



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΘΕΜΑ

για το μάθημα του 8ου εξαμήνου
«Αιολική Ενέργεια»

Τζανετάκης Αντώνης, 02116080

(08/04/2020)

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ & ΑΤΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	3
ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ.....	4
ΕΡΩΤΗΜΑ 1: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	4
ΕΡΩΤΗΜΑ 2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΙΣΧΥΟΣ Α/Γ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΝ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ LCOE	11
ΕΡΩΤΗΜΑ 3: ΟΡΙΟ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (ΝΗΣΙ-74)	36
ΕΡΩΤΗΜΑ 4: ΕΓΓΥΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (CC).....	39
ΕΡΩΤΗΜΑ 5: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΟΜΟΡΡΟΥ	41
ΕΡΩΤΗΜΑ 6: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ: ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ (IRR, NPV, PBP)	50
ΠΡΟΤΑΣΗ	51
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	52
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΕΙΚΟΝΕΣ.....	52
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ	77
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: E.A.SY CONFIGURATION	87

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ως μέρος του μαθήματος της Αιολικής Ενέργειας, στόχος της εργασίας ήταν να εξοικειωθούμε με το αντικείμενο σε ποικίλες πλευρές του. Πιο συγκεκριμένα, σε όλο το μήκος της εργασίας κληθήκαμε να επεξεργαστούμε ανεμολογικά δεδομένα-αντλώντας τις πληροφορίες που μας χρειάζονταν- να προσθέσουμε σταδιακά δυνατότητες στην Α/Γ μας και να βλέπουμε τις επιδράσεις της κάθε αλλαγής, να δούμε την συμπεριφορά και την επίδραση ενός έργου αιολικής ενέργειας σε ένα μη διασυνδεδεμένο σύστημα με υπάρχουσες δομές παραγωγής ενέργειας, να υπολογίσουμε τον βαθμό απόδοσης λόγω ομόρρου ενός αιολικού πάρκου και τελικά, βάσει όλων αυτών, να κρίνουμε τεχνοοικονομικά και να προτείνουμε ένα έργο Αιολικής Ενέργειας για το δεδομένο –και ατομικό- μη διασυνδεδεμένο σύστημα μας.

ΑΤΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΟ ΘΕΜΑ:

- Ανεμολογικά δεδομένα: M74
 - Ονομαστική Ισχύς Α/Γ: 2.5 MW
 - Νησί ζήτησης: N74
 - Αριθμός συμβατικών μονάδων (diesel): 19
 - Ονομαστική Ισχύς συμβ. Μονάδας: 4 MW
 - γήπεδο (990 m) x (3960 m)
 - «άλλα κόστη αιολικού πάρκου»: 580 €/KW
-

ΕΡΩΤΗΜΑ 1

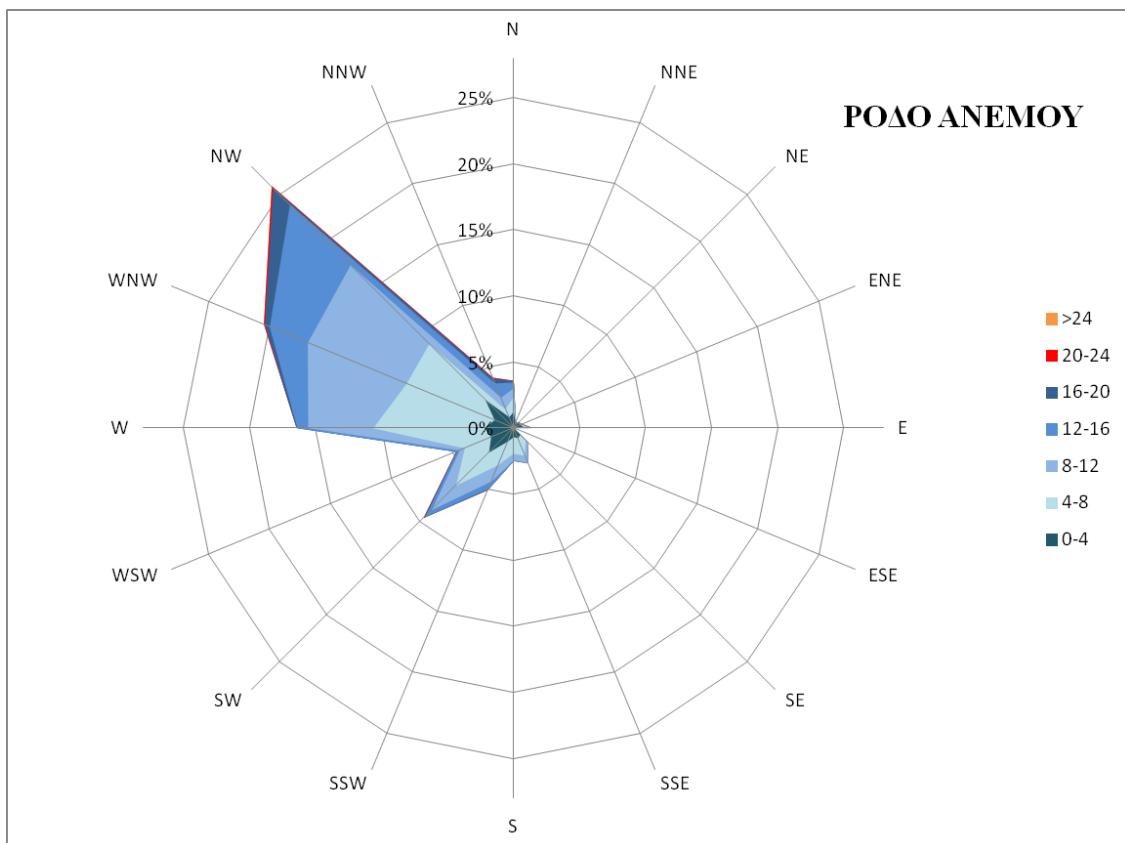
1.1. Προσδιορισμός μέσης ταχύτητας ανέμου και τυπικής απόκλισης:

Χρησιμοποιούμε τις εντολές AVERAGE και STDEV πάνω στα δεδομένα που έχουμε στο excel:

Βρίσκουμε:

Μέση Ταχύτητα ανέμου [m/sec]	Τυπική απόκλιση σ [m/sec]	Αριθμός μετρήσεων N
7.897838698	4.129769474	51543

1.2. Σχεδιασμός Ρόδου ανέμου σε 16 κατευθύνσεις:



Εικόνα 1: Το ρόδο ανέμου για τα αντίστοιχα ανεμολογικά δεδομένα.

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Επεξεργαζόμαστε τις μετρήσεις ως εξής:

Φτιάχνουμε ένα nested-if-loop που θα χαρακτηρίζει κάθε μέτρηση μας με ένα σύμβολο (έχει ένα ή κάθε κατεύθυνση) ανάλογα με τη γωνία που βρίσκεται –κάθε κατεύθυνση από τις 16 έχει ένα πεδίο 22.5 μοιρών που της «ανήκει»: 11.5 μοίρες εκατέρωθεν από την ακριβή κατεύθυνση της- και έπειτα με την εντολή FREQUENCY λαμβάνουμε το ποσό της κάθε κατεύθυνσης επί των συνολικών μετρήσεων. Τα κάνουμε ποσοστά.

Έχουμε χωρίσει τις ταχύτητες σε έξι ισαπέχοντα διαστήματα με βήμα 4 m/sec και ένα έκτο που περιέχει όλες τις ταχύτητες πάνω από 24 m/sec. Κι εδώ γίνεται χρήση της εντολής FREQUENCY.

Άρα έτσι θα έχουμε στο ρόδο ανέμου τις κατευθύνσεις, τις εντάσεις και την συχνότητα εμφάνισης αυτών.

Χρησιμοποιήθηκαν οι πίνακες:

Πλήθος από Wind_dir	Επικέτες στήλη																Γενικό άθροισμα
Επικέτες γραμμής	E	ENE	N	NE	NNW	NW	S	SE	SSE	SSW	SW	W	WNW	WSW	Γενικό άθροισμα		
0-4	419	295	633	270	188	455	1556	357	359	430	558	1357	1130	801	949	9757	
4-8	176	63	574	25	33	345	3087	640	322	723	1006	1811	4342	3716	1102	17965	
8-12	96	2	351		5	482	4344	254	78	314	683	1353	2539	4170	228	14899	
12-16	31	4	238			616	3365	33	3	17	302	369	437	1624	135	7174	
16-20	5	1	42	1		200	910	1	1	3	69	77	18	186	13	1527	
20-24	2	7		1	19	80		1	3	6	8		46	1		174	
>24	2	15	3	6	2			5	3	7	3	1				47	
Γενικό άθροισμα	731	387	1841	303	228	2117	13342	1290	767	1497	2627	4976	8466	10543	2428	51543	

Εικόνα 2: Διαχωρισμένα ανεμολογικά δεδομένα σε "συγκεντρωτικό πίνακα"

Επικέτες γραμμής	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0-4	1%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	1%	1%	3%	2%	2%	2%	3%	1%	1%
4-8	2%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	2%	2%	3%	6%	4%	11%	9%	9%	2%
8-12	3%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	3%	2%	4%	9%	4%	16%	17%	17%	2%
12-16	3%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	3%	2%	5%	9%	5%	16%	20%	24%	4%
16-20	4%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	3%	2%	5%	10%	5%	16%	20%	26%	4%
20-24	4%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	3%	2%	5%	10%	5%	16%	20%	26%	4%
>24	4%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	3%	3%	5%	10%	5%	16%	20%	26%	4%

Εικόνα 3: Τελικά διαμορφωμένος πίνακας ανεμολογικών

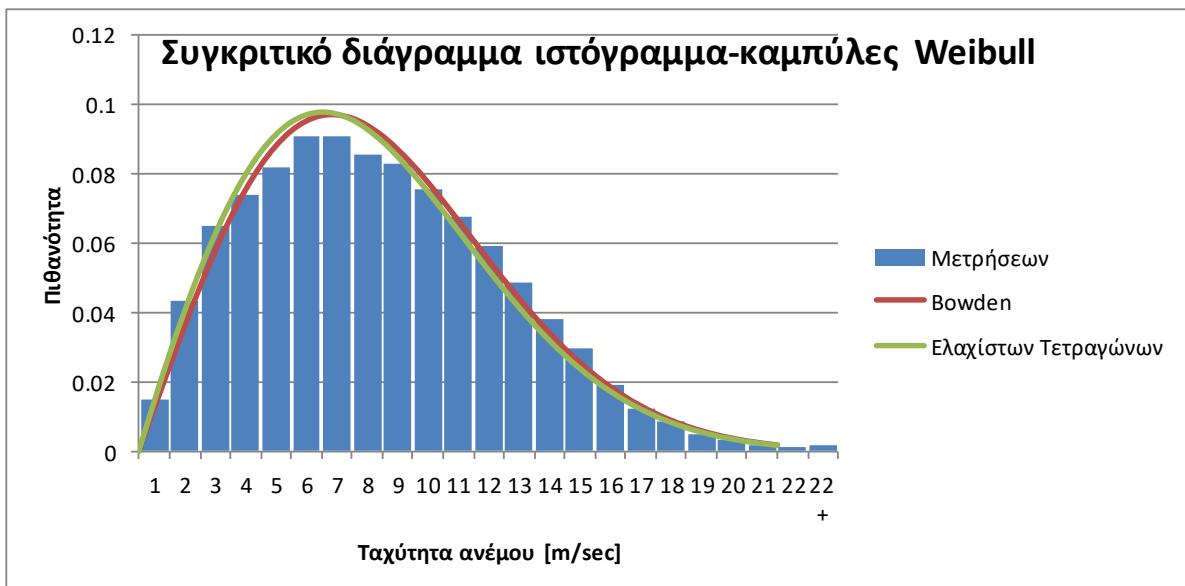
1.3. Προσδιορισμός κατανομής Weibull (k , c) που προσαρμόζεται καλύτερα στις παραπάνω μετρήσεις.

Παρακάτω παρουσιάζεται η σύγκριση των c , k που αντιστοιχούν στην ημιεμπειρική σχέση κατά Bowden και στα ελάχιστα τετράγωνα:

BOWDEN		ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΑ	
c	k	c	k
8.911756652	2.022080963	8.6839	1.9682

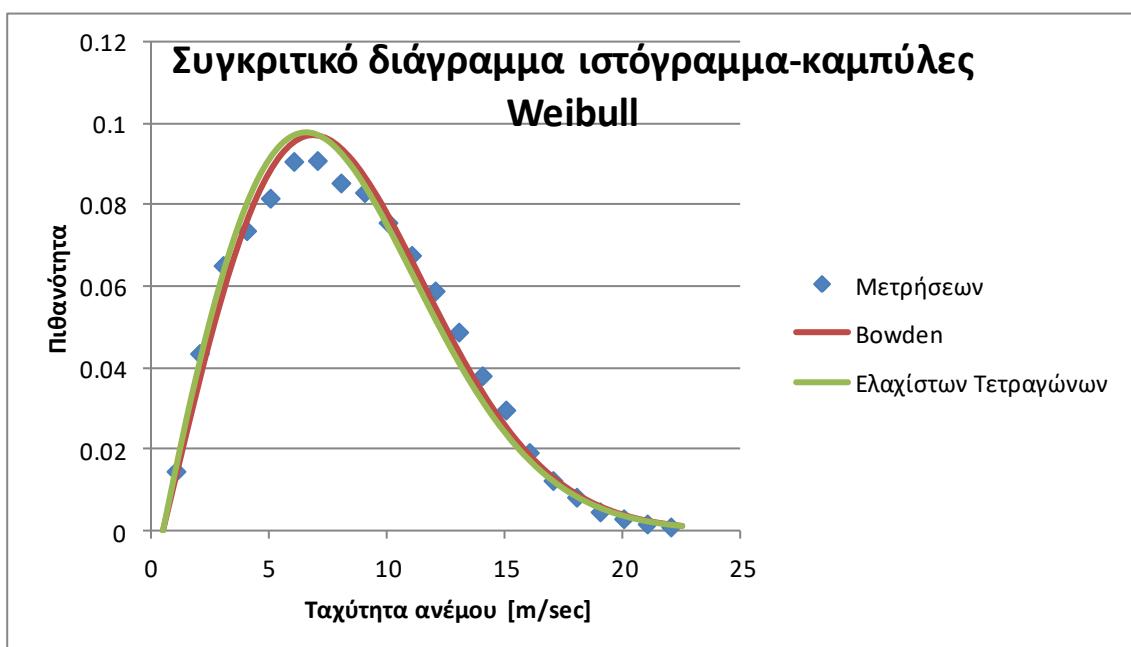
Εικόνα 4: Συγκριτικός πίνακας από τα c, k που βγαίνουν από τα ανεμολογικά δεδομένα με τις δύο αναγραφόμενες μεθόδους

Και κάνοντας το συγκριτικό γράφημα:



Εικόνα 5: Συγκριτικό διάγραμμα πειραματικών δεδομένων και προσεγγίσεων: πυκνότητα πιθανότητας πνοής ανέμου

Εναλλακτική παρουσίαση:



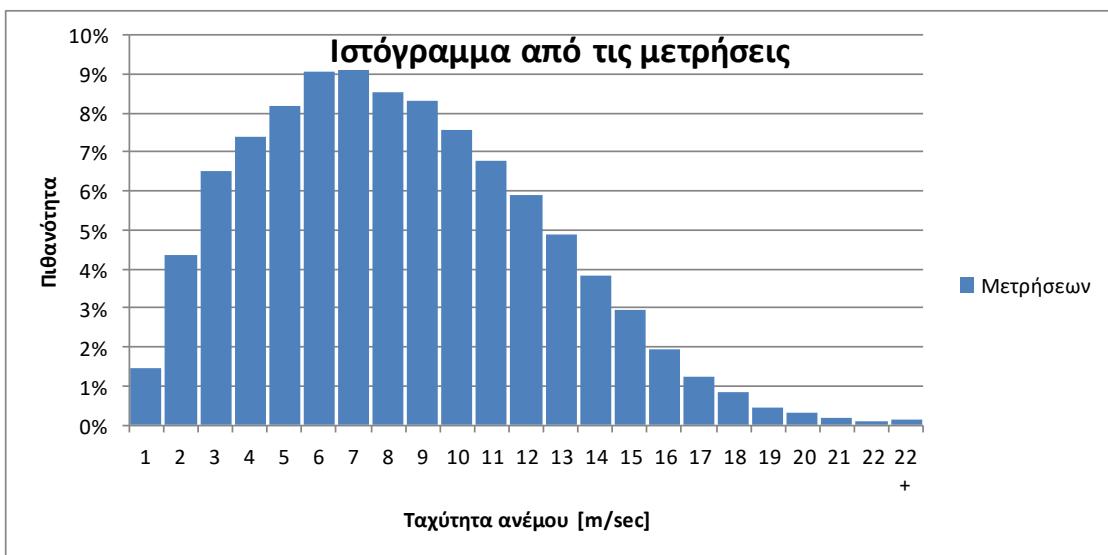
Εικόνα 6: Εναλλακτική παρουσίαση της Εικόνας 5

Στο οποίο παρατηρούμε ότι δεν είναι εύκολο να κάνουμε την αποτίμηση για το ποια προσέγγιση είναι καλύτερη (παρότι θα πρέπει να είναι των ελαχίστων τετραγώνων, οπότε παρακάτω αυτή θεωρείται η πιο ακριβής προσέγγιση).

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Πρώτα φτιάχνουμε το ιστόγραμμα που προέρχεται μόνο από τις μετρήσεις:

ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	εμφανίσεις τιμών	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	
		χρόνος επι των συνολικών	χρόνος σε % του έτους
0-1	753	0.014609161	0.014609161
1 - 2	2246	0.043575267	0.043575267
2 - 3	3361	0.065207691	0.065207691
3-4	3803	0.073783055	0.073783055
4 - 5	4214	0.08175698	0.08175698
5 - 6	4680	0.090797975	0.090797975
6 - 7	4692	0.09103079	0.09103079
7 - 8	4408	0.085520827	0.085520827
8 - 9	4286	0.083153872	0.083153872
9 - 10	3905	0.075761985	0.075761985
10 - 11	3490	0.067710455	0.067710455
11 - 12	3039	0.05896048	0.05896048
12 - 13	2518	0.048852414	0.048852414
13-14	1964	0.038104107	0.038104107
14-15	1530	0.029683953	0.029683953
15-16	991	0.019226665	0.019226665
16-17	636	0.012339212	0.012339212
17-18	425	0.008245543	0.008245543
18-19	239	0.004636905	0.004636905
19-20	152	0.002948994	0.002948994
20-21	86	0.00166851	0.00166851
21-22	48	0.000931261	0.000931261
22 +	77	0.001493898	0.001493898



Εικόνα 7: Ιστόγραμμα πυκνότητας πιθανότητας πνοής ανέμου πειραματικών δεδομένων

- Σχόλιο: Πεδία ταχυτήτων ανα 1 m/sec

Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε τις ημιεμπειρικές σχέσεις του Bowden (που απαιτούν την μέση ταχύτητα και την τυπική απόκλιση που βρήκαμε στο 1.1):

$$c = \frac{2\bar{U}}{\sqrt{\pi}}, \quad k = \left(\frac{\sigma}{\bar{U}}\right)^{-1.086}$$

για να βρούμε τους συντελεστές c, k :

BOWDEN	
c	k
8.911756652	2.022080963

Εικόνα 8: Τα c,k που βγαίνουν από τα ανεμολογικά δεδομένα με τις ημεμπειρικές σχέσεις του Bowden

Στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων:

Ταχύτητα [m/sec]	ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΑ διάρκεια πνοής ανέμου Q	Q	x			y	χρόνος επιτων συνολικών	χρόνος σε % του έτους
			In(U)	In(Q)	In(-In(Q))			
> 0	51543	1	100%	#APIΘ!	0	#APIΘ!	0	0%
> 1	50790	0.98539084	99%	0	-0.014717	-4.21876	0.027245723	3%
> 2	48544	0.94181557	94%	0.693147	-0.059946	-2.81431	0.050384898	5%
>3	45183	0.87660788	88%	1.098612	-0.131696	-2.02726	0.069222333	7%
>4	41380	0.80282483	80%	1.386294	-0.219619	-1.51586	0.083011948	8%
>5	37166	0.72106785	72%	1.609438	-0.327022	-1.11773	0.091414255	9%
>6	32486	0.63026987	63%	1.791759	-0.461607	-0.77304	0.094565418	9%
>7	27794	0.53923908	54%	1.94591	-0.617596	-0.48192	0.093023731	9%
>8	23386	0.45371825	45%	2.079442	-0.790279	-0.23537	0.087656739	9%
>9	19100	0.37056438	37%	2.197225	-0.992728	-0.0073	0.079502593	8%
>10	15195	0.2948024	29%	2.302585	-1.22145	0.200039	0.069632553	7%
>11	11705	0.22709194	23%	2.397895	-1.4824	0.393663	0.059035088	6%
>12	8666	0.16813146	17%	2.484907	-1.783009	0.578302	0.048534007	5%
>13	6148	0.11927905	12%	2.564949	-2.12629	0.754378	0.038744806	4%
>14	4184	0.08117494	8%	2.639057	-2.511149	0.92074	0.030066301	3%
>15	2654	0.05149099	5%	2.70805	-2.966348	1.087332	0.022699803	2%
>16	1663	0.03226432	3%	2.772589	-3.433793	1.233666	0.016685838	2%
>17	1027	0.01992511	2%	2.833213	-3.915774	1.365013	0.011948521	1%
>18	602	0.01167957	1%	2.890372	-4.449914	1.492885	0.008339433	1%
>19	363	0.00704266	1%	2.944439	-4.955769	1.600552	0.005675438	1%
>20	211	0.00409367	0%	2.995732	-5.498314	1.704441	0.003767573	0%
>21	125	0.00242516	0%	3.044522	-6.021858	1.795396	0.002440403	0%
> 22	77	0.0014939	0%	3.091042	-6.506366	1.872781	0.001542838	0%

Εικόνα 9: Τα πειραματικά δεδομένα προσαρμοσμένα για την εφαρμογή της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων

- Σύντομη περιγραφή μεθόδου: Βρίσκουμε τα αθροιστικά ποσοστά εμφάνισης ταχύτητας μεγαλύτερης από κάποιο όριο (εδώ χρησιμοποιήθηκε βήμα 1 m/sec) που ονομάζονται «διάρκεια πνοής ανέμου» και συμβολίζονται με Q.

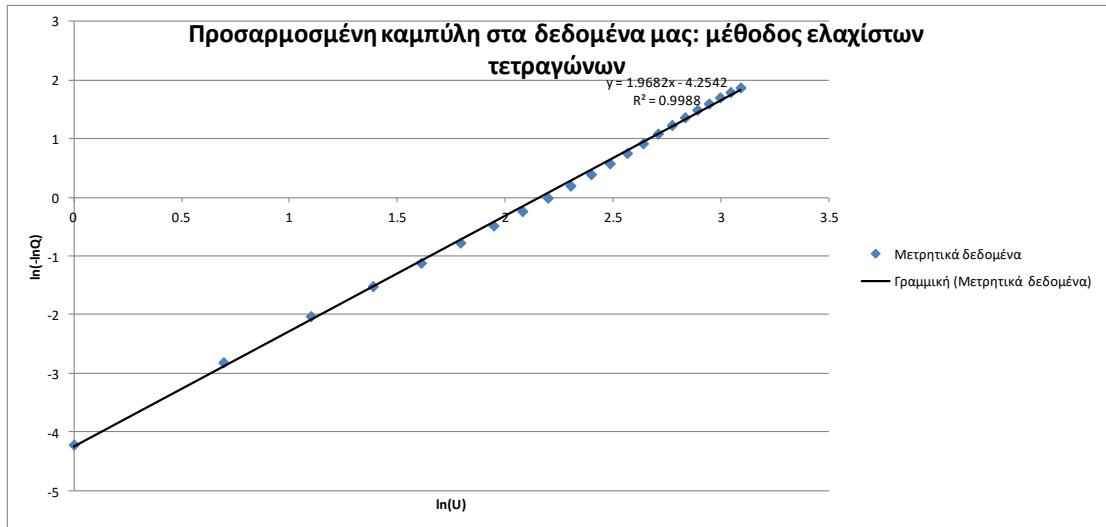
Έπειτα, όπως επεξηγήθηκε στις διαλέξεις, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το Q ακολουθεί έναν εκθετικό νόμο:

Όμως, η μέθοδος των ελάχιστων τετραγώνων λειτουργεί σε ευθείες, άρα λογαριθμίζουμε την σχέση και λαμβάνουμε την:

$$\ln(-\ln(Q)) = k * \ln(U) - k * \ln(c) \rightarrow$$

$$\rightarrow y = k * x - k * \ln(c)$$

Τώρα, έχουμε δεδομένα σημεία x που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα σημεία y. Αυτά κάνουμε ένα scatter plot και σε αυτά προσαρμόζουμε μία ευθεία γραμμή (που βγαίνει από τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων) και το excel μας δίνει την εξίσωση που ακολουθεί η παρεμβλημένη ευθεία:



Εικόνα 10: Προσαρμογή καμπύλης στα δεδομένα μας με μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων

$$y = 1.9682 * x - 4.2542$$

Συγκρίνοντας με την παραπάνω εξίσωση, βλέπουμε εύκολα ότι:

ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΑ	
c	k
8.6839	1.9682

Εικόνα 11: Τα c,k που βγαίνουν από τα ανεμολογικά δεδομένα μέσω της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων

1.4. Υπολογισμός πυκνότητας ισχύος του ανέμου (W/m^2)

Η πυκνότητα ισχύος του ανέμου είναι ισοδύναμη με τη μέση ισχύ του ανέμου ανά μονάδα επιφάνειας:

$$\frac{\bar{P}}{A} = \int_0^{inf} \frac{P}{A} * f(V) * dV$$

Όπου P η ανά ταχύτητα ισχύς:

$$P = \frac{1}{2} * \rho * V^3 * A$$

Και $f(V)$ η συχνότητα πιθανότητας (που θεωρητικά ακολουθεί Weibull κατανομή, αλλά εδώ επιλέγονται τα αντίστοιχα πειραματικά δεδομένα ανά πεδίο ταχύτητας βήματος 1 m/sec)

Εμείς βάσει των δεδομένων του δείγματος κρίνουμε ότι θα έχουμε ακριβή εκτίμηση της ζητούμενης ισχύος στα όρια του ολοκληρώματος 0 έως 22 m/sec. Άρα, έχουμε:

$$\frac{\bar{P}}{A} = \int_0^{22} \frac{1}{2} * \rho * V^3 * f(V) * dV$$

Το ολοκλήρωμα αυτό θα προσεγγιστεί αριθμητικά με τη μέθοδο τραπεζίου.

$$\frac{\bar{P}}{A} = \sum_{i=1}^{N=23} \frac{1}{2} * (f_i * \frac{P_i}{A} + f_{i+1} * \frac{P_{i+1}}{A})$$

Αφού εισάγουμε τα απαραίτητα δεδομένα από το Excel φτιάχνουμε ένα απλό πρόγραμμα στη MATLAB.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΤΗ MATLAB

```
% ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΓΙΑ ΕΥΡΕΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΝΕΜΟΥ: ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΡΑΠΕΖΙΟΥ
```

```
power_avg = 0;
power_avgi = 0;
N = 23; % # διακριτοποίησης ταχυτήτων
density = 1.2; % kg/m^3

dU = ones(1,N); %βήμα ταχύτητας που θεωρείται σταθερά ίσο με 1
(αυξάνουμε 1 m/sec)
U = 0:23; % το συνολικό πεδίο ταχυτήτων που λαμβάνουμε υπόψιν

f = [0.014609161 0.043575267 0.065207691 0.073783055 0.08175698
0.090797975 0.09103079 0.085520827 0.083153872 0.075761985
0.067710455 0.05896048 0.048852414 0.038104107 0.029683953
0.019226665 0.012339212 0.008245543 0.004636905 0.002948994
0.00166851 0.000931261 0.001493898]; % Η συχνότητα πιθανότητας ανά 1
m/sec

p = 0.5*density*U.^3; %Η ισχύς ανά τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μονάδα
επιφάνειας

for i = 1:N-1

    power_avgi = dU(i)*(f(i)*p(i) + f(i+1)*p(i+1))/2;

    power_avg = power_avg + power_avgi; %μέση ισχύς ανά μονάδα
επιφάνειας

end
```

Και λαμβάνουμε αποτέλεσμα:

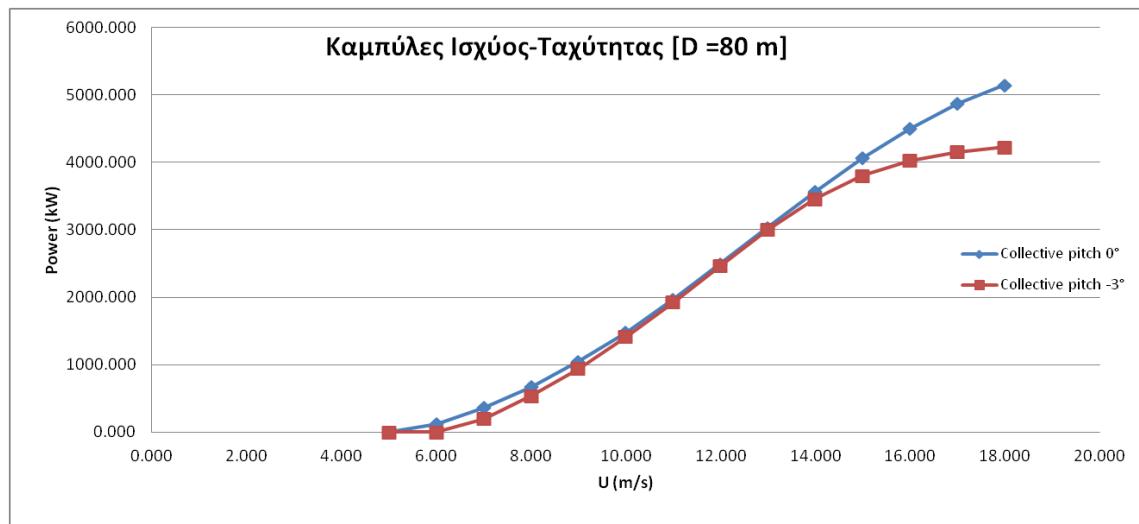
$$\frac{\bar{P}}{A} = 476.9 \frac{W}{m^2}$$

ΕΡΩΤΗΜΑ 2

2.1. Για Α/Γ SR ζητείται για δύο γωνίες τοποθέτησης του πτερυγίου (-3 και 0 μοίρες) η διάμετρος του δρομέα, η καμπύλη ισχύος και ο συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας (CF).

Παρουσιάζονται παρακάτω τα συγκριτικά διαγράμματα:

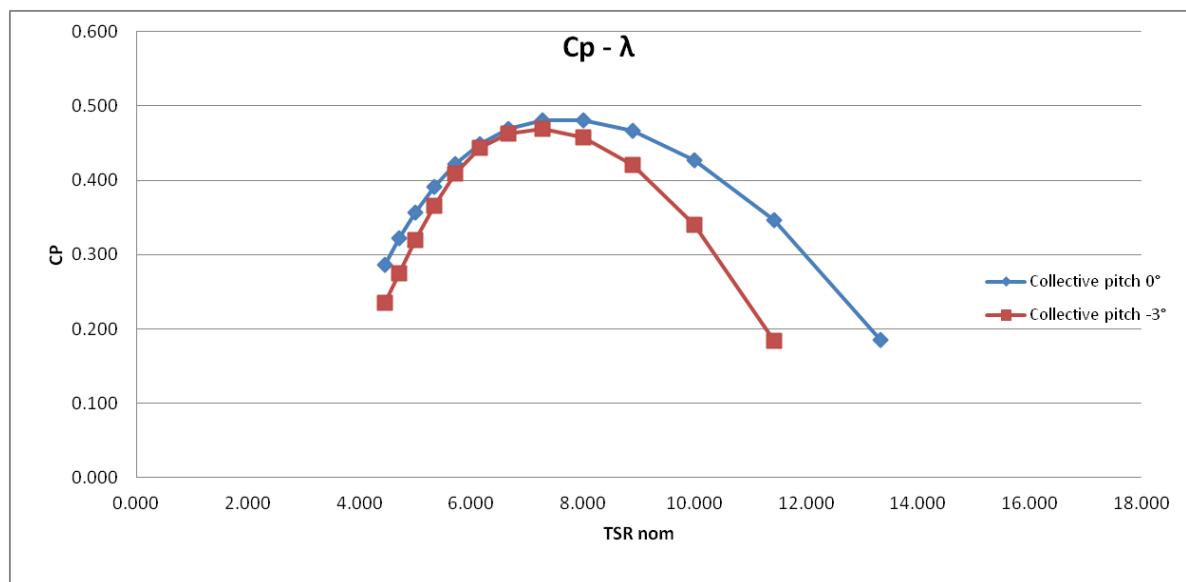
- Διάμετρος $D = 80$ m:



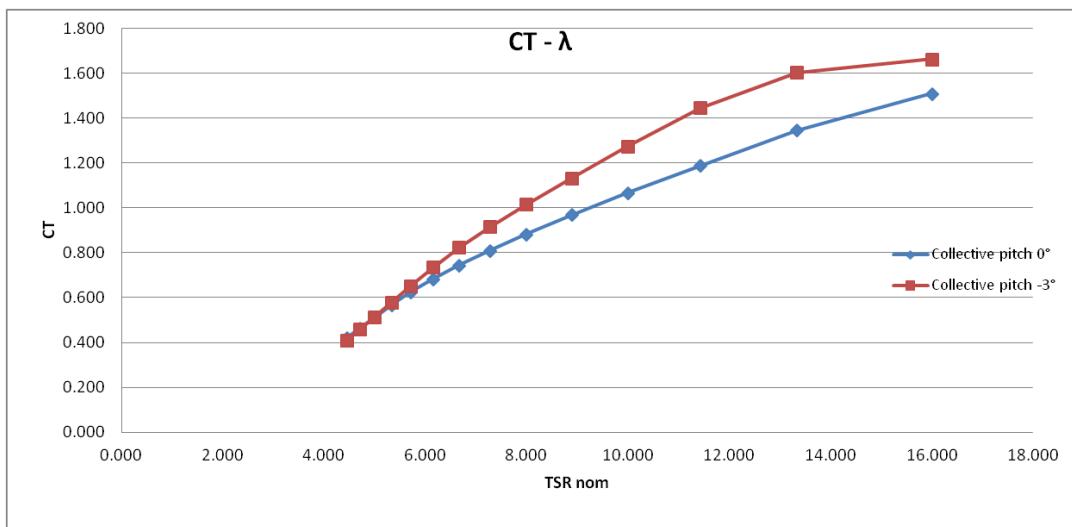
Εικόνα 12: Καμπύλες Ισχύος - ταχύτητας ανέμου για ίδια διάμετρο [D =80m] για Α/Γ SR

ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

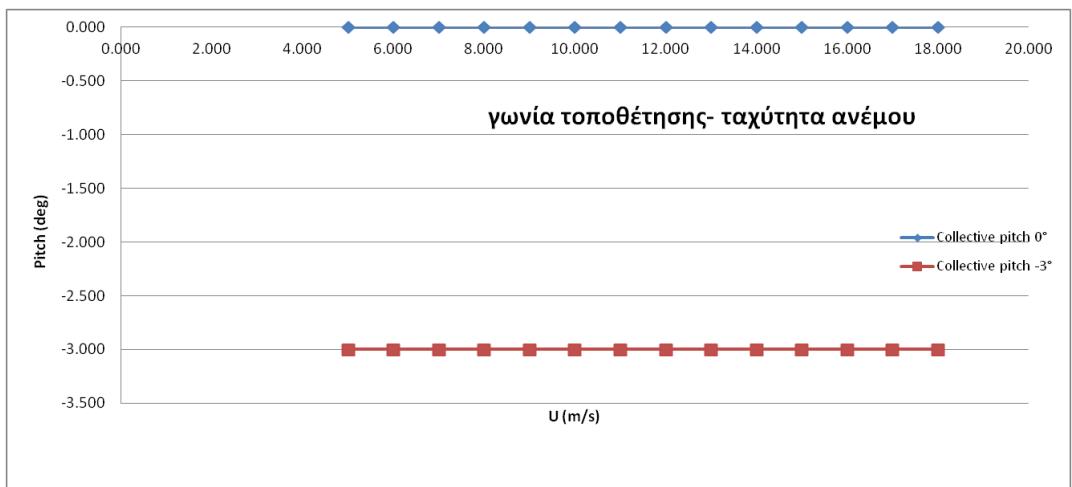
Μένουν ίδια τα:



