


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
 ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ
ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΣ

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΗΤΡΙΩΝ

ΑΘΗΝΑ
 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015



Περιεχόμενα

- Εισαγωγή
- Αεροδυναμική συμπεριφορά ανεμογεννητριών
- Παραγωγή τεχνητών χρονοιστοριών φορτίου ανέμου
- Παραμετρικές αναλύσεις
- Παραμετρικές αναλύσεις ταχύτητας ανέμου
- Παραμετρικές αναλύσεις απόκρισης
- Ευχαριστίες




ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
 ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΣ ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΗΤΡΙΩΝ

Εισαγωγή

Ανάπτυξη ανεμογεννητριών:

- Αύξηση μήκους πτερυγίων
- Αύξηση ύψους πυλώνων



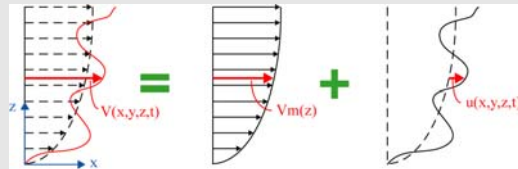
Μέλλον
 Σχηματική απεικόνιση ανάπτυξης ανεμογεννητριών

Σήμερα
 100 m, 7.5 MW 118 m, 10 MW 124 m, 5 MW 126 m, 5 MW

πηγή: www.enerzine.com

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
 ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΣ ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΗΤΡΙΩΝ

Πεδίο ανέμου



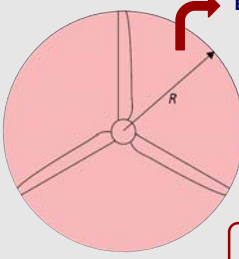
πεδίο ανέμου \equiv μέση ταχύτητα $+$ τυρβώδης ροή
 $V(x,y,z,t) \equiv V_m(z) + u(t)+v(t)+w(t)$

$V_m(z) = k_f \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) u_b$ συνιστώσες τυρβώδους ροής

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
 ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΣ ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΗΤΡΙΩΝ

Πεδίο ανέμου

Συνήθης πρακτική εκτίμησης φορτίου ανέμου για στατικές αναλύσεις πυλώνων ανεμογεννητριών



Επιφάνεια θεωρητικού δίσκου:
 $A = \pi R^2$
Μέση ταχύτητα:
 $V_m(z)$
 $F = \frac{1}{2} \rho V_m^2 A$

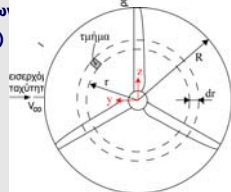
Οδηγεί σε πολύ μεγάλα φορτία
Υπερδισαστολόγηση

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
 ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΣ ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΗΤΡΙΩΝ

Αεροδυναμική συμπεριφορά ανεμογεννητριών

Αεροδυναμική συμπεριφορά των πτερυγίων:

- Θεωρία του δίσκου (Actuator disc theory)
- Θεωρία των πτερυγίων (Rotor blade theory)
- Θεωρία ώθησης στοιχείων πτερυγίου (Blade element momentum theory)



ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
 ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΣ ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΗΤΡΙΩΝ

Αεροδυναμική συμπεριφορά ανεμογεννητριών

Θεωρία του δίσκου (Actuator disc theory)

Κατάνη
Θεωρητικός δίσκος
Ανάτη
Ανεμογεννήτρια

Μείωση ταχύτητας
↓
Μετατροπή κινητικής ενέργειας σε μηχανική

Δημιουργία ερατομενικής συστώσας του ανέμου

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ
ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ
ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ
ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
ΕΠΙ ΠΤΥΛΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Αεροδυναμική συμπεριφορά ανεμογεννητριών

Θεωρία του δίσκου (Actuator disc theory)

Σχετική ταχύτητα ανέμου W
 $W = \sqrt{V_{\infty}^2(1-a)^2 + \Omega^2 r^2(1+a')^2}$
κατά $-aV_{\infty}$

επίπεδο ρότορα
άξονας ρότορα
εισερχόμενη ταχύτητα V_{∞}
 $\Omega r(1+a')$
 $V_{\infty}(1-a)$
 V_{∞}
 $a \Omega r$

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ
ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ
ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ
ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
ΕΠΙ ΠΤΥΛΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Αεροδυναμική συμπεριφορά ανεμογεννητριών

Θεωρία των πτερυγίων (Rotor blade theory)

εισερχόμενη ταχύτητα V_{∞}
επίπεδο ρότορα
άξονας ρότορα

$F_L \Rightarrow$ Δύναμη ανύψωσης
Lift force

$F_D \Rightarrow$ Δύναμη τριβής
Drag force

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ
ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ
ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ
ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
ΕΠΙ ΠΤΥΛΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Αεροδυναμική συμπεριφορά ανεμογεννητριών

Θεωρία ώθησης στοιχείων των πτερυγίων (Blade element momentum theory)

τμήμα
R
r
dr

Παραδοχές:

