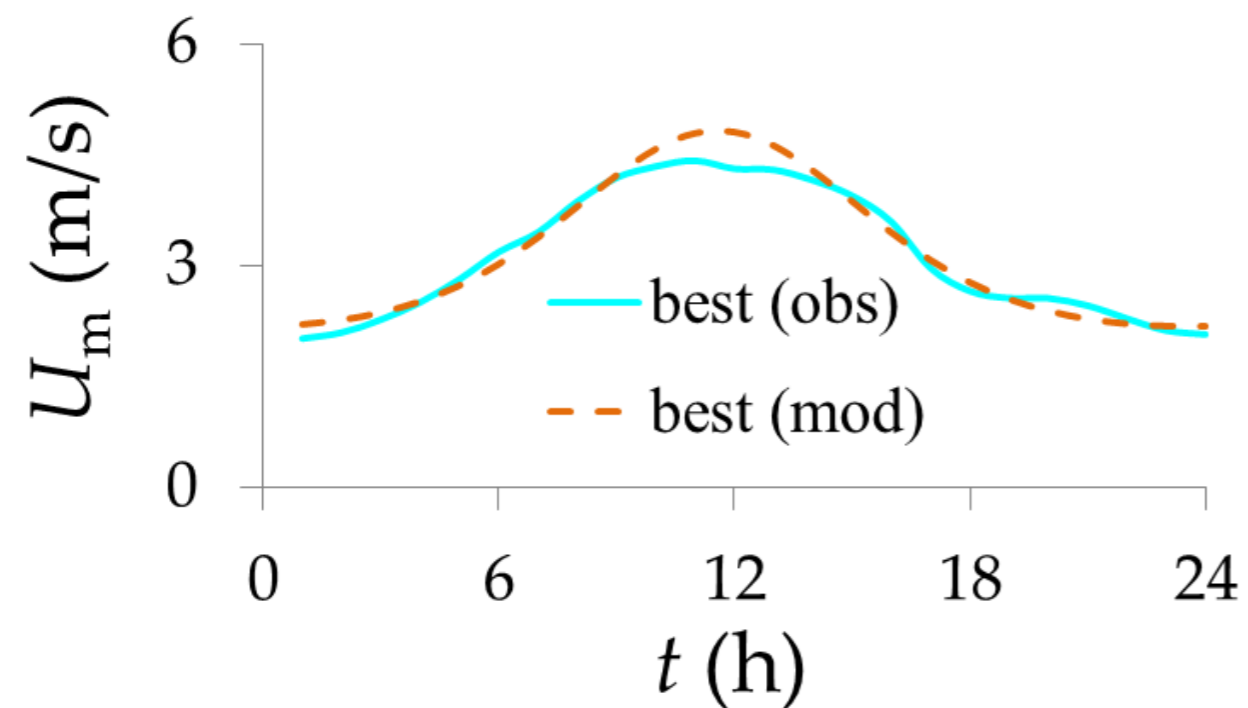
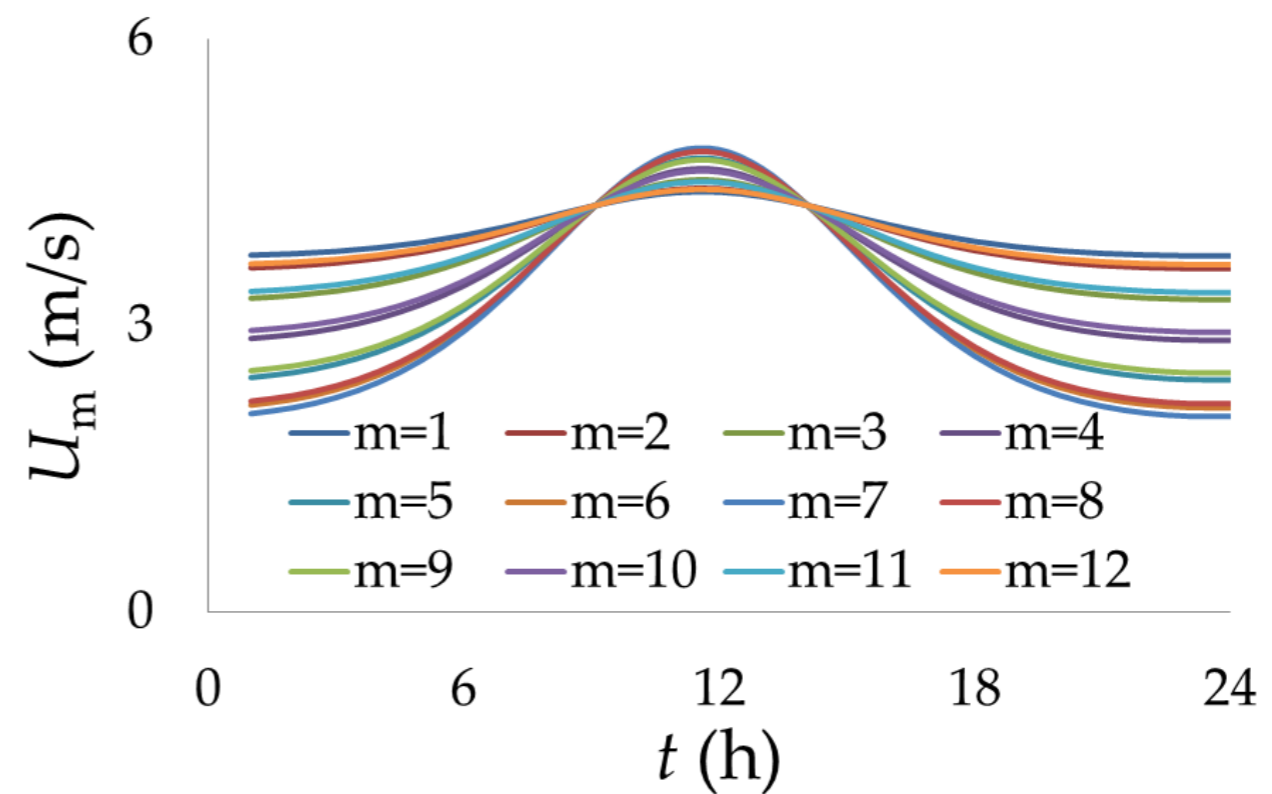
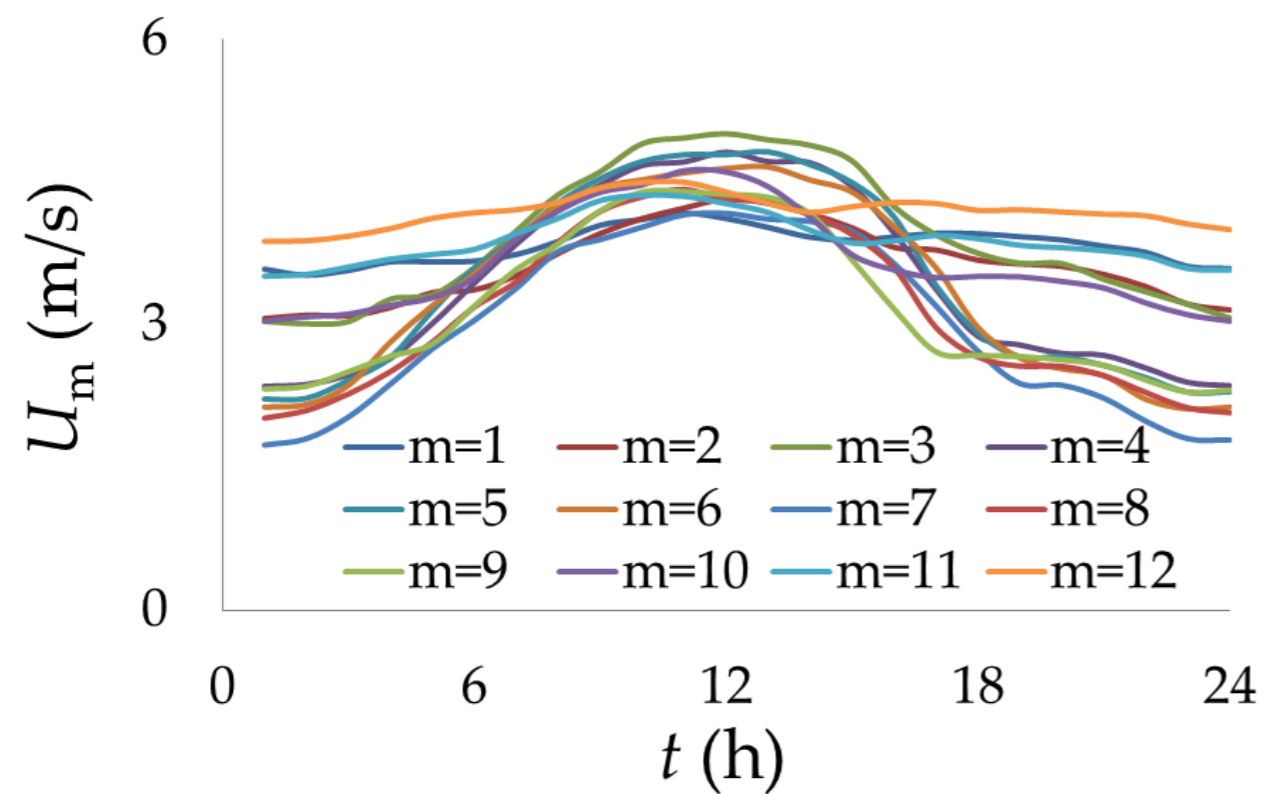