Εικόνα 13: Διάγραμμα CP-λ για Α/Γ SR

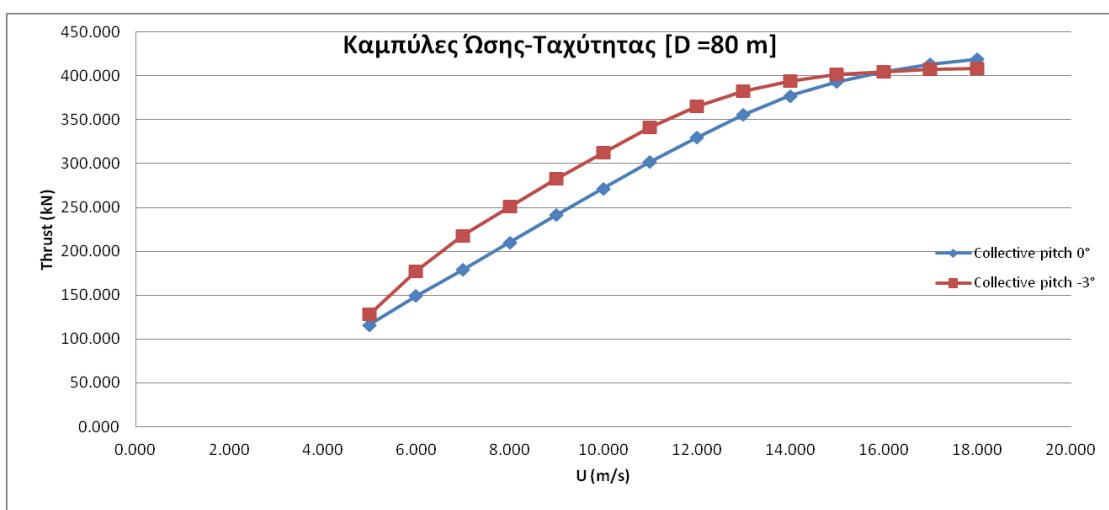


Εικόνα 14: Διάγραμμα CT-λ για Α/Γ SR

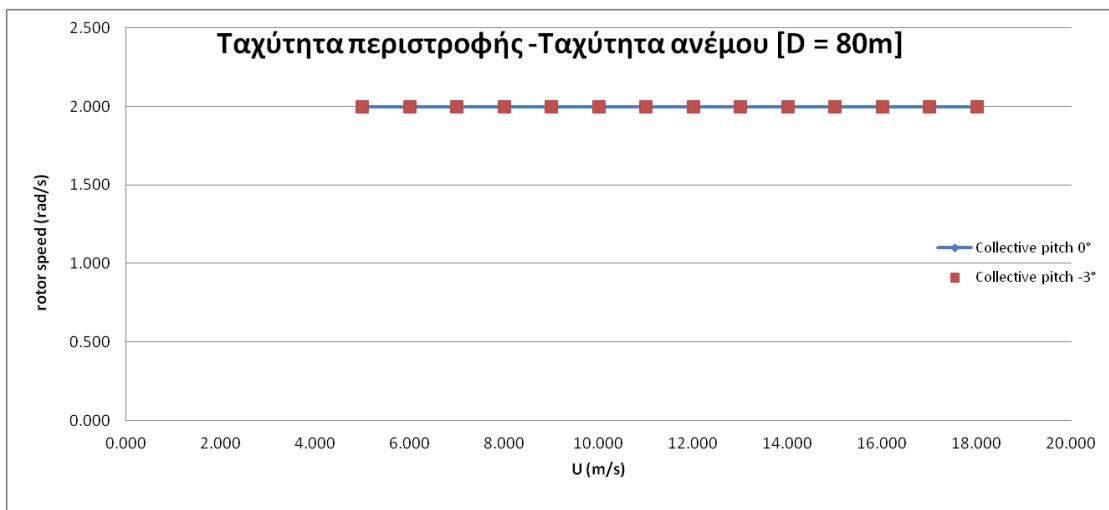


Εικόνα 15: Γωνία τοποθέτησης του πτερυγίου συναρτήσει του ανέμου για Α/Γ SR

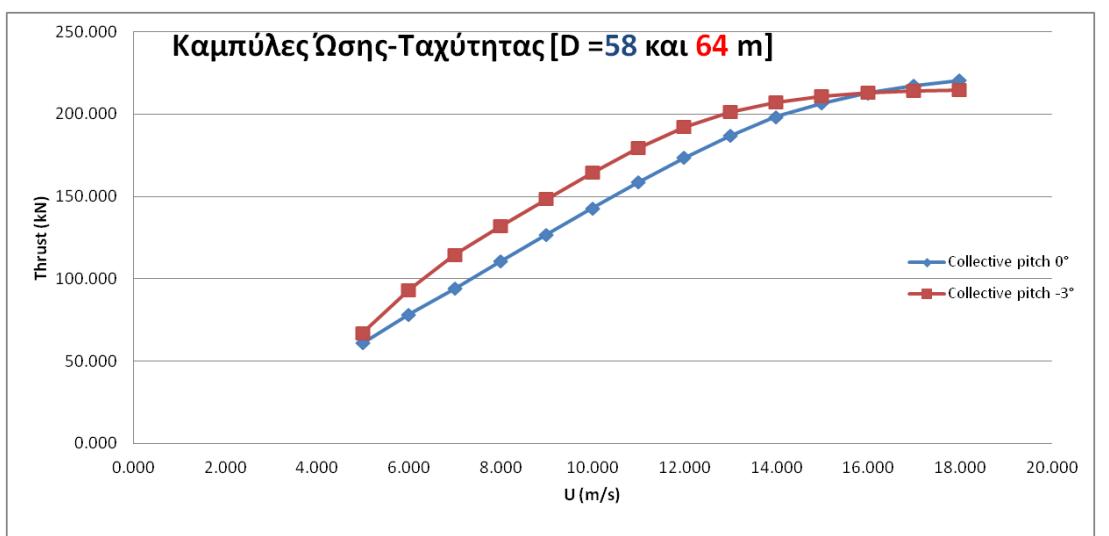
Ενώ τα παρακάτω αλλάζουν (ενν. λόγω της αλλαγής διαμέτρου):



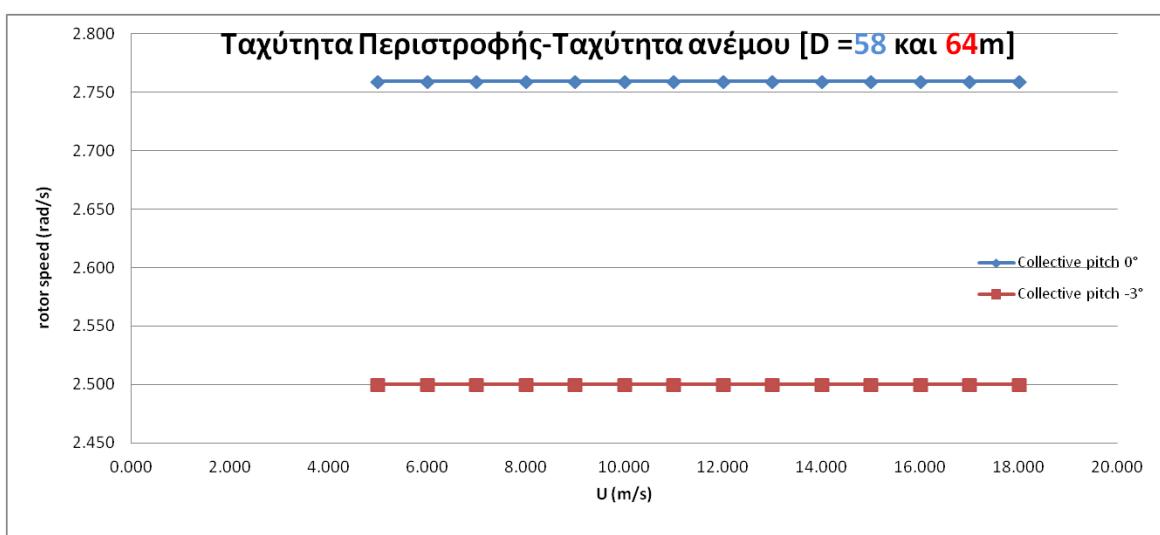
Εικόνα 16: Διάγραμμα ώσης συναρτήσει ταχύτητας του ανέμου για Α/Γ SR [D = 80m]



Εικόνα 17: Διάγραμμα ταχύτητας περιστροφής συναρτήσει ταχύτητας του ανέμου για A/Γ SR [D = 80m]



Εικόνα 18: Διάγραμμα ώσης συναρτήσει ταχύτητας του ανέμου για A/Γ SR [D = 58m και 64m]

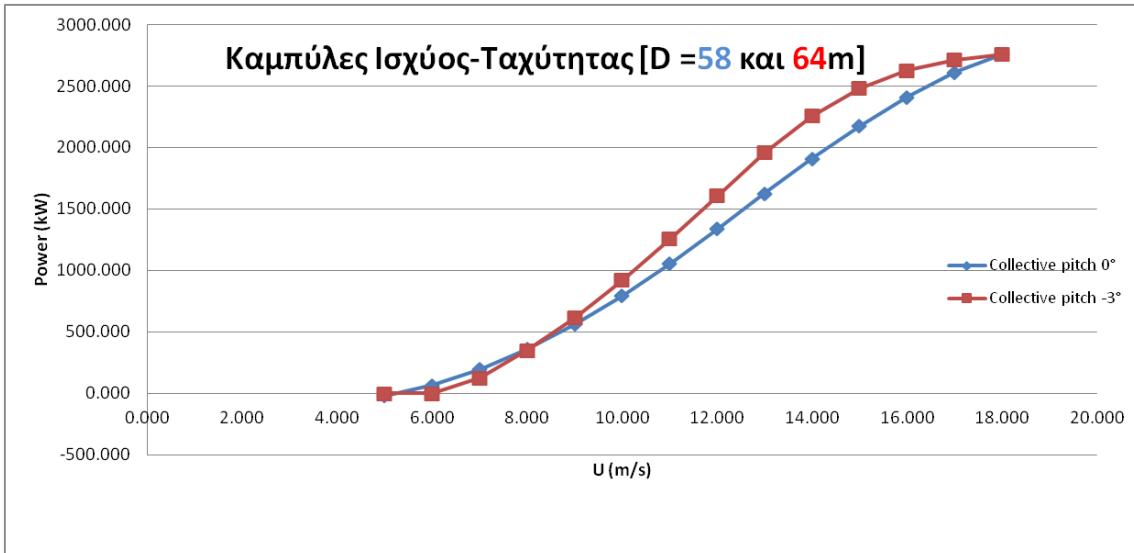


Εικόνα 19: Διάγραμμα ταχύτητας περιστροφής συναρτήσει ταχύτητας του ανέμου για A/Γ SR [D = 58 και 64m]

Και έπειτα από προσαρμογή για να έχουμε ίση ονομαστική ισχύ:

Προκύπτουν:

- Διάμετροι 58 m και 64 m:



Εικόνα 20: Καμπύλες ισχύος συναρτήσει ταχύτητας του ανέμου για A/Γ SR [D = 58 και 64 m]

Στη συνέχεια δίνονται οι συντελεστές εκμετάλλευσης:

Coll. Angle [deg]	R [m]	CF
0.00	40.00	18.9%
-3.00	40.00	20.9%
0.00	29.00	18.9%
-3.00	32.00	20.9%

Εικόνα 21: Πίνακας συντελεστή εκμεταλλευσιμότητας - ακτίνας - γωνίας τοποθέτησης

- Σχόλιο 1: Στην ίδια διάμετρο παρότι οι -3 μοίρες παράγουν περισσότερη ισχύ, αν ως ονομαστική θέσουμε την μέγιστη ισχύ που πιάνουν βλέπουμε ότι οι -3 μοίρες έχουν υψηλότερο CF. Βέβαια, δεν νομίζω ότι έχει νόημα να συγκρίνουμε αυτούς τους δύο...
- Σχόλιο 2: Εδώ που έχει νόημα να κάνουμε σύγκριση, βλέπουμε ότι για να παράγουμε την επιλεγμένη ονομαστική ισχύ των 2.5MW, ο CF στις -3 μοίρες είναι υψηλότερος από εκείνον στις 0 μοίρες. Βέβαια αυτό θα το πληρώσουμε στην αρχική δαπάνη αφού θα πρέπει να λάβουμε μεγαλύτερη ακτίνα, άρα και περισσότερα υλικά κλπ.

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Δεδομένα:

$$U_{TIP} = \omega R = 80 \frac{m}{sec}$$

$$U_{cut-in} = 5 \frac{m}{sec}$$

$$U_{cut-out} = 18 \frac{m}{sec}$$

$$\gammaωνία τοποθέτησης = 0^\circ και -3^\circ$$

Σύντομη περιγραφή:

- Ξεκινάμε με μία αρχική υπόθεση ακτίνας: $R = 40 \text{ m}$

Αφού ακολουθήσουμε τη διαδικασία set-up των διάφορων αρχείων και τρέξουμε για κάθε ταχύτητα από την Ucut-in έως την Ucut-out μέσα στο aeroin.inp περνάμε τα αποτελέσματα που ζητούνται από το έτοιμο excel. Αυτό γίνεται μία φορά για κάθε γωνία και τελικά φτιάχνουμε τις καμπύλες που ζητάει το excel άρα και τις δύο καμπύλες ισχύος για κάθε γωνία. Παίρνουμε τις καμπύλες ισχύος της εικόνας 12.

- Έπειτα, ζητούνται οι δύο καμπύλες ισχύος για ίδια ονομαστική ισχύ. Αυτό σημαίνει –στην περίπτωση του SR- ότι πρέπει να αλλάξουμε τις διαμέτρους:

Οι πρώτες ακτίνες στις οποίες έχουμε ισχύ κοντά στην ονομαστική –και πιο αποδοτικές, οπότε επιλέγουμε τις καμπύλες με την μέγιστη P_{max} - είναι οι $R = 29 \text{ m}$ για τις 0 μοίρες και $R = 32 \text{ m}$ για τις -3 μοίρες.

Διαδικασία: Ξέρουμε ότι το Cr-l διατηρεί την μορφή του για την ίδια (αντίστοιχα) γωνία (εφόσον έχουμε ίσο αριθμό πτερυγίων). Η μορφή φαίνεται στην εικόνα 13. Το μόνο που μπορεί να αλλάξει είναι να αντιστοιχούν άλλες ταχύτητες ανέμου σε κάθε λ. Όμως επειδή εδώ διατηρούμε το $\omega \cdot R = σταθ = 80 \text{ m/sec}$:

έχουμε:

$$\lambda = \frac{\omega R}{U} \text{ και } \{\omega R = σταθ\}$$

Οπότε οι ίδιες ταχύτητες ανέμου θα αντιστοιχούν στα ίδια λ.

Τελικά θα έχουμε τις καμπύλες ισχύος της εικόνας 20 που παρουσιάζεται παραπάνω.

2.2. Για A/G VS&PC με γεωμετρικά όμοια πτερύγιο με τα προηγούμενα ζητείται η διάμετρος της A/G που εξασφαλίζει χαμηλό LCOE.

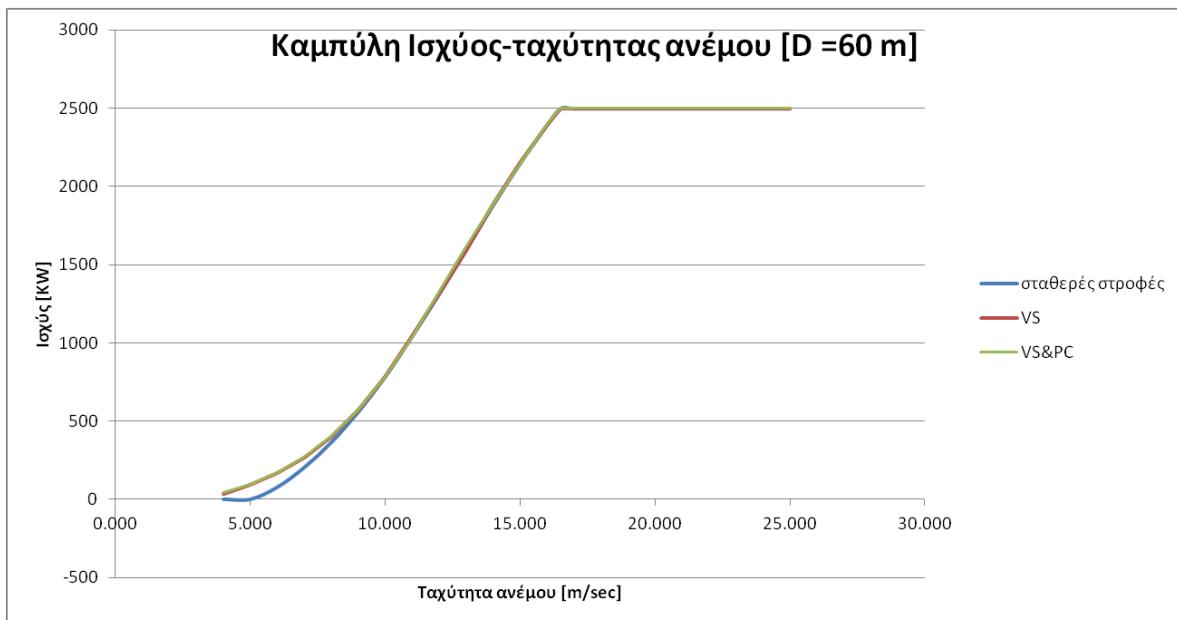
Παρακάτω δίνονται τα επιμέρους ζητούμενα με τις απαντήσεις τους:

- Σημείωση: Γίνεται διερεύνηση της γωνίας βήματος για την οποία έχουμε $\max\{C_{pmax}\}$ και βρίσκεται η $\beta = +0.5$ μοίρες. Βάσει αυτού έγιναν και όλες οι παρακάτω δουλειές. Αναλυτικότερα η διαδικασία εύρεσης των διαφόρων μεγεθών θα περιγραφεί παρακάτω στο ένθετο «ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ».

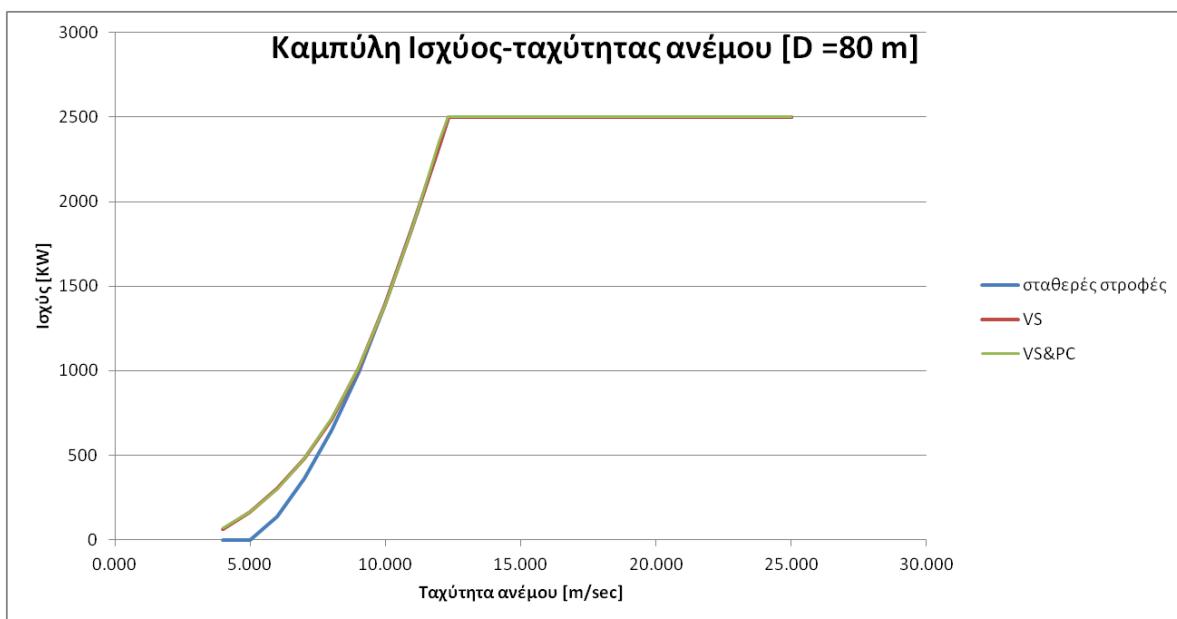
(1) Διαγράμματα της καμπύλης ισχύος για τρεις διαφορετικές διαμέτρους.

Αποφασίστηκε τελικά για λόγους που γίνονται σαφείς στο διάγραμμα του LCOE να ληφθούν τέσσερις διάμετροι: $D = \{60, 80, 100, 120\} [m]$.

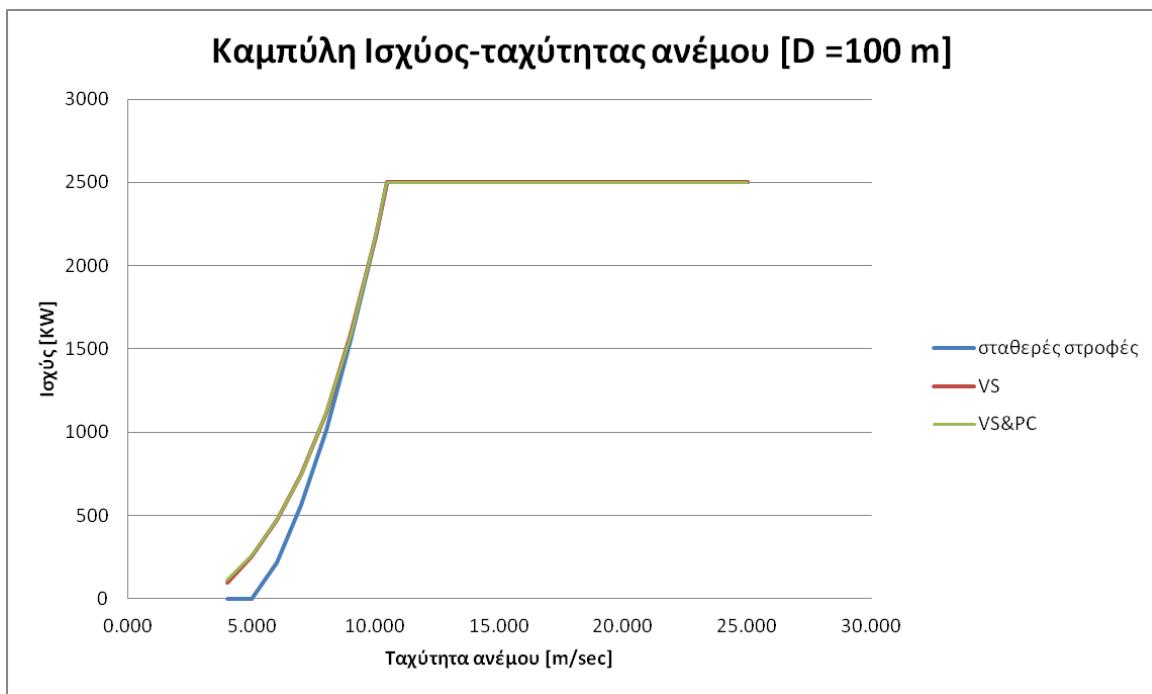
- Σημείωση: Σχεδιάζονται έτσι ώστε να φαίνεται η επίδραση κάθε έξτρα δυνατότητας πάνω στην καμπύλη ισχύος.



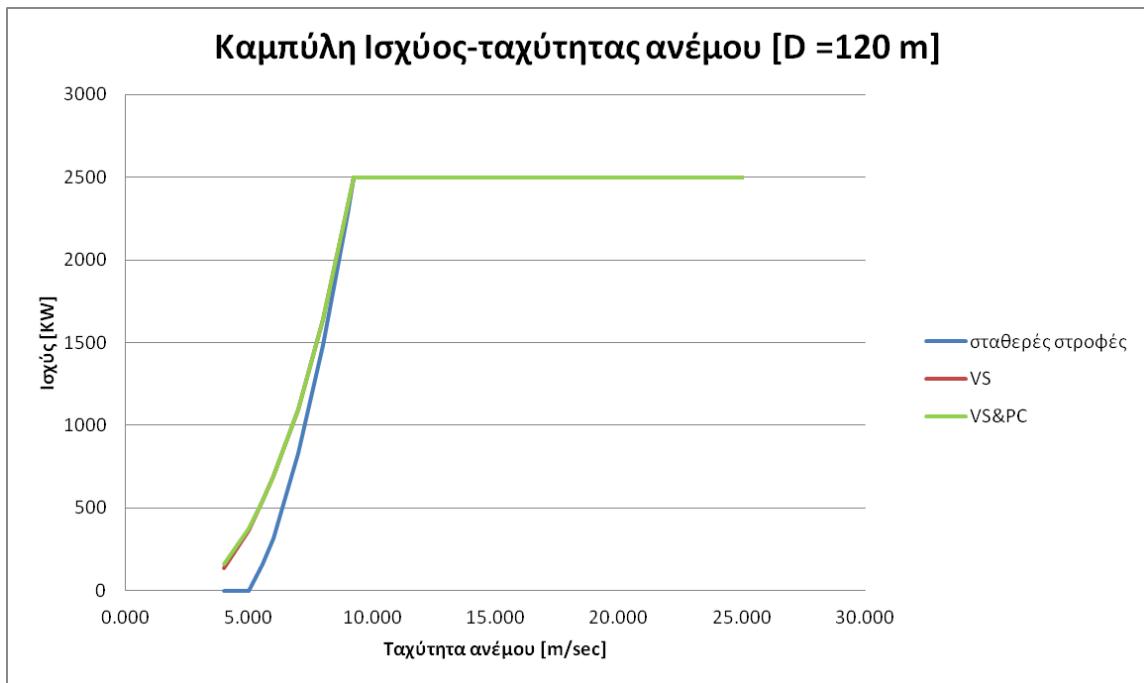
Εικόνα 22: Καμπύλη ισχύος συναρτήσει ταχύτητας ανέμου για SR, VS και VS&PC δυνατότητες [D = 60 m]



Εικόνα 23: Καμπύλη ισχύος συναρτήσει ταχύτητας ανέμου για SR, VS και VS&PC δυνατότητες [D = 80 m]



Εικόνα 24: Καμπύλη Ισχύος συναρτήσει ταχύτητας ανέμου για SR, VS και VS&PC δυνατότητες [D = 100 m]



Εικόνα 25: Καμπύλη Ισχύος συναρτήσει ταχύτητας ανέμου για SR, VS και VS&PC δυνατότητες [D = 120 m]

(2) Ετήσια παραγόμενη ενέργεια [MWh], μέση ετήσια παραγόμενη ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας του δρομέα, ανηγμένο κόστος της A/Γ, τον CF και τέλος το LCOE σε κάθε περίπτωση διαμέτρου:

D [m]	E [MWh/year]	Pavg/A [kW/m^2]	CF	ανηγμένο κόστος [€/kW]
60	5042.66	0.203593071	23.03%	535
80	7687.89	0.174595593	35.10%	758
100	9746.20	0.14165813	44.50%	1004
120	11438.80	0.11596343	52.46%	1298

Εικόνα 26: Ετήσια παραγόμενη ενέργεια [MWh], μέση ετήσια παραγόμενη ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας του δρομέα, ανηγμένο κόστος της A/G, CF, LCOE σε κάθε περίπτωση διαμέτρου

Και για τον υπολογισμό του LCOE:

i [επιτόκιο]	N [έτη]
6%	20

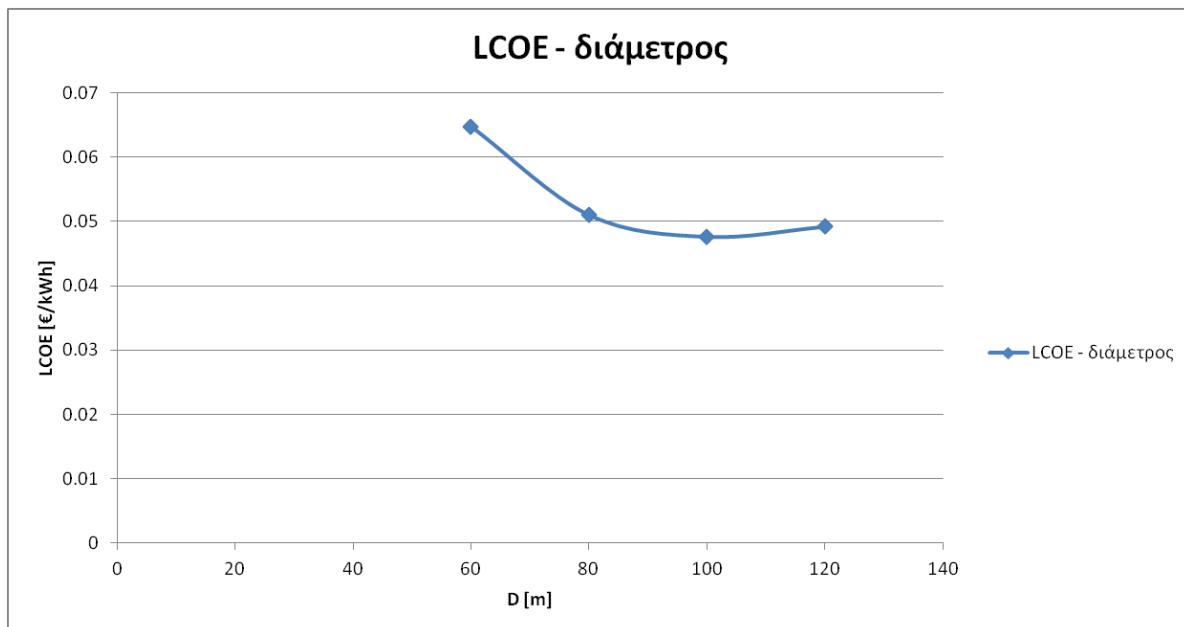
Εικόνα 27: Στοιχεία για την αναγωγή του IC σε ετήσια βάση

για να υπολογίσουμε την ράντα R,

οπότε τελικά:

D [m]	WT cost [€]	Other costs [€]	IC [€]	R	OMC [€/year]	E [kWh/year]	LCOE [€/kWh]
60	1336521.6	1450000	2786522	0.087185	83595.648	5042657.60	0.064755001
80	1895014.4	1450000	3345014	0.087185	100350.432	7687891.38	0.050987197
100	2510000.0	1450000	3960000	0.087185	118800	9746203.90	0.04761
120	3351352.7	1450000	4801352.7	0.087185	144040.5805	11438800.00	0.04919

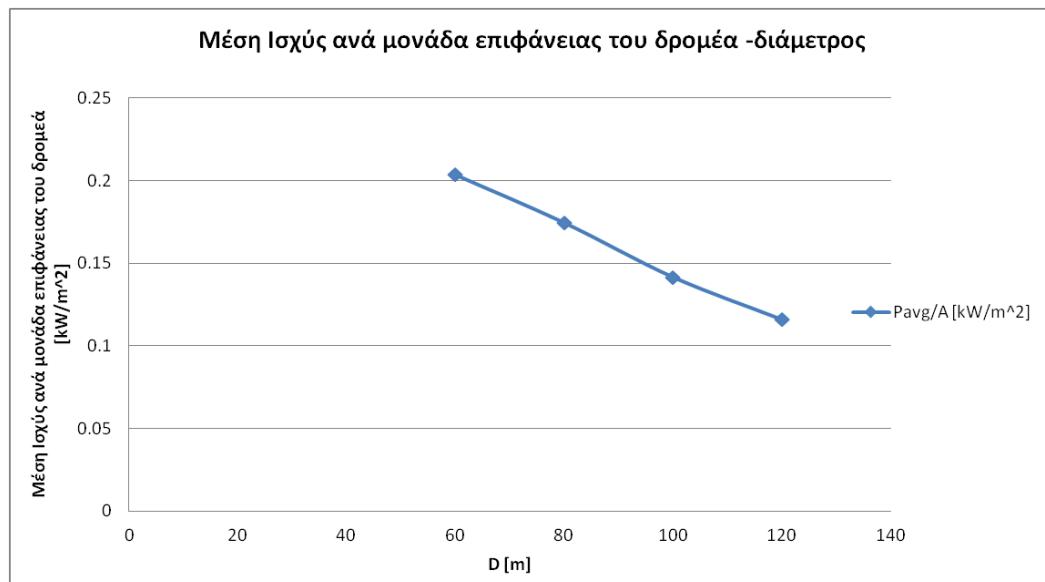
Παρουσιάζονται επιπλέον σε διαγράμματα για την γρήγορη εποπτεία της σχέσης όλων των μεγεθών:



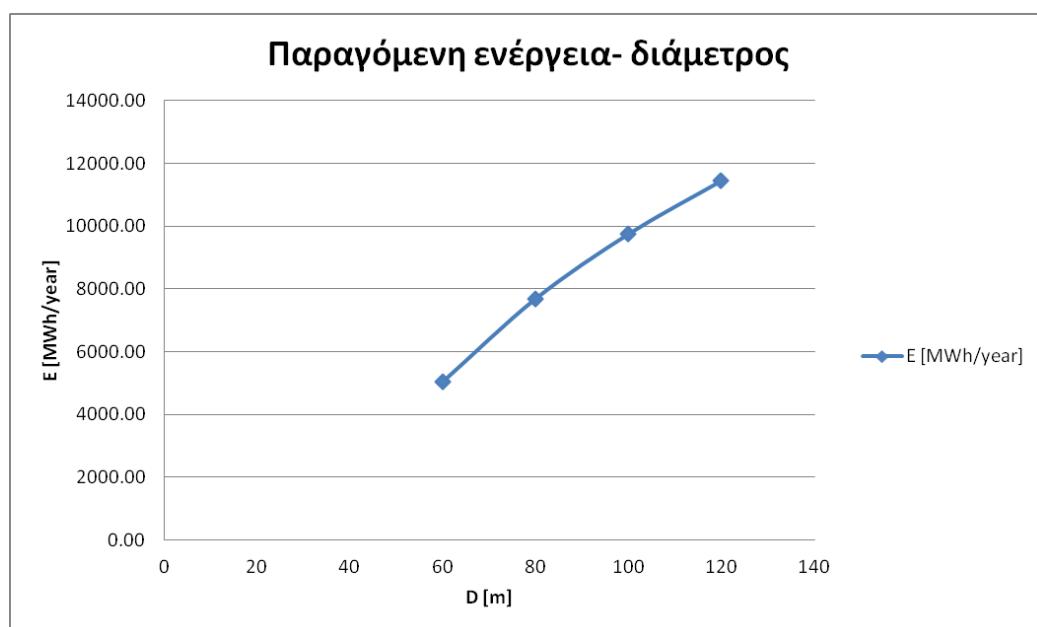
Εικόνα 28: Διάγραμμα LCOE συναρτήσει της διαμέτρου για τις επιλεγμένες διαμέτρους {60, 80, 100, 120} [m]

- Σχόλιο: Εδώ φαίνεται γιατί λήφθηκε και η τέταρτη περίπτωση της διαμέτρου = 120 m. Με αυτή μπορούμε να συμπεράνουμε τουλάχιστον ότι το ελάχιστο LCOE θα βρίσκεται ανάμεσα στη διάμετρο 100 και 120 m και μάλιστα με λογική παρεμβολής

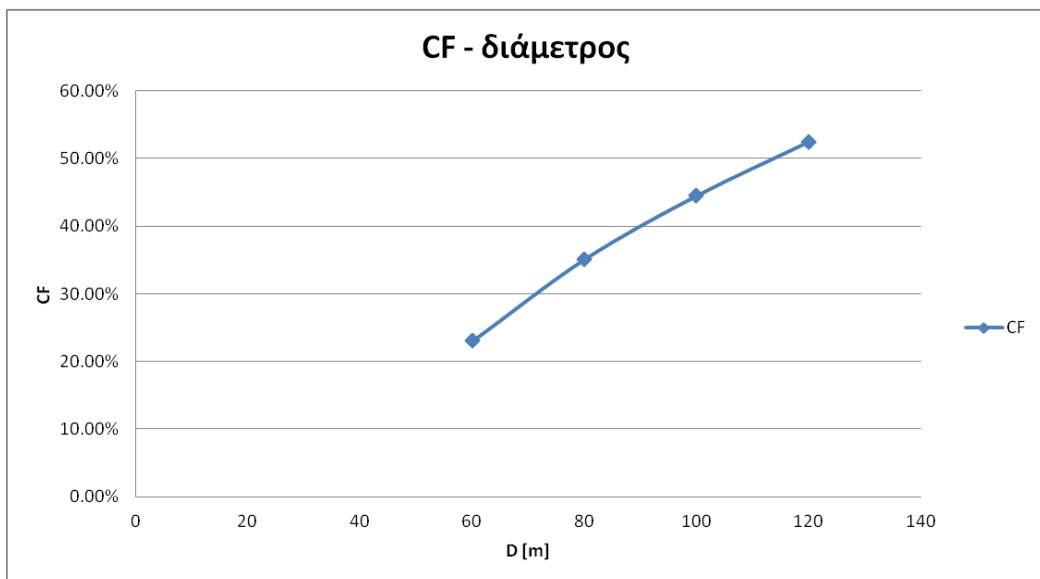
κοντά προς τα 100 m. Οπότε θεωρείται ικανοποιητική η παραδοχή ότι **συνεχίζοντας με $D = 100$ m έχουμε τον βέλτιστο LCOE.**



Εικόνα 29: Διάγραμμα Μέσης Ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας συναρτήσει της διαμέτρου για τις επιλεγμένες διαμέτρους {60, 80, 100, 120} [m]

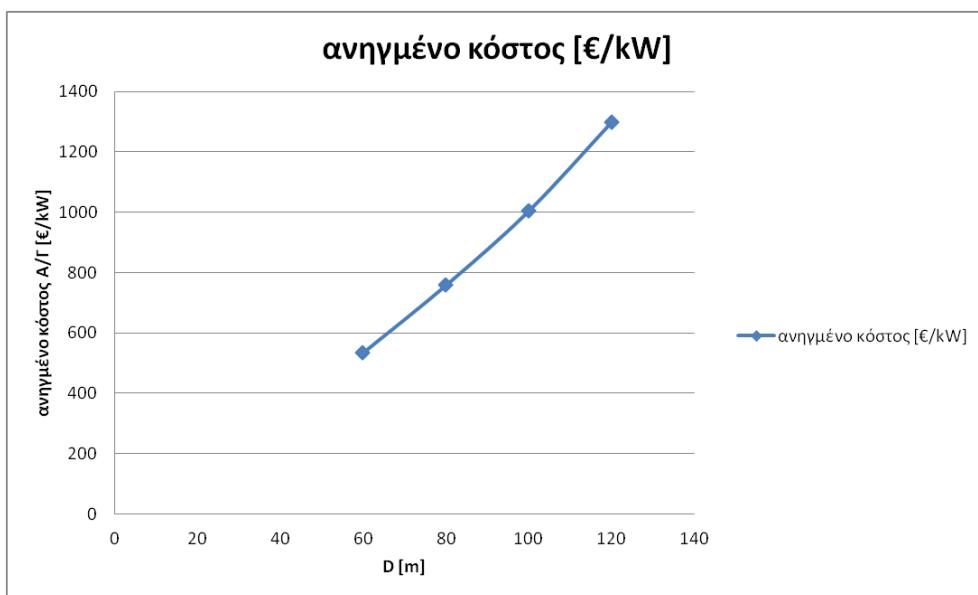


Εικόνα 30: Διάγραμμα Παραγόμενης ενέργειας συναρτήσει της διαμέτρου για τις επιλεγμένες διαμέτρους {60, 80, 100, 120} [m]



Εικόνα 31: Διάγραμμα συντελεστή εκμεταλλευσιμότητας συναρτήσει της διαμέτρου για τις επιλεγμένες διαμέτρους {60, 80, 100, 120} [m]

- Σχόλιο: Βλέπουμε ότι τους μεγαλύτερους CF τους πληρώνουμε μέσω της αύξησης των υλικών για την κατασκευή μεγαλύτερων A/G. Όπως έχει συζητηθεί στο μάθημα, το θέμα είναι τεχνοοικονομικό. Και εδώ μελετάται τελικά με το LCOE, όπου όπως αναφέρθηκε και παραπάνω δίνει την τελική διάμετρο των 100m.