- Ανεξάρτητο δακτύλιο πάχους dr
- Ομοιόμορφη πίεση ανέμου
- Ανεξάρτητα τμήματα

↓

$dF_L = 1/2 \rho W^2 c_L dr$
 $dF_D = 1/2 \rho W^2 c_D dr$

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ
ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ
ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ
ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
ΕΠΙ ΠΤΥΛΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Παραγωγή τεχνητών χρονοιστοριών φορτίου ανέμου

Ελεύθερα για το κοινό υπολογιστικά εργαλεία:

- National Renewable Energy Laboratory – NREL: TurbSim
<http://www.nrel.gov/>
- National Wind Technology Center – NWTCC: Aerodyn
<http://www.nrel.gov/nwtcc/>
- Ashes – Aero-servo-hydro-elastic simulation FAST
<http://www.ashes.no/>

versions 7 & 8

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ
ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ
ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ
ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
ΕΠΙ ΠΤΥΛΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Παραγωγή τεχνητών χρονοιστοριών φορτίου ανέμου

Ανεμογεννήτρια – χαρακτηριστικά μοντέλου
Μετεωρολογικές οριακές συνθήκες

Γεωμετρικά δεδομένα
Μηχανολογικά δεδομένα
Δεδομένα τουρμπίνιας
Λεδομένα πύλων
Δεδομένα πτερυγίων

ΤurbSim
Αεροδυναμικά δεδομένα
Πέδιο ανέμου σε τρεις διατάσεις
AeroDyn FAST
Χρονοιστορίες δράσεων ανέμου
Χρονοιστορίες απόκρισης ανεμογεννήτριας

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ
ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ
ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ
ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
ΕΠΙ ΠΤΥΛΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Παραγωγή τεχνητών χρονοιστοριών φορτίου ανέμου

TurbSim

Δεδομένα:

- i. Στοιχεία ανεμογεννήτριας – μοντέλου:
 - Ορισμός του πλέγματος το οποίο περιλαμβάνει το θεωρητικό δίσκο που δημιουργείται από τα πτερύγια
 - Ύψος πυλώνα – θεωρητικό ύψος ΚΒ του ρότορα
- ii. Μετεωρολογικά δεδομένα:
 - IEC standard
 - Μοντέλο τυρβώδους ροής
 - Κατηγορία τυρβώδους ροής
 - Συνθήκες ανέμου – normal, extreme
 - Προφίλ ανέμου
 - Ύψος αναφοράς
 - Ταχύτητα αναφοράς

Αποτελέσματα:
Πεδίο ανέμου – 3 διευθύνσεις



ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ
ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ
ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ
ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΕΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Παραγωγή τεχνητών χρονοιστοριών φορτίου ανέμου

Πρότυπη ανεμογεννήτρια 5MW της NREL – NWTC:

- 3 πτερύγια με ακτίνα $R=61.63\text{m}$
- Μέγιστη χορδή $c_{max}=4.65\text{m}$
- Ύψος πυλώνα $H=84\text{m}$
- Ταχύτητα περιστροφής $\Omega=12\text{rpm}$

Στοιχεία για το πεδίο ανέμου:

- Πλέγμα $140\text{m} \times 140\text{m}$
- Ταχύτητα αναφοράς $v=12\text{m/s}$ και ύψος αναφοράς $z=10\text{m}$
- Λογαριθμικό προφίλ ανέμου
- Μοντέλο τυρβώδους ροής: Kaimal

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ
ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ
ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ
ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΕΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

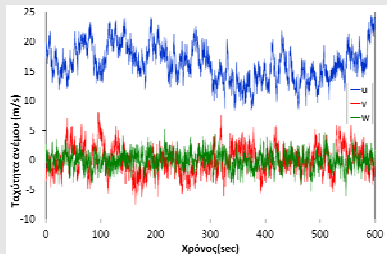
Παραγωγή τεχνητών χρονοιστοριών φορτίου ανέμου



ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ
ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ
ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ
ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΕΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Παραγωγή τεχνητών χρονοιστοριών φορτίου ανέμου

Χρονοιστορίες ταχύτητας ανέμου στην κορυφή του πυλώνα



Μέσες τιμές:
 $u >> v, w$
 $u = 16.323\text{m/s}$
 $v \approx w \approx 0\text{m/s}$

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ
ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ
ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ
ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΕΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Παραγωγή τεχνητών χρονοιστοριών φορτίου ανέμου

AeroDyn

AeroDyn \Rightarrow υπολογίζει βάσει της αεροδυναμικής θεωρίας των πτερυγίων τα φορτία που προκαλούνται σε αυτά από τον άνεμο \Rightarrow **Blade Element Momentum Theory (BEM)**

Δεδομένα:

- i. Στοιχεία πεδίου ανέμου:
 - Αποτελέσματα TurbSim – output file
- ii. Στοιχεία πτερυγίων:
 - Αεροδυναμικά στοιχεία διατομών πτερυγίων
 - Αντιστοίχιση αεροδυναμικών στοιχείων με τις διατομές του πτερυγίου

Αποτελέσματα:
Το αρχείο δεδομένων του AeroDyn χρησιμοποιείται από το FAST απευθείας και «τρέχει» μέσω αυτού.

