

Ανανεώσιμη Ενέργεια και Υδροηλεκτρικά Έργα

Αιολική ενέργεια – Ηλιακή ενέργεια – Βιομάζα



Νίκος Μαμάσης, Α. Ευστρατιάδης και Δ. Κουτσογιάννης
Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Αθήνα 2018

Εισαγωγή

Ενεργειακό μείγμα Ελλάδας το 2017

	Ισχύς (MW)	Συμμετοχή (%)	Ενέργεια (GWh)	Συμμετοχή (%)	CF
Λιγνιτικά	3912	22,8	17591	38,6	0,51
Φυσικό αέριο	4986,2	29,0	16361	35,9	0,37
Υδροηλεκτρικά	3130,6	18,2	2476	5,4	0,09
ΑΠΕ	5159,6	30,0	9110	20,0	0,20
Σύνολο	17188,4	100,0	45538	100,0	0,30
Εισαγωγές			8907		
Εξαγωγές			2845		
Ζήτηση			51600		

ΑΠΕ το 2017

	Αιολικά	Φ/Β	Φ/Β στέγες	ΜΥΕ	Βιομάζα	ΣΗΘΥΑ
Ισχύς (MW)	2322,2	2094	351,1	231	61	100
Συμμετοχή (%)	45,0	40,6	6,8	4,5	1,2	1,9

Εισαγωγή

Παραγωγή από ΑΠΕ (2015)

ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (ΜW) & ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (GWh) ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΕ&ΣΗΘΥΑ για το έτος 2015

Μήνας	Αιολικά		Φ/Β		Φ/Β Στέγες **		ΜΥΗΣ		Βιοαέριο-Βιομάζα		ΣΗΘΥΑ & Κατανεμόμενες ΣΗΘΥΑ		Σύνολο	
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
Ιαν	1.662	356	2.087	170	375	31	220	69	47	19	229	119	4.620	764
Φεβ *	1.664	369	2.092	165	375	21	220	77	47	17	230	108	4.628	757
Μαρ	1.664	321	2.092	219	375	23	220	102	47	19	230	120	4.628	804
Απρ	1.718	291	2.092	318	375	29	221	101	48	18	230	113	4.684	870
Μάι	1.738	227	2.092	340	375	41	223	78	49	18	230	108	4.707	812
Ιουν *	1.751	274	2.092	321	375	43	224	47	49	18	230	102	4.721	804
Ιουλ	1.767	341	2.092	375	375	52	224	37	49	18	230	102	4.737	925
Αυγ	1.767	384	2.092	350	375	53	224	29	49	18	230	102	4.737	936
Σεπ	1.767	251	2.092	287	375	63	224	27	50	18	230	98	4.738	744
Οκτ *	1.768	374	2.092	222	375	51	224	46	51	19	230	112	4.740	823
Νοε	1.772	356	2.093	211	375	46	224	43	51	19	230	108	4.745	783
Δεκ	1.775	313	2.093	195	375	41	224	52	52	20	230	117	4.748	738
Σύνολο Έτους	1.775	3.856	2.093	3.171	375	494	224	707	52	222	230	1.309	4.748	9.760

* Μήνες εκκαθάρισης για τα Φ/Β Χαμηλής Τάσης.

** Συμπεριλαμβάνονται και τα στοιχεία των Φ/Β στεγών στα ΜΔΝ.

Εισαγωγή

Παραγωγή από ΑΠΕ στο διασυνδεδεμένο σύστημα (2015)

Αιολικά

Μήνας	Ενέργεια (MWh)	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Συντελεστής Φόρτισης (%)
Ιανουάριος	355.870	1661,72	28,78%
Φεβρουάριος	368.531	1664,12	32,95%
Μάρτιος	320.847	1664,12	25,91%
Απρίλιος	291.088	1717,92	23,53%
Μάιος	227.362	1737,92	17,58%
Ιούνιος	274.064	1750,92	21,74%
Ιούλιος	341.165	1767,07	25,95%
Αύγουστος	383.965	1767,07	29,21%
Σεπτέμβριος	250.956	1767,07	19,72%
Οκτώβριος	374.285	1768,07	28,45%
Νοέμβριος	355.506	1772,07	27,86%
Δεκέμβριος	312.523	1774,62	23,67%
Σύνολο	3.856.163		

ΜΥΗΣ

Μήνας	Ενέργεια (MWh)	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Συντελεστής Φόρτισης (%)
Ιανουάριος	68.996	219,75	42,20%
Φεβρουάριος	77.439	219,75	52,44%
Μάρτιος	101.991	219,75	62,38%
Απρίλιος	100.683	220,78	63,34%
Μάιος	77.512	222,78	46,77%
Ιούνιος	47.072	223,53	29,25%
Ιούλιος	36.830	223,53	22,15%
Αύγουστος	28.580	223,53	17,19%
Σεπτέμβριος	27.018	223,53	16,79%
Οκτώβριος	45.728	223,53	27,50%
Νοέμβριος	43.056	223,53	26,75%
Δεκέμβριος	52.142	223,53	31,35%
Σύνολο	707.037		