Εικόνα 32: Διάγραμμα ανηγμένου κόστους της A/G συναρτήσει της διαμέτρου για τις επιλεγμένες διαμέτρους {60, 80, 100, 120} [m]

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Αρχικά παρουσιάζεται συνοπτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να βγουν οι τελικές βέλτιστες καμπύλες VS&PC.

- Αρχικά δημιουργείται ένα πρόγραμμα (ΠΡ-1) που συνδυαζόμενο με το raft.exe και τα υπόλοιπα αρχεία που μας δίνονται, δοκιμάζει όλες τις γωνίες βήματος β για να βρεθεί το $\max\{C_{pmax}\}$ για να είναι σε αυτό το β που θα «τρέχουμε» την αλλαγή των στροφών.
- Υποθέτουμε τέσσερις ακτίνες {30, 40, 50, 60} [m] με $\omega^*R = \{\omega^*R\}_{max} = 80$ m/sec
- Φτιάχνουμε τις αρχικές καμπύλες ισχύος με σταθερές στροφές (στο καλύτερο β που έχουμε βρει με το πρόγραμμα).
- Βρίσκουμε τις ονομαστικές ταχύτητες σε κάθε περίπτωση με παρεμβολή στις καμπύλες ισχύος. (δίνεται από κάτω ένα π.χ.)
- Φτιάχνουμε το ω -R διάγραμμα για κάθε ακτίνα. Εκεί χρησιμοποιούμε προφανώς και την σχέση $\omega = \frac{\lambda_{opt}}{R} * U$ για να βρούμε την ευθεία των μεταβλητών στροφών (έχουμε βρει το $\max C_{pmax}$ @ $\lambda = \lambda_{opt} = 8$). Βρίσκουμε που τέμνει η καμπύλη την οριζόντια ευθεία ω_{max} . Τονίζεται η σημασία του αν το $U_{ονομ} >= U_{max}$ τότε $\omega_R = \omega_{max}$, αλλιώς $\omega_R < \omega_{max}$. έχουμε το ονομαστικό ω_R και ω_{max} και $\omega_{min} = 0.6 * \omega_R$ [...]. Βάσει αυτών βρίσκουμε και τα U_{max} και U_{min} .
- Στο διάστημα ταχυτήτων [U_{min}, U_{max}] στην καμπύλη ισχύος βρίσκουμε τη νέα ισχύ με $C_p = \max\{C_{pmax}\}$.
- Στα πεδία ταχυτήτων [U_{cut-in}, U_{min}], [$U_{max}, U_{cut-out}$] δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα (ΠΡ-2) που συνεργάζεται πάλι με το raft.exe και τα δοσμένα αρχεία για να βγαίνει αυτοματοποιημένα το $\beta_{optimum}$ για κάθε ταχύτητα.
- Στο πεδίο [U_{cut-in}, U_{min}] επειδή οι στροφές είναι άλλες κι όχι οι μέγιστες και ούτε είναι μεταβλητές ώστε να έχουμε σταθερό $\lambda = \lambda_{opt}$, διορθώθηκε και το λ που αντιστοιχεί σε αυτές τις ταχύτητες, άρα και το C_p που λαμβάνεται.
- Τέλος για τη ρύθμιση ισχύος μέσω του βήματος γράφτηκε άλλο ένα προγραμματάκι (ΠΡ-3) ώστε να βγαίνει αυτοματοποιημένα η γωνία βήματος που πρέπει να έχουμε για να πάρουμε σε κάθε ταχύτητα που ανήκει στο [$U_R, U_{cut-out}$] ισχύ όσο πιο κοντά γίνεται στην ονομαστική ισχύ. (θέλουμε όσο το δυνατό πιο σταθερή και κοντά στην ονομαστική ισχύ να παίρνουμε → ποιότητα).
- Βάσει των δύο παραπάνω βημάτων βγάζουμε τη νέα ισχύ και διορθώνουμε. Στο πεδίο [$U_R, U_{cut-out}$] διατηρήθηκε η ισχύς στην ονομαστική.
 - Σημείωση: Πρακτικά το τελευταίο βήμα έγινε μόνο για την επιλεγμένη διάμετρο των 100 m και παρουσιάστηκε στο ερώτημα 2.3.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ: FORTRAN & BATCH

(ΠΡ-1): Εύρεση του β για το οποίο έχουμε $\max\{C_{pmax}\}$:


task.bat - Notepad

```

File Edit Format View Help
@echo off
FOR /l %%a in (1,1,22) DO (
    raft.exe
    reader.exe
)

```

Όπου raft.exe είναι το δοσμένο πρόγραμμα και reader.exe το πρόγραμμα που προχωράει την ταχύτητα του ανέμου του αρχείου input του raft.exe κατά ένα (1) και το FOR-loop στο batch αρχείο κάνει την δουλειά της επανάληψης. Εν προκειμένω το πρόγραμμα είναι πρωτόγονο υπό την έννοια ότι η αλλαγή του β (ανά 0.5 μοίρες) έγινε χειροκίνητα (ήταν λίγες αλλαγές (12) από -3 έως +3 μοίρες). Το επόμενο πρόγραμμα είναι περισσότερο αυτοματοποιημένο. Και το τελευταίο πλήρως.

```

program reader
    implicit double precision(a-c,o-z)
    dimension f(20)
    open(1,file='aeroin.inp')
    read(1,*) !skip a line (for titles)
    do 1 i=1,3
1      read(1,*)f(i)
    read(1,*) !skip a line (for titles)
    do 2 i =4,14
2      read(1,*)f(i)

    close(1)
    f(15) = f(1) + 1
    open(1,file='aeroin.inp')
        write(1,*)
        write(1,*)f(15)
        write(1,*)"1.225"
        write(1,*)"340.0"
        write(1,*)
        write(1,*)"3"
        write(1,*)"2"
        write(1,*)f(6)
        write(1,*)"0"
        write(1,*)"10.3"
        write(1,*)"40.0"
        write(1,*)"20"
        write(1,*)"1"
        write(1,*)"0"
        write(1,*)"0.1"
        write(1,*)"0.01"
        write(1,*)
        write(1,*)"1 "geomb.inp" "profilb.inp""
        write(1,*)"2 "geomb.inp" "profilb.inp""

```

```

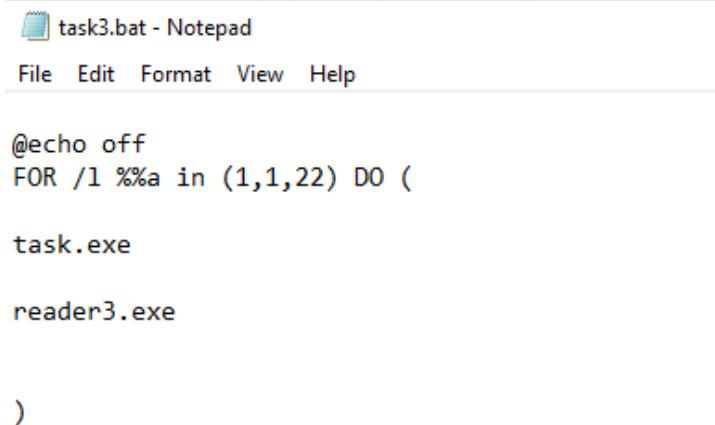
    write(1,*)'3 "geomb.inp" "profilb.inp"

    close(1)

end

```

(ΠΡ-2): Εύρεση του βopt για κάθε ταχύτητα ανέμου



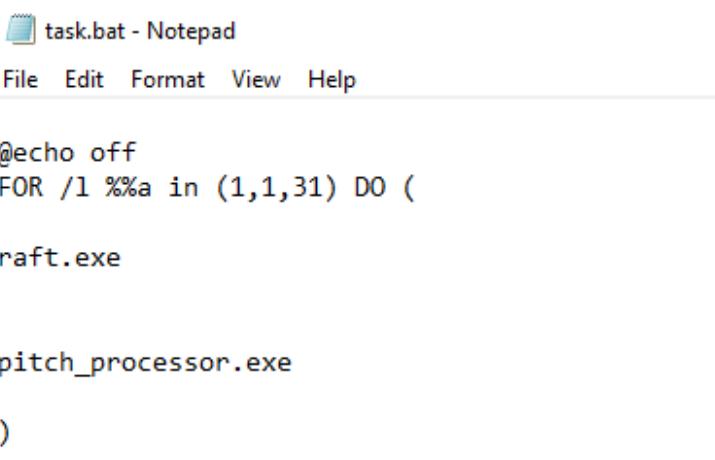
```

task3.bat - Notepad
File Edit Format View Help

@echo off
FOR /l %%a in (1,1,22) DO (
    task.exe
    reader3.exe
)

```

Όπου task.exe είναι ένα compiled batch αρχείο σε .exe που έχει αυτή τη δομή:



```

task.bat - Notepad
File Edit Format View Help

@echo off
FOR /l %%a in (1,1,31) DO (
    raft.exe
    pitch_processor.exe
)

```

Μέσω αυτών των δύο αρχείων προσομοιώνεται ένα nested-for-loop το οποίο παίρνει μία ταχύτητα ανέμου τρέχει για αυτήν όλες τις γωνίες β (με βήμα 0.5) και βρίσκει ποια είναι αυτή που παράγει το μεγαλύτερο C_p . Αυτή, την κρατάει.

Ο reader3.exe ανξάνει την ταχύτητα ανέμου στο aeroin.inp και αρχικοποιεί πάντα (γιατί είναι πριν γίνει κάθε εσωτερικό loop για την εύρεση του β) το β :

```

program reader3
    implicit double precision(a-c,o-z)
    dimension f(20)

```

```

open(1,file='aeroin.inp')
read(1,*) !skip a line (for titles)
do 1 i=1,3
1   read(1,*)f(i)
      read(1,*) !skip a line (for titles)
      do 2 i =4,14
2   read(1,*)f(i)

close(1)
f(15) = f(1) + 1
open(1,file='aeroin.inp')
  write(1,*)
  write(1,*)f(15)
  write(1,*)"1.225"
  write(1,*)"340.0"
  write(1,*)
  write(1,*)"3"
  write(1,*)"2"
  write(1,*)" -5"
  write(1,*)"0"
  write(1,*)"10.3"
  write(1,*)"40.0"
  write(1,*)"20"
  write(1,*)"1"
  write(1,*)"0"
  write(1,*)"0.1"
  write(1,*)"0.01"
  write(1,*)
  write(1,*)"1 "geomb.inp" "profilb.inp""
  write(1,*)"2 "geomb.inp" "profilb.inp""
  write(1,*)"3 "geomb.inp" "profilb.inp""

close(1)

end

```

Ο pitch_processor.exe κρατάει την current ταχύτητα από το outer-loop και προχωράει το βήμα κατά 0.5 μοίρες στο inner-loop:

```

program pitch_processor
  implicit double precision(a-c,o-z)
  dimension f(20)
  open(1,file='aeroin.inp')
    read(1,*) !skip a line (for titles)
    do 1 i=1,3
1     read(1,*)f(i)
      read(1,*) !skip a line (for titles)
      do 2 i =4,14
2     read(1,*)f(i)

close(1)

```

```

f(15) = f(6) + 0.5

open(1,file='aeroin.inp')
write(1,*)
write(1,*)f(1)
write(1,*)"1.225"
write(1,*)"340.0"
write(1,*)
write(1,*)"3"
write(1,*)"2"
write(1,*)f(15)
write(1,*)"0"
write(1,*)"10.3"
write(1,*)"40.0"
write(1,*)"20"
write(1,*)"1"
write(1,*)"0"
write(1,*)"0.1"
write(1,*)"0.01"
write(1,*)
write(1,*)"1 "geomb.inp" "profilb.inp""
write(1,*)"2 "geomb.inp" "profilb.inp""
write(1,*)"3 "geomb.inp" "profilb.inp"""

close(1)

end

```

Οπότε καταλήγουμε στο loads.dat να έχουμε όλα τα απαραίτητα αποτελέσματα ώστε με μία μικρή επεξεργασία στο excel να πάρουμε τα β που έχουν Cpmax σε κάθε ταχύτητα.

(ΠΡ-3): Εύρεση του β για βέλτιστο έλεγχο ισχύος μετά την ονομαστική ταχύτητα ανέμου

task3.bat - Notepad

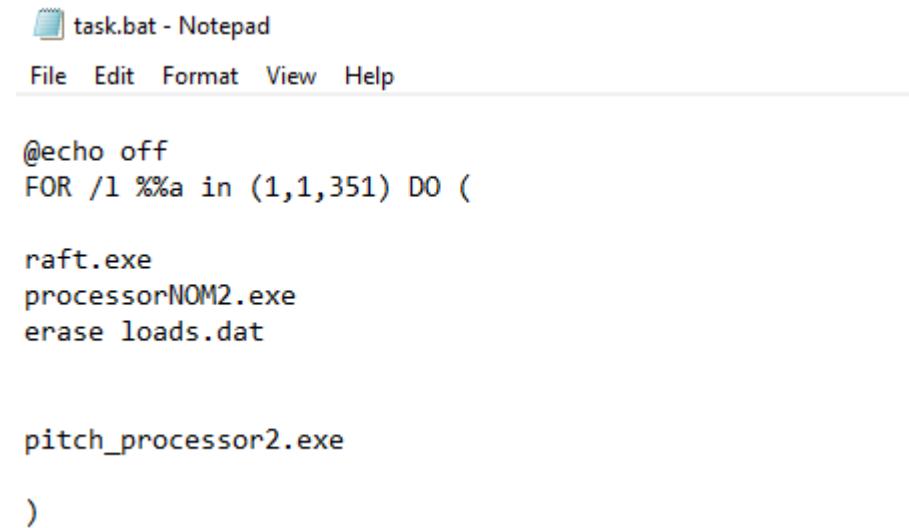
File Edit Format View Help

```

@echo off
FOR /l %%a in (1,1,22) DO (
    task.exe
    appender2.exe
    erase nom_pitch.dat
    creator2.exe
    reader3.exe
)

```

Όπου πάλι task.exe είναι ένα άλλο compiled batch αρχείο σε .exe που έχει αυτή τη δομή:



```
task.bat - Notepad
File Edit Format View Help

@echo off
FOR /l %%a in (1,1,351) DO (
    raft.exe
    processorNOM2.exe
    erase loads.dat

    pitch_processor2.exe
)
```

Ομοίως με πριν προσομοιώνεται ένα nested-for-loop το οποίο τρέχει ανά ταχύτητα ανέμου όλες τις γωνίες βήματος από -5 μοίρες έως 35 μοίρες (step: 0.1 μοίρες) και κρατάει τελικά την γωνία που δίνει την ισχύ που είναι πιο κοντά στην ονομαστική ισχύ των 2.5 MW.

Ο processorNOM2.exe διαβάζει τις στήλες που μας ενδιαφέρουν από το loads.dat (εδώ είναι αρχικά η ισχύς αλλά χρησιμοποιούνται και τα άλλα για το ερ. 2.3) που έχει παραχθεί από το raft.exe, διαβάζει ένα υπάρχον αρχείο nom_pitch.dat που περιέχει τα current δεδομένα για την current κοντινότερη ισχύ στα 2.5 MW και αν η ισχύς του νέου loads.dat είναι πιο κοντά στην 2500 KW, αντικαθιστά στο nom_pitch.dat τα δεδομένα για την βέλτιστα κοντινή ισχύ που επετεύχθη έως τώρα.

```
program processorNOM2
    implicit double precision(a-c,o-z)
    dimension f(20)
    open(1,file='loads.dat')

        read(1,*)f(6), f(7), f(8) , f(1), f(9), f(2) !Διαβάζουμε τις στήλες που
        μας
        !ενδιαφέρουν από το loads.dat
        !το οποίο έχει μία σειρά κάθε τρέξιμο
        ! αφού χτίστηκε το batch file
        ! να το σβήνουμε κάθε επανάληψη

    close(1)

    Dp = f(8)*1000/(0.6125*(f(6)**3)*3.14*(40**2)) ! CP
    P_50 = (Dp*0.6125*(f(6)**3)*3.14*(50**2))/1000 ! Ισχύς σε R = 50 m

    open(1,file='nom_pitch.dat')
```

```

    read(1,*)f(3)
    read(1,*)f(4)
    read(1,*)f(5)
    close(1)

    open(1,file='nom_pitch.dat')
        if (abs(2500-P_50) .lt. abs(2500-f(4))) then
            write(1,*)f(6)
            write(1,*)P_50
            write(1,*)f(7)
            write(1,*)f(1)
            write(1,*)f(9)
            write(1,*)Dp
        endif
    close(1)

end

```

O pitch_processor2.exe έχει την ακριβώς ίδια λειτουργία με τον pitch_processor.exe, δηλαδή να προχωράει το βήμα (αλλά εδώ κατά 0.1 μοίρες) στο εσωτερικό βρόχο του nested-for-loop.

```

program pitch_processor2
    implicit double precision(a-c,o-z)
    dimension f(20)
    open(1,file='aeroin.inp')
        read(1,*) !skip a line (for titles)
        do 1 i=1,3
    1      read(1,*)f(i)
        read(1,*) !skip a line (for titles)
        do 2 i =4,14
    2      read(1,*)f(i)

    close(1)

    f(15) = f(6) + 0.1

    open(1,file='aeroin.inp')
        write(1,*)
        write(1,*)f(1)
        write(1,*)"1.225"
        write(1,*)"340.0"
        write(1,*)
        write(1,*)"3"
        write(1,*)"2"
        write(1,*)f(15)
        write(1,*)"0"
        write(1,*)"10.3"
        write(1,*)"40.0"
        write(1,*)"20"
        write(1,*)"1"
        write(1,*)"0"

```

```

    write(1,*)"0.1"
    write(1,*)"0.01"
    write(1,*)
    write(1,*)"1 "geomb.inp" "profilb.inp""
    write(1,*)"2 "geomb.inp" "profilb.inp""
    write(1,*)"3 "geomb.inp" "profilb.inp""

close(1)

end

```

Ο appender2.exe σε κάθε τέλος ενός εσωτερικού βρόχου (άρα για μια συγκεκριμένη ταχύτητα ανέμου) «κολλάει» τα δεδομένα που αντιστοιχούν στην κοντινότερη ισχύ που έχουν προκύψει από το πέρας του εσωτερικού βρόχου σε ένα ξεχωριστό αρχείο για να μπορεί το nom_pitch.dat να μπορεί να διαγραφεί για να χρησιμοποιηθεί στην επόμενη ταχύτητα ανέμου.

```

program appender2
    implicit double precision(a-c,o-z)
    dimension f(20)

    open(1,file='nom_pitch.dat')

        read(1,*)f(1)
        read(1,*)f(2)
        read(1,*)f(3)
        read(1,*)f(4)
        read(1,*)f(5)
        read(1,*)f(6)

    close(1)

    open(1,file='pitch_nom_P.dat',access = 'append',status= 'old')

        write(1,*)f(1), f(2), f(3), f(4), f(5), f(6)

    close(1)

end

```

Ο creator2.exe αρχικοποιεί απλώς το nom_pitch.dat για να μπει σωστά στην επόμενη ταχύτητα ανέμου (στο επόμενο δηλαδή τρέξιμο του εξωτερικού βρόχου).

```
program creator2
```

```

implicit double precision(a-c,o-z)

open(1,file='nom_pitch.dat')

write(1,*)'1'
write(1,*)'2'
write(1,*)'3'
write(1,*)'4'
write(1,*)'5'
write(1,*)'6'

close(1)

end

```

Τέλος, ο reader3.exe προχωράει την ταχύτητα του aeroin.inp με βήμα 1 και αρχικοποιεί τη γωνία βήματος για να ξεκινήσει σωστά στο επόμενο τρέξιμο του εξωτερικού βρόχου.

```

program reader3
    implicit double precision(a-c,o-z)
    dimension f(20)
    open(1,file='aeroin.inp')
    read(1,*) !skip a line (for titles)
    do 1 i=1,3
1      read(1,*)f(i)
    read(1,*) !skip a line (for titles)
    do 2 i =4,14
2      read(1,*)f(i)

    close(1)
    f(15) = f(1) + 1
    open(1,file='aeroin.inp')
        write(1,*)
        write(1,*)f(15)
        write(1,*)"1.225"
        write(1,*)"340.0"
        write(1,*)
        write(1,*)"3"
        write(1,*)"2"
        write(1,*)"5"
        write(1,*)"0"
        write(1,*)"10.3"
        write(1,*)"40.0"
        write(1,*)"20"
        write(1,*)"1"
        write(1,*)"0"
        write(1,*)"0.1"
        write(1,*)"0.01"
        write(1,*)

```

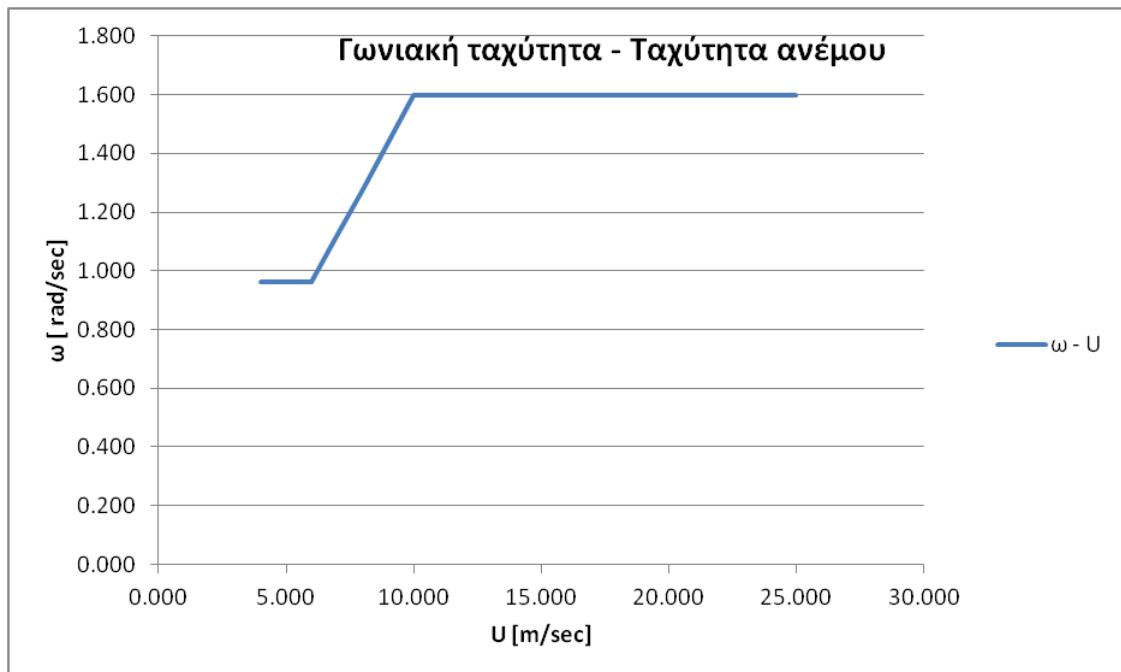
```
    write(1,*)"1 "geomb.inp" "profilb.inp"
    write(1,*)"2 "geomb.inp" "profilb.inp"
    write(1,*)"3 "geomb.inp" "profilb.inp"

    close(1)

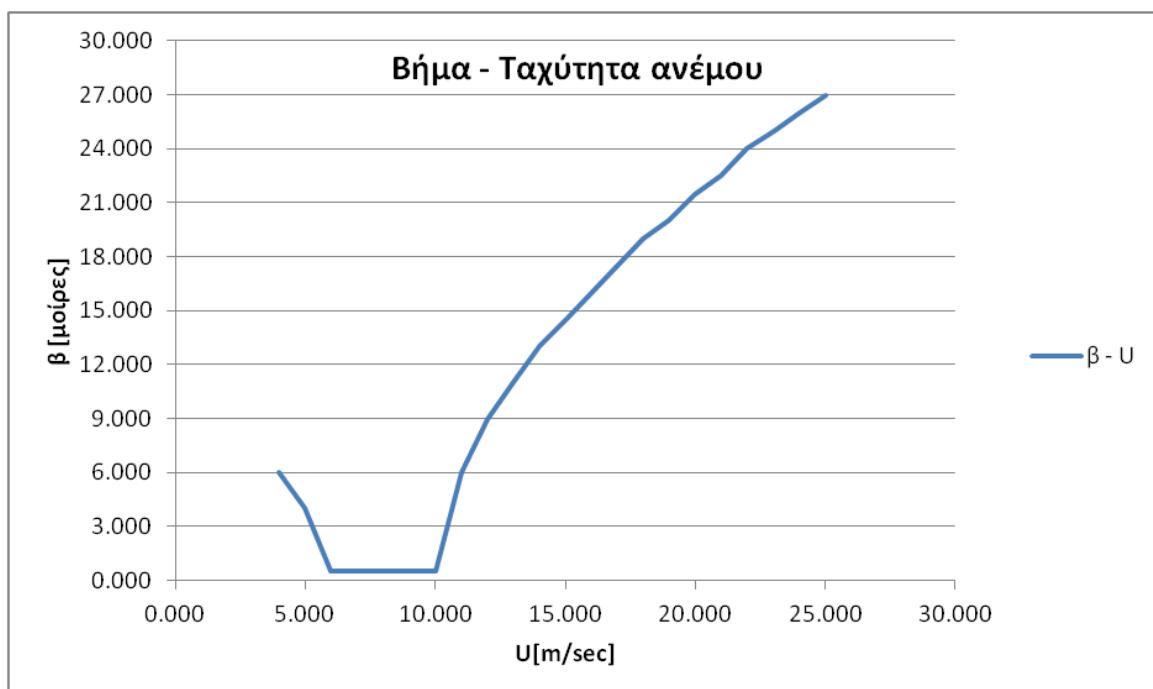
end
```

2.3. Για την τελική Α/Γ VS&PC με το χαμηλότερο LCOE, ζητείται το διάγραμμα μεταβολής των στροφών και της γωνίας βήματος.

Βάσει και της εικόνας 28, δηλαδή του $\min\{\text{LCOE}\}$ η Α/Γ με την οποία συνεχίζουμε είναι εκείνη της $D = 100$ m. Δίνονται τα ζητούμενα διαγράμματα:



Εικόνα 33: Γωνιακή ταχύτητα συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου για την επιλεγμένη Α/Γ 2.5 MW [$D = 100$ m] βέλτιστου LCOE.



Εικόνα 34: Μεταβολή της γωνίας βήματος που επιβάλλουμε συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου για την επιλεγμένη Α/Γ 2.5 MW [$D = 100$ m] βέλτιστου LCOE.

- Σημείωση: Δίνεται για πληρότητα και ο πίνακας από τον οποίο κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα όπου φαίνονται και άλλα στοιχεία όπως π.χ. η ονομαστική ταχύτητα, οι ονομαστικές στροφές κλπ.

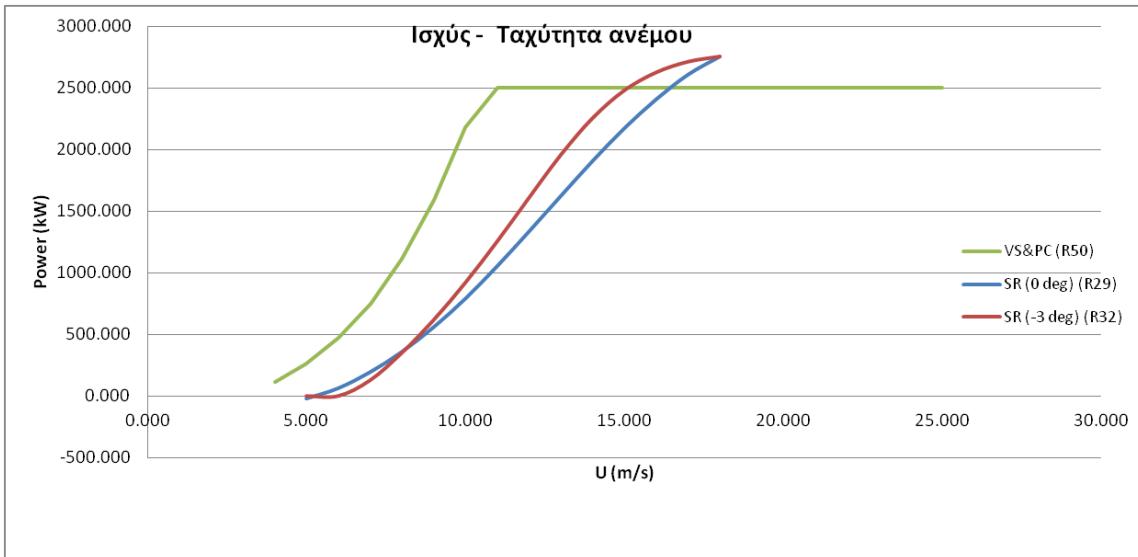
U(m/s)	ω	Pitch
4.000	0.960	6.000
5.000	0.960	4
6.000	0.960	0.5
7.000	1.120	0.5
8.000	1.280	0.5
9.000	1.440	0.5
10.000	1.600	0.5
10.449	1.600	
11.000	1.600	6.1
12.000	1.600	8.9
13.000	1.600	11
14.000	1.600	12.9
15.000	1.600	14.5
16.000	1.600	16
17.000	1.600	17.5
18.000	1.600	18.8
19.000	1.600	20.1
20.000	1.600	21.4
21.000	1.600	22.6
22.000	1.600	23.8
23.000	1.600	24.9
24.000	1.600	26
25.000	1.600	27.1

Εικόνα 35: Πίνακας ταχύτητας-ταχύτητας περιστροφής-γωνίας βήματος για την επιλεγμένη A/G 2.5 MW [D = 100 m] βέλτιστου LCOE.

Κατά τα άλλα, η διαδικασία εύρεσης των παραπάνω διαγραμμάτων παρουσιάσθηκε στο ερώτημα 2.2.

Ερώτημα 2.4: Συγκριτικά διαγράμματα για τις δύο τελικές A/G SR και την τελική A/G VS&PC

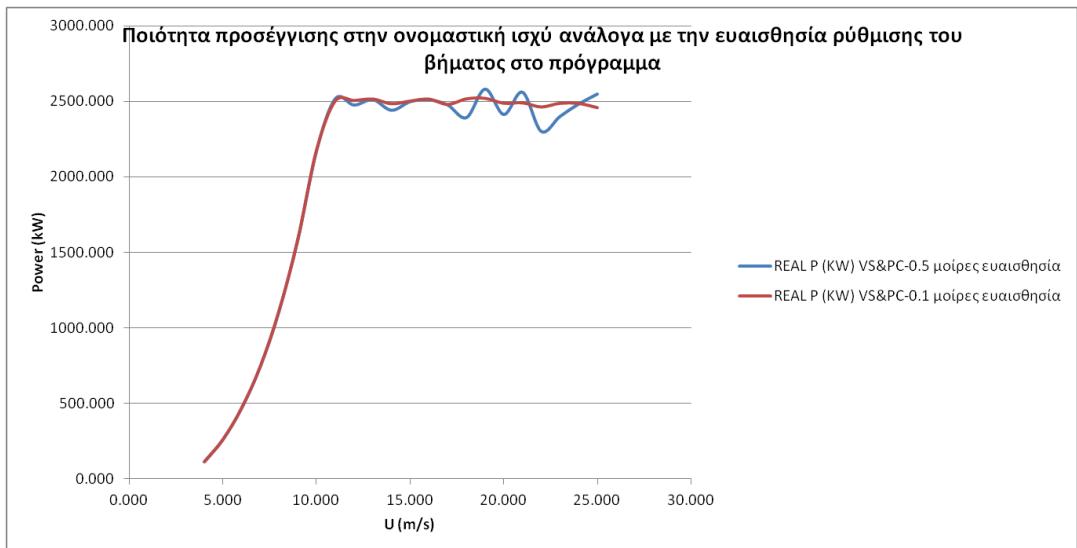
Καμπύλη Ισχύος:



Εικόνα 36: Συγκριτικό διάγραμμα καμπυλών ισχύος συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου για επιλεγμένη A/G 2.5 MW [D = 100 m] βέλτιστου LCOE σε σχέση με τις A/G 2.75 MW SR [D = {58, 64} m]

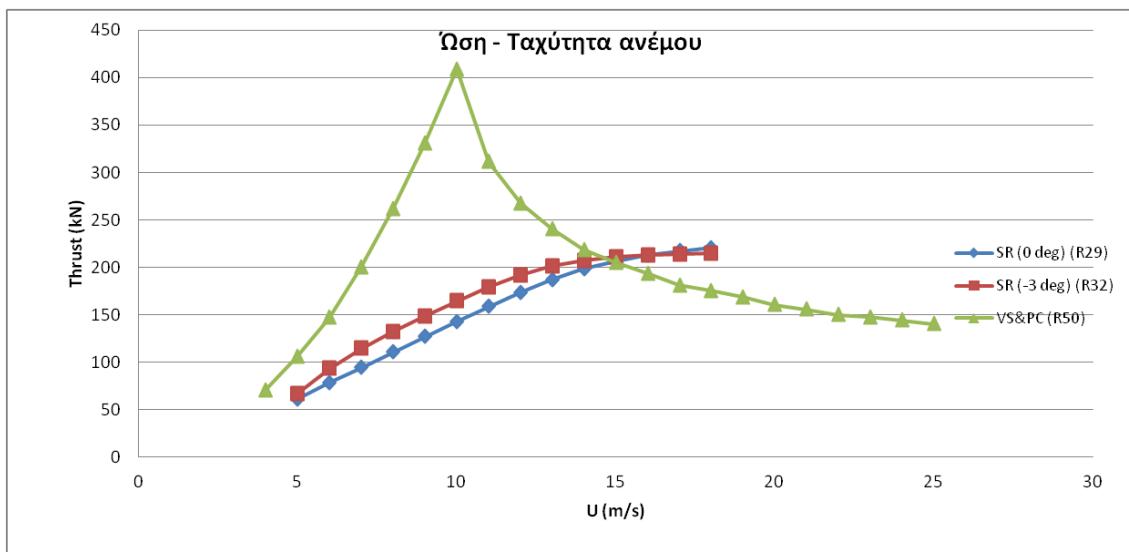
- Σχόλιο 1: Είναι προφανές ότι έχουμε πολύ υψηλότερο συντελεστή εκμεταλλευσιμότητας (το βλέπουμε κι από τη σύγκριση ερ. 2.1 και 2.2) στην περίπτωση της A/G VS&PC. Ανάμεσα στις δύο SR θυμίζουμε από το ερ. 2.1 ότι κερδίζουμε στον CF στις -3 μοίρες αλλά πληρώνουμε την αύξηση της ακτίνας στην αρχική δαπάνη.
- Σχόλιο 2: Επειδή πήραμε ονοματική ισχύ $110\% * 2.5 \text{ MW}$ στις SR A/G, φάνηκε δίκαιο για την μεταξύ τους σύγκριση να θεωρήσουμε και ότι η VS&PC A/G έχει σε ταχύτητες μεγαλύτερες της ονομαστικής, ακριβώς ονομαστική ισχύ με τη γωνία βήματος που βρέθηκε στην παρούσα εργασία.

Παρουσιάζονται όμως ακριβώς από κάτω –για πληρότητα- οι πραγματικές καμπύλες ισχύος βάσει της επιλεγμένης γωνίας βήματος. Επί της ευκαιρίας, αναδεικνύονται και οι διαφορές στην προσέγγιση της ονομαστικής ισχύος μέσω της μεταβολής του pitch angle ανάλογα με το step (κι άρα την ευαισθησία) του προγράμματος που δημιουργήθηκε για να βρίσκει το καλύτερο δυνατό pitch σε κάθε ταχύτητα ανέμου.



Εικόνα 37: Πραγματικές καμπύλες ισχύος συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου για την επιλεγμένη A/G 2.5 MW [D = 100 m] βέλτιστου LCOE βάσει της υπολογισμένης μεταβολής γωνίας βήματος για ρύθμιση ισχύος.

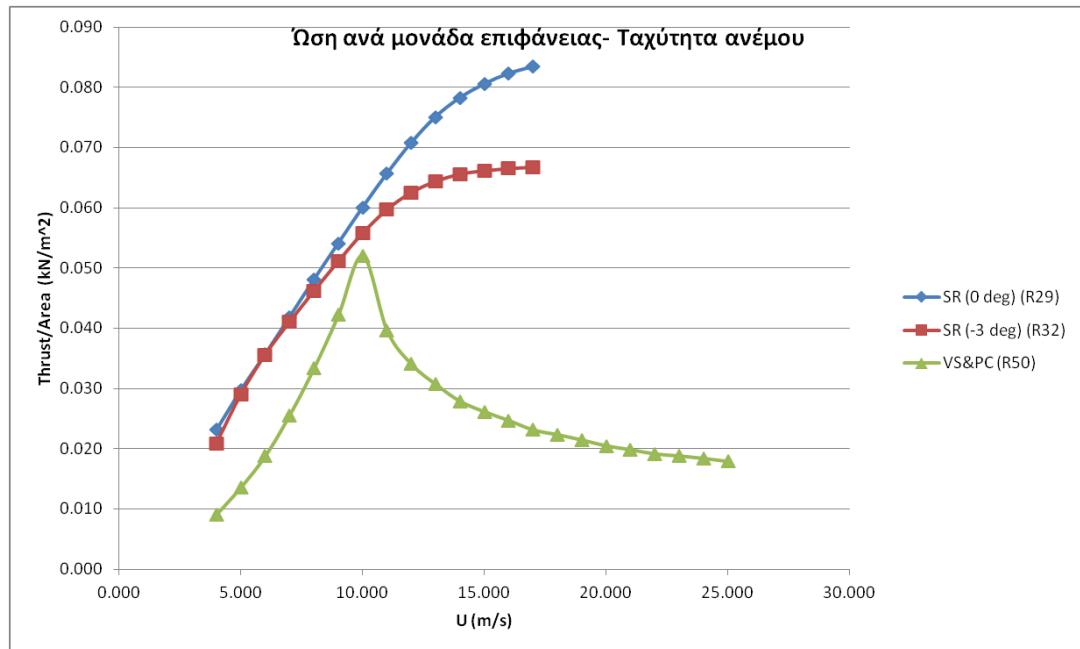
Καμπύλη Ωσης:



Εικόνα 38: Συγκριτικό διάγραμμα καμπυλών ώσης συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου για επιλεγμένη A/G 2.5 MW [D = 100 m] βέλτιστου LCOE σε σχέση με τις A/G 2.75 MW SR [D = {58, 64} m]

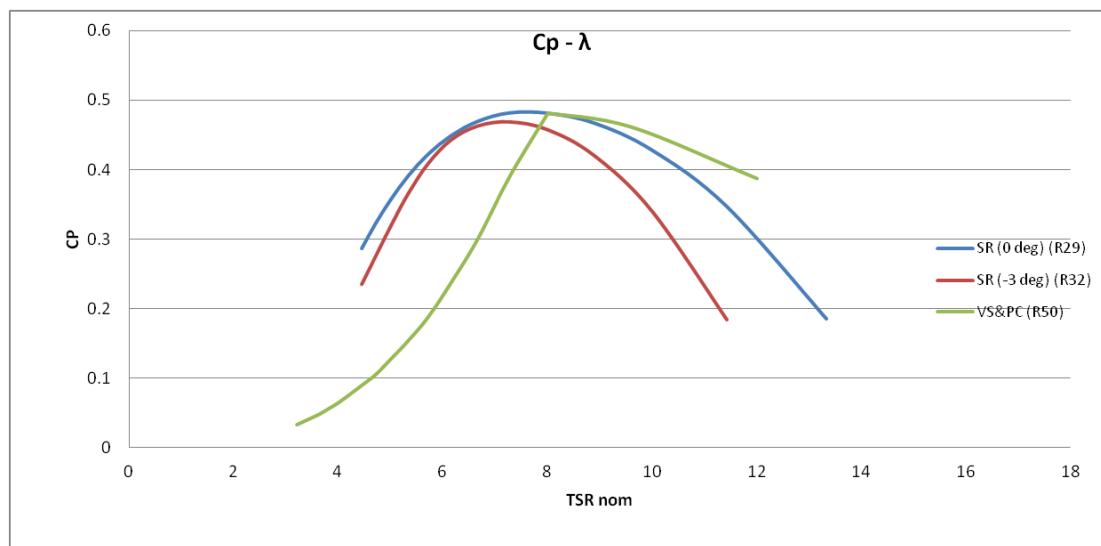
- Σχόλιο 1: Όπως ήταν ανεμενόμενο, η ώση είναι γενικά υψηλότερη όσο μεγαλώνει κι η ακτίνα, παρότι σε κάποιες υψηλές ταχύτητες ανέμου αυτό φαίνεται να ανατρέπεται.
- Σχόλιο 2: Όμως εδώ ένα διάγραμμα Ωσης ανά μονάδα επιφάνειας του ρότορα –που δεν ζητείται μεν και ίσως μπορούμε να αντλήσουμε παρόμοια συμπεράσματα από την CT-λ αλλά φαίνεται χρήσιμη και παρουσιάζεται παρακάτω – δείχνει τελικά ένα είδος (στατικής) τάσης της ώσης που αποτυπώνει πιο δίκαια και την καταπόνηση που δέχεται η κάθε μία A/G. Σε καμία περίπτωση δεν έχει γίνει ανάλυση τάσεων, κόπωσης κλπ αλλά σκοπός είναι η άντληση ενός ποιοτικού συμπεράσματος. Εκεί βλέπουμε ότι όσο μεγαλώνει η ακτίνα, η εν είδη, τάση μειώνεται αλλά και ότι η VS&PC βρίσκεται δυσανάλογα – άρα είναι η επίδραση του τρόπου λειτουργίας-

χαμηλότερα στο διάγραμμα. Αυτό πιθανώς να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο μιας και ίδιες γεωμετρίες με μεγαλύτερη διατομή γενικά έχουν μικρότερη αντοχή σε κόπωση.



Εικόνα 39: Συγκριτικό διάγραμμα καμπυλών ώσης ανά μονάδα επιφάνειας του ρότορα συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου για επιλεγμένη A/Γ 2.5 MW [D = 100 m] βέλτιστου LCOE σε σχέση με τις A/Γ 2.75 MW SR [D = {58, 64} m]

Καμπύλη Cp-λ

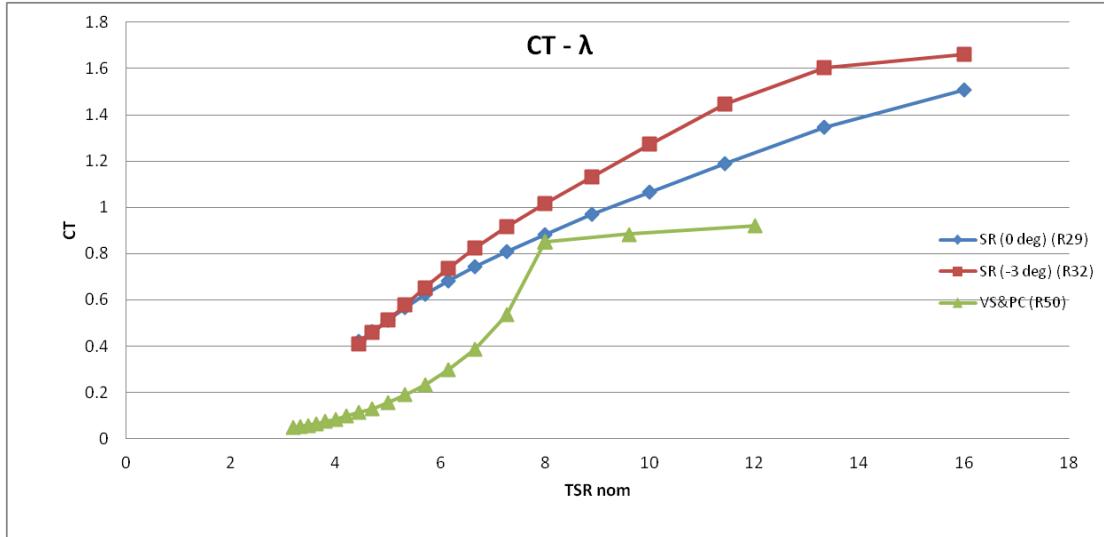


Εικόνα 40: Συγκριτικό διάγραμμα καμπυλών Cp-λ συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου για επιλεγμένη A/Γ 2.5 MW [D = 100 m] βέλτιστου LCOE σε σχέση με τις A/Γ 2.75 MW SR [D = {58, 64} m]

- Σχόλιο: Αυτό το διάγραμμα επιδεικνύει τη συμπεριφορά των A/Γ VS&PC και αποδεικνύει την υπεροχή τους. Το τμήμα αριστερά του Cpmax της VS&PC A/Γ παράγει πρακτικά τον ενεργητικό έλεγχο ισχύος στις ταχύτητες μεγαλύτερες της ονομαστικής. Επίσης μεταβάλλοντας τις στροφές μένουμε στο TSR = 8 όπου έχουμε $\max\{Cp_{max}\}$ για πολύ μεγαλύτερο εύρος ταχυτήτων καθώς και μεταβάλλοντας τη

γωνία βήματος καταφέρνουμε -στο τμήμα δεξιά του Crmax- να έχουμε σημαντικά υψηλότερα Cr από τις SR A/G κι ακόμα και να έχουμε κέρδος ισχύος σε ταχύτητες που θα είχαμε έλλειμμα (άρα πρακτικά να μπορούμε να μειώνουμε το Ucut-in).

Καμπύλη CT-λ:



Εικόνα 41: Συγκριτικό διάγραμμα CT-λ συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου για επιλεγμένη A/G 2.5 MW [D = 100 m] βέλτιστου LCOE σε σχέση με τις A/G 2.75 MW SR [D = {58, 64} m]

- Σχόλιο: Εδώ μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το χαμηλότερο CT στην τελική VS&PC μας το δίνει όχι η αυξημένη ακτίνα αλλά ακριβώς ο τρόπος λειτουργίας της!

ΕΡΩΤΗΜΑ 3

Όριο διείσδυσης αιολικής ενέργειας σε μη διασυνδεδεμένο σύστημα: ζητούνται τα διαγράμματα ποσοστού απορρόφησης, τελικού («πραγματικού») CF και της αιολικής ενεργειακής συνεισφοράς συναρτήσει της αδιάστατης αιολικής ισχύος.

Τα δικά μου δεδομένα: Ανεμολογικά :M74

Νησί ζήτησης: N74

συμβατικών μονάδων: 19 *(συμφωνημένη διόρθωση)

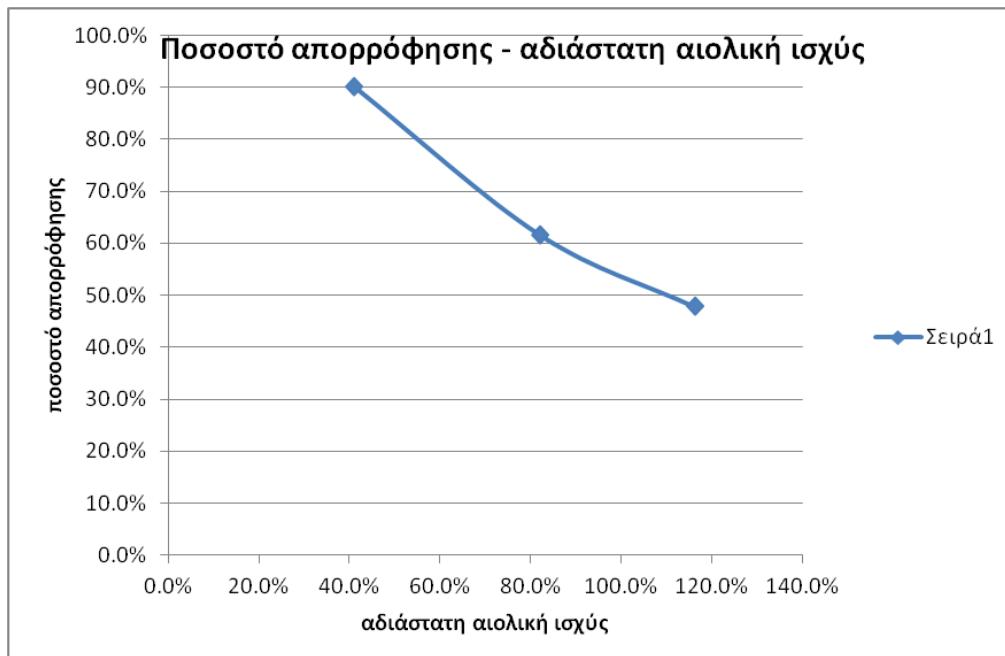
Ονομαστική ισχύς συμβ. Μονάδας: 4 MW

Εξετάζουμε βάσει των οδηγιών της εργασίας τρεις διαφορετικές τιμές εγκατεστημένης αιολικής ισχύος: βέβαια μπορούμε να βάλουμε μόνο ακέραιο αριθμό A/G, άρα για να καλύψουμε το δισμένο εύρος 40%-120% πάμε στις N = {6, 12, 17} A/G που αντιστοιχούν σε ποσοστά αδιάστατης αιολικής ισχύος 41.1%, 82.2% και 116.5% αντίστοιχα και σε εγκατεστημένη ονομαστική αιολική ισχύ {15, 30, 42.5} [MW]. Αξιοποιώντας το έτοιμο εργαλείο excel “wind_curtailment” έχουμε:

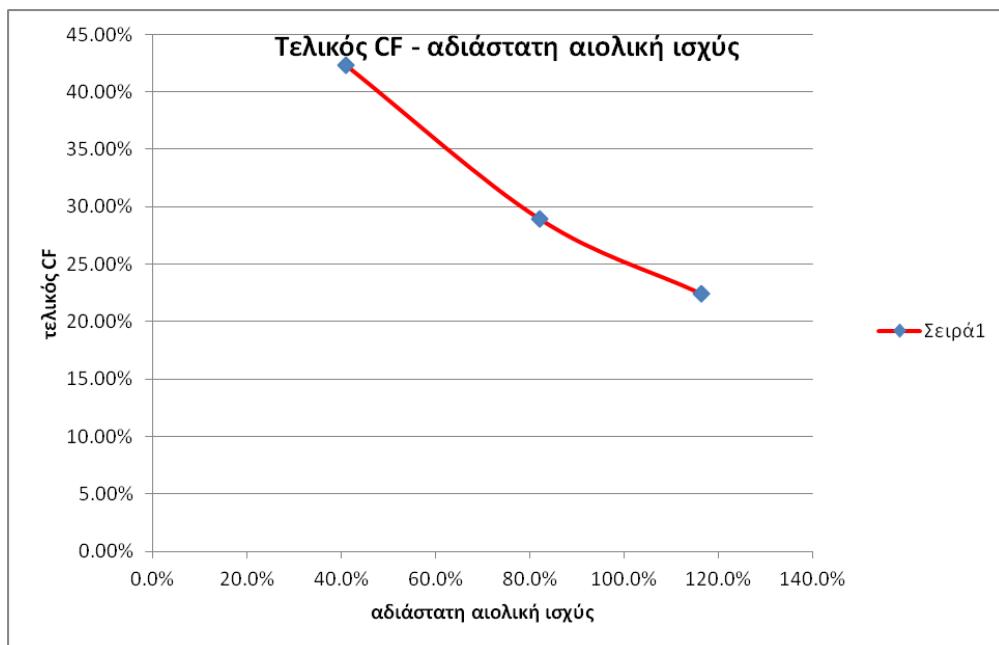
#εγκατεστημένων Α/Γ	αδιάστατη αιολική ισχύς	ποσοστό απορρόφησης	τελικός CF	αιολική ενεργειακή συνεισφορά
6	41.1%	90.1%	42.31%	17.4%
12	82.2%	61.6%	28.93%	23.8%
17	116.5%	47.8%	22.44%	26.1%

Εικόνα 42: Ποσοστό απορρόφησης, τελικός CF, αιολική ενεργειακή συνεισφορά συναρτήσει της αδιάστασης αιολικής ισχύος (πίνακας)

Το οποίο εποπτικά γίνεται:



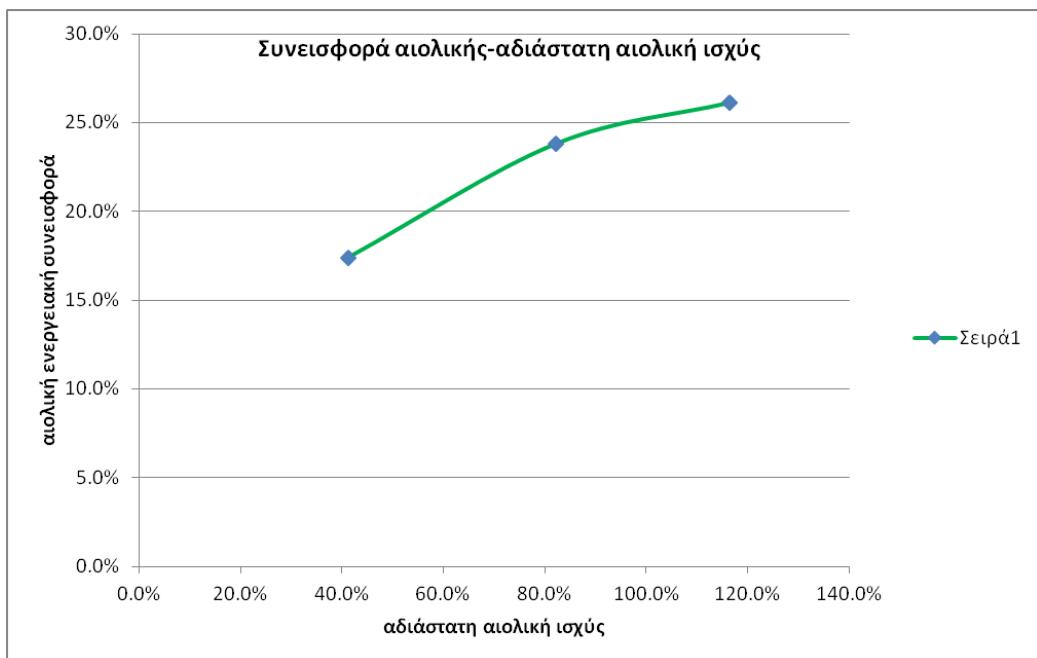
Εικόνα 43: Διάγραμμα ποσοστού απορρόφησης, τελικού CF, αιολικής ενεργειακής συνεισφοράς συναρτήσει της αδιάστασης αιολικής ισχύος



Εικόνα 44: Διάγραμμα τελικού CF συναρτήσει της αδιάστασης αιολικής ισχύος

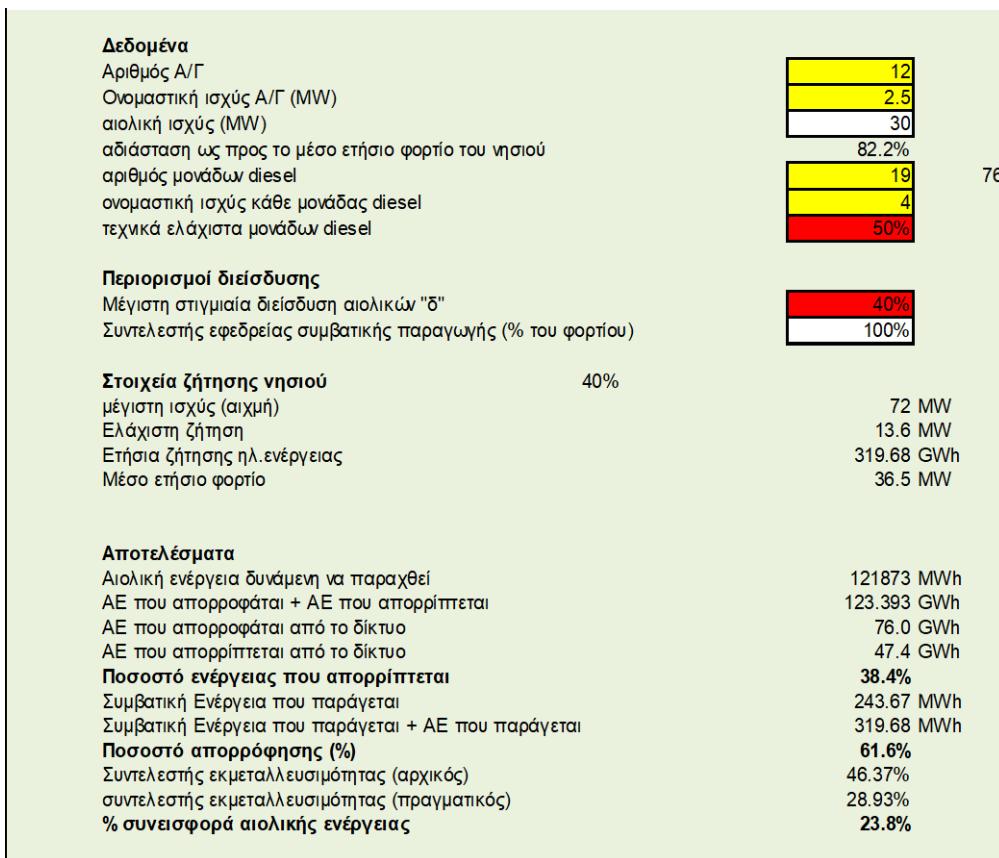
- Σχόλιο: Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνουμε την αδιάστατη αιολική ισχύ (που όπως γράφεται και στην εκφώνηση είναι αδιάστατη ως προς το μέσο ετήσιο φορτίο του νησιού) έχουμε δύο βασικά μειονεκτήματα: πέφτει το ποσοστό απορρόφησης της αιολικής ενέργειας που παράγουμε από το δίκτυο και πέφτει και ο πραγματικός CF, ακριβώς επειδή πάνω στον αρχικό CF για να είμαστε «δίκαιοι» με την ενέργεια που τελικά αξιοποιείται –άρα και πωλείται, αν θέλουμε να το δούμε από την πλευρά του επενδυτή- εφαρμόζουμε υπό μία μορφή το πτωτικό ποσοστό απορρόφησης.

Έχουμε βέβαια όπως βλέπουμε στο παρακάτω διάγραμμα και ένα βασικό πλεονέκτητα: το προφανές που εκ των πραγμάτων κάνουμε: αυξάνουμε την συνεισφορά της αιολικής ενέργειας στο συνολικό μίγμα ενέργειας, άρα αυξάνουμε και την ενέργεια που παίρνουμε από ΑΠΕ, το οποίο για διάφορους λόγους είναι εξαιρετικά σημαντικό.



Εικόνα 45: Διάγραμμα αιολικής ενέργειακής συνεισφοράς συναρτήσει της αδιάστασης αιολικής ισχύος

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ



Ενδεικτικά για μία από τις τρεις περιπτώσεις δίνεται εδώ πώς περάστηκαν τα δεδομένων πάνω στο εργαλείο excel που δίνεται.

Κατά τα άλλα εισάγονται στις άλλες καρτέλες του εργαλείου, τα ανεμολογικά δεδομένα, η χρονοσειρά της ζήτησης και η καμπύλη ισχύος της Α/Γ που έχουμε επιλέξει ως καλύτερη από τα προηγούμενα ερωτήματα.

Περεταίρω ανάλυση κρίνεται μη σκόπιμη, απλώς συμπληρώθηκαν τα δεδομένα...

ΕΡΩΤΗΜΑ 4

Ζητείται (α) ο υπολογισμός του LOLP (%) και LOEE(MWh) για αδιάστατη αιολική ισχύ ~ 80% πριν και μετά την εγκατάσταση αιολικής ενέργειας στο σύστημα και (β) ο υπολογισμός του CC των αιολικών για δύο τιμές της αδιάστατης αιολικής ισχύος

Επιλέχθηκαν οι δύο τιμές αδιάστατης αιολικής ισχύος 82.2% και 116.5% για να ευρεθεί το CC. Ούτως ή άλλως για τον υπολογισμό του CC του 116.5% απαιτείται ο ELCC άρα και τα LOLP και LOEE πριν και μετά τα αιολικά, επομένως υπολογίζεται το (α) και για τις δύο τιμές που επιλέχθηκαν στο (β):

Αδιάστατη αιολική ισχύς 82.2 % [30MW]		
	ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ	ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ
LOLP (%)	0.678%	0.187%
LOEE (MWh)	211.49	54.51
Αδιάστατη αιολική ισχύς 116.5 % [42.5 MW]		
	ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ	ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ
LOLP (%)	0.678%	0.159%
LOEE (MWh)	211.49	46.79

Εικόνα 46: Πίνακας LOLP, LOEE πριν και μετά την εγκατάσταση αιολικών έργων για δύο περιπτώσεις αδιάστατης αιολικής ισχύος

- Σχόλιο: Βλέπουμε ότι μετά την εγκατάσταση της αιολικής ενέργειας έχουμε μικρότερη πιθανότητα απώλειας φορτίου και μικρότερο ενεργειακό έλλειμμα. Όσο αυξάνουμε τα αιολικά τόσο βελτιώνονται αυτοί οι δείκτες (όχι γραμμική αναλογία βέβαια).

Έπειτα, όπως ήδη αναφέρθηκε, χρειαζόμαστε το ELCC. Αυτό προκύπτει με δοκιμές με την εξής λογική: Πόσος θα πρέπει να είναι ο ELCC ώστε το LOLP μετά την εγκατάσταση των αιολικών να γίνει ίσος με τον LOLP που είχαμε πριν την εγκατάσταση τους; Προκύπτει λοιπόν:

	CAPACITY CREDIT (CC)	
	ELCC [MW]	ΑΙΟΛΙΚΩΝ
Αδιάστατη αιολική ισχύς 82.2 % [30MW]	5.480	18%
Αδιάστατη αιολική ισχύς 116.5 % [42.5MW]	6.177	15%

Εικόνα 47: Πίνακας ELCC, CC των αιολικών έργων για δύο περιπτώσεις αδιάστατης αιολικής ισχύος

- Σχόλιο: Βλέπουμε ότι η εγγυημένη ισχύς αυξάνεται καθώς αυξάνουμε την αδιάστατη αιολική ισχύ όμως ακριβώς επειδή αυτή η σχέση δεν χαρακτηρίζεται από γραμμική αναλογία, ο συντελεστής εγγυημένης ισχύος (CC) της αιολικής ενέργειας πέφτει!

Σημείωση: το CC προκύπτει με τον εξής τύπο:

$$CC = \frac{ELCC}{Wind\ Capacity}$$

ΕΡΩΤΗΜΑ 5:

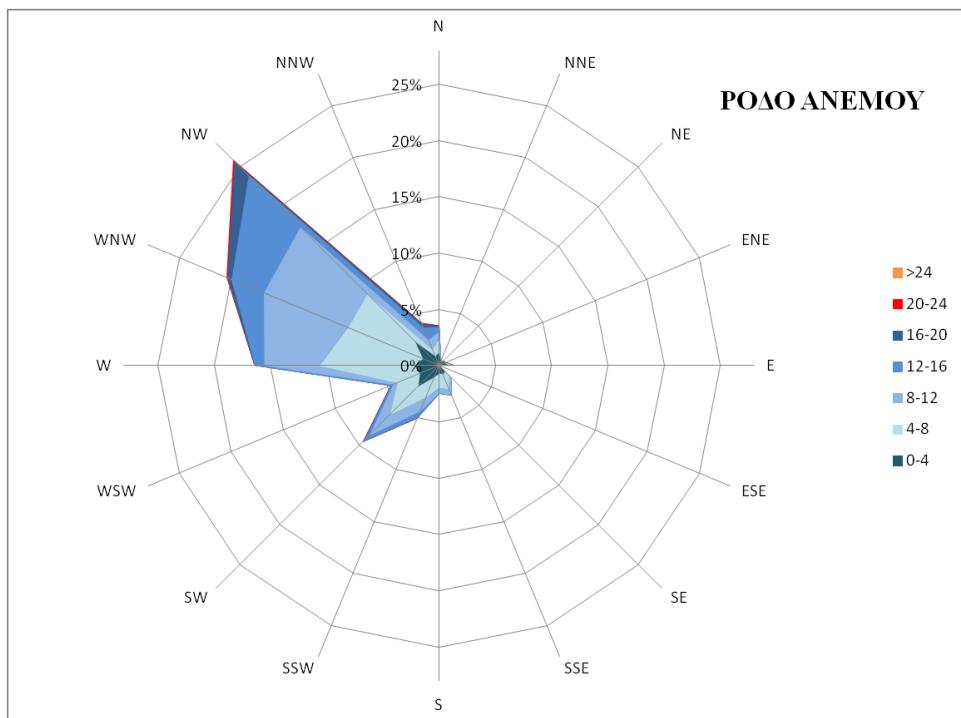
Υπολογισμός απωλειών ομόρρου και β.α αιολικού πάρκου

Ζητείται να εξεταστούν τρεις περιπτώσεις σε αντιστοιχία με το ερώτημα 3 (15 MW, 30 MW, 42.5 MW εγκατεστημένης αιολικής ισχύος)

Τα δικά μου δεδομένα: γήπεδο (990 m) x (3960 m)

ΠΡΟΕΡΓΑΣΙΑ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Υπενθυμίζεται το ρόδο ανέμου μας:



Εικόνα 48: Ρόδο ανέμου βάσει των ανεμολογικών. Ίδια με την εικόνα 1

Για τα 15MW, αρχικά γίνεται μία εκτίμηση της χωροθέτησης βάσει αυτών που συζητήθηκαν στις διαλέξεις του μαθήματος της Αιολικής Ενέργειας. Στη συνέχεια, σχεδιάζεται ο συνδυασμός του προγράμματος και των αρχείων που δόθηκαν (wake.exe κ.α.) με το λογισμικό βελτιστοποίησης εξελικτικών αλγορίθμων EASY. Η βοήθεια στην αύξηση του βαθμού απόδοσης από ένα τέτοιο λογισμικό φαίνεται από τη διαφορά στον βαθμό απόδοσης σε αυτή την πρώτη περίπτωση.

Σημειώνεται ότι στην περίπτωση των έξι (6) A/G, η λογική της χωροθέτησης μπορεί να είναι μία “educated guess”, αλλά όσο ο αριθμός των A/G αυξάνουν, τόσο πιο δύσκολο είναι για τον σχεδιαστή να καθορίσει τη θέση τους για να έχει ένα κατά το δυνατό βέλτιστο αποτέλεσμα. Μεγάλη επιρροή σε αυτό έχει η μη γραμμικότητα της συμβολής του ομόρρου της κάθε A/G καθώς και η φύσει πολυπλοκότητα συστημάτων με πολλά σώματα/μέλη (complex systems, 3-body problem κ.α.), η συμπεριφορά των οποίων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (εδώ π.χ. η τήρηση αποστάσεων μεταξύ των A/G, οι αποστάσεις για την επίδραση του ομόρρου, η

κατεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου –μέσω του EASY τις βλέπουμε σαν black box). Γι' αυτό στις περιπτώσεις των 30 MW και 42.5 MW, επιλέγονται απευθείας οι τελικές προτάσεις του EASY.

Γενικές παραδοξές: • Οι πλήμνες των A/G μεταξύ τους πρέπει να απέχουν τουλάχιστον δύο (2) διαμέτρους καθώς και από τα áκρα του πάρκου μία (1) διάμετρο.

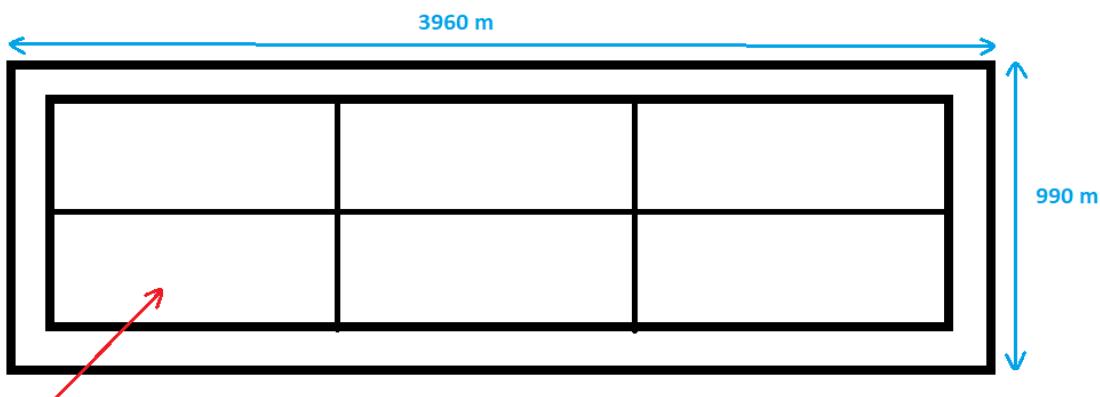
- Για την εύρεση της ενεργειακής παραγωγής της μίας A/G δεν χρησιμοποιήθηκε η Weibull αλλά προτιμήθηκε να δημιουργηθεί ένα εικονικό αιολικό πάρκο δύο γεννητριών σε τεράστια απόσταση και να ευρεθεί αυτός ο CF για να βγει ο βαθμός απόδοσης.
- Σημειώνεται και ότι για να βγει ο βαθμός απόδοσης χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$\eta = \frac{CF_{farm}}{CF_{single}_{WT}}$$

Παραδοξές και ρυθμίσεις EASY

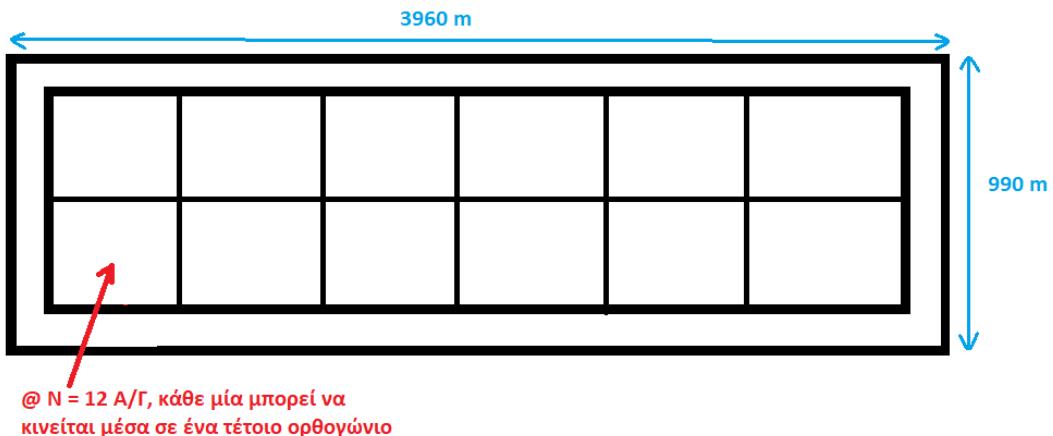
Για να τηρηθούν αυτοί οι περιορισμοί –και με το σκεπτικό ότι η απόσταση ανάμεσα στις A/G είναι θετική παράμετρος για την μείωση των απωλειών ομόρρου- στη χρήση του EASY στο πρόβλημα γίνεται η εξής παραδοχή:

Το χωρίο που είναι διαθέσιμο (έχει ήδη αποκλειστεί το εξωτερικό περίβλημα της γης που απέχει λιγότερο από δύο διαμέτρους) χωρίζεται σε N (αριθμός A/G που θα μπουν στο πάρκο) όμοια ορθογώνια και δίνεται η δυνατότητα στην κάθε A/G να κινείται μόνο μέσα σε αυτό το αντίστοιχο μικρό ορθογώνιο της, στο οποίο επίσης αποκλείεται το περίβλημα μίας διαμέτρου που συνορεύει με άλλα ορθογώνια. Όταν βέβαια έχουμε N = 17 A/G δηλαδή περιττό αριθμό μηχανών και άρτιο αριθμό (18) ορθογωνίων επιλέγεται να δοθεί διπλή ελευθερία στην μηχανή που συναντάει πρώτη τον άνεμο από την κύρια κατεύθυνση του ρόδου ανέμου (ΒΔ). Δίνονται ενδεικτικά σχήματα για N = {6, 12, 17} A/G. Ομοίως γίνεται και στις άλλες δύο περιπτώσεις.