# Α8. Παραδείγματα εφαρμογής (Ukraine)



# Α8. Παραδείγματα εφαρμογής (Belgium)

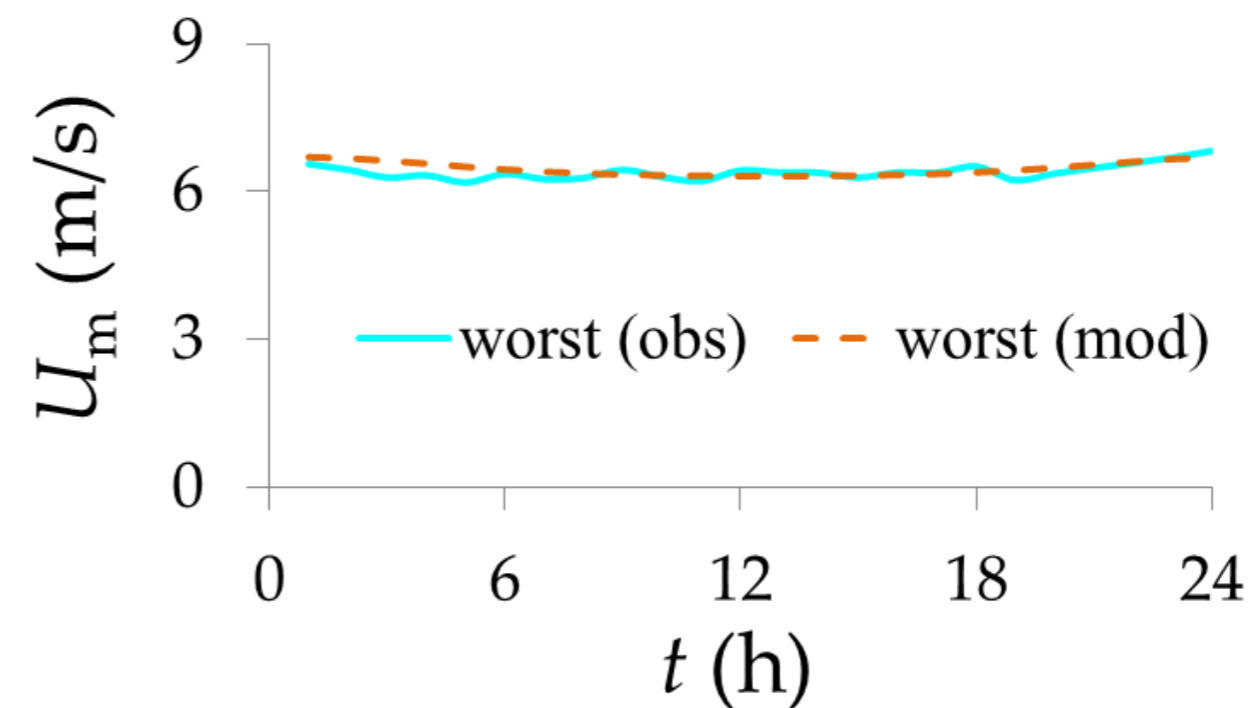
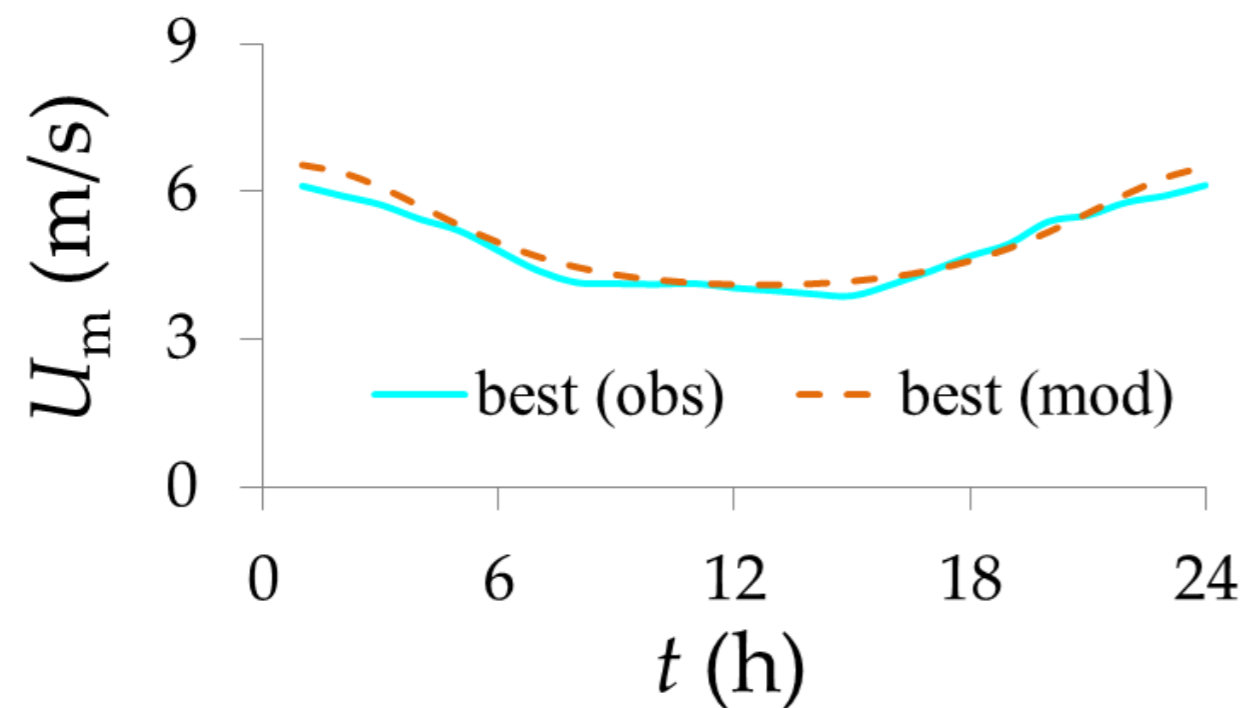