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ
ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ
ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ
ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΕΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Παραγωγή τεχνητών χρονοιστοριών φορτίου ανέμου

FAST

Δεδομένα:

- Στοιχεία ρότορα, λειτουργικές παράμετροι, βασική γεωμετρία, μάζα, αδράνεια
- Στοιχεία πυλώνα, γεωμετρία, μάζα, αδράνεια
- Στοιχεία πτερυγίων, γεωμετρία, μάζα, αδράνεια
- Στοιχεία πλατφόρμας σε περίπτωση offshore
- Στοιχεία εξοπλισμού αναδίπλωσης, σε περίπτωση που υπάρχει

Αποτελέσματα:

- Μετακινήσεις
- Δυνάμεις και ροπές
- Ενέργεια

- Κατά μήκος των πτερυγίων
- Στην άκρη των πτερυγίων
- Στην κορυφή του πυλώνα
- Στη βάση του πυλώνα

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ
ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ
ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ
ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΕΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Παραγωγή τεχνητών χρονοιστοριών φορτίου ανέμου

Χρονοϊστορίες φορτίου ανέμου στην κορυφή του πυλώνα

|Fz| > Fx, Fy (ίδιο βάρος – μικρή διακύμανση)
Μέσες τιμές: Fx = 182.2kN
Fy = -12.71kN (μικρή διακύμανση)
Δύναμη ανέμου επί του θεωρητικού δίσκου F=1987.1kN >> Fx

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΖΟΥ, ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ, ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ, ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΕΣ, ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Παραγωγή τεχνητών χρονοιστοριών φορτίου ανέμου

Χρονοϊστορίες ροπής ανέμου στην κορυφή του πυλώνα

Μέσες τιμές: Mx = 326.01kNm
My = 957.81kNm < Fx·h=182.2·84=15304.8kNm
Mz = 839.75kNm

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΖΟΥ, ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ, ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ, ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΕΣ, ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Παραμετρικές αναλύσεις

Στοιχεία ανεμογεννήτριας:

Χαρακτηριστικά	Τιμή
Ύψος ρότορα (m)	84.29
Ύψος πυλώνα (m)	82.39
Διάμετρος θεωρητικού δίσκου (m)	70.00
Μέγιστη εξωτερική διάμετρος πυλώνα στη βάση (m)	5.625
Ελάχιστη εξωτερική διάμετρος πυλώνα στην κορυφή (m)	2.831
Διάμετρος ρότορα (m)	3.50
Μάζα πυλώνα (kg)	123003.39
Μάζα πτερυγίου (ένα από τρία) (kg)	3912.59
Μάζα ρότορα (kg)	15148.00
Μάζα θαλάμου μηχανολογικών (kg)	51170.00
Συνολική μάζα θεωρητικού δίσκου (kg)	26885.77
Συνολική μάζα στην κορυφή του πυλώνα (kg)	78055.77
Συνολική μάζα (kg)	201059.16

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΖΟΥ, ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ, ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ, ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΕΣ, ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Παραμετρικές αναλύσεις ταχύτητας ανέμου

Ένταση τύρβης $I_{ref} = \sigma / v_{m,ref}$
($v_{m,ref} = 15m/s$)
 $v_m = 10m/s$
IEC 61400-1: τύρβη A $I_{ref} = 0.16$
τύρβη C $I_{ref} = 0.12$

Ταχύτητα στην διαμήκη διεύθυνση

Ταχύτητα στην εγκάρσια και κατακόρυφη διεύθυνση

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΖΟΥ, ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ, ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ, ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΕΣ, ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Παραμετρικές αναλύσεις ταχύτητας ανέμου

Μέση ταχύτητα v_m
Τύρβη B $\Rightarrow I_{ref} = 0.14$
 $v_m = 10m/s$
 $v_m = 20m/s$

Ταχύτητα στην διαμήκη διεύθυνση

Ταχύτητα στην εγκάρσια και κατακόρυφη διεύθυνση

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΖΟΥ, ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ, ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ, ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΕΣ, ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Παραμετρικές αναλύσεις ταχύτητας ανέμου

Οριζόν $\alpha = 0^\circ \Rightarrow v_m = 10m/s$
Τύρβη B $\alpha = 20^\circ \Rightarrow v_m = 9.4m/s$
 $v_m = 10m/s$
Οριζ $\alpha = 0^\circ \Rightarrow v_m = 0m/s$
 $\alpha = 20^\circ \Rightarrow v_m = 3.4m/s$

Ταχύτητα στην διαμήκη διεύθυνση

Ταχύτητα στην εγκάρσια και κατακόρυφη διεύθυνση

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΖΟΥ, ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ, ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ, ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΕΣ, ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΙΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ



Ευχαριστίες

Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΟΥΛΑΤΣΟΥ ΣΤΕΛΙΟΣ ΒΕΡΝΑΡΔΟΣ ΗΛΙΑΣ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ ΧΑΡΗΣ Ι. ΓΑΝΤΣΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΧΡΟΝΟΣΤΟΡΙΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΕΠΙ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΗΤΡΙΩΝ