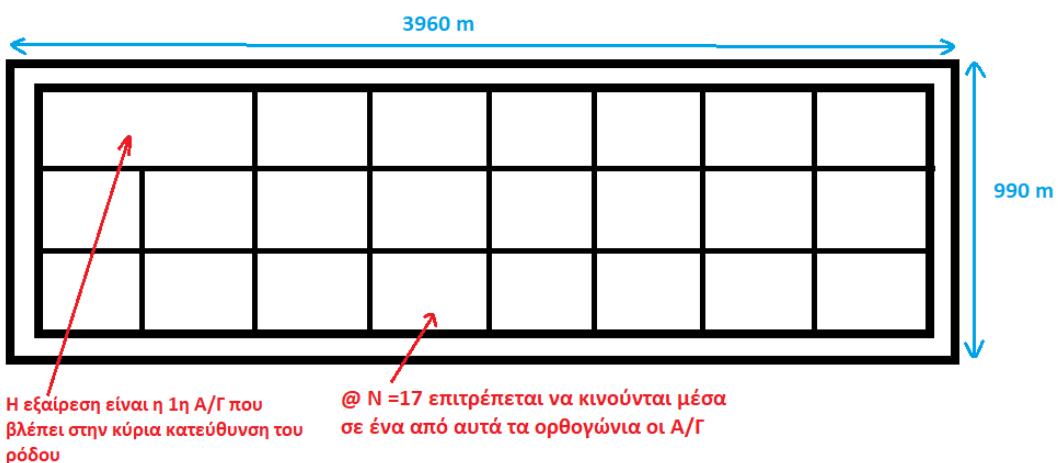


@ N = 6 A/G, η κάθε μία μπορεί να κινείται σε ένα από τα ίσα ορθογώνια

Εικόνα 49: Διακριτοποίηση του διαθέσιμου χωρίου για την τοποθέτηση της κάθε A/G για το λογισμικό EASY (N=6 A/G)



Εικόνα 50: Διακριτοποίηση του διαθέσιμου χωρίου για την τοποθέτηση της κάθε A/Γ για το λογισμικό EASY (N=12 A/Γ)



Εικόνα 51: Διακριτοποίηση του διαθέσιμου χωρίου για την τοποθέτηση της κάθε A/Γ για το λογισμικό EASY (N=17 A/Γ)

Όσον αφορά άλλες σημαντικές ρυθμίσεις του EASY, γίνεται παρακάτω αναφορά μόνο σε αυτές που κρίνονται αναγκαίες:

Και στις τρεις περιπτώσεις, οι μεταβλητές σχεδιασμού είναι οι συντεταγμένες (x,y) της πλήμνης κάθε A/Γ μέσα στο πάρκο (άρα έχουμε {12, 24, 34} μεταβλητές αντίστοιχα – παρότι δεν είναι ιδιαίτερα καλή πρακτική να έχουμε τόσες πολλές σε εξελικτικούς αλγόριθμους γιατί είναι σχετικά αργοί). Και έχουμε όριο 6000 αξιολογήσεων ή 20 idle generations. Χρησιμοποιούνται metamodels. Το ακριβές configuration δίνεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ.

ΠΑΡΕΝΘΕΣΗ: ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ EASY

Επειδή κρίνεται ότι ξεφεύγει από το σκοπό του μαθήματος και της εργασίας, θα δοθούν μόνο προγράμματα και το αρχείο διασύνδεσης για την μία περίπτωση (των 15 MW) χωρίς περεταίρω ανάλυση.

task.bat - Notepad

```
File Edit Format View Help
@echo off
processorWT.exe
erase results.dat
wake.exe
postprocessorWT.exe
```

Kai ta προγράμματα éγιναν σε FORTRAN:

```
program postprocessorWT
    implicit double precision(a-h,o-z)
    dimension f(20)
    open(1,file='results.dat')

    read(1,*) !skip a line (for titles)
    read(1,*)f(1)

    close(1)

    open(1,file='task.res')
        write(1,*)-f(1)      ! (an arnhtiko(max -> min))

    close(1)

end
```

```
program processorWT
    implicit double precision(a-h,o-z)
    dimension f(20)
    open(1,file='task.dat')

    read(1,*) !skip a line (for titles)
    do 1 i = 1,12
    1 read(1,*)f(i)

    close(1)

    open(1,file='task.dat')
        write(1,*)'6'
        write(1,*)f(1), f(2)
        write(1,*)f(3), f(4)
        write(1,*)f(5), f(6)
        write(1,*)f(7), f(8)
        write(1,*)f(9), f(10)
        write(1,*)f(11), f(12)

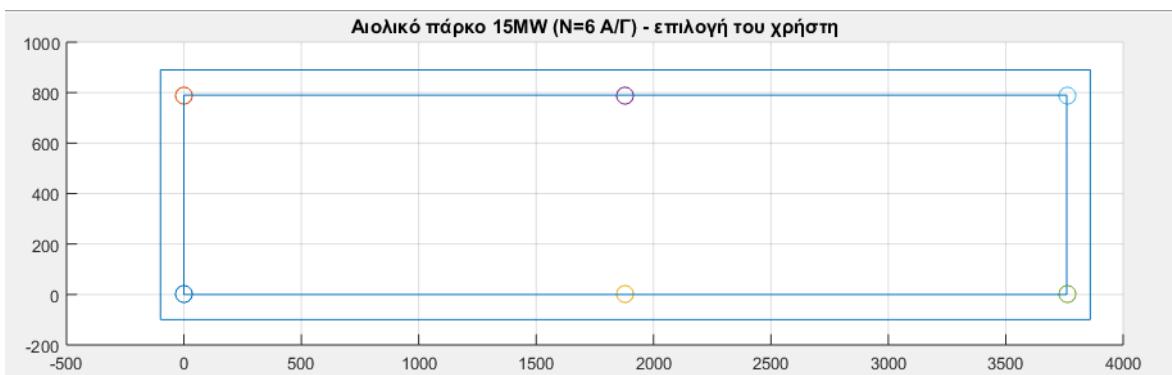
    close(1)
end
```

Χωροθέτηση Αιολικού πάρκου

- 15 MW:

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Α/Γ ΣΤΟ ΧΩΡΙΟ	
N = 6 A/G (ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΧΡΗΣΤΗ)	
x [m]	y [m]
0	0
0	790
1880	0
1880	790
3760	0
3760	790

Εικόνα 52: Συντεταγμένες (x,y) μέσα στο διαθέσιμο χωρίο για N=6 A/G: επιλογή χρήστη

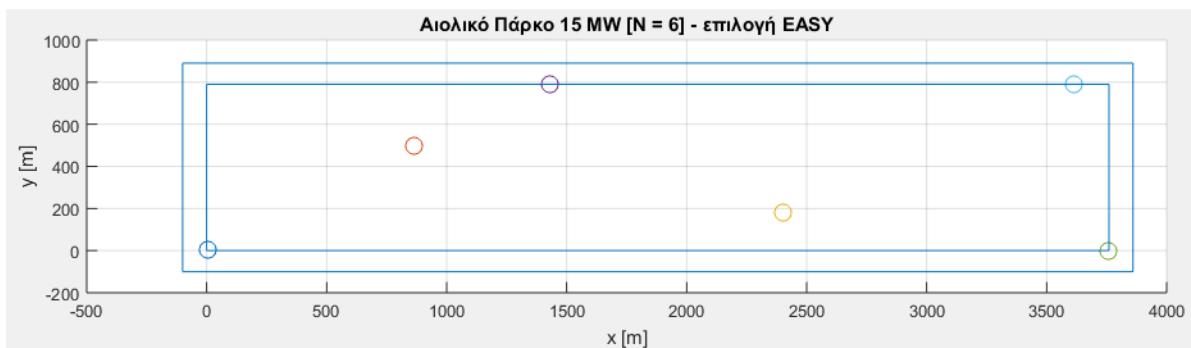


Εικόνα 53: Χωροθέτηση αιολικού πάρκου για N=6 A/G: επιλογή χρήστη

Σχόλιο: Η παραπάνω εκτίμηση έγινε βάσει του ρόδου ανέμου. Παρατηρήθηκε ότι η διεύθυνση με τη χαμηλότερη συχνότητα και ένταση ήταν τελικά ο άξονας ΝΟΤΟΣ-ΒΟΡΡΑΣ. Οπότε επιλέχθηκε η τοποθέτηση να γίνει σε μεγάλες αποστάσεις οριζόντια και σε μικρότερες κάθετα (θεωρήθηκε ότι δεν θα επηρεάσει σημαντικά).

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Α/Γ ΣΤΟ ΧΩΡΙΟ	
N = 6 A/G (EASY)	
x [m]	y [m]
6.76	4.04
865.82	498.17
2402.48	181.09
1431.55	790.00
3758.87	0.87
3613.43	789.42

Εικόνα 54: Συντεταγμένες (x,y) μέσα στο διαθέσιμο χωρίο για N=6 A/G: επιλογή EASY



Εικόνα 55: Χωροθέτηση αιολικού πάρκου για N =6 Α/Γ: επιλογή EASY

Σύγκριση επιλογών:

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΠΑΡΚΟΥ	CF	η (β.α πάρκου)
2.5 MW (N = 1)	0.475	-
15 MW εκτίμηση	0.467	98.32%
15 MW EASY	0.469	98.74%

Εικόνα 56: Η διαφορά της επιλογής του σχεδιαστή με ένα λογισμικό βελτιστοποίησης στον β.α

	2.5 MW (N = 1)	15 MW εκτίμηση	15 MW EASY
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ [MWh]	10367.5	61346.91	61686.52
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ Ε.Π. [MWh]	10367.5	62205.00	62205.00
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ [MWh]	-	858.09	518.48

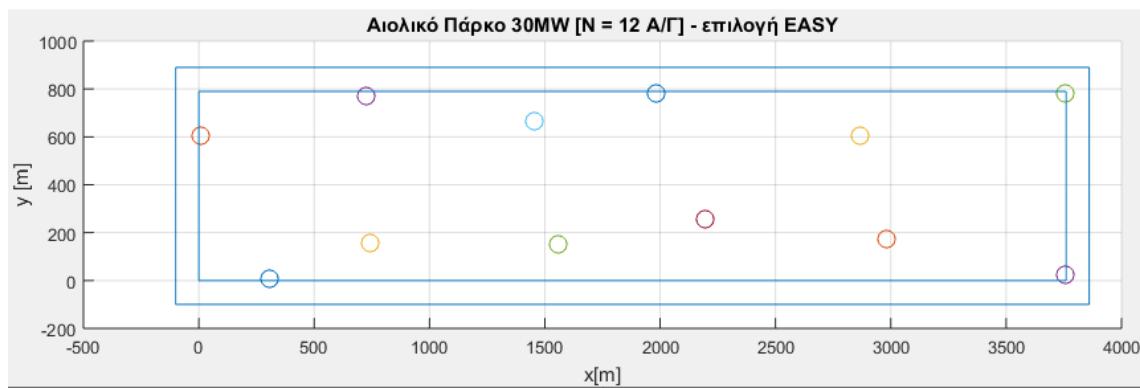
Εικόνα 57: Η διαφορά της επιλογής σχεδιαστή με ένα λογισμικό βελτιστοποίησης στις ενεργ. απώλειες

Όπου βλέπουμε, όπως ήταν αναμενόμενο, ότι η βελτιστοποίηση με τον EASY παράγει καλύτερα αποτελέσματα από την «educated guess» μας ακόμα και σε προβλήματα με μικρό αριθμό Α/Γ όπου έχουμε μία «αίσθηση» της επιρροής του ομόρρου. (Αυτό θα συνέβαινε –με αυξητική τάση- και στις επόμενες περιπτώσεις.)

- 30 MW:

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Α/Γ ΣΤΟ ΧΩΡΙΟ	
N = 12 Α/Γ (EASY)	
x [m]	y [m]
303.71	6.92
10.30	602.56
742.86	157.16
727.43	768.95
1558.37	148.51
1456.62	664.56
2197.16	255.49
1980.63	779.33
2978.81	173.60
2867.11	606.31
3757.42	21.92
3757.42	780.20

Εικόνα 58: Συντεταγμένες (x,y) μέσα στο διαθέσιμο χωρίο για N =12 Α/Γ: επιλογή EASY

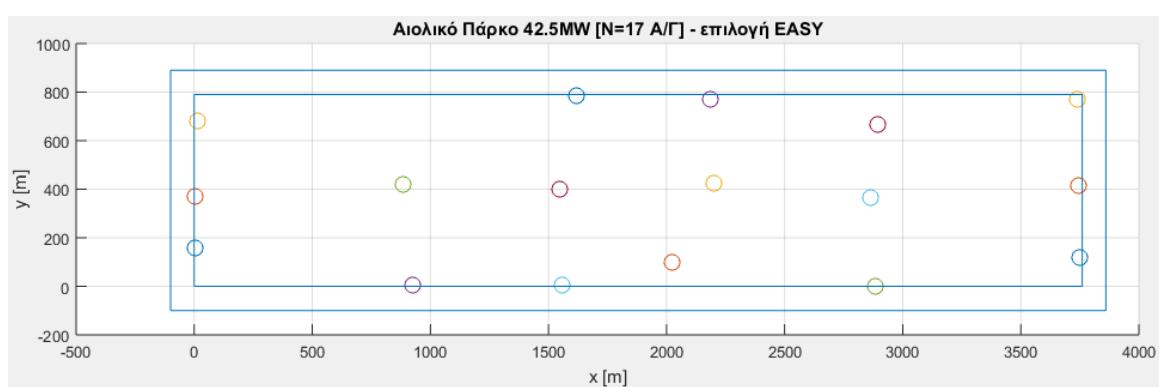


Εικόνα 59: Χωροθέτηση αιολικού πάρκου για N =12 Α/Γ: επιλογή EASY

- 42.5 MW:

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Α/Γ ΣΤΟ ΧΩΡΙΟ	
N = 17 Α/Γ (EASY)	
x [m]	y [m]
4.63	157.71
4.63	370.17
13.53	683.16
925.51	4.31
882.98	419.39
1559.62	3.19
1550.03	399.70
1616.33	783.77
2023.19	99.61
2198.00	422.54
2186.73	771.63
2882.95	0.48
2862.11	366.46
2895.87	664.32
3747.76	117.97
3742.61	415.67
3740.04	770.68

Εικόνα 60: Συντεταγμένες (x,y) μέσα στο διαθέσιμο χωρίο για N =17 Α/Γ: επιλογή EASY



Εικόνα 61: Χωροθέτηση αιολικού πάρκου για N =17 Α/Γ: επιλογή EASY

ΟΛΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕΓΕΘΩΝ:

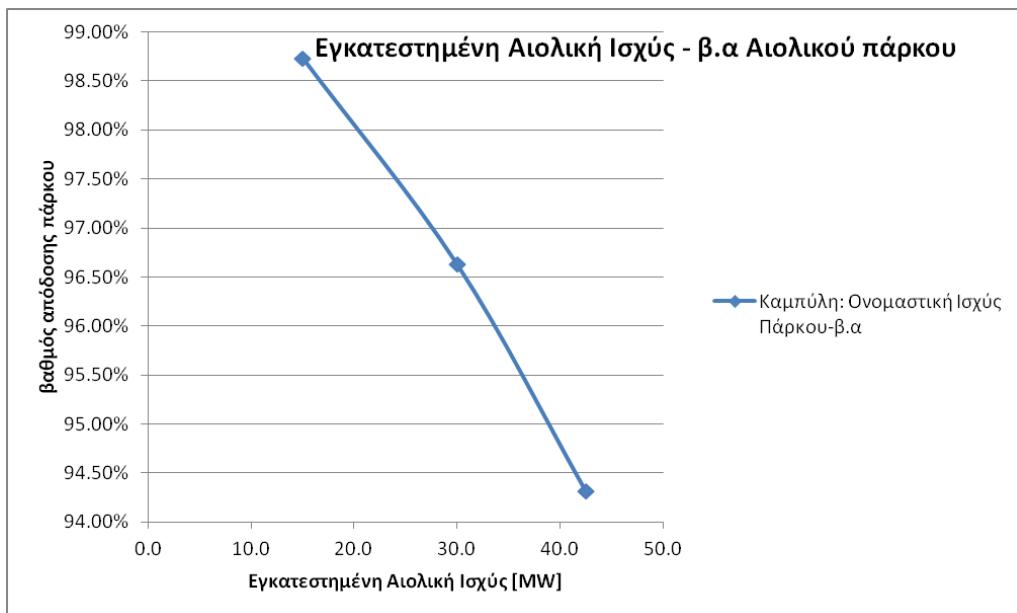
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΠΑΡΚΟΥ [MW]	CF	η (βέλτιστος β.α πάρκου)
2.5	0.475	100.00%
15.0	0.469	98.74%
30.0	0.459	96.63%
42.5	0.448	94.32%

Εικόνα 62: Τελικοί CF και βαθμοί απόδοσης για κάθε πάρκο ανάλογα με την ονομ. ισχύ του

	2.5 MW (N = 1)	15 MW (N = 6)	30 MW (N = 12)	42.5 MW (N = 17)
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ [MWh]	10367.5	61686.52093	120586.647	166798.3622
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ Ε.Π. [MWh]	10367.5	62205	124410	176247.5
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ [MWh]	-	518.479075	3823.352969	9449.137831

Εικόνα 63: Τελικές ενεργειακές απώλειες για κάθε πάρκο ανάλογα με την ονομ. ισχύ του

Οπότε και το ζητούμενο διάγραμμα βαθμού απόδοσης του πάρκου συναρτήσει της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος:



Εικόνα 64: Διάγραμμα προκύπτοντα β.α. αιολικού πάρκου ανάλογα με την εγκατεστημένη (ονομαστική) αιολική ισχύ [MW]

- Σχόλιο: Όπως ήταν αναμενόμενο, έχουμε πτώση του β.α. του αιολικού πάρκου όταν ανξάνουμε την εγκατεστημένη αιολική ισχύ, άρα πρακτικά τον αριθμό των τοποθετημένων Α/Γ, μιας και όταν έχουμε περισσότερες μηχανές σε ίδιο χώρο, τόσο πιο δύσκολα μπορούν να αποφύγουν η μία τον ομόρρου της άλλης.

ΠΑΡΕΝΘΕΣΗ: [MATLAB] ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PLOT ΤΗΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ

ΔΙΝΕΤΑΙ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ N = 12 Α/Γ:

```
COORDS = [ 303.70869990225 6.9208211143695
           10.295210166178 602.56109481916
           742.8633431085 157.16031280547
           727.43401759531 768.94916911046
           1558.3683284457 148.50928641251
           1456.61818182 664.56011730205
           2197.1634408602 255.49364613881
           1980.6344086022 779.33040078201
           2978.8142717498 173.5972629521
           2867.1083088954 606.30987292278
           3757.4242424242 21.915933528837
           3757.4242424242 780.19550342131]; %λαμβάνονται οι τιμές από το αποτέλεσμα του EASY

hold on

for i = 1:12
    x = COORDS(i,1);
    y = COORDS(i,2);

    scatter(x,y,100); % plot-άρουμε τις Α/Γ με την ακριβή τους διάμετρο (100m) μέσα στο χώρο που μας έχει δοθεί.

end

y =0;
line([0,3760],[y,y])

y =790;
line([0,3760],[y,y])

y =-100;
line([-100,3860],[y,y])

y =890;
line([-100,3860],[y,y])

x=0;
line([x,x],[0,790])

x=3760;
line([x,x],[0,790])

x=-100;
line([x,x],[-100,890])

x=3860;
line([x,x],[-100,890])
```

ΕΡΩΤΗΜΑ 6:

Οικονομική Αξιολόγηση για το αιολικό πάρκο του ερωτήματος

Αρχικά περνάμε στο δοσμένο εργαλείο excel (wind_financial_evaluation) τα απαιτούμενα δεδομένα από τα άλλα ερωτήματα: τον CF (από το ερ. 2), το ποσοστό απορρόφησης (από το ερ. 3), τον βαθμό απόδοσης πάρκου (από το ερ. 5) και το συντελεστή διαθεσιμότητας από το ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5 της εκφώνησης:

ΟΙ ΤΡΕΙΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ				
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΠΑΡΚΟΥ [MW]	η (β.α πάρκου λόγω ομόρου)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ	ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ	IC [th. €]
15.0	98.74%	90.1%	17.4%	23760
30.0	96.63%	61.6%	23.8%	47520.00
42.5	94.32%	47.8%	26.1%	67320

Εικόνα 65: Απαραίτητα δεδομένα για τον υπολογισμό των ζητούμενων οικονομικών δεικτών για τρεις περιπτώσεις ονομαστικής ισχύος αιολικού πάρκου

Και συμπληρώνουμε τα πεδία που δίνονται στο εργαλείο excel ανάλογα. Δίνονται παρακάτω αυτά που μένουν σταθερά:

Capacity factor of WT	Συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας Α/Γ			0.445
Operational cost	Κόστος συντήρησης και λειτουργίας		(%κόστους επένδυσης)	3.0%
Tax	Φόρος		(%)	35%
Depreciation rate	Ρυθμός απόσβεσης		(%)	10.0%
Interest rate	Επιπόκιο δανεισμού		(%)	6%
Pay-back tariff	πιμή πώλησης		(€/kWh)	0.119
Discount rate	Επίτοκιο προεξόφλησης		(%)	8%
Salvage value	Υπολειμματική αξία		(%κόστους επένδυσης)	25%
Wind Farm Availability	Ποσοστό διαθεσιμότητας			98%

Εικόνα 66: Απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό των οικονομικών δεικτών που μένουν σταθερά

Η χρηματοδότηση του έργου:

Own Capital	Ιδία κεφάλαια	60%
Subsidy	Επιχορήγηση	0%
Loan	Δάνειο	40%

Εικόνα 67: Ποσόστωση των πηγών χρηματοδότησης του έργου.

Τα ζητούμενα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΠΑΡΚΟΥ [MW]	IRR	NPV [th. €]	PBP [έτη]	ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ
15.0	19.5%	8818.5	4.66	17.4%
30.0	9.0%	1423.9	7.86	23.8%
42.5	3.4%	-9251.5	9.48	26.1%

Εικόνα 68: Οι Οικονομικοί δείκτες IRR, NPV (χιλιάδες), PBP (έτη) που ζητούνται και είναι απαραίτητοι για μια οικονομική εποπτεία του έργου

Θέλουμε μέγιστη αιολική συνεισφορά αλλά με περιορισμό το IRR να μην πέφτει κάτω από τα 12%.

ΠΡΟΤΑΣΗ:

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα δεδομένα μέσα από τα οποία προέκυψαν αυτοί οι δείκτες και τους προαναφερθέντες περιορισμούς επιλέγουμε τελικά να **προτείνουμε το πάρκο της ονομαστικής ισχύος των 15 MW με τις έξι (6) A/G (2.5 MW, D =100m, VS&PC)** (πράσινη γραμμή στην παραπάνω εικόνα) για το συγκεκριμένο νησί (N74).

Η τελική ηλεκτρική παραγωγή που αξιοποιείται απ' το δίκτυο:

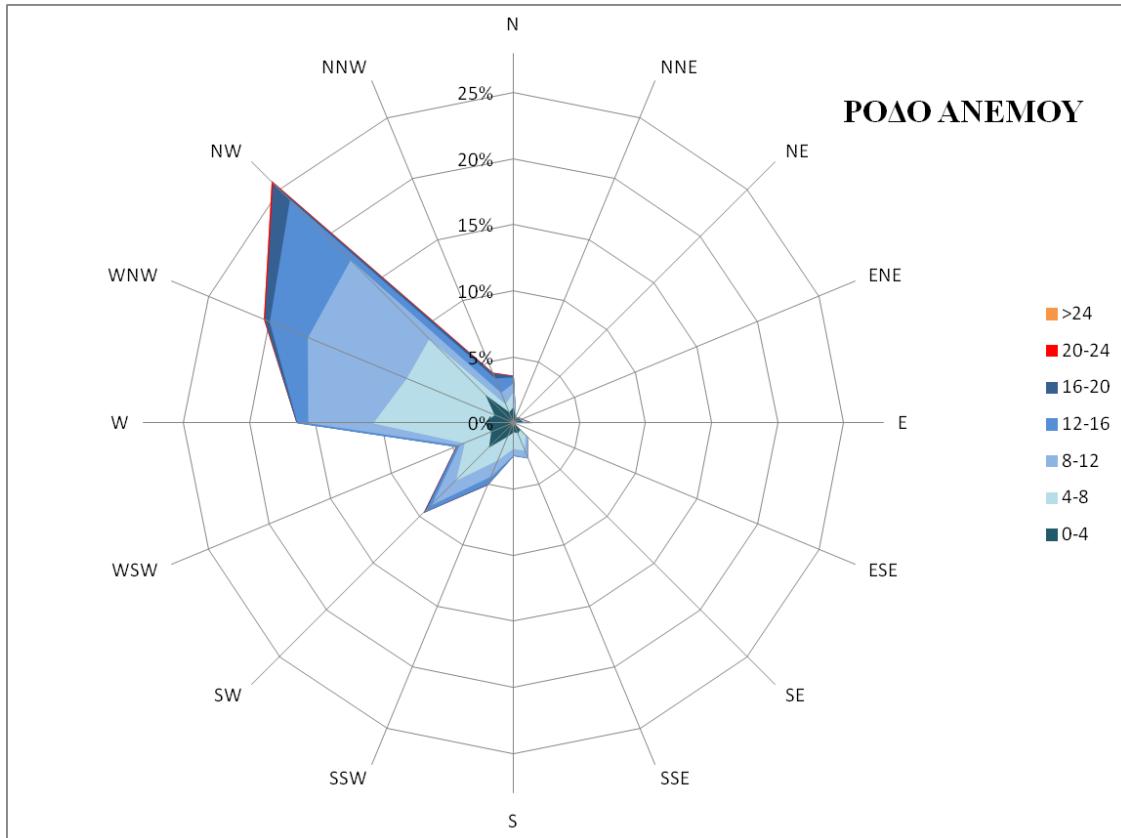
Electricity Production	50978	MWh
ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ		

1: Η PBP (Payback Period) υπολογίζεται εισάγοντας τα αθροιστικά net cash flows κάθε χρόνου, βλέπουμε ανάμεσα σε ποιες δύο χρονιές θα αθροιστικά κέρδη ξεπερνούν την το cash flow του χρόνου 0 (άρα την αρχική επένδυση ιδίων κεφαλαίων) και έπειτα κάνουμε γραμμική παρεμβολή για να βρούμε σε πόσο χρόνο βρίσκονται.

2: Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται ένας πολλαπλασιασμός του CF (της A/G 2.5MW –R=50m), της ονομαστικής ισχύος, του ποσοστού απορρόφησης, του ποσοστού διαθεσιμότητας του πάρκου και του βαθμού απόδοσης του αιολικού πάρκου που προέκυψε λόγω των απωλειών ομόρρου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΕΙΚΟΝΕΣ



Εικόνα 1: Το ρόδο ανέμου για τα αντίστοιχα ανεμολογικά δεδομένα.

Πλήθος από Wind_dir	Επικέτες στήλη																		Γενικό άθροισμα
Επικέτες γραμμής	E	ENE	N	NE	NN	NNW	NW	S	SE	SSE	SSW	SW	W	WNW	WSW	NW	NNW		
0-4	419	295	633	270	188	455	1556	357	359	430	558	1357	1130	801	949	975	975		
4-8	176	63	574	25	33	345	3087	640	322	723	1006	1811	4342	3716	1102	17965	17965		
8-12	96	2	351		5	482	4344	254	78	314	683	1353	2539	4170	228	14899	14899		
12-16	31	4	238			616	3365	33	3	17	302	369	437	1624	135	7174	7174		
16-20	5	1	42	1		200	910	1	1	3	69	77	18	186	13	1527	1527		
20-24	2	7		1		19	80		1	3	6	8		46	1	174	174		
>24	2	15	3	6	2			5	3	7	3	1			47	47	47		
Γενικό άθροισμα	731	387	1841	303	228	2117	13342	1290	767	1497	2627	4976	8466	10543	2428	51543	51543		

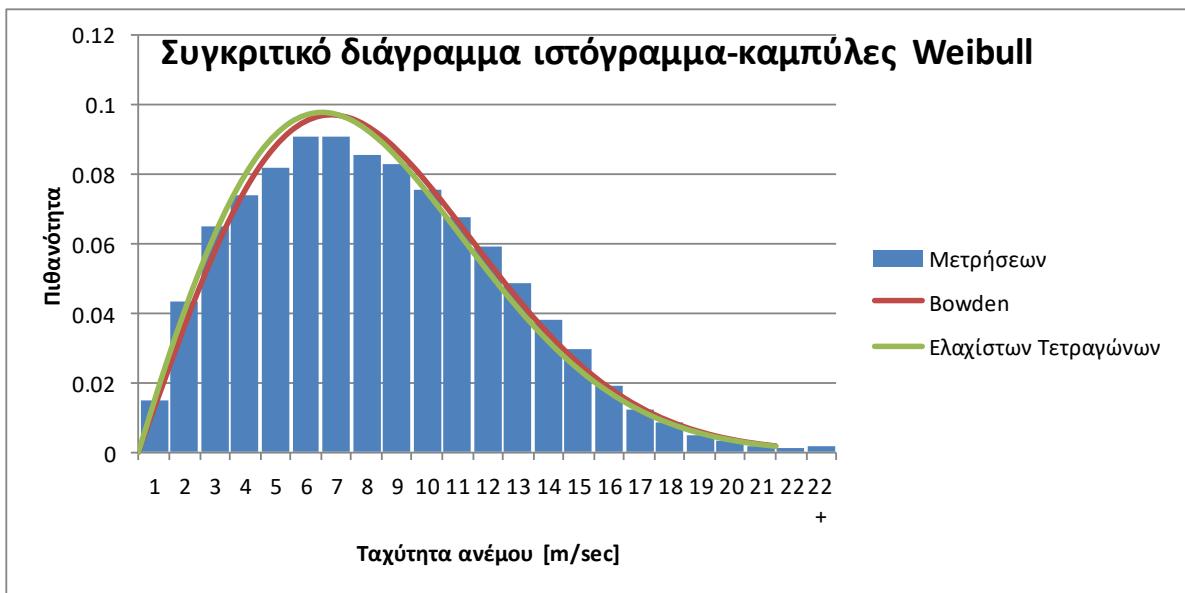
Εικόνα 2: Διαχωρισμένα ανεμολογικά δεδομένα σε "συγκεντρωτικό πίνακα"

Επικέτες γραμμής	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	WSW	NW	NNW
0-4	1%	0%	1%	1%	0%	1%	1%	1%	1%	3%	2%	2%	2%	3%	1%	3%	1%
4-8	2%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	2%	2%	6%	4%	11%	9%	9%	2%		
8-12	3%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	3%	2%	4%	9%	4%	16%	17%	17%	2%	
12-16	3%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	3%	2%	5%	9%	5%	16%	20%	24%	4%	
16-20	4%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	3%	2%	5%	10%	5%	16%	20%	26%	4%	
20-24	4%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	3%	2%	5%	10%	5%	16%	20%	26%	4%	
>24	4%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	3%	3%	5%	10%	5%	16%	20%	26%	4%	

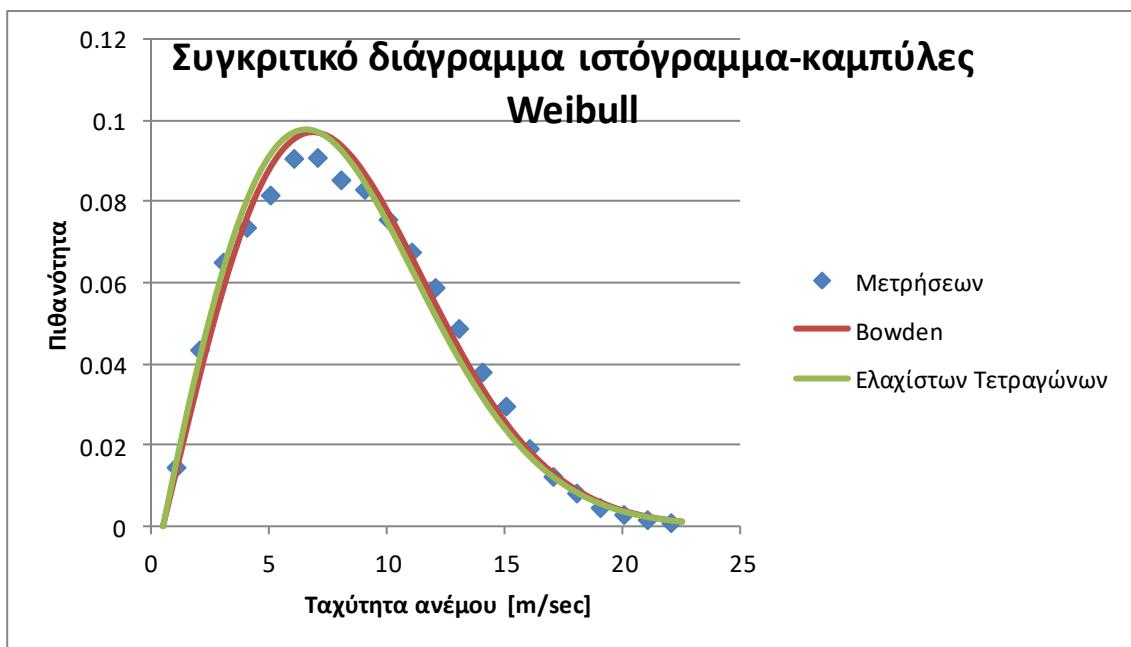
Εικόνα 3: Τελικά διαμορφωμένος πίνακας ανεμολογικών

BOWDEN				ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΑ			
c		k		c		k	
8.911756652		2.022080963		8.6839		1.9682	

Εικόνα 4: Συγκριτικός πίνακας από τα c,k που βγαίνουν από τα ανεμολογικά δεδομένα με τις δύο αναγραφόμενες μεθόδους

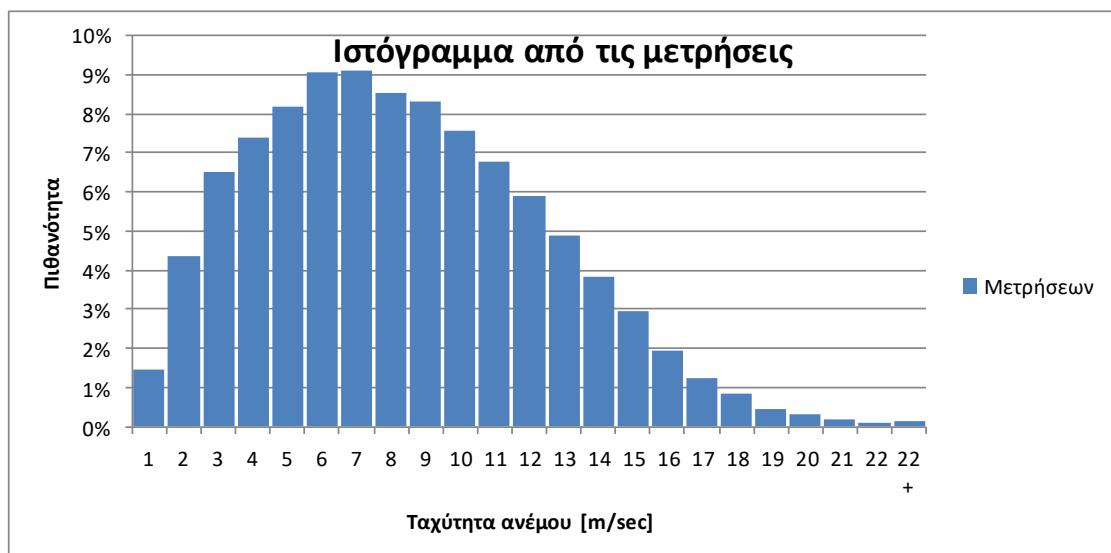


Εικόνα 5: Συγκριτικό διάγραμμα πειραματικών δεδομένων και προσεγγίσεων: πιθανότητα πιθανότητας πνοής ανέμου



Εικόνα 6: Εναλλακτική παρουσίαση της Εικόνας 5

ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	εμφανίσεις τιμών	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	
		χρόνος επι των συνολικών	χρόνος σε % του έτους
0-1	753	0.014609161	0.014609161
1 - 2	2246	0.043575267	0.043575267
2 - 3	3361	0.065207691	0.065207691
3-4	3803	0.073783055	0.073783055
4 - 5	4214	0.08175698	0.08175698
5 - 6	4680	0.090797975	0.090797975
6 - 7	4692	0.09103079	0.09103079
7 - 8	4408	0.085520827	0.085520827
8 - 9	4286	0.083153872	0.083153872
9 - 10	3905	0.075761985	0.075761985
10 - 11	3490	0.067710455	0.067710455
11 - 12	3039	0.05896048	0.05896048
12 - 13	2518	0.048852414	0.048852414
13-14	1964	0.038104107	0.038104107
14-15	1530	0.029683953	0.029683953
15-16	991	0.019226665	0.019226665
16-17	636	0.012339212	0.012339212
17-18	425	0.008245543	0.008245543
18-19	239	0.004636905	0.004636905
19-20	152	0.002948994	0.002948994
20-21	86	0.00166851	0.00166851
21-22	48	0.000931261	0.000931261
22 +	77	0.001493898	0.001493898