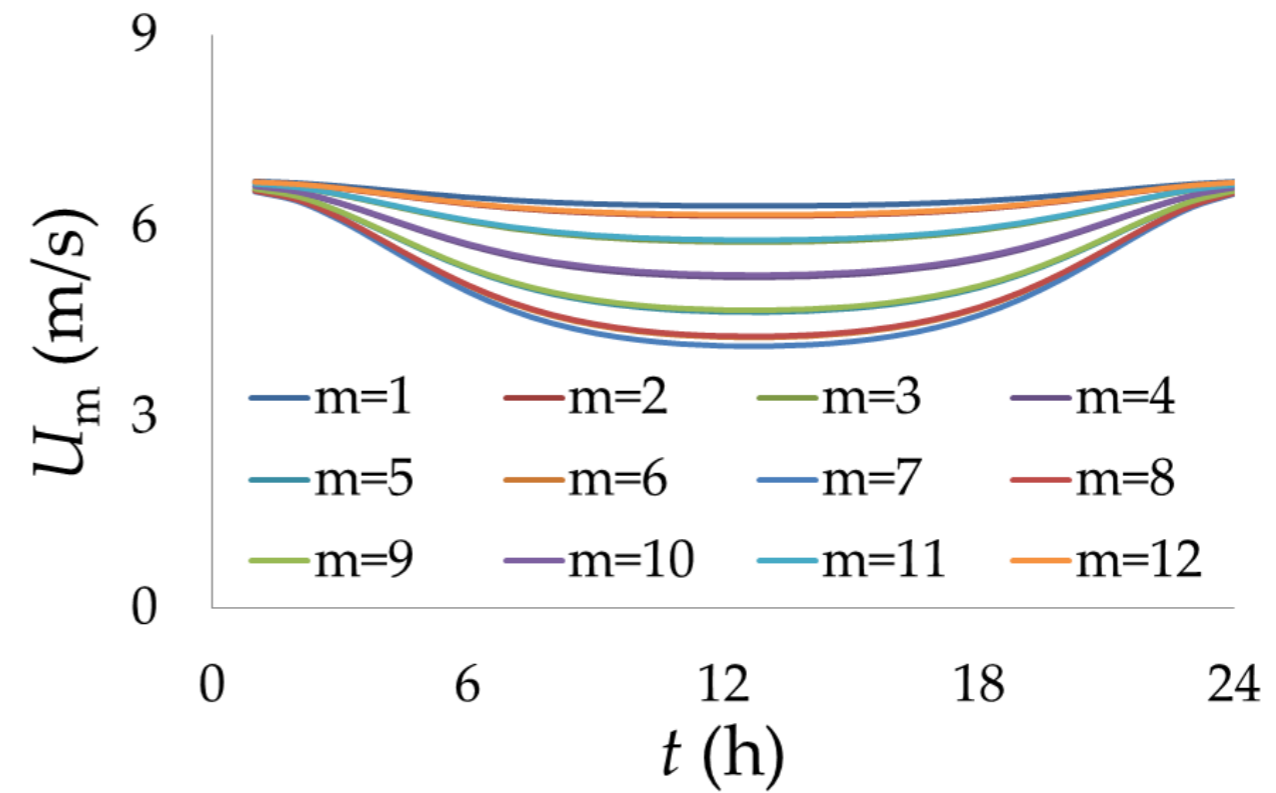
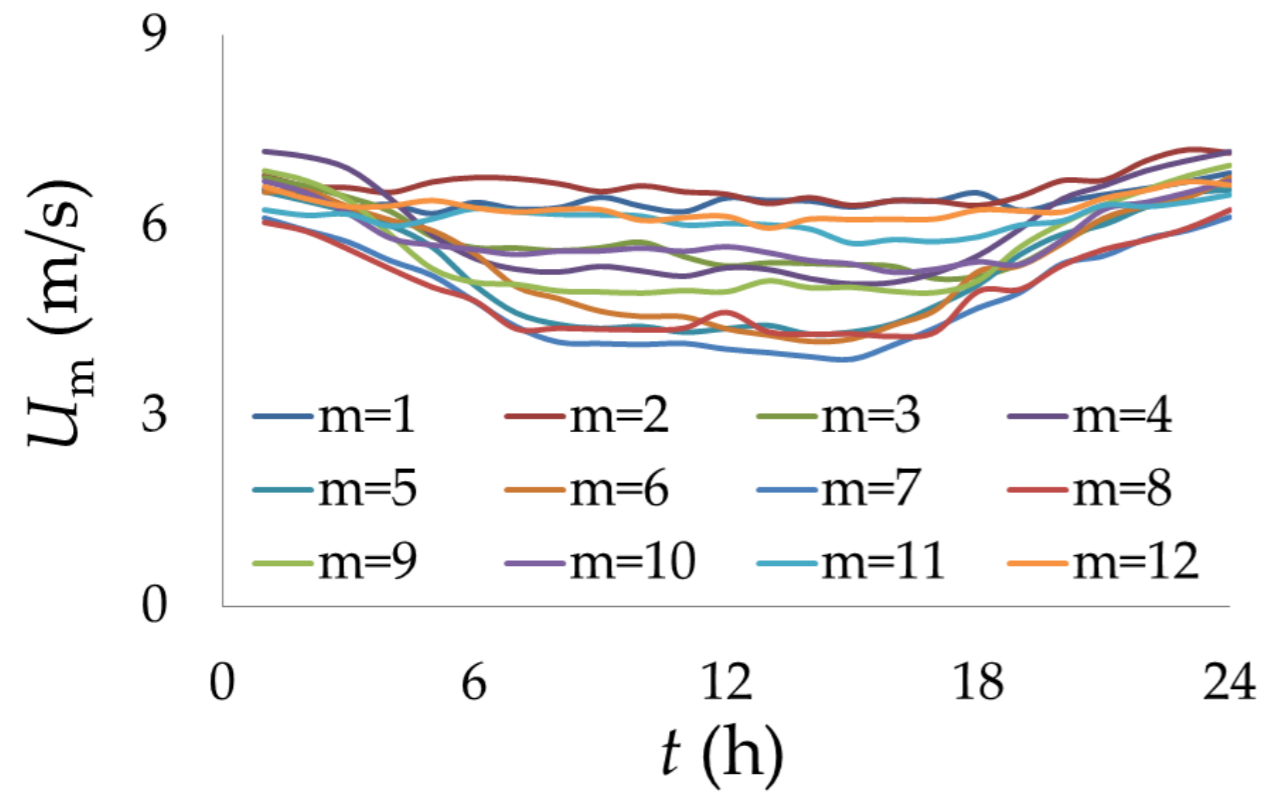


# Α8. Παραδείγματα εφαρμογής (Moscow)

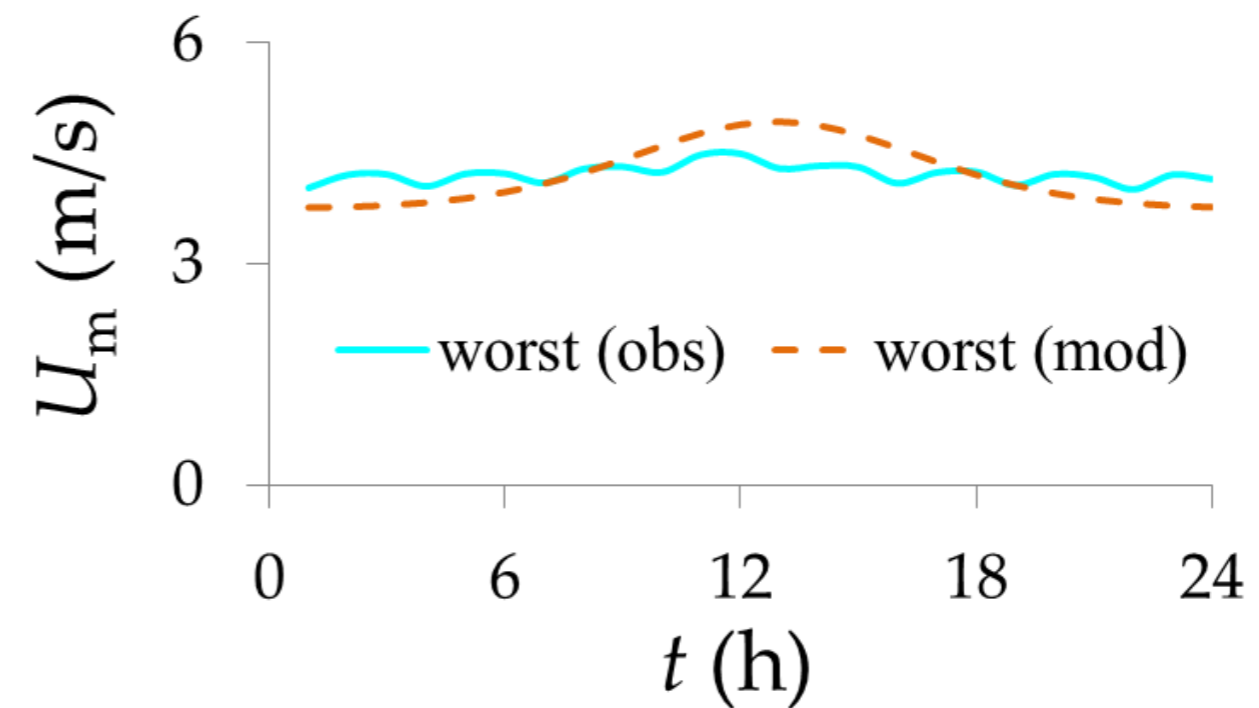
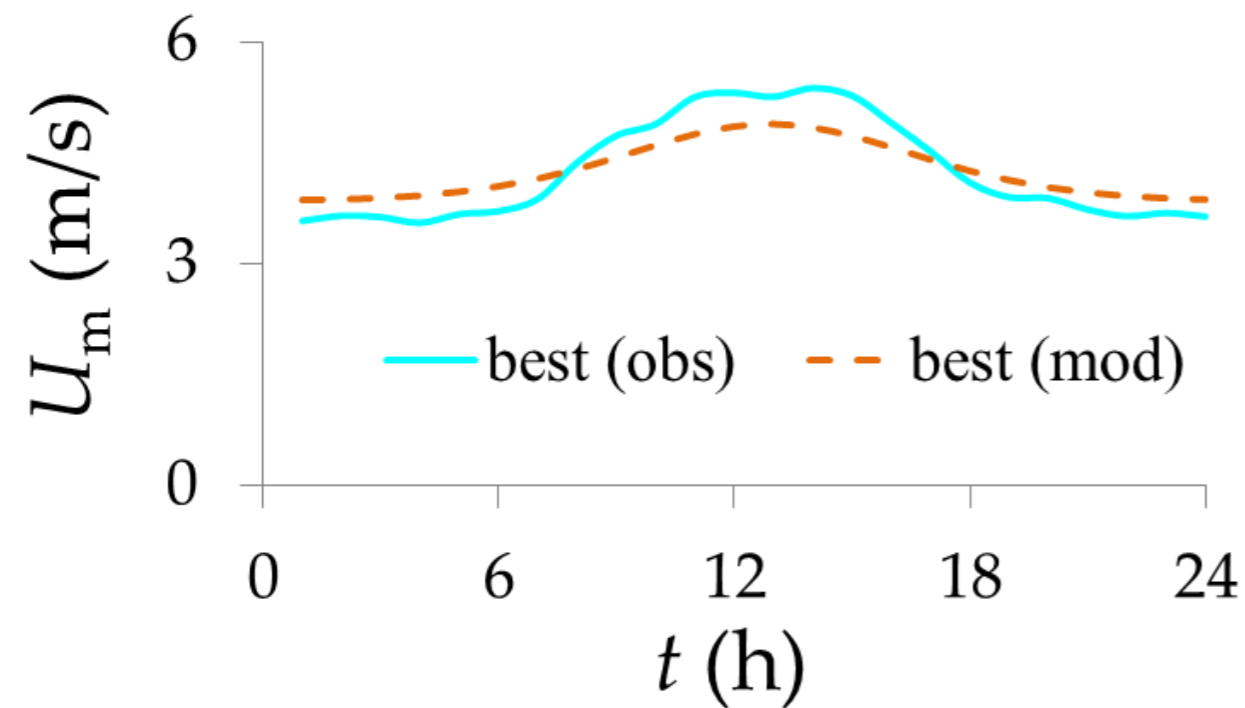
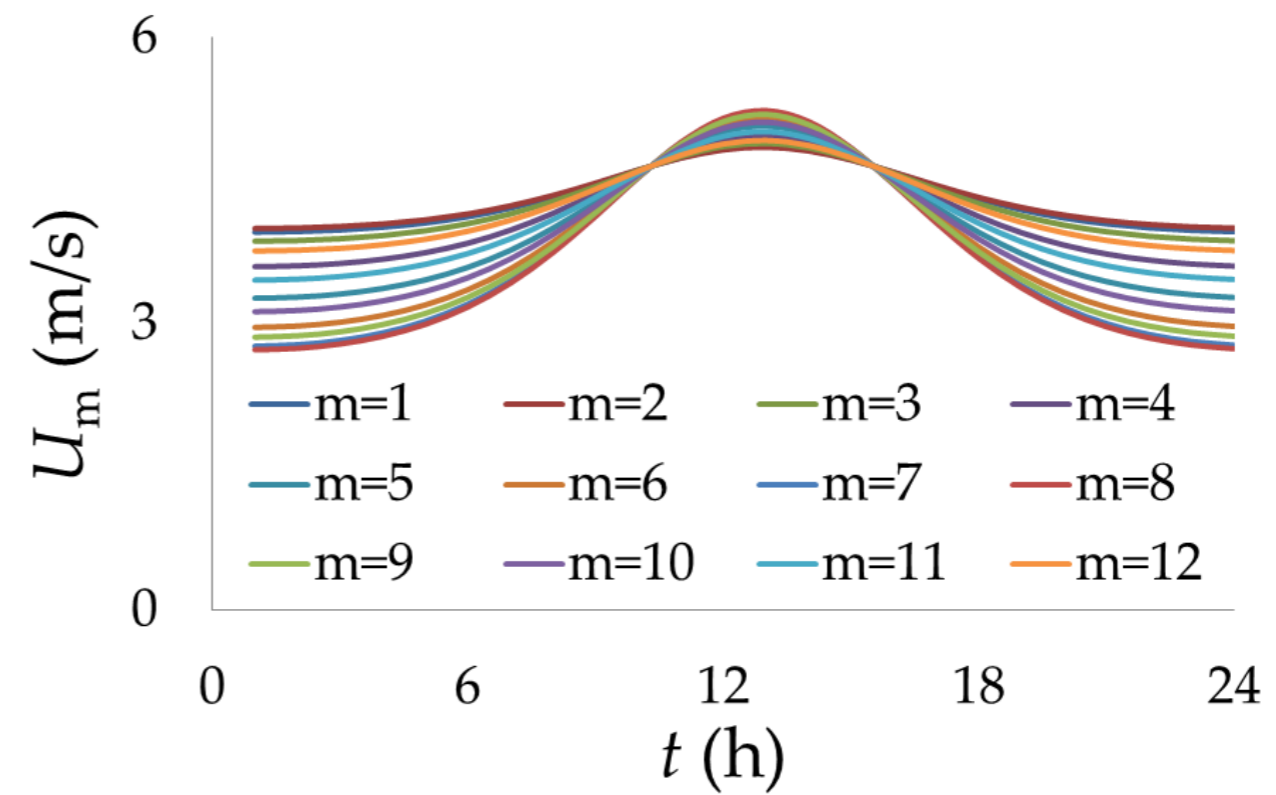
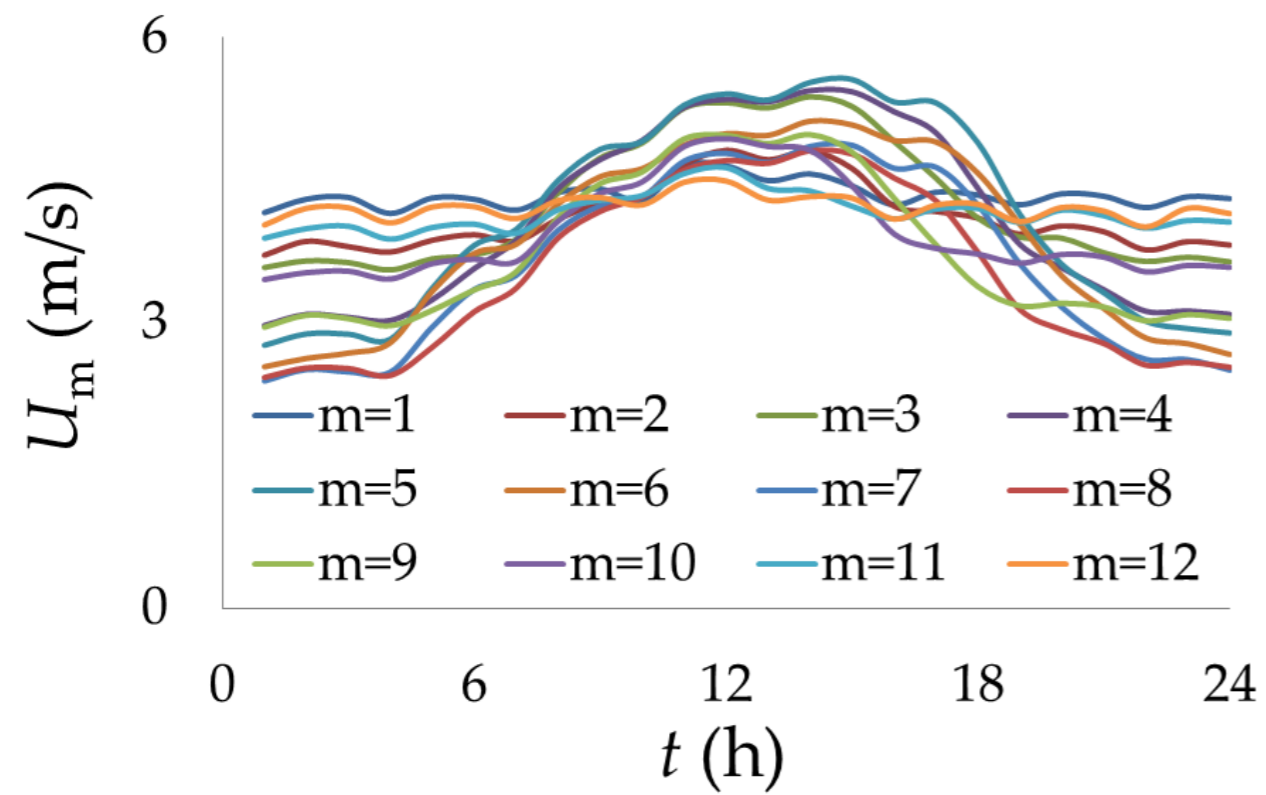