Εικόνα 7: Ιστόγραμμα πικνότητας πιθανότητας πνοής ανέμου πειραματικών δεδομένων

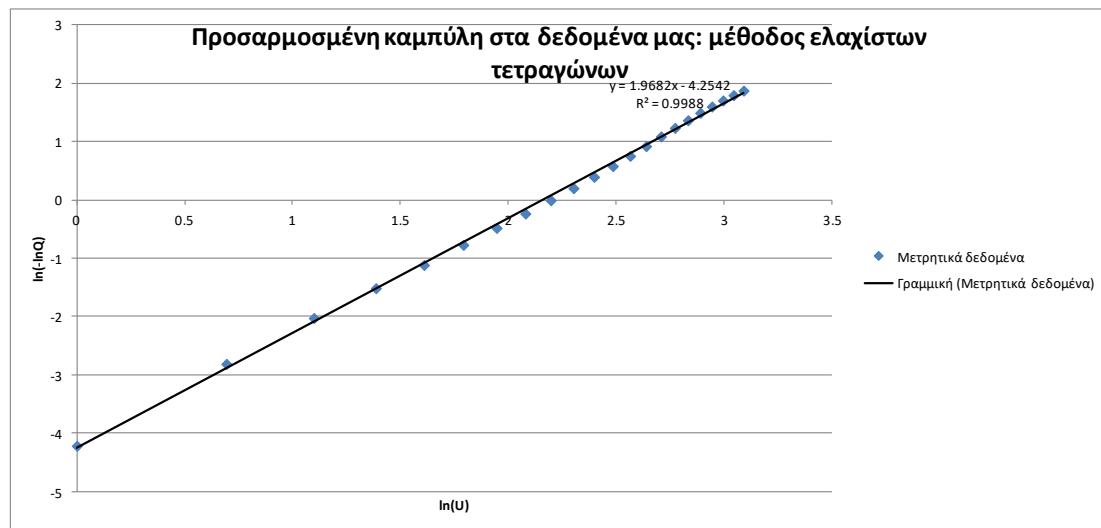
BOWDEN	
c	k
8.911756652	2.022080963

Εικόνα 8: Τα c,k που βγαίνουν από τα ανεμολογικά δεδομένα με τις ημιεμπειρικές σχέσεις του Bowden

Στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων:

Ταχύτητα [m/sec]	ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΑ		διάρκεια πνοής ανέμου Q	Q	x	y	χρόνος επι των συνολικών	χρόνος σε % του έτους
	Εμφανίσεις τιμών	In(U)			#APIΘ!	In(Q)	In(-In(Q))	#APIΘ!
> 0	51543	1	100%	0.98539084	0	-0.014717	-4.21876	0.027245723
> 1	50790	0.98539084	99%	0.94181557	94%	0.693147	-0.059946	0.050384898
> 2	48544	0.94181557	94%	0.87660788	88%	1.098612	-0.131696	0.069222333
> 3	45183	0.87660788	88%	0.80282483	80%	1.386294	-0.219619	0.151586
> 4	41380	0.80282483	80%	0.72106785	72%	1.609438	-0.327022	0.11773
> 5	37166	0.72106785	72%	0.63026987	63%	1.791759	-0.461607	0.091414255
> 6	32486	0.63026987	63%	0.53923908	54%	1.94591	-0.617596	0.094565418
> 7	27794	0.53923908	54%	0.45371825	45%	2.079442	-0.790279	0.093023731
> 8	23386	0.45371825	45%	0.37056438	37%	2.197225	-0.992728	0.087656739
> 9	19100	0.37056438	37%	0.2948024	29%	2.302585	-1.22145	0.079502593
> 10	15195	0.2948024	29%	0.22709194	23%	2.397895	-1.4824	0.069632553
> 11	11705	0.22709194	23%	0.16813146	17%	2.484907	-1.783009	0.059035088
> 12	8666	0.16813146	17%	0.11927905	12%	2.564949	-2.12629	0.048534007
> 13	6148	0.11927905	12%	0.08117494	8%	2.639057	-2.511149	0.030066301
> 14	4184	0.08117494	8%	0.05149099	5%	2.70805	-2.966348	0.022699803
> 15	2654	0.05149099	5%	0.03226432	3%	2.772589	-3.433793	0.016685838
> 16	1663	0.03226432	3%	0.01992511	2%	2.833213	-3.915774	0.011948521
> 17	1027	0.01992511	2%	0.01167957	1%	2.890372	-4.449914	0.008339433
> 18	602	0.01167957	1%	0.00704266	1%	2.944439	-4.955769	0.005675438
> 19	363	0.00704266	1%	0.00409367	0%	2.995732	-5.498314	0.003767573
> 20	211	0.00409367	0%	0.00242516	0%	3.044522	-6.021858	0.002440403
> 21	125	0.00242516	0%	0.0014939	0%	3.091042	-6.506366	0.001542838
> 22	77	0.0014939	0%			3.872781		0.001542838

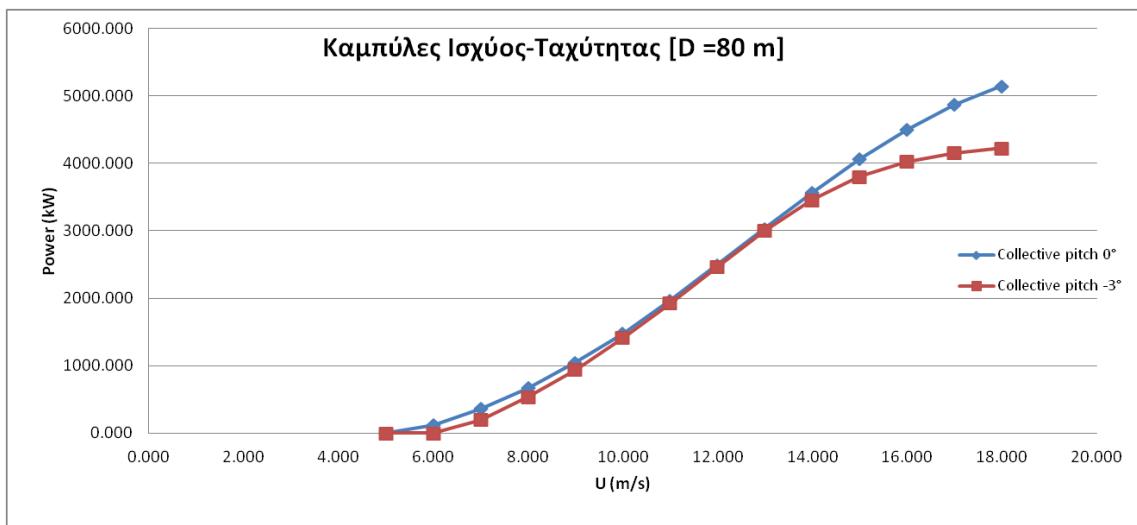
Εικόνα 9: Τα πειραματικά δεδομένα προσαρμοσμένα για την εφαρμογή της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων



Εικόνα 10: Προσαρμογή καμπύλης στα δεδομένα μας με μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων

ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΑ	
c	k
8.6839	1.9682

Εικόνα 11: Τα c,k που βγαίνουν από τα ανεμολογικά δεδομένα μέσω της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων

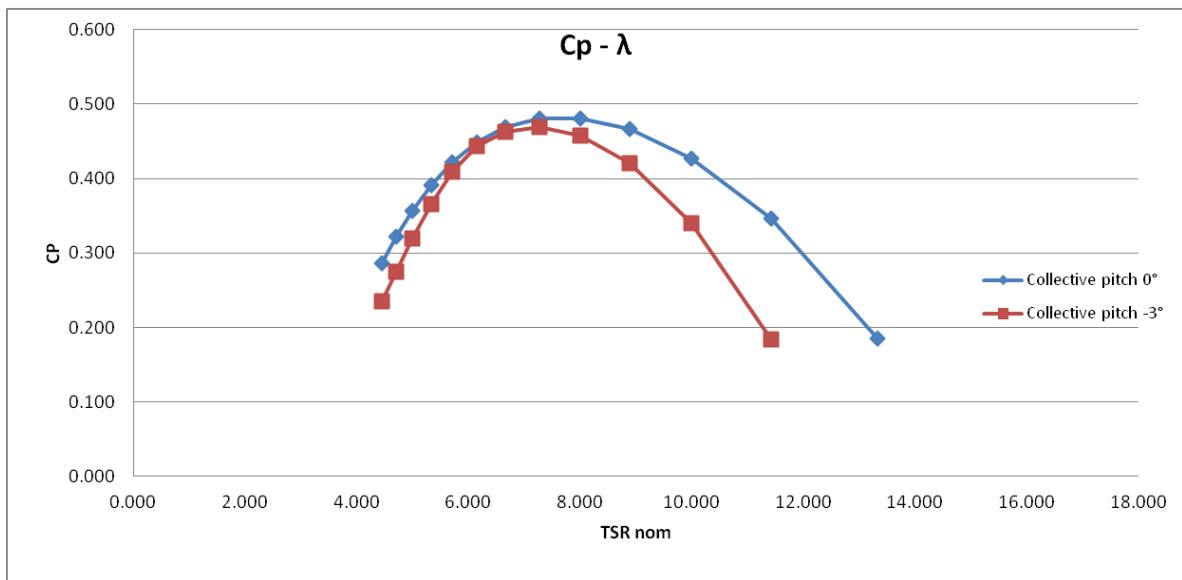


Εικόνα 12: Καμπύλες Ισχύος - ταχύτητας ανέμου για ίδια διάμετρο [D = 80m] για A/Γ SR

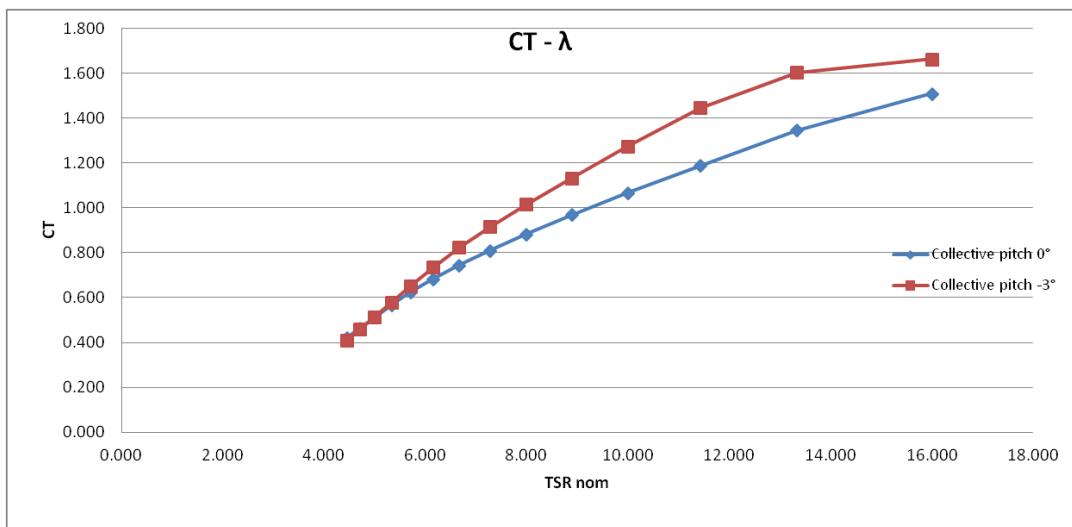
λεζαντα

ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

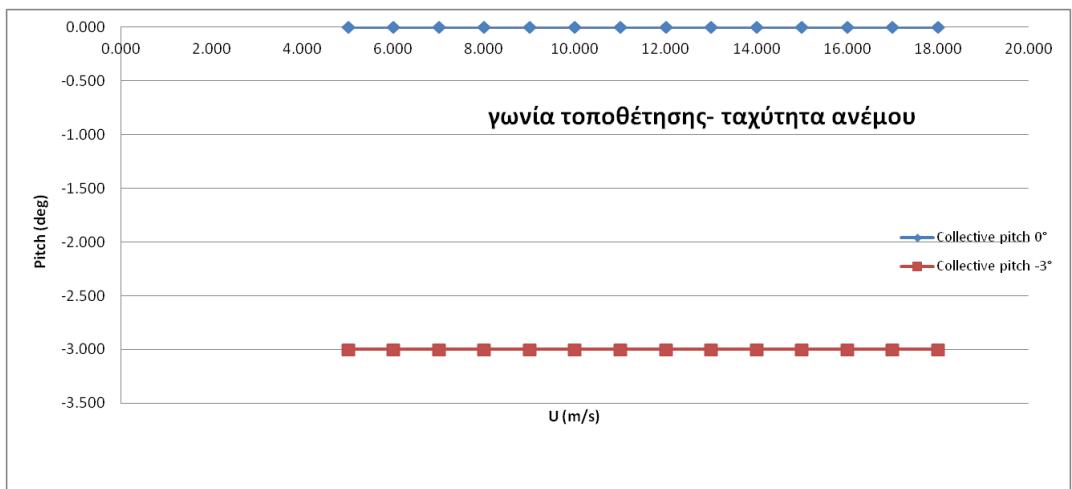
Μένουν ίδια τα:



Εικόνα 13: Διάγραμμα CP-λ για A/Γ SR

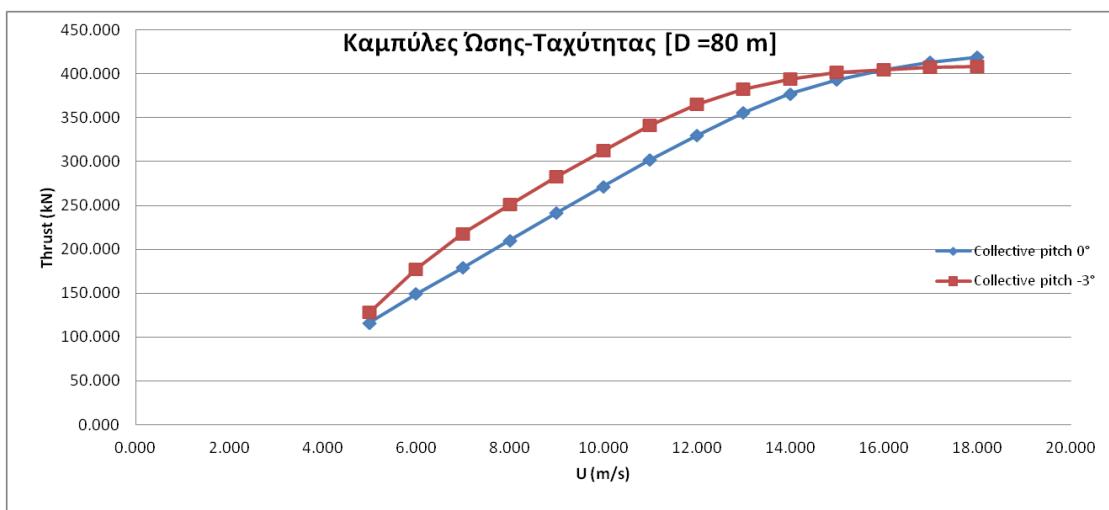


Εικόνα 14: Διάγραμμα CT-λ για Α/Γ SR

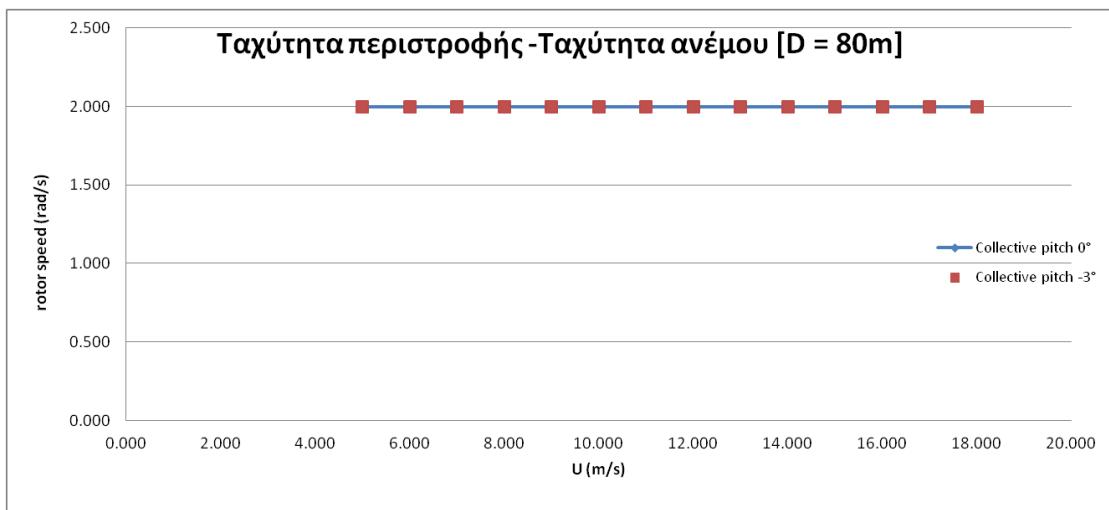


Εικόνα 15: Γωνία τοποθέτησης του πτερυγίου συναρτήσει του ανέμου για Α/Γ SR

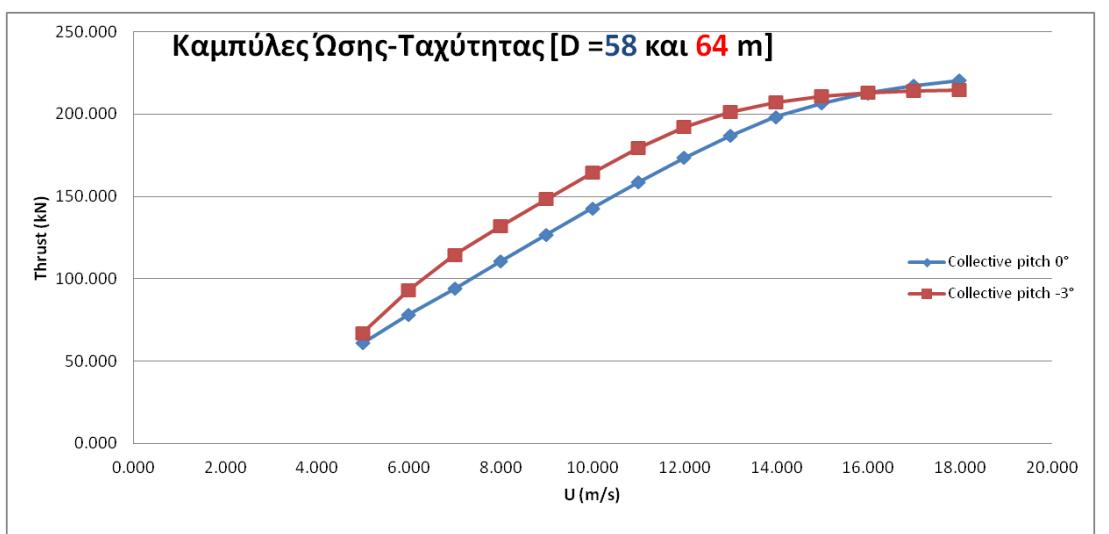
Ενώ τα παρακάτω αλλάζουν (ενν. λόγω της αλλαγής διαμέτρου):



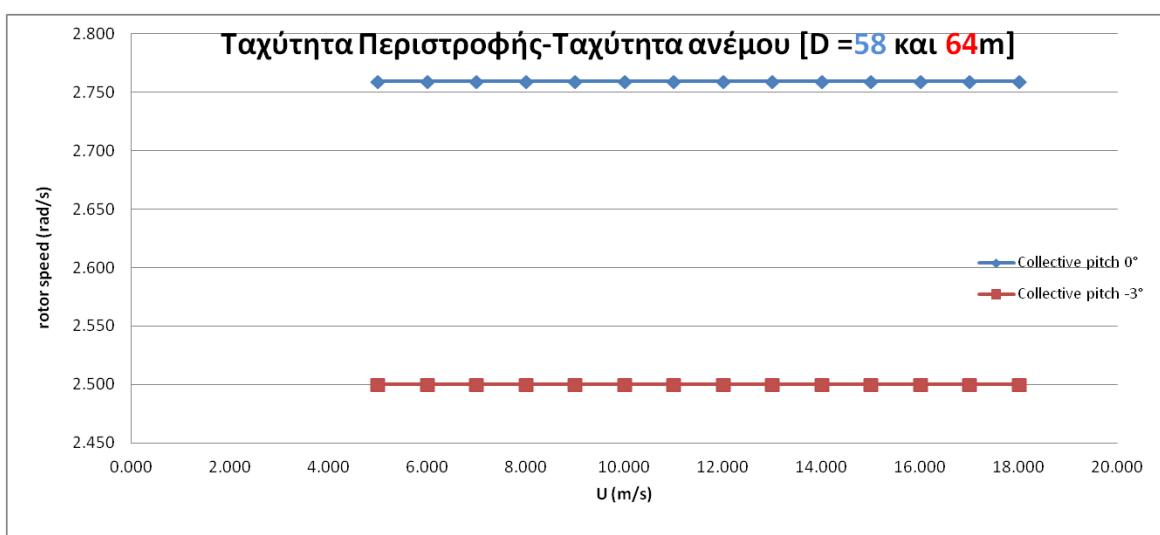
Εικόνα 16: Διάγραμμα ώσης συναρτήσει ταχύτητας του ανέμου για Α/Γ SR [D = 80m]



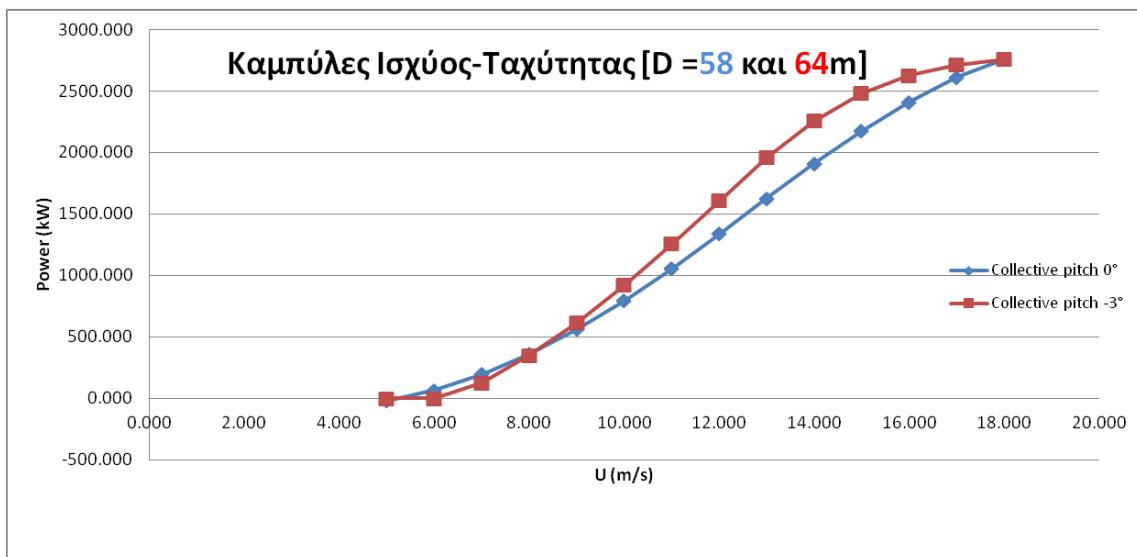
Εικόνα 17: Διάγραμμα ταχύτητας περιστροφής συναρτήσει ταχύτητας του ανέμου για A/Γ SR [D = 80m]



Εικόνα 18: Διάγραμμα ώσης συναρτήσει ταχύτητας του ανέμου για A/Γ SR [D = 58m και 64m]



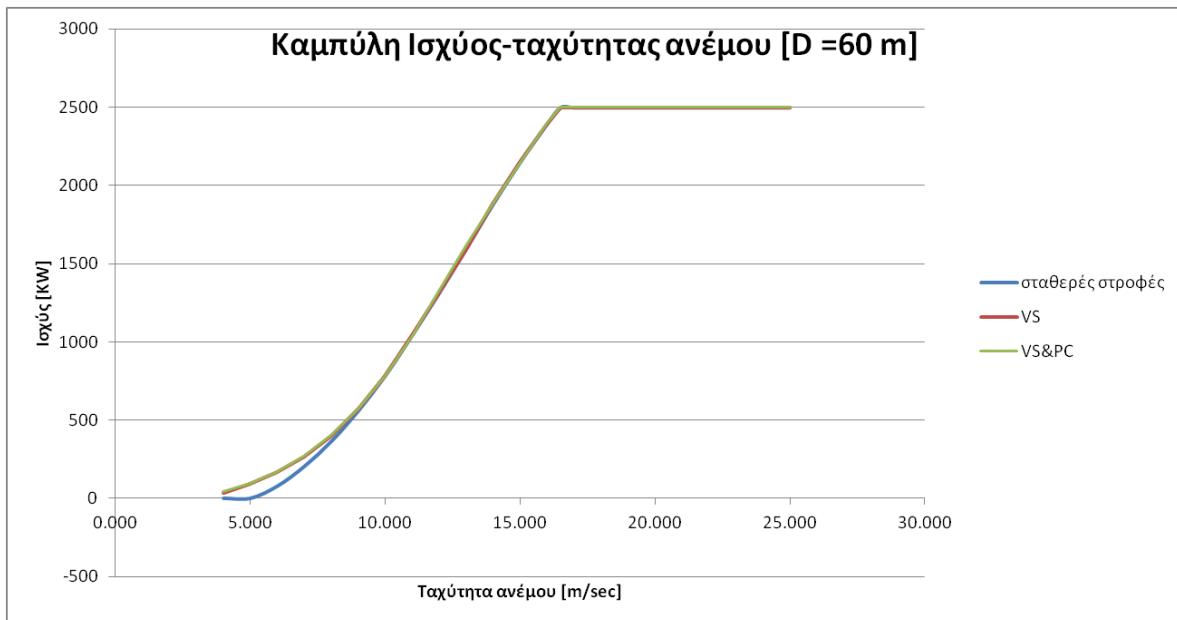
Εικόνα 19: Διάγραμμα ταχύτητας περιστροφής συναρτήσει ταχύτητας του ανέμου για A/Γ SR [D = 58 και 64m]



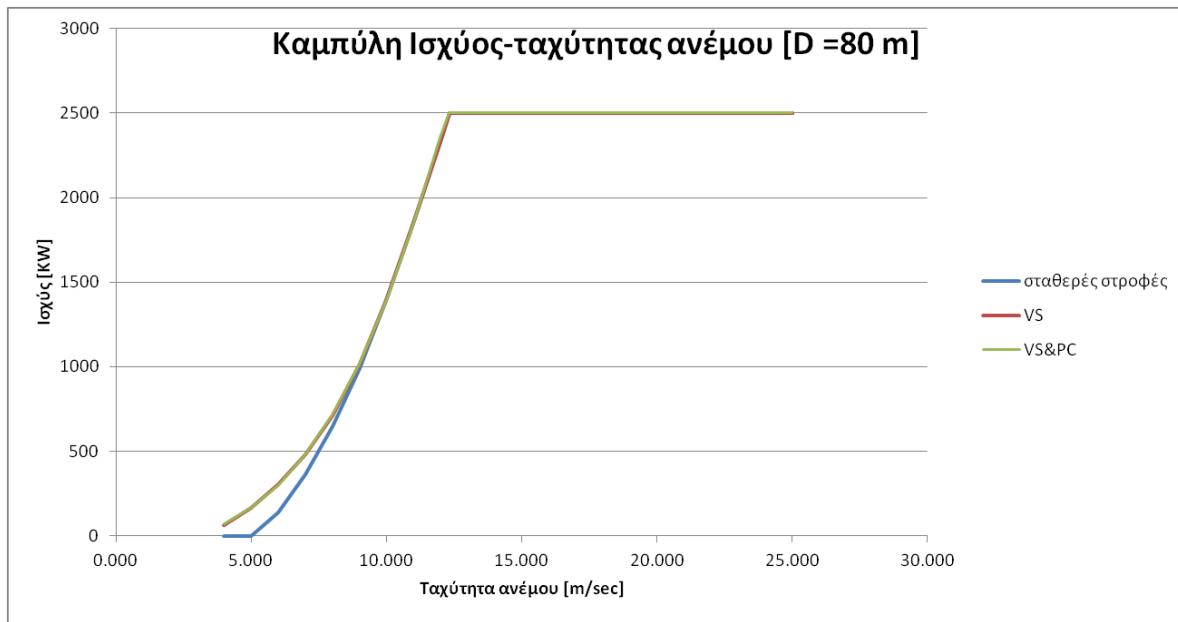
Εικόνα 20: Καμπύλες ισχύος συναρτήσει ταχύτητας του ανέμου για A/Γ SR [D = 58 και 64 m]

Coll. Angle [deg]	R [m]	CF
0.00	40.00	18.9%
-3.00	40.00	20.9%
0.00	29.00	18.9%
-3.00	32.00	20.9%

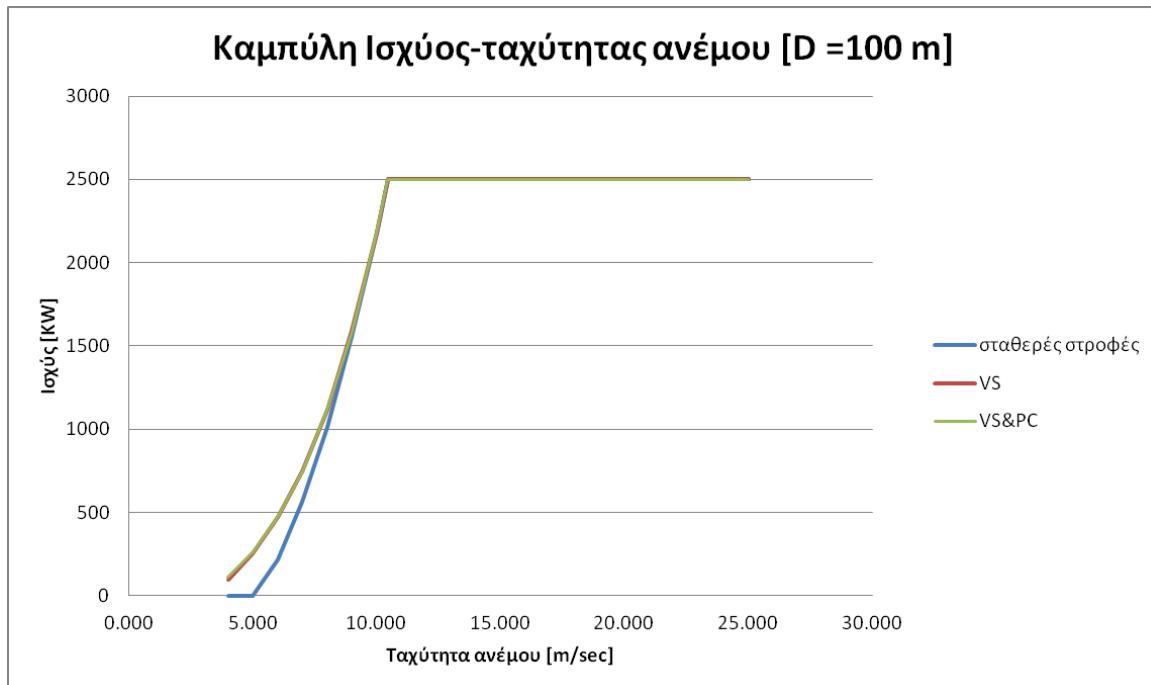
Εικόνα 21: Πίνακας συντελεστή εκμεταλλευσιμότητας - ακτίνας - γωνίας τοποθέτησης



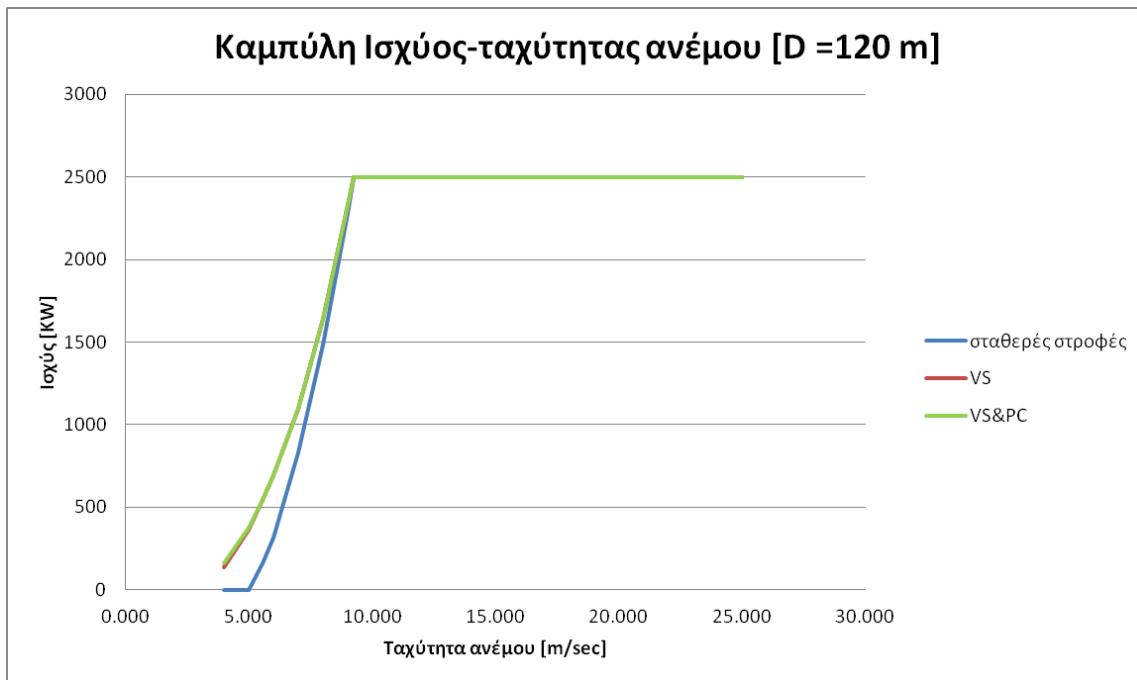
Εικόνα 22: Καμπύλη ισχύος συναρτήσει ταχύτητας ανέμου για SR, VS και VS&PC δυνατότητες [D = 60 m]



Εικόνα 23: Καμπύλη Ισχύος συναρτήσει ταχύτητας ανέμου για SR, VS και VS&PC δυνατότητες [D = 80 m]



Εικόνα 24: Καμπύλη Ισχύος συναρτήσει ταχύτητας ανέμου για SR, VS και VS&PC δυνατότητες [D = 100 m]



Εικόνα 25: Καμπύλη Ισχύος συναρτήσει ταχύτητας ανέμου για SR, VS και VS&PC δυνατότητες [D = 120 m]

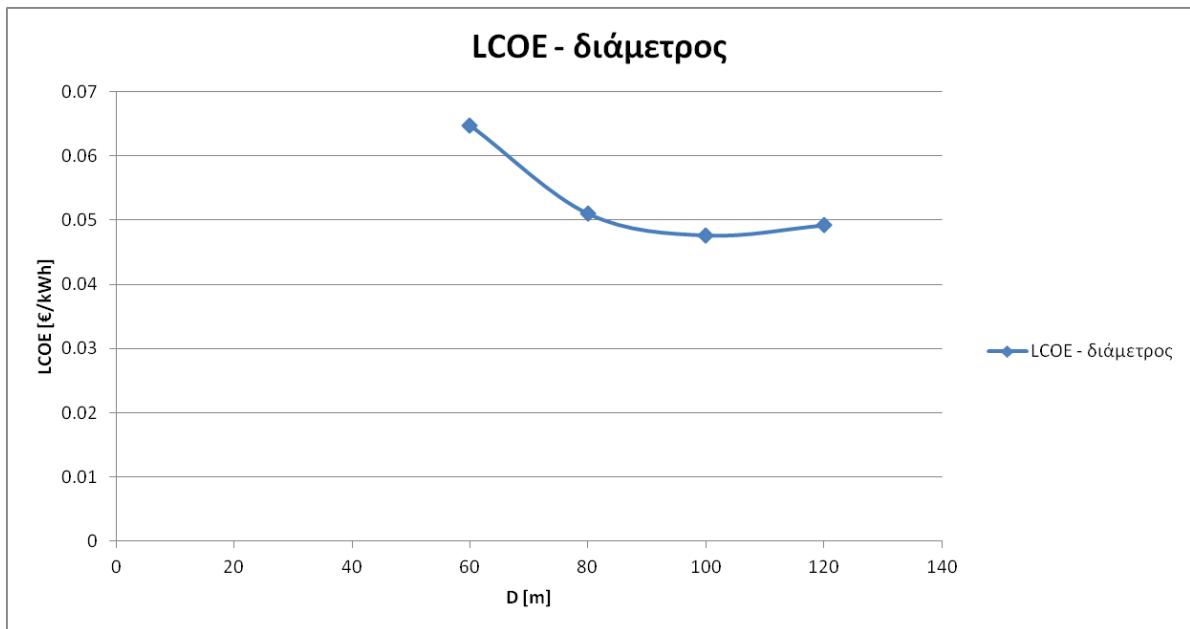
D [m]	E [MWh/year]	Pavg/A [kW/m^2]	CF	ανηγμένο κόστος [€/kW]
60	5042.66	0.203593071	23.03%	535
80	7687.89	0.174595593	35.10%	758
100	9746.20	0.14165813	44.50%	1004
120	11438.80	0.11596343	52.46%	1298