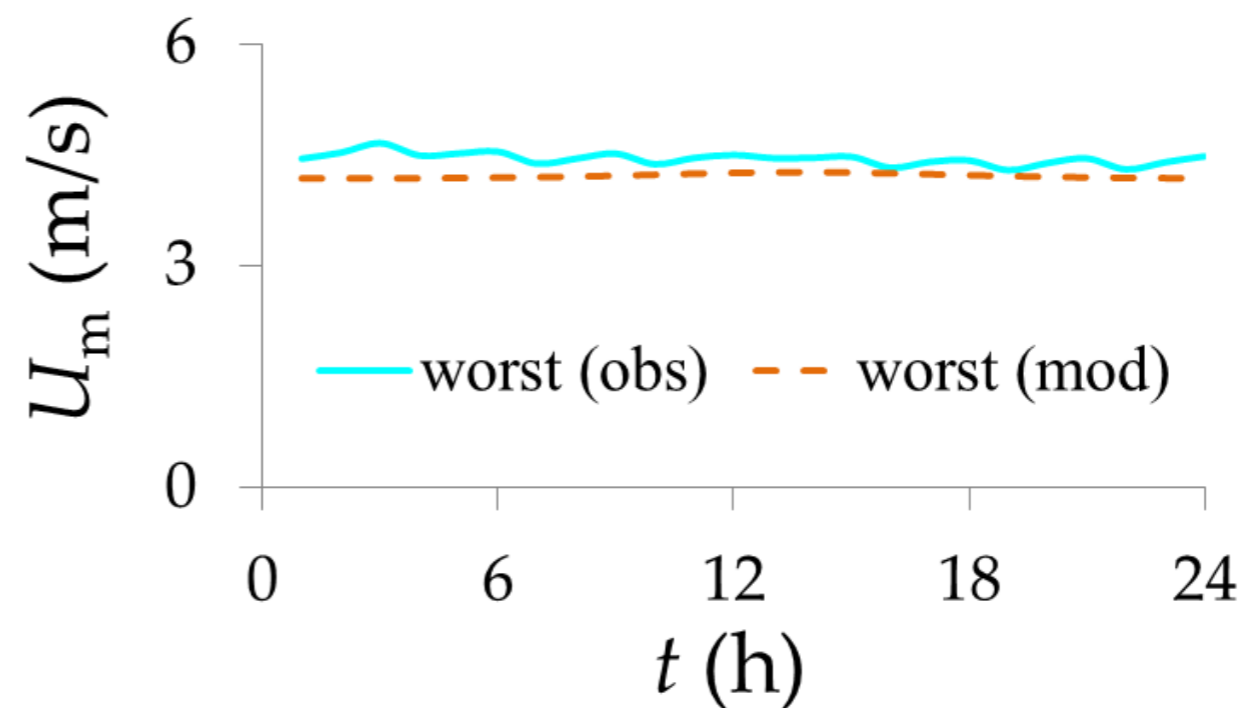
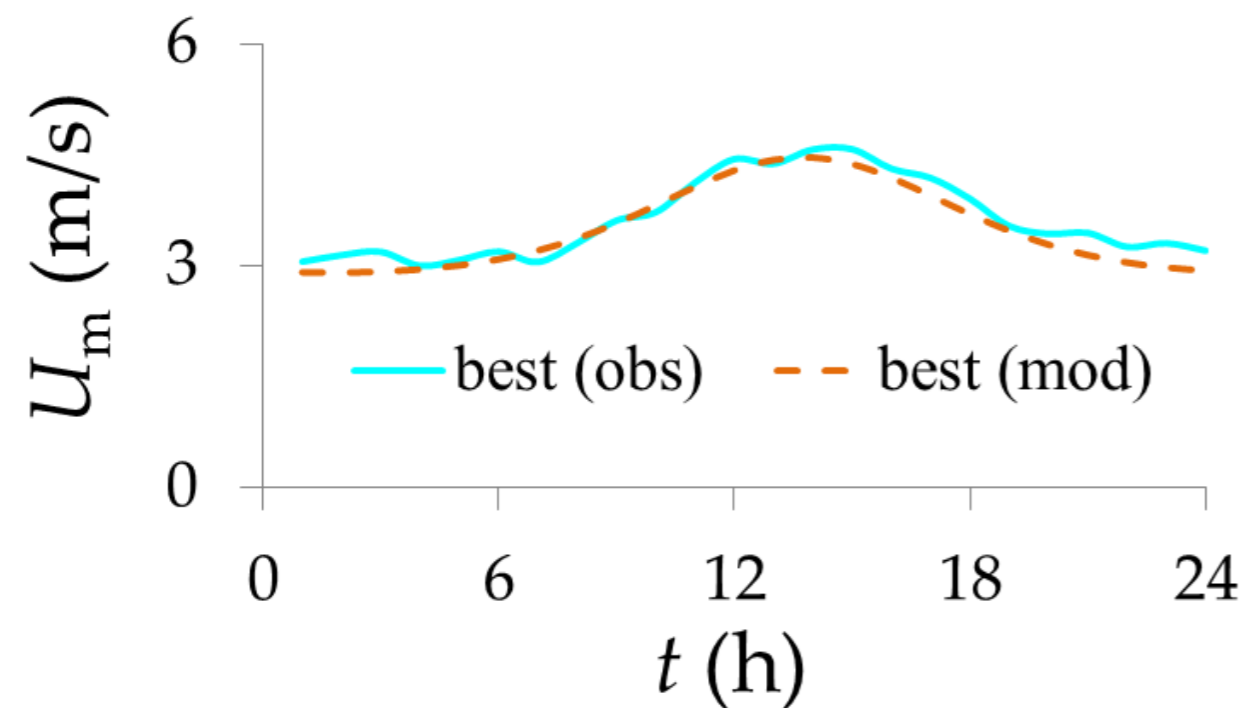
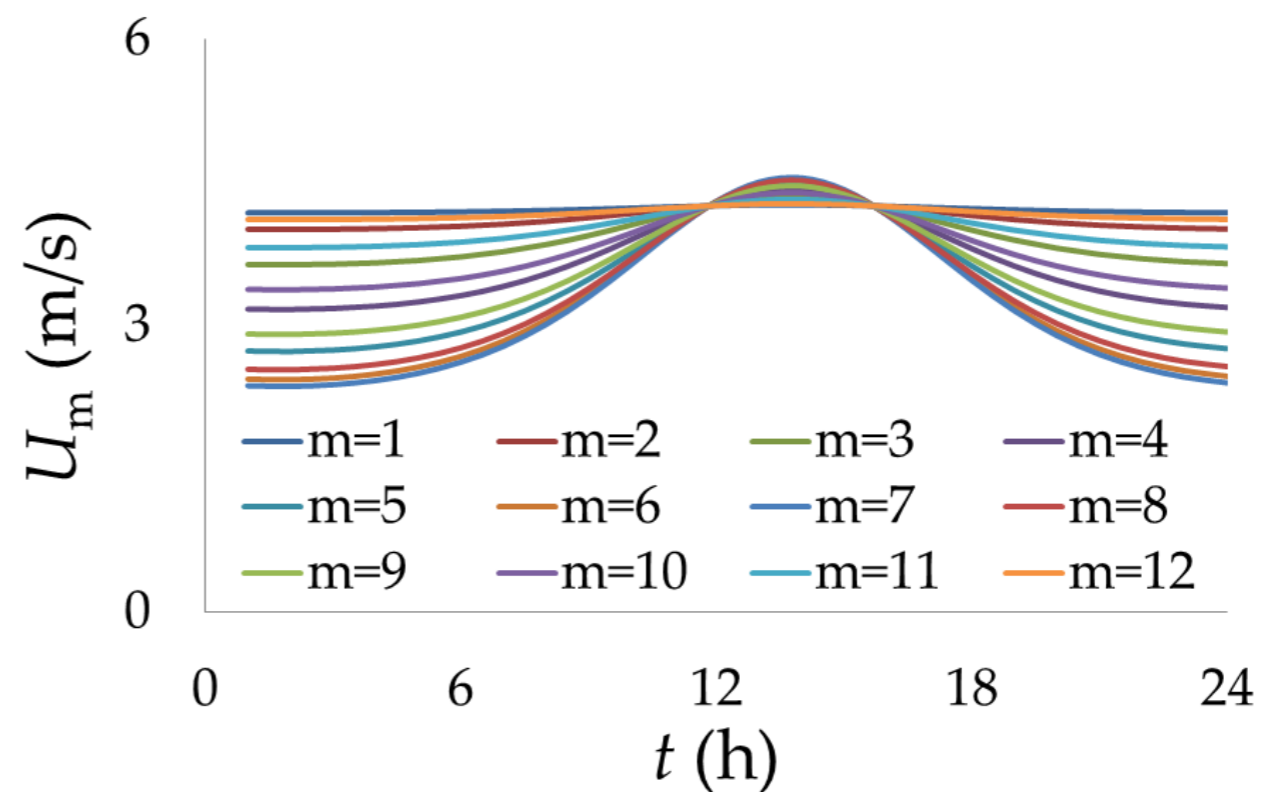