Εικόνα 26: Ετήσια παραγόμενη ενέργεια [MWh], μέση ετήσια παραγόμενη ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας του δρομέα, ανηγμένο κόστος της A/G, CF, LCOE σε κάθε περίπτωση διαμέτρου

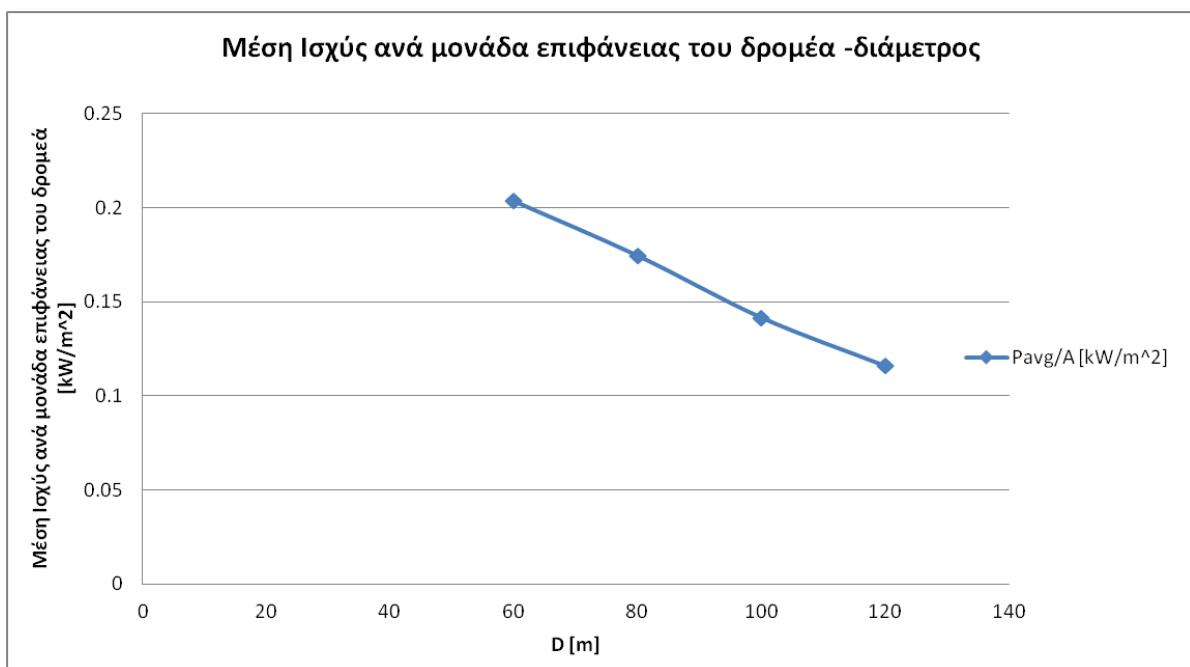
i [επιτόκιο]	N [έτη]
6%	20

Εικόνα 27: Στοιχεία για την αναγωγή του IC σε ετήσια βάση

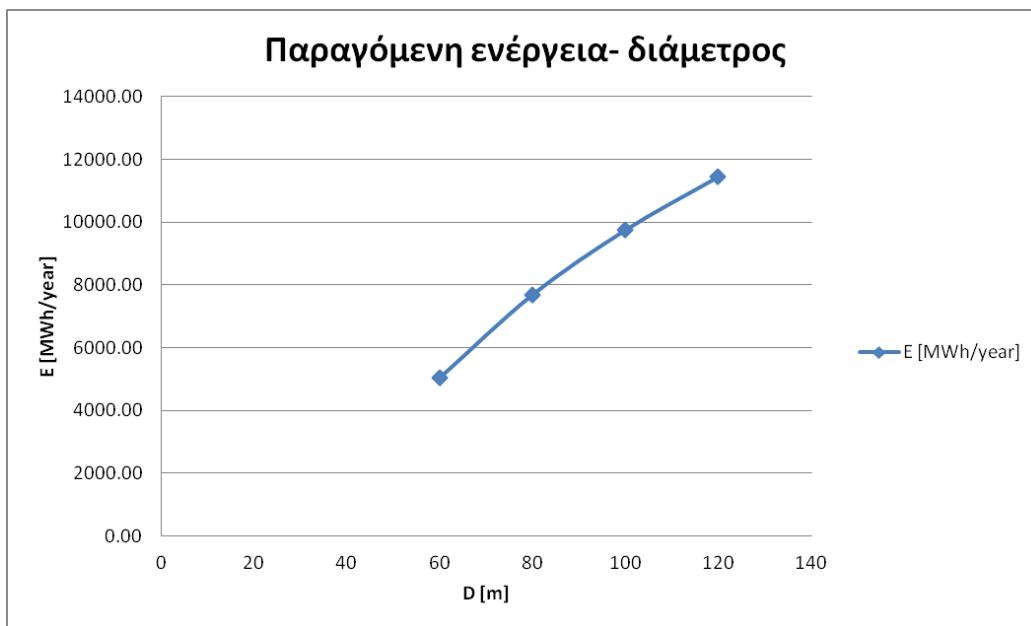
D [m]	WT cost [€]	Other costs [€]	IC [€]	R	OMC [€/year]	E [kWh/year]	LCOE [€/kWh]
60	1336521.6	1450000	2786522	0.087185	83595.648	5042657.60	0.064755001
80	1895014.4	1450000	3345014	0.087185	100350.432	7687891.38	0.050987197
100	2510000.0	1450000	3960000	0.087185	118800	9746203.90	0.04761
120	3351352.7	1450000	4801352.7	0.087185	144040.5805	11438800.00	0.04919



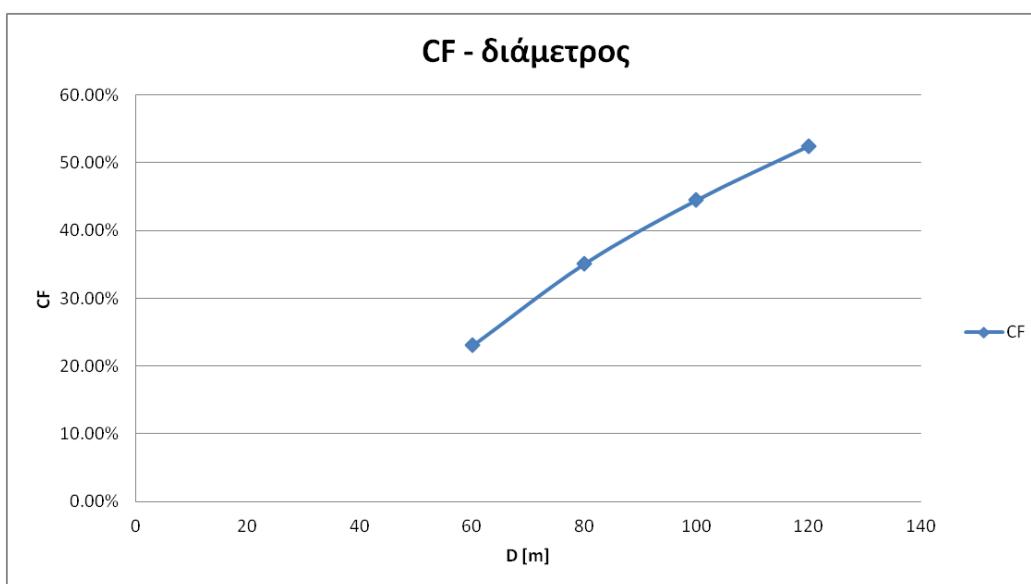
Εικόνα 28: Διάγραμμα LCOE συναρτήσει της διαμέτρου για τις επιλεγμένες διαμέτρους {60, 80, 100, 120} [m]



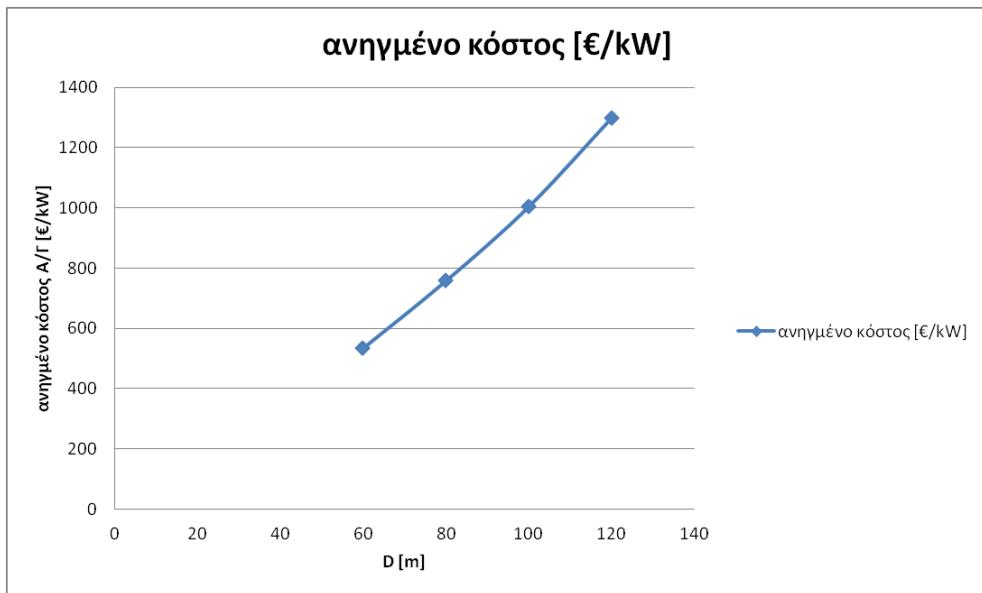
Εικόνα 29: Διάγραμμα Μέσης Ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας συναρτήσει της διαμέτρου για τις επιλεγμένες διαμέτρους {60, 80, 100, 120} [m]



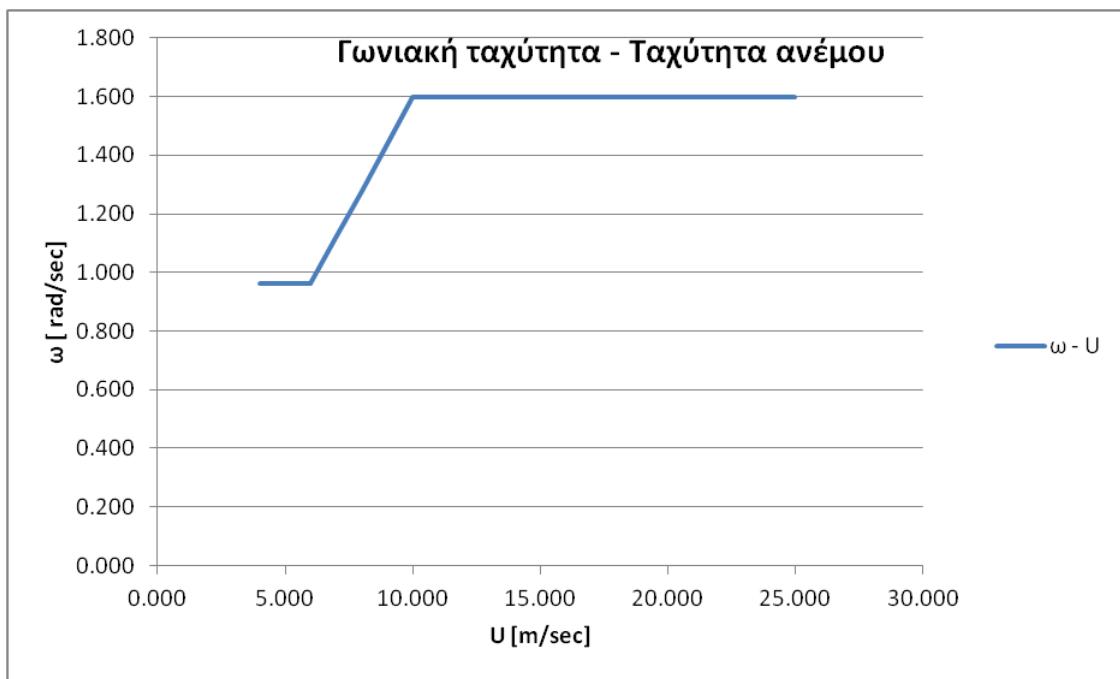
Εικόνα 30: Διάγραμμα Παραγόμενης ενέργειας συναρτήσει της διαμέτρου για τις επιλεγμένες διαμέτρους {60, 80, 100, 120} [m]



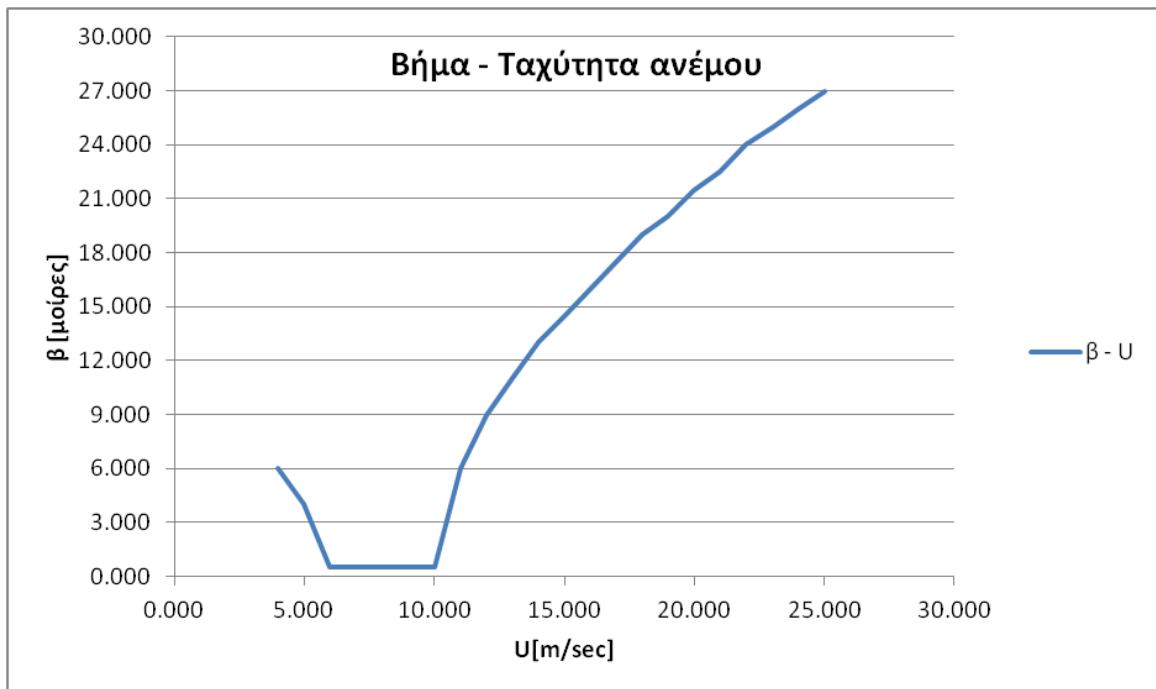
Εικόνα 31: Διάγραμμα συντελεστή εκμεταλλευσιμότητας συναρτήσει της διαμέτρου για τις επιλεγμένες διαμέτρους {60, 80, 100, 120} [m]



Εικόνα 32: Διάγραμμα ανηγμένου κόστους της A/G συναρτήσει της διαμέτρου για τις επιλεγμένες διαμέτρους {60, 80, 100, 120} [m]



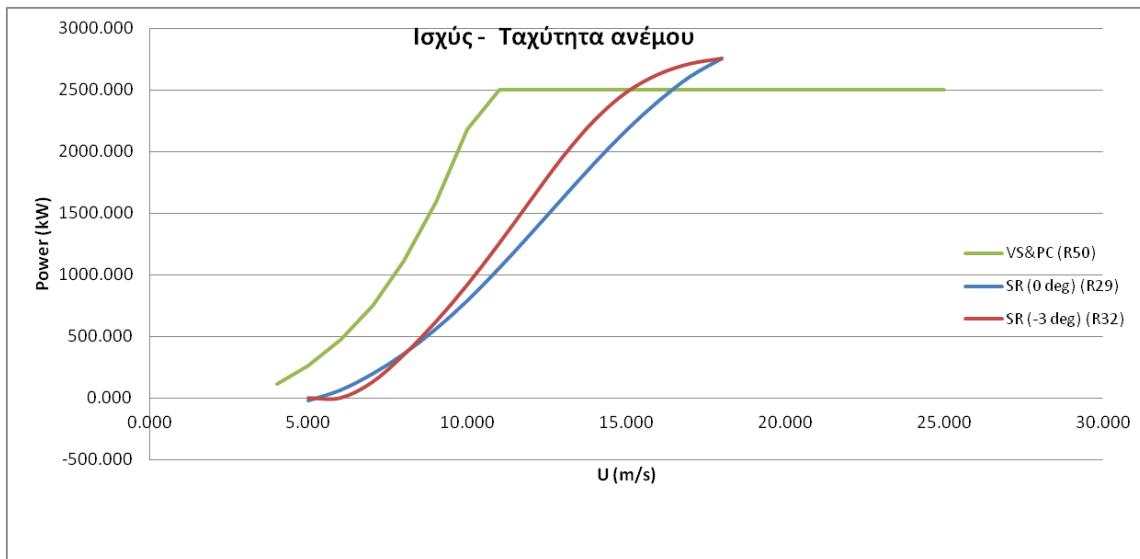
Εικόνα 33: Γωνιακή ταχύτητα συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου για την επιλεγμένη A/G 2.5 MW [D = 100 m] βέλτιστου LCOE.



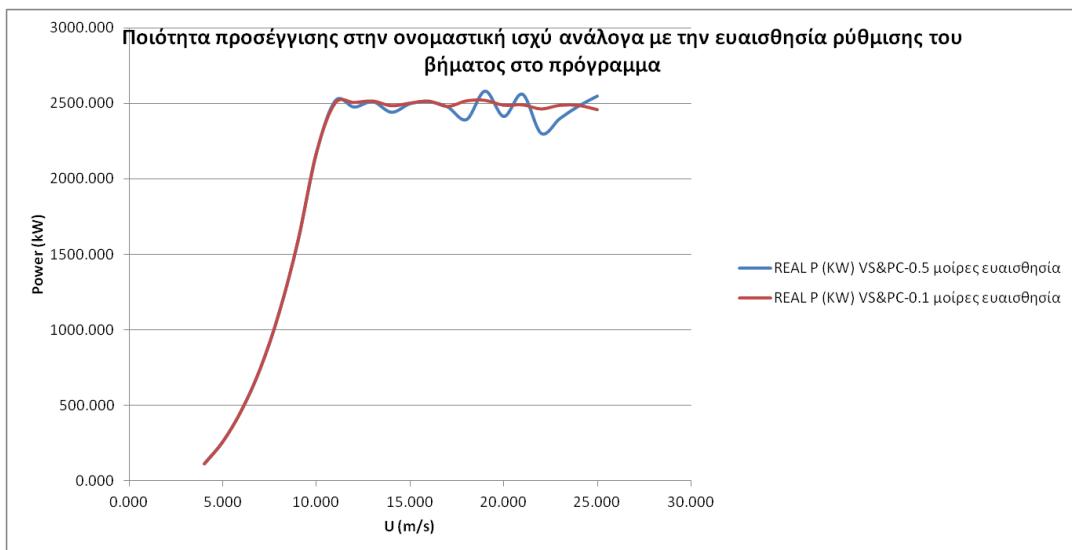
Εικόνα 34: Μεταβολή της γωνίας βήματος που επιβάλλουμε συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου για την επιλεγμένη A/Γ 2.5 MW [D = 100 m] βέλτιστου LCOE.

U [m/s]	ω	Pitch
4.000	0.960	6.000
5.000	0.960	4
6.000	0.960	0.5
7.000	1.120	0.5
8.000	1.280	0.5
9.000	1.440	0.5
10.000	1.600	0.5
10.449	1.600	
11.000	1.600	6.1
12.000	1.600	8.9
13.000	1.600	11
14.000	1.600	12.9
15.000	1.600	14.5
16.000	1.600	16
17.000	1.600	17.5
18.000	1.600	18.8
19.000	1.600	20.1
20.000	1.600	21.4
21.000	1.600	22.6
22.000	1.600	23.8
23.000	1.600	24.9
24.000	1.600	26
25.000	1.600	27.1

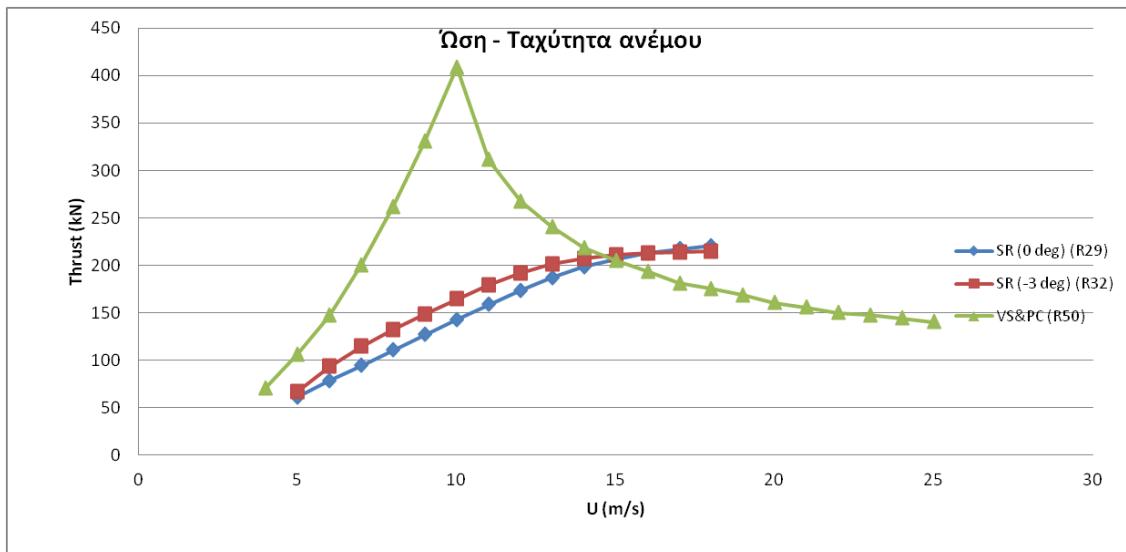
Εικόνα 35: Πίνακας ταχύτητας-ταχύτητας περιστροφής-γωνίας βήματος για την επιλεγμένη A/Γ 2.5 MW [D = 100 m] βέλτιστου LCOE.



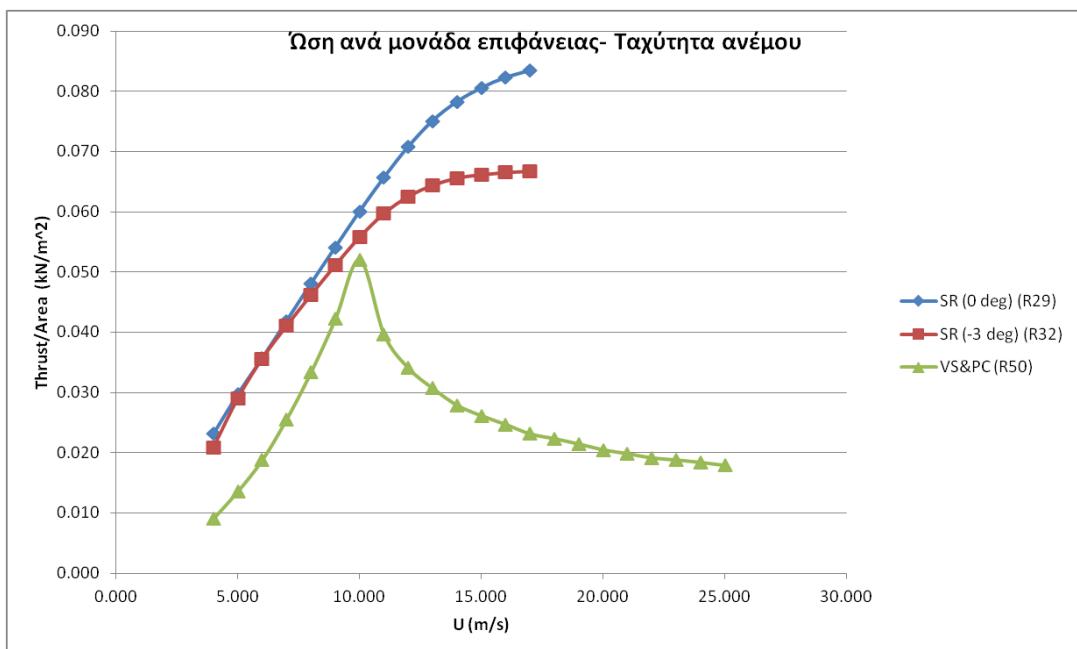
Εικόνα 36: Συγκριτικό διάγραμμα καμπυλών ισχύος συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου για επιλεγμένη A/Γ 2.5 MW [D = 100 m] βέλτιστου LCOE σε σχέση με τις A/Γ 2.75 MW SR [D = {58, 64} m]



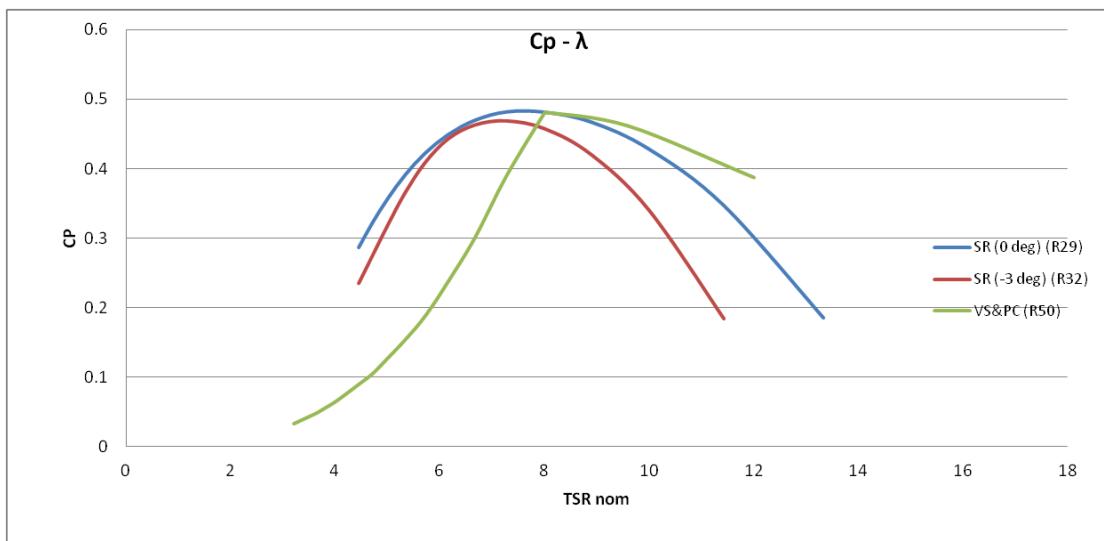
Εικόνα 37: Πραγματικές καμπύλες ισχύος συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου για την επιλεγμένη A/Γ 2.5 MW [D = 100 m] βέλτιστου LCOE βάσει της υπολογισμένης μεταβολής γωνίας βήματος για ρύθμιση ισχύος.



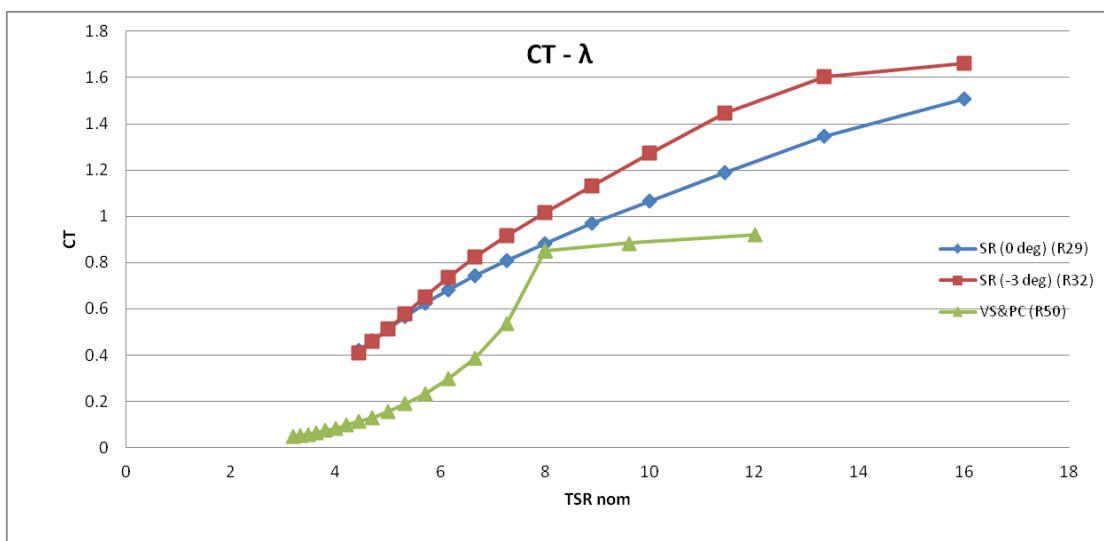
Εικόνα 38: Συγκριτικό διάγραμμα καμπυλών ώσης συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου για επιλεγμένη A/Γ 2.5 MW [D = 100 m] βέλτιστου LCOE σε σχέση με τις A/Γ 2.75 MW SR [D = {58, 64} m]



Εικόνα 39: Συγκριτικό διάγραμμα καμπυλών ώσης ανά μονάδα επιφάνειας του ρότορα συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου για επιλεγμένη A/Γ 2.5 MW [D = 100 m] βέλτιστου LCOE σε σχέση με τις A/Γ 2.75 MW SR [D = {58, 64} m]



Εικόνα 40: Συγκριτικό διάγραμμα καμπυλών $C_p - \lambda$ συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου για επιλεγμένη A/G 2.5 MW [D = 100 m] βέλτιστου LCOE σε σχέση με τις A/G 2.75 MW SR [D = {58, 64} m]

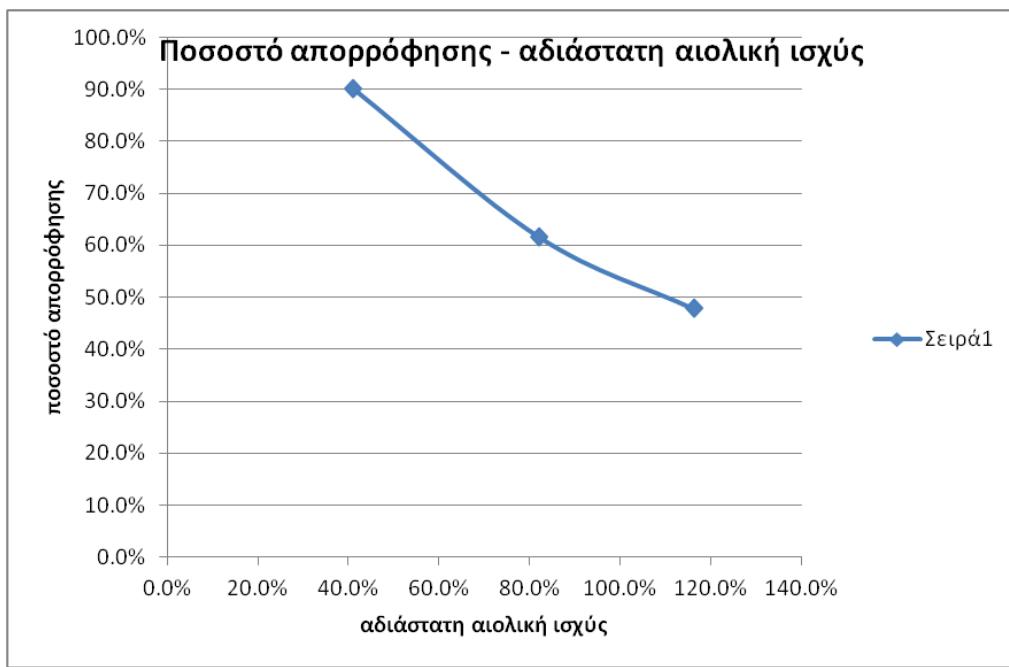


Εικόνα 41: Συγκριτικό διάγραμμα CT-λ συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου για επιλεγμένη A/G 2.5 MW [D = 100 m] βέλτιστου LCOE σε σχέση με τις A/G 2.75 MW SR [D = {58, 64} m]

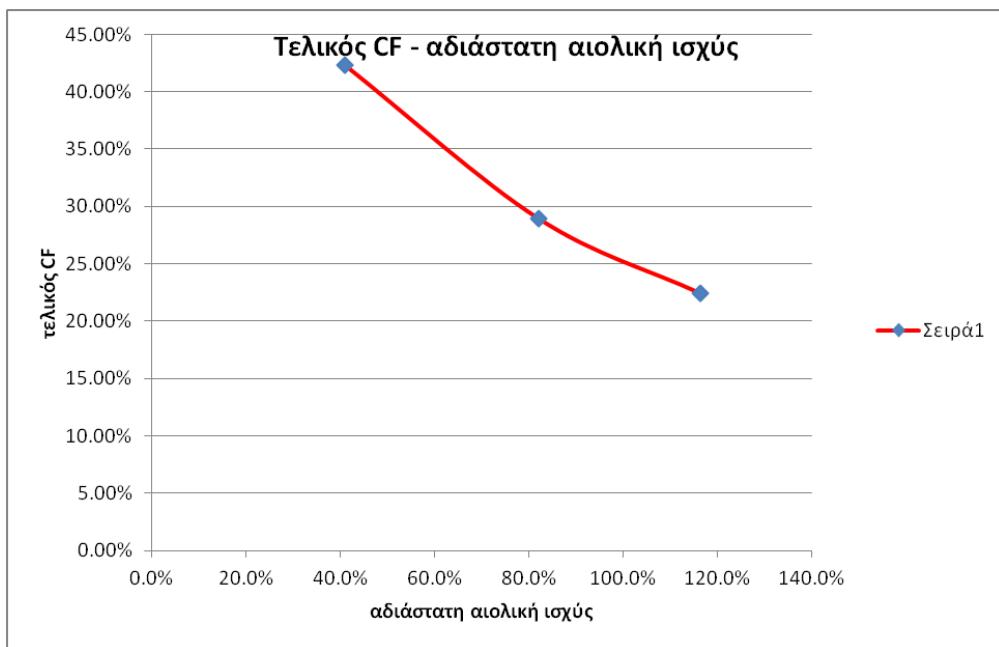
#εγκατεστημένων A/G	αδιάστατη αιολική ισχύς	ποσοστό απορρόφησης	τελικός CF	αιολική ενεργειακή συνεισφορά
6	41.1%	90.1%	42.31%	17.4%
12	82.2%	61.6%	28.93%	23.8%
17	116.5%	47.8%	22.44%	26.1%

Εικόνα 42: Ποσοστό απορρόφησης, τελικός CF, αιολική ενεργειακή συνεισφορά συναρτήσει της αδιάσταστης αιολικής ισχύος (πίνακας)

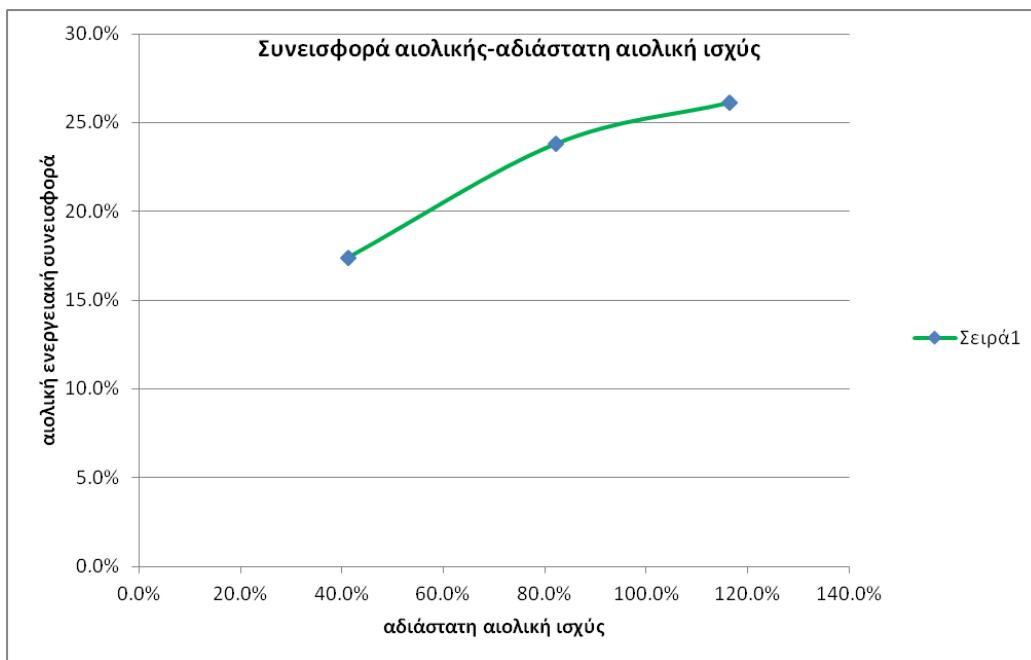
Το οποίο εποπτικά γίνεται:



Εικόνα 43: Διάγραμμα ποσοστού απορρόφησης, τελικού CF, αιολικής ενεργειακής συνεισφοράς συναρτήσει της αδιάσταστης αιολικής ισχύος



Εικόνα 44: Διάγραμμα τελικού CF συναρτήσει της αδιάσταστης αιολικής ισχύος



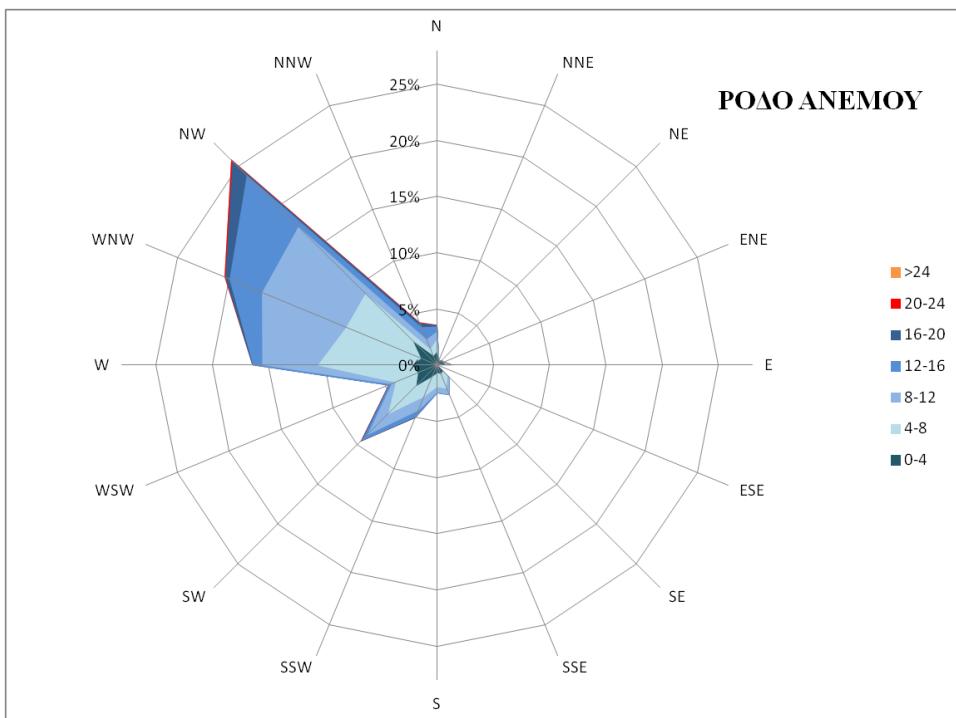
Εικόνα 45: Διάγραμμα αιολικής ενεργειακής συνεισφοράς συναρτήσει της αδιάστασης αιολικής ισχύος

Αδιάστατη αιολική ισχύς 82.2 % [30MW]		
	ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ	ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ
LOLP (%)	0.678%	0.187%
LOEE (MWh)	211.49	54.51
Αδιάστατη αιολική ισχύς 116.5 % [42.5 MW]		
	ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ	ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ
LOLP (%)	0.678%	0.159%
LOEE (MWh)	211.49	46.79

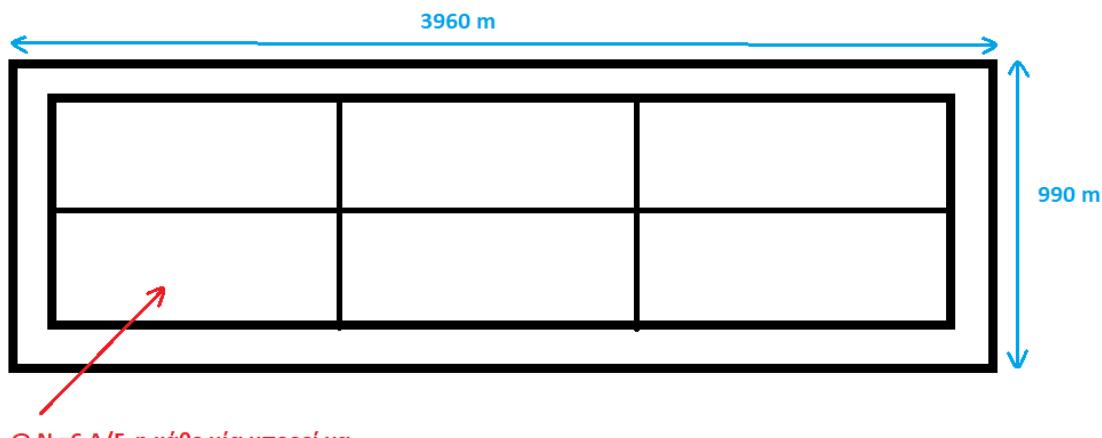
Εικόνα 46: Πίνακας LOLP, LOEE πριν και μετά την εγκατάσταση αιολικών έργων για δύο περιπτώσεις αδιάστατης αιολικής ισχύος

	CAPACITY CREDIT (CC)	
	ELCC [MW]	ΑΙΟΛΙΚΩΝ
Αδιάστατη αιολική ισχύς 82.2 % [30MW]	5.480	18%
Αδιάστατη αιολική ισχύς 116.5 % [42.5MW]	6.177	15%

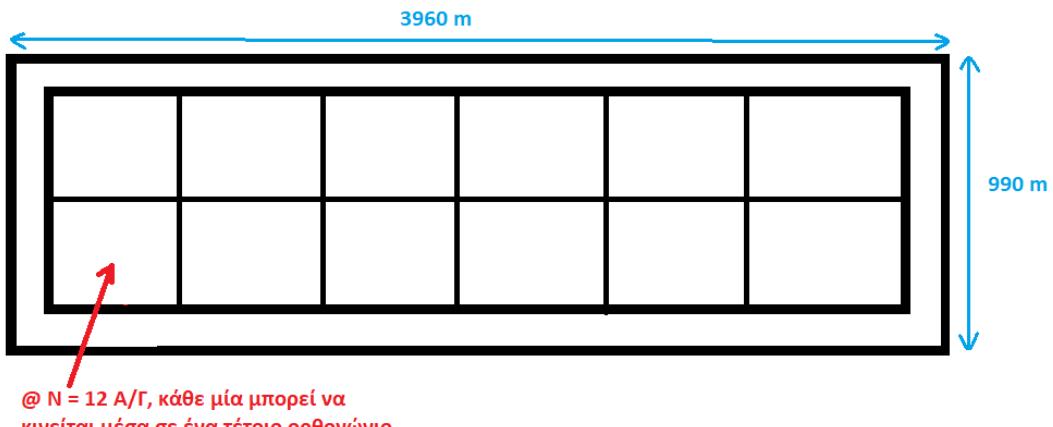
Εικόνα 47: Πίνακας ELCC, CC των αιολικών έργων για δύο περιπτώσεις αδιάστατης αιολικής ισχύος



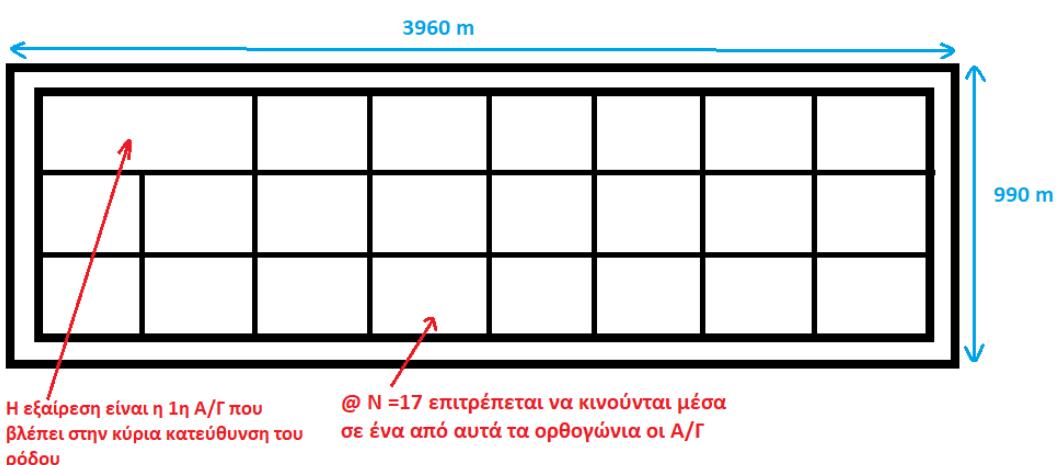
Εικόνα 48: Ρόδο ανέμου βάσει των ανεμολογικών. Ίδια με την εικόνα 1



Εικόνα 49: Διακριτοποίηση του διαθέσιμου χωρίου για την τοποθέτηση της κάθε A/Γ για το λογισμικό EASY (N=6 A/Γ)



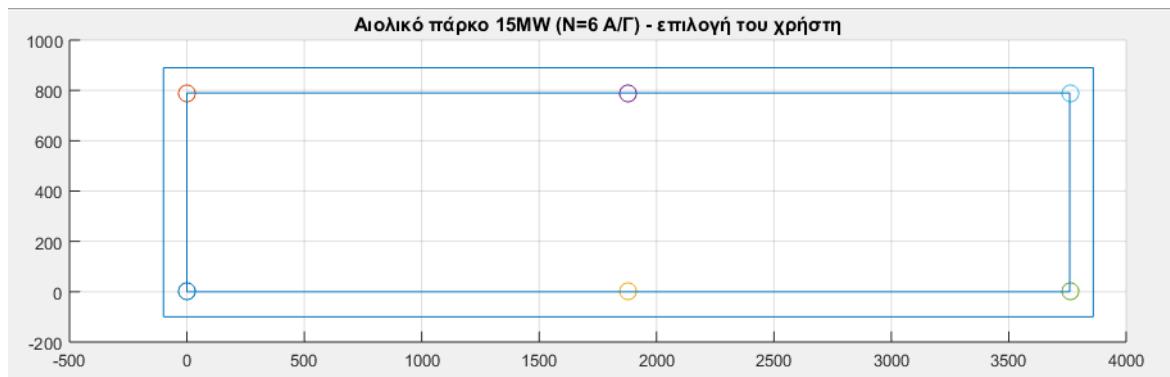
Εικόνα 50: Διακριτοποίηση του διαθέσιμου χωρίου για την τοποθέτηση της κάθε A/Γ για το λογισμικό EASY (N=12 A/Γ)



Εικόνα 51: Διακριτοποίηση του διαθέσιμου χωρίου για την τοποθέτηση της κάθε A/Γ για το λογισμικό EASY (N=17 A/Γ)

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Α/Γ ΣΤΟ ΧΩΡΙΟ	
N = 6 A/Γ (ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΧΡΗΣΤΗ)	
x [m]	y [m]
0	0
0	790
1880	0
1880	790
3760	0
3760	790

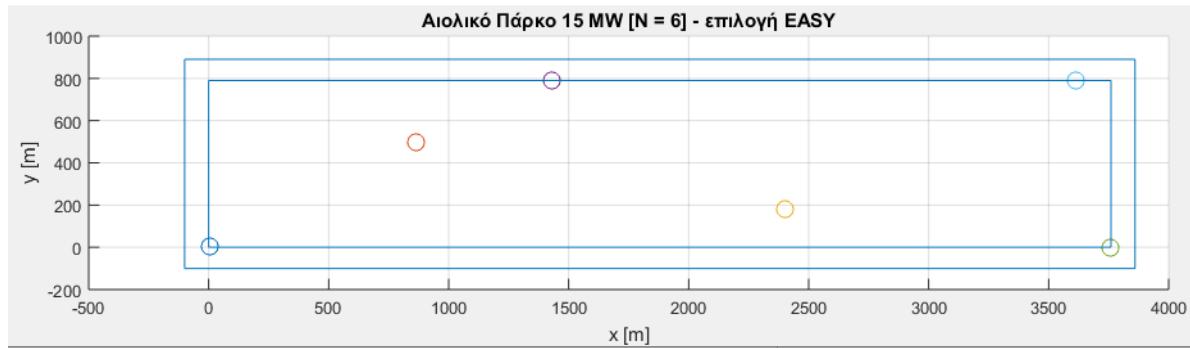
Εικόνα 52: Συντεταγμένες (x,y) μέσα στο διαθέσιμο χωρίο για N =6 A/Γ: επιλογή χρήστη



Εικόνα 53: Χωροθέτηση αιολικού πάρκου για N =6 A/Γ: επιλογή χρήστη

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Α/Γ ΣΤΟ ΧΩΡΙΟ	
N = 6 A/Γ (EASY)	
x [m]	y [m]
6.76	4.04
865.82	498.17
2402.48	181.09
1431.55	790.00
3758.87	0.87
3613.43	789.42

Εικόνα 54: Συντεταγμένες (x,y) μέσα στο διαθέσιμο χωρίο για N =6 A/Γ: επιλογή EASY



Εικόνα 55: Χωροθέτηση αιολικού πάρκου για N =6 A/Γ: επιλογή EASY

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΠΑΡΚΟΥ	CF	η (β.α πάρκου)
2.5 MW (N = 1)	0.475	-
15 MW εκτίμηση	0.467	98.32%
15 MW EASY	0.469	98.74%

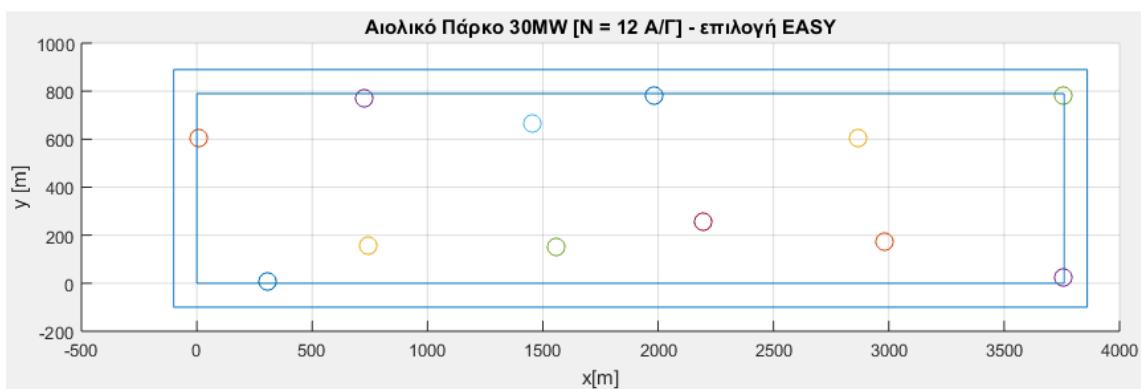
Εικόνα 56: Η διαφορά της επιλογής του σχεδιαστή με ένα λογισμικό βελτιστοποίησης στον β.α

	2.5 MW (N = 1)	15 MW εκτίμηση	15 MW EASY
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ [MWh]	10367.5	61346.91	61686.52
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ Ε.Π. [MWh]	10367.5	62205.00	62205.00
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ [MWh]	-	858.09	518.48

Εικόνα 57: Η διαφορά της επιλογής σχεδιαστή με ένα λογισμικό βελτιστοποίησης στις ενεργ. απώλειες

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Α/Γ ΣΤΟ ΧΩΡΙΟ	
N = 12 Α/Γ (EASY)	
x [m]	y [m]
303.71	6.92
10.30	602.56
742.86	157.16
727.43	768.95
1558.37	148.51
1456.62	664.56
2197.16	255.49
1980.63	779.33
2978.81	173.60
2867.11	606.31
3757.42	21.92
3757.42	780.20

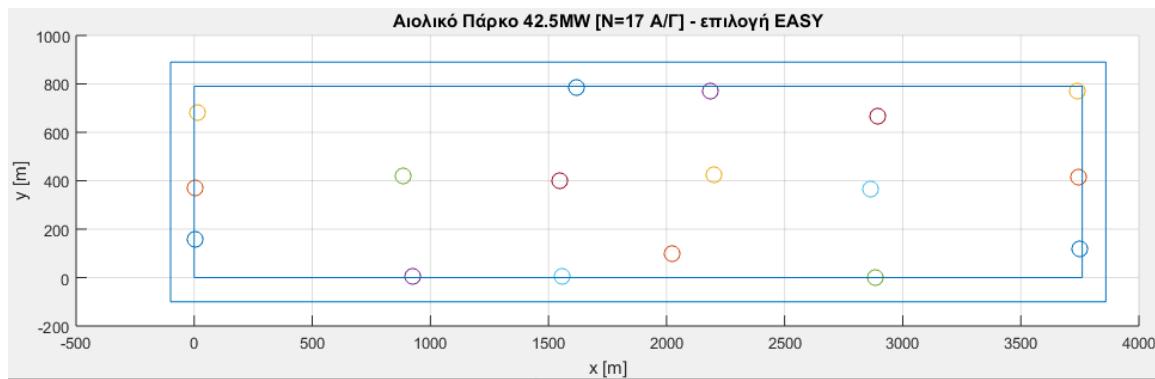
Εικόνα 58: Συντεταγμένες (x,y) μέσα στο διαθέσιμο χωρίο για N =12 Α/Γ: επιλογή EASY



Εικόνα 59: Χωροθέτηση αιολικού πάρκου για N =12 Α/Γ: επιλογή EASY

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Α/Γ ΣΤΟ ΧΩΡΙΟ	
N = 17 Α/Γ (EASY)	
x [m]	y [m]
4.63	157.71
4.63	370.17
13.53	683.16
925.51	4.31
882.98	419.39
1559.62	3.19
1550.03	399.70
1616.33	783.77
2023.19	99.61
2198.00	422.54
2186.73	771.63
2882.95	0.48
2862.11	366.46
2895.87	664.32
3747.76	117.97
3742.61	415.67
3740.04	770.68

Εικόνα 60: Συντεταγμένες (x,y) μέσα στο διαθέσιμο χωρίο για N =17 Α/Γ: επιλογή EASY



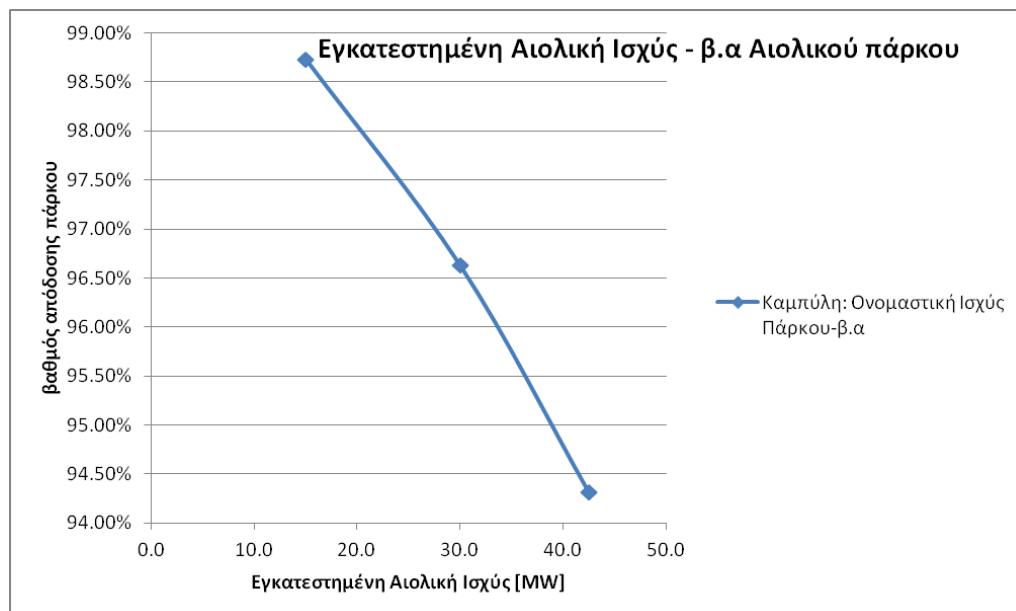
Εικόνα 61: Χωροθέτηση αιολικού πάρκου για N =17 Α/Γ: επιλογή EASY

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΠΑΡΚΟΥ [MW]	CF	η (βέλτιστος β.α πάρκου)
2.5	0.475	100.00%
15.0	0.469	98.74%
30.0	0.459	96.63%
42.5	0.448	94.32%

Εικόνα 62: Τελικοί CF και βαθμοί απόδοσης για κάθε πάρκο ανάλογα με την ονομ. ισχύ του

	2.5 MW (N = 1)	15 MW (N = 6)	30 MW (N =12)	42.5 MW (N = 17)
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ [MWh]	10367.5	61686.52093	120586.647	166798.3622
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ Ε.Π. [MWh]	10367.5	62205	124410	176247.5
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ [MWh]	-	518.479075	3823.352969	9449.137831

Εικόνα 63: Τελικές ενεργειακές απώλειες για κάθε πάρκο ανάλογα με την ονομ. ισχύ του



Εικόνα 64: Διάγραμμα προκύπτοντα β.α. αιολικού πάρκου ανάλογα με την εγκατεστημένη (ονομαστική) αιολική ισχύ [MW]

ΟΙ ΤΡΕΙΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ				
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΠΑΡΚΟΥ [MW]	η (β.α πάρκου λόγω ομόρρου)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ	ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ	IC [th. €]
15.0	98.74%	90.1%	17.4%	23760
30.0	96.63%	61.6%	23.8%	47520.00
42.5	94.32%	47.8%	26.1%	67320

Εικόνα 65: Απαραίτητα δεδομένα για τον υπολογισμό των ζητούμενων οικονομικών δεικτών για τρεις περιπτώσεις ονομαστικής ισχύος αιολικού πάρκου

Capacity factor of WT	Συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας Α/Γ			0.445
Operational cost	Κόστος συντήρησης και λειτουργίας		(%κόστους επένδυσης)	3.0%
Tax	Φόρος		(%)	35%
Depreciation rate	Ρυθμός απόσβεσης		(%)	10.0%
Interest rate	Επιτόκιο δανεισμού		(%)	6%
Pay-back tariff	πιμή πώλησης		(€/kWh)	0.119
Discount rate	Επιτόκιο προεξόφλησης		(%)	8%
Salvage value	Υπολειμματική αξία		(%κόστους επένδυσης)	25%
Wind Farm Availability	Ποσοστό διαθεσιμότητας			98%

Εικόνα 66: Απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό των οικονομικών δεικτών που μένουν σταθερά

Own Capital	Ιδία κεφάλαια	60%
Subsidy	Επιχορήγηση	0%
Loan	Δάνειο	40%

Εικόνα 67: Ποσόστωση των πηγών χρηματοδότησης του έργου.

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΠΑΡΚΟΥ [MW]	IRR	NPV [th. €]	PBP [έτη]	ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ
15.0	19.5%	8818.5	4.66	17.4%
30.0	9.0%	1423.9	7.86	23.8%
42.5	3.4%	-9251.5	9.48	26.1%

Εικόνα 68: Οι Οικονομικοί δείκτες IRR, NPV (χιλιάδες), PBP (έτη) που ζητούνται και είναι απαραίτητοι για μια οικονομική εποπτεία του έργου

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΤΗ MATLAB

```
% ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΓΙΑ ΕΥΡΕΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΝΕΜΟΥ: ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΡΑΠΕΖΙΟΥ

power_avg = 0;
power_avgi = 0;
N = 23; % # διακριτοποίησης ταχυτήτων
density = 1.2; % kg/m^3

dU = ones(1,N); %βήμα ταχύτητας που θεωρείται σταθερά ίσο με 1
% (αυξάνουμε 1 m/sec)
U = 0:23; % το συνολικό πεδίο ταχυτήτων που λαμβάνουμε υπόψιν

f = [0.014609161 0.043575267 0.065207691 0.073783055 0.08175698
0.090797975 0.09103079 0.085520827 0.083153872 0.075761985
0.067710455 0.05896048 0.048852414 0.038104107 0.029683953
0.019226665 0.012339212 0.008245543 0.004636905 0.002948994
0.00166851 0.000931261 0.001493898]; % Η συχνότητα πιθανότητας ανά 1
m/sec

p = 0.5*density*U.^3; %Η ισχύς ανά τιμή ταχύτητας ανέμου ανά μονάδα
%επιφάνειας

for i = 1:N-1

    power_avgi = dU(i)*(f(i)*p(i) + f(i+1)*p(i+1))/2;

    power_avg = power_avg + power_avgi; %μέση ισχύς ανά μονάδα
%επιφάνειας

end
```

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ: FORTRAN & BATCH

(ΠΡ-1): Εύρεση του β για το οποίο έχουμε $\max\{C_{pmax}\}$:

```
task.bat - Notepad
File Edit Format View Help
@echo off
FOR /l %%a in (1,1,22) DO (
    raft.exe
    reader.exe
)
```

```

program reader
    implicit double precision(a-c,o-z)
    dimension f(20)
    open(1,file='aeroin.inp')
    read(1,*) !skip a line (for titles)
    do 1 i=1,3
1     read(1,*)f(i)
    read(1,*) !skip a line (for titles)
    do 2 i =4,14
2     read(1,*)f(i)

    close(1)
    f(15) = f(1) + 1
    open(1,file='aeroin.inp')
        write(1,*)
        write(1,*)f(15)
        write(1,*)"1.225"
        write(1,*)"340.0"
        write(1,*)
        write(1,*)"3"
        write(1,*)"2"
        write(1,*)f(6)
        write(1,*)"0"
        write(1,*)"10.3"
        write(1,*)"40.0"
        write(1,*)"20"
        write(1,*)"1"
        write(1,*)"0"
        write(1,*)"0.1"
        write(1,*)"0.01"
        write(1,*)
        write(1,*)"1 "geomb.inp" "profilb.inp""
        write(1,*)"2 "geomb.inp" "profilb.inp""
        write(1,*)"3 "geomb.inp" "profilb.inp""

    close(1)
end

```

(ΠΡ-2): Εύρεση του βοpt για κάθε ταχύτητα ανέμου

task3.bat - Notepad

File Edit Format View Help

```
@echo off
FOR /l %%a in (1,1,22) DO (
    task.exe
    reader3.exe
)
```

task.bat - Notepad

File Edit Format View Help

```
@echo off
FOR /l %%a in (1,1,31) DO (
    raft.exe
    pitch_processor.exe
)
```

```
program reader3
    implicit double precision(a-c,o-z)
    dimension f(20)
    open(1,file='aeroin.inp')
    read(1,*) !skip a line (for titles)
    do 1 i=1,3
1      read(1,*)f(i)
    read(1,*) !skip a line (for titles)
    do 2 i =4,14
2      read(1,*)f(i)

    close(1)
    f(15) = f(1) + 1
    open(1,file='aeroin.inp')
        write(1,*)
        write(1,*)f(15)
        write(1,*)"1.225"
        write(1,*)"340.0"
        write(1,*)
        write(1,*)"3"
        write(1,*)"2"
        write(1,*)"5"
        write(1,*)"0"
        write(1,*)"10.3"
```

```

        write(1,*)"40.0'
        write(1,*)"20'
        write(1,*)"1'
        write(1,*)"0'
        write(1,*)"0.1'
        write(1,*)"0.01'
        write(1,*)
        write(1,*)"1 "geomb.inp" "profilb.inp"'
        write(1,*)"2 "geomb.inp" "profilb.inp"'
        write(1,*)"3 "geomb.inp" "profilb.inp"

close(1)

end

```

```

program pitch_processor
    implicit double precision(a-c,o-z)
    dimension f(20)
    open(1,file='aeroin.inp')
        read(1,*) !skip a line (for titles)
        do 1 i=1,3
    1      read(1,*)f(i)
        read(1,*) !skip a line (for titles)
        do 2 i =4,14
    2      read(1,*)f(i)

close(1)

f(15) = f(6) + 0.5

open(1,file='aeroin.inp')
    write(1,*)
    write(1,*)f(1)
    write(1,*)"1.225"
    write(1,*)"340.0'
    write(1,*)
    write(1,*)"3'
    write(1,*)"2'
    write(1,*)f(15)
    write(1,*)"0'
    write(1,*)"10.3'
    write(1,*)"40.0'
    write(1,*)"20'
    write(1,*)"1'
    write(1,*)"0'
    write(1,*)"0.1'
    write(1,*)"0.01'
    write(1,*)
    write(1,*)"1 "geomb.inp" "profilb.inp"'
    write(1,*)"2 "geomb.inp" "profilb.inp"'
    write(1,*)"3 "geomb.inp" "profilb.inp"

```

```
    close(1)  
  
end
```

(ΠΡ-3): Εύρεση του β για βέλτιστο έλεγχο ισχύος μετά την ονομαστική ταχύτητα ανέμου

task3.bat - Notepad

```
File Edit Format View Help  
  
@echo off  
FOR /1 %%a in (1,1,22) DO (  
  
task.exe  
  
appender2.exe  
  
erase nom_pitch.dat  
  
creator2.exe  
  
reader3.exe  
  
)
```

task.bat - Notepad

```
File Edit Format View Help  
  
@echo off  
FOR /1 %%a in (1,1,351) DO (  
  
raft.exe  
processorNOM2.exe  
erase loads.dat  
  
pitch_processor2.exe  
  
)
```

```
program processorNOM2  
    implicit double precision(a-c,o-z)  
    dimension f(20)  
    open(1,file='loads.dat')
```

```

    read(1,*)f(6), f(7), f(8) , f(1), f(9), f(2) !Διαβάζουμε τις στήλες που
μας
        !ενδιαφέρουν από το loads.dat
        !το οποίο έχει μία σειρά κάθε τρέξιμο
        ! αφού χτίστηκε το batch file
        !να το σβήνουμε κάθε επανάληψη

close(1)

Dp = f(8)*1000/(0.6125*(f(6)**3)*3.14*(40**2)) ! CP
P_50 = (Dp*0.6125*(f(6)**3)*3.14*(50**2))/1000 ! Ισχύς σε R = 50 m

open(1,file='nom_pitch.dat')

    read(1,*)f(3)
    read(1,*)f(4)
    read(1,*)f(5)
close(1)

open(1,file='nom_pitch.dat')
if (abs(2500-P_50) .lt. abs(2500-f(4))) then
    write(1,*)f(6)
    write(1,*)P_50
    write(1,*)f(7)
    write(1,*)f(1)
    write(1,*)f(9)
    write(1,*)Dp
endif
close(1)

end
program pitch_processor2
implicit double precision(a-c,o-z)
dimension f(20)
open(1,file='aeroin.inp')
    read(1,*) !skip a line (for titles)
    do 1 i=1,3
1      read(1,*)f(i)
    read(1,*) !skip a line (for titles)
    do 2 i =4,14
2      read(1,*)f(i)

close(1)

f(15) = f(6) + 0.1

open(1,file='aeroin.inp')
    write(1,*)
    write(1,*)f(1)
    write(1,*)"1.225"
    write(1,*)"340.0"
    write(1,*)
    write(1,*)"3"

```

```

        write(1,*)"2'
        write(1,*)f(15)
        write(1,*)"0'
        write(1,*)"10.3'
        write(1,*)"40.0'
        write(1,*)"20'
        write(1,*)"1'
        write(1,*)"0'
        write(1,*)"0.1'
        write(1,*)"0.01'
        write(1,*)
        write(1,*)"1 "geomb.inp" "profilb.inp""
        write(1,*)"2 "geomb.inp" "profilb.inp""
        write(1,*)"3 "geomb.inp" "profilb.inp""

close(1)

end

```

```

program appender2
    implicit double precision(a-c,o-z)
    dimension f(20)

    open(1,file='nom_pitch.dat')

    read(1,*)f(1)
    read(1,*)f(2)
    read(1,*)f(3)
    read(1,*)f(4)
    read(1,*)f(5)
    read(1,*)f(6)

    close(1)

    open(1,file='pitch_nom_P.dat',access = 'append',status= 'old')
        write(1,*)f(1), f(2), f(3), f(4), f(5), f(6)

    close(1)

end

```

```

program creator2
    implicit double precision(a-c,o-z)

    open(1,file='nom_pitch.dat')

```

```

        write(1,*)'1'
        write(1,*)'2'
        write(1,*)'3'
        write(1,*)'4'
        write(1,*)'5'
        write(1,*)'6'

close(1)

end
```

```

program reader3
    implicit double precision(a-c,o-z)
    dimension f(20)
    open(1,file='aeroin.inp')
    read(1,*) !skip a line (for titles)
    do 1 i=1,3
1      read(1,*)f(i)
    read(1,*) !skip a line (for titles)
    do 2 i =4,14
2      read(1,*)f(i)

close(1)
    f(15) = f(1) + 1
    open(1,file='aeroin.inp')
        write(1,*)
        write(1,*)f(15)
        write(1,*)"1.225"
        write(1,*)"340.0"
        write(1,*)
        write(1,*)"3"
        write(1,*)"2"
        write(1,*)"5"
        write(1,*)"0"
        write(1,*)"10.3"
        write(1,*)"40.0"
        write(1,*)"20"
        write(1,*)"1"
        write(1,*)"0"
        write(1,*)"0.1"
        write(1,*)"0.01"
        write(1,*)
        write(1,*)"1 "geomb.inp" "profilb.inp""
        write(1,*)"2 "geomb.inp" "profilb.inp""
        write(1,*)"3 "geomb.inp" "profilb.inp""

close(1)

end
```

ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ EASY

 task.bat - Notepad
File Edit Format View Help
echo off
processorWT.exe
erase results.dat
wake.exe
postprocessorWT.exe

Kai ta προγράμματα égyvav σe FORTRAN:

```
program postprocessorWT
    implicit double precision(a-h,o-z)
    dimension f(20)
    open(1,file='results.dat')

    read(1,*) !skip a line (for titles)
    read(1,*)f(1)

    close(1)

    open(1,file='task.res')
        write(1,*)-f(1)      ! (an arnhtiko(max -> min))

    close(1)

end
```

```
program processorWT
    implicit double precision(a-h,o-z)
    dimension f(20)
    open(1,file='task.dat')

    read(1,*) !skip a line (for titles)
    do 1 i = 1,12
        1 read(1,*)f(i)

    close(1)

    open(1,file='task.dat')
        write(1,*)"6"
        write(1,*)f(1), f(2)
        write(1,*)f(3), f(4)
        write(1,*)f(5), f(6)
        write(1,*)f(7), f(8)
        write(1,*)f(9), f(10)
        write(1,*)f(11), f(12)
```

```
close(1)
end
```

[MATLAB] ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PLOT ΤΗΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ

ΔΙΝΕΤΑΙ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ N = 12 Α/Γ:

```
COORDS = [ 303.70869990225 6.9208211143695
           10.295210166178 602.56109481916
           742.8633431085 157.16031280547
           727.43401759531 768.94916911046
           1558.3683284457 148.50928641251
           1456.6181818182 664.56011730205
           2197.1634408602 255.49364613881
           1980.6344086022 779.33040078201
           2978.8142717498 173.5972629521
           2867.1083088954 606.30987292278
           3757.4242424242 21.915933528837
           3757.4242424242 780.19550342131]; %λαμβάνονται οι τιμές από το αποτέλεσμα του EASY

hold on

for i = 1:12
    x = COORDS(i,1);
    y = COORDS(i,2);

    scatter(x,y,100); % plot-άρουμε τις Α/Γ με την ακριβή τους διάμετρο (100m) μέσα στο χώρο που μας έχει δοθεί.

end

y =0;
line([0,3760],[y,y])

y =790;
line([0,3760],[y,y])

y =-100;
line([-100,3860],[y,y])

y =890;
line([-100,3860],[y,y])

x=0;
line([x,x],[0,790])

x=3760;
line([x,x],[0,790])

x=-100;
line([x,x],[-100,890])

x=3860;
line([x,x],[-100,890])
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: CONFIGURATION TOY E.A.SY ΓΙΑ ΤΟ ΕΠ. 5

Search Engine: Evolutionary Algorithm

General Hierarchical Distributed Convergence Population Operators IPE

Convergence criteria

Maximum generations	3,000	Maximum idle generations	20
Maximum evaluations	5,000	Maximum idle evaluations	1,000

Search Engine: Evolutionary Algorithm

General Hierarchical Distributed Convergence Population Operators IPE

Parents and offspring

Parent population size	60	Offspring population size	180
Max life span	0	Parents of one offspring	2

Elitism

Elite archive size	1
Elite indiv. to force as new offspring	1
Probability to select an elite	0.1

Parent Selection

Tournament size	3	Tournament prob.	0.9
-----------------	---	------------------	-----

Search Engine: Evolutionary Algorithm

General Hierarchical Distributed Convergence Population Operators IPE

Parents and offspring

Parent population size	60	Offspring population size	180
Max life span	0	Parents of one offspring	2

Elitism

Elite archive size	1
Elite indiv. to force as new offspring	1
Probability to select an elite	0.1

Parent Selection

Tournament size	3	Tournament prob.	0.9
-----------------	---	------------------	-----

Search Engine: Evolutionary Algorithm

General Hierarchical Distributed Convergence Population Operators IPE

IPE: Basic settings

Metamodel type RBF

Exact ev. min 2 max 8 IPE pause gen. 15 Min. DB entries 100 not failed 50
Training pat. min 20 max 40 Proximity factor 1.4 IF relaxation 0.4 RBF-Radius 1 Auto

Use failed patterns Use PCA for IFs Not failed pat. 10
Allow extrapolation Non dimensionalize Failed obj. multiplier 5 Maximum DB perc. 1

Prediction mode Auto

GRBFN

Min #Centers 2 max # 120 Radius multiplier 0.5
Testset-to-total ratio 0.3 Idle iterations 10 Learn rate ratio 0.1

ΤΕΛΟΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΩΝ