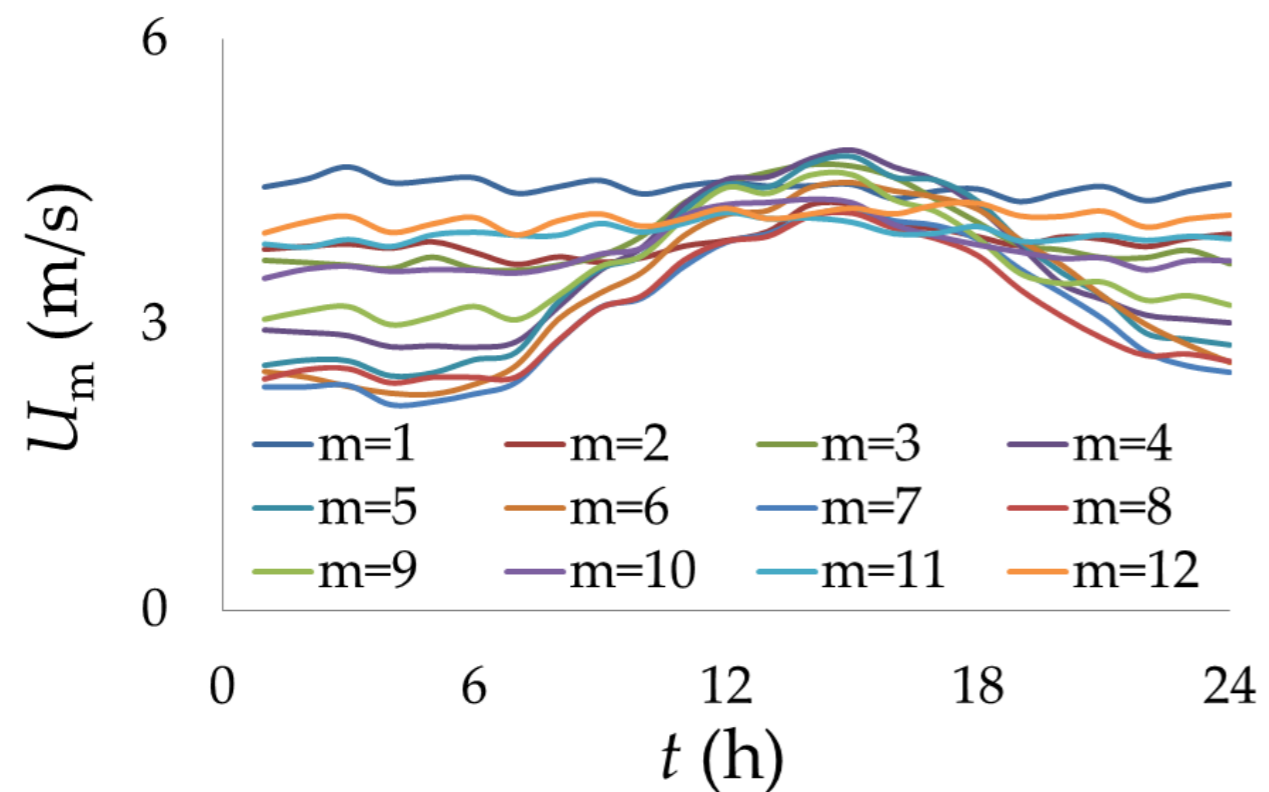
# Α8. Παραδείγματα εφαρμογής (Port Heiden, Alaska)



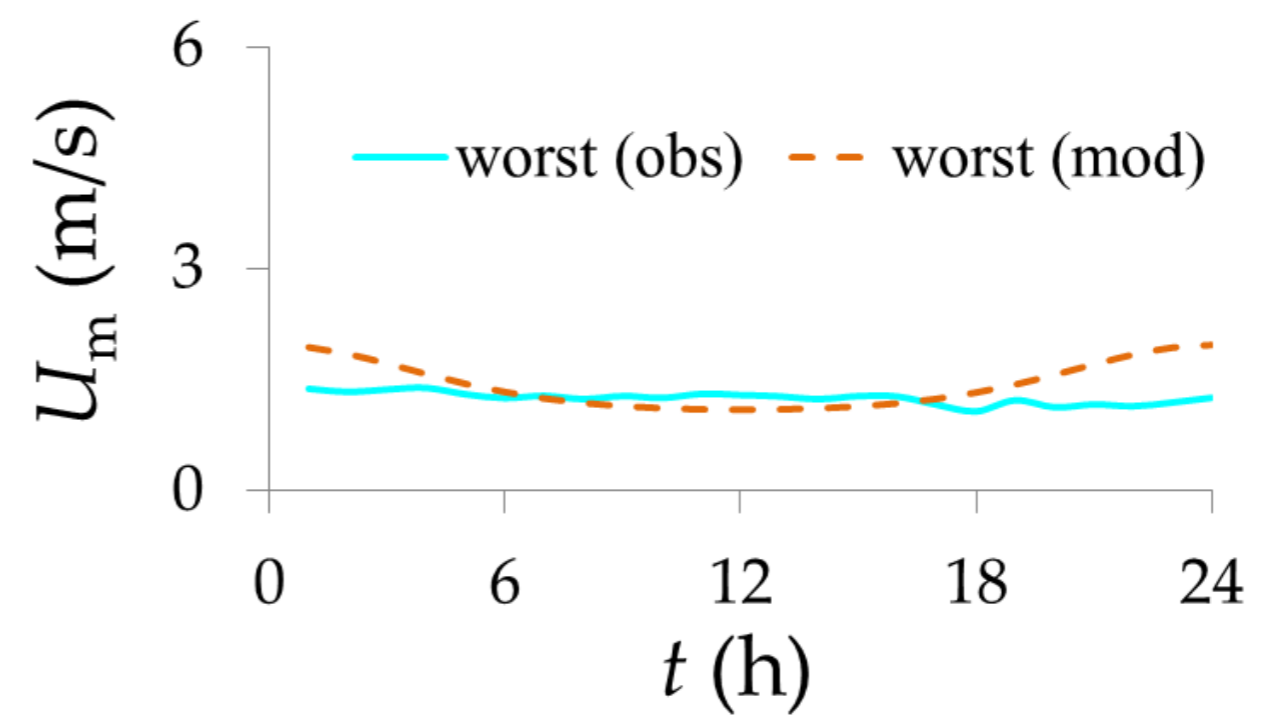
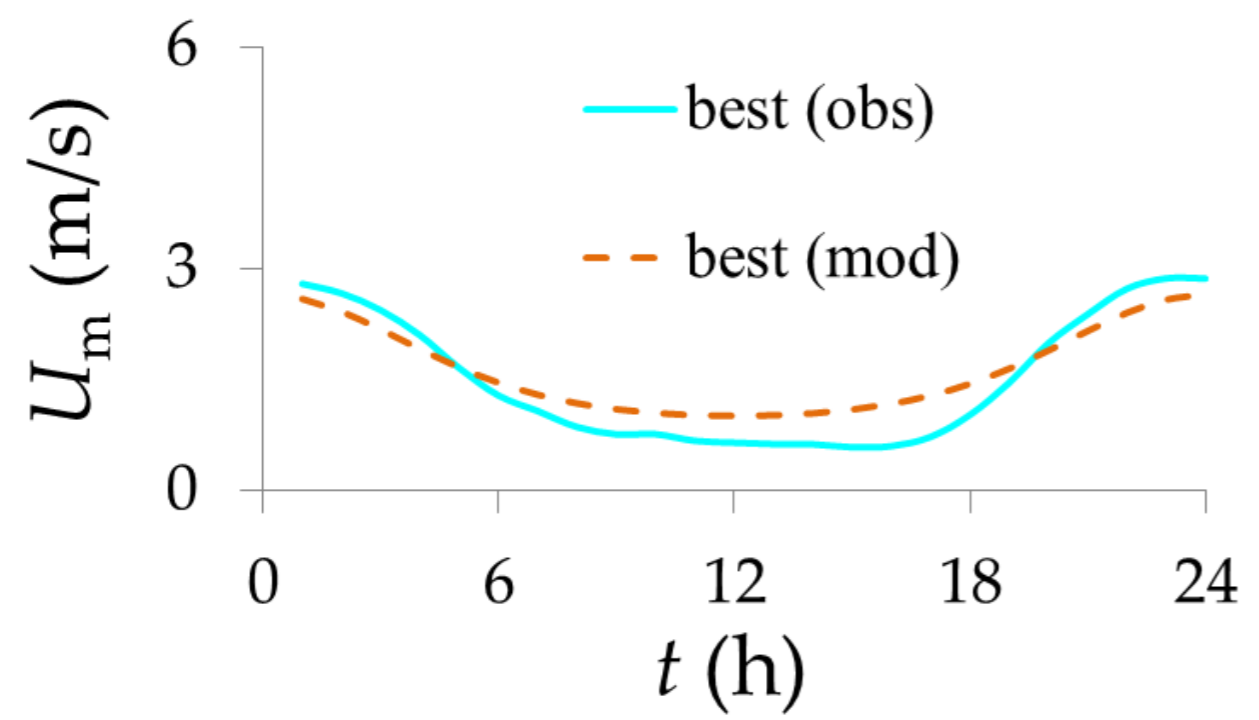
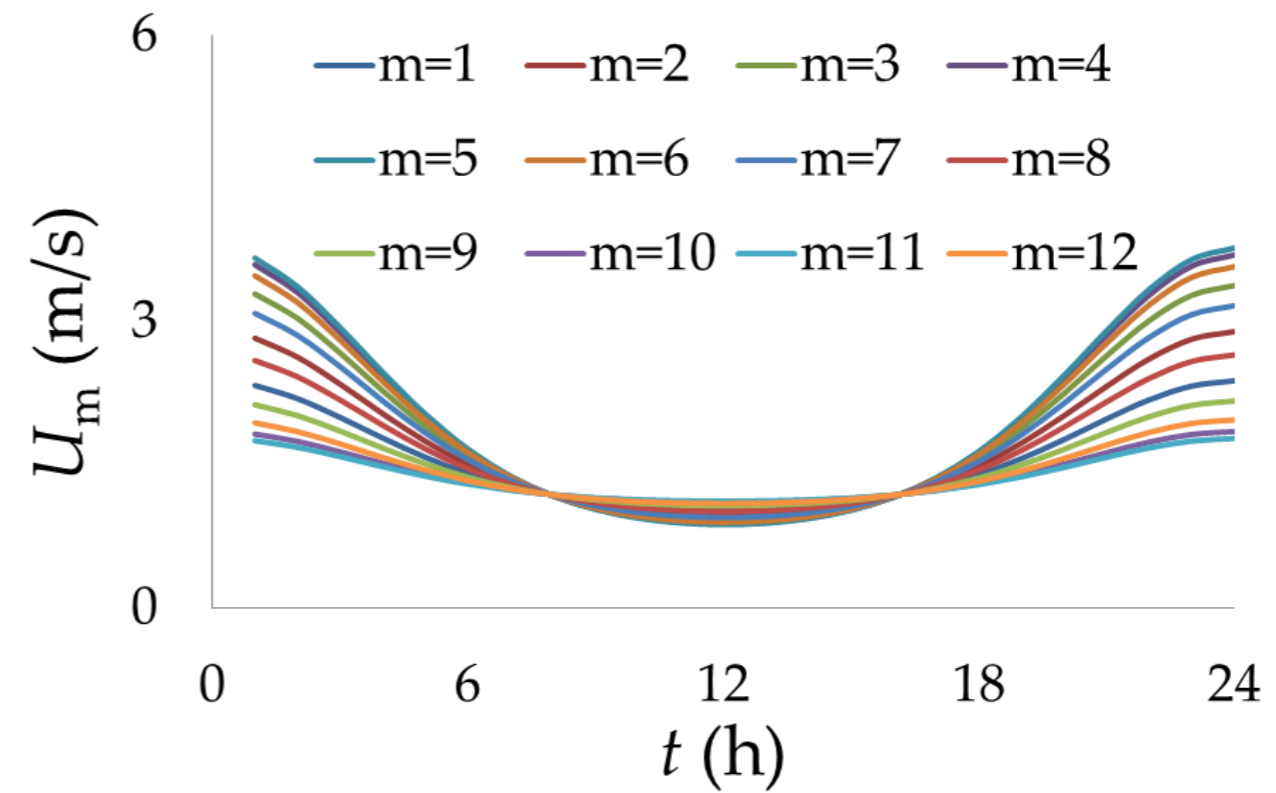
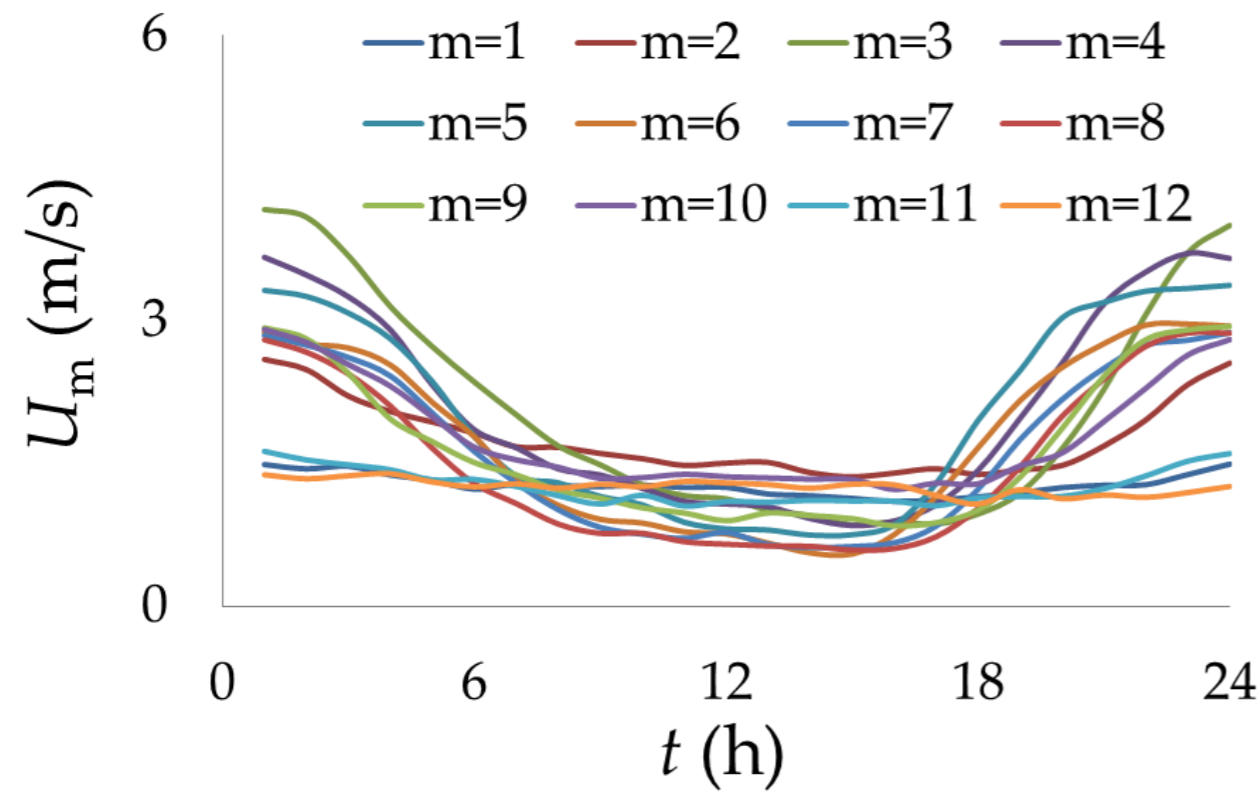
# Α8. Παραδείγματα εφαρμογής (Sweden)



# Α8. Παραδείγματα εφαρμογής (Norway)



# Α8. Παραδείγματα εφαρμογής (McKinley Park, Alaska)



# Α8. Παραδείγματα εφαρμογής (Larissa)