Βιομάζα

Μήνας	Ενέργεια (MWh)	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Συντελεστής Φόρτισης (%)
Ιανουάριος	19.101	47,44	54,12%
Φεβρουάριος	16.851	47,44	52,78%
Μάρτιος	18.839	47,44	53,38%
Απρίλιος	18.316	47,94	53,07%
Μάιος	18.273	48,89	50,24%
Ιούνιος	17.817	49,19	50,31%
Ιούλιος	18.219	49,19	49,79%
Αύγουστος	18.490	49,19	50,53%
Σεπτέμβριος	17.633	50,18	48,80%
Οκτώβριος	18.874	51,18	49,56%
Νοέμβριος	19.387	51,18	52,61%
Δεκέμβριος	20.051	51,58	52,25%
Σύνολο	221.851		

Φ/Β

ΜΗΝΑΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MWh)	ΙΣΧΥΣ (MW)		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (%) (**)
		ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑΙΟΠΟΙΗΜΕΝΗ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ	
Ιανουάριος	169.872,27	3.082	2.087,42	10,94%
Φεβρουάριος*	164.989,25	3.082	2.091,82	11,74%
Μάρτιος	218.546,71	3.082	2.092,06	14,04%
Απρίλιος	318.469,19	3.082	2.092,06	21,14%
Μάιος	339.542,55	3.082	2.092,06	21,81%
Ιούνιος*	320.584,15	3.082	2.092,06	21,28%
Ιούλιος	374.984,89	3.082	2.092,06	24,09%
Αύγουστος	350.055,00	3.082	2.092,06	22,49%
Σεπτέμβριος	286.558,00	3.083	2.091,97	19,02%
Οκτώβριος*	221.592,31	3.083	2.092,07	14,24%
Νοέμβριος	210.832,05	3.083	2.092,56	13,99%
Δεκέμβριος	195.219,29	3.083	2.093,02	12,54%
ΣΥΝΟΛΟ (MWh)	3.171.245,67			

* Μήνες εκκαθαριστικών λογαριασμών για τα Φ/Β ΧΤ

Αιολική ενέργεια

Αιολική ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου

- Χρησιμοποιείται από την αρχαιότητα στη ναυσιπλοΐα
- Πρόκειται για ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με ανεξάντλητη και χωρίς κόστος πρώτη ύλη που δεν ρυπαίνει το περιβάλλον
- Αξιοποιείται στην παραγωγή μηχανικής (αλευρόμυλοι, άντληση νερού, αποστράγγιση) και ηλεκτρικής (ανεμογεννήτριες) ενέργειας

Το όνομα προέρχεται από την ελληνική μυθολογία. Ο Αίολος είχε οριστεί από τον Δία κλειδοκράτορας των ανέμων και τους προκαλούσε ή τους σταματούσε κατά βούληση. Οι οκτώ άνεμοι ήταν: Βορέας, Καικίας, Απηλιώτης, Εύρος, Νότος, Λιψ, Ζέφυρος, Σκίρων

‘Κατόπιν φτάσαμε σε ένα νησί, την Αιολία, ένα νησί που ζούσε ο Αίολος, γιός του Ιπποτάδη, φίλος των αθάνατων θεών. Το νησί ήταν πλωτό ζωσμένο από άρρηκτα χάλκινα τείχη, που υψώνονταν κατακόρυφα στα βράχια’ (Οδύσσεια 10.1)

Αιολική ενέργεια

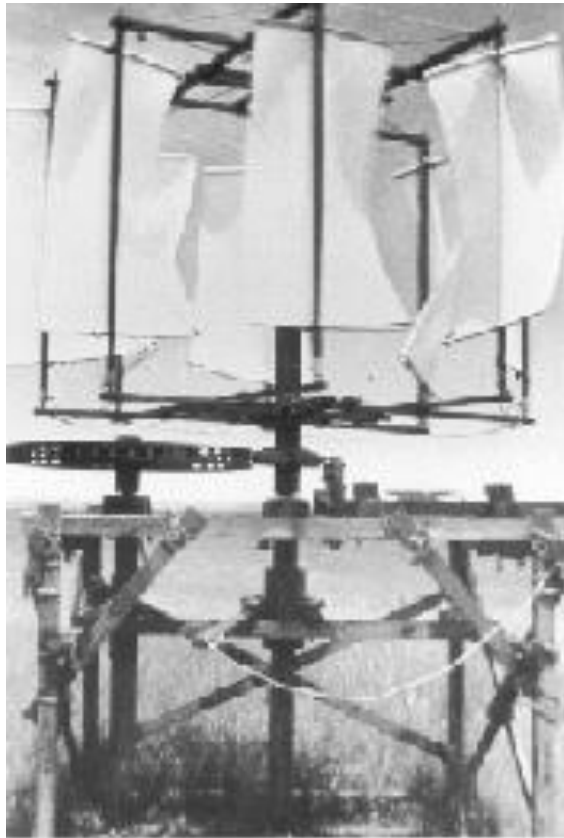
Η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου

- Η πρώτη χρήση αιολικής ενέργειας έγινε στη ναυσιπλοΐα, ενώ οι πρώτοι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν για άλεσμα δημητριακών και άντληση νερού.
- Οι αρχαιότεροι ανεμόμυλοι (κατακόρυφου άξονα) κατασκευάστηκαν στην Περσία τον 6^ο έως τον 9^ο αιώνα μ.Χ., ενώ η πρώτη γραπτή αναφορά γίνεται στην Κίνα τον 13^ο αιώνα μ.Χ.
- Στην Ευρώπη αναπτύχθηκαν διάφορα είδη ανεμόμυλου (οριζόντιου άξονα) από τον 13^ο αιώνα – πιθανόν οι νερόμυλοι να αποτέλεσαν πρότυπο για την κατασκευή τους.
- Το 17^ο αιώνα η ‘τεχνολογία’ μεταφέρεται στην Αμερική όπου οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για άντληση νερού.
- Στην Ελλάδα (ειδικότερα στο Αιγαίο) η χρήση ανεμόμυλων χρονολογείται από το 13ο αιώνα. Το 1960 υπήρχαν 10 000 ανεμόμυλοι στο Οροπέδιο Λασιθίου, 2500 στην υπόλοιπη Κρήτη, και 600 στη Ρόδο.
- Ο πρώτος ανεμόμυλος για παραγωγή ηλεκτρισμού κατασκευάστηκε το 1888 στο Cleveland του Ohio. Είχε διάμετρο περωτής 17 μέτρα και ισχύ 12 kW.
- Σήμερα, η Δανία, χώρα πλούσια σε αιολικό δυναμικό, έχει τα πρωτεία στην κατασκευή αλλά και στην χρήση ανεμογεννητριών.
- Σήμερα, κατασκευάζονται αιολικές μηχανές της τάξης των 7 MW.

Αιολική ενέργεια

Ιστορική αναδρομή

Αντίγραφο του πρώτου
Περσικού μύλου



Μεσογειακός



Αμερικάνικος
(18^{ος} αιώνας)



Αιολική ενέργεια

Ιστορική αναδρομή

Δανικός



Ολλανδικός

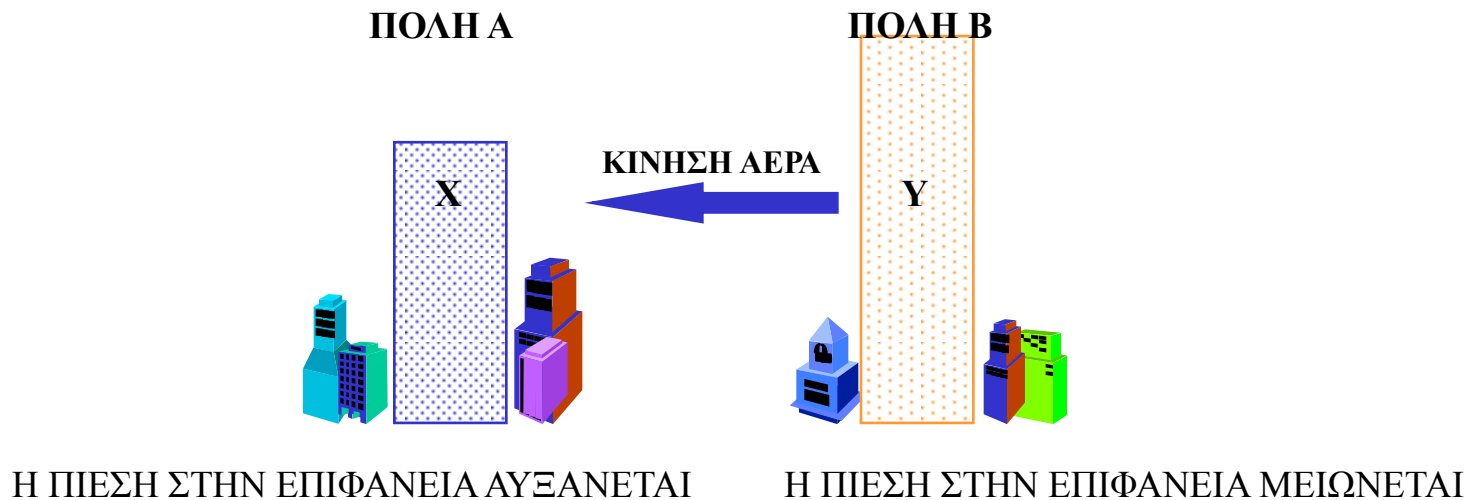
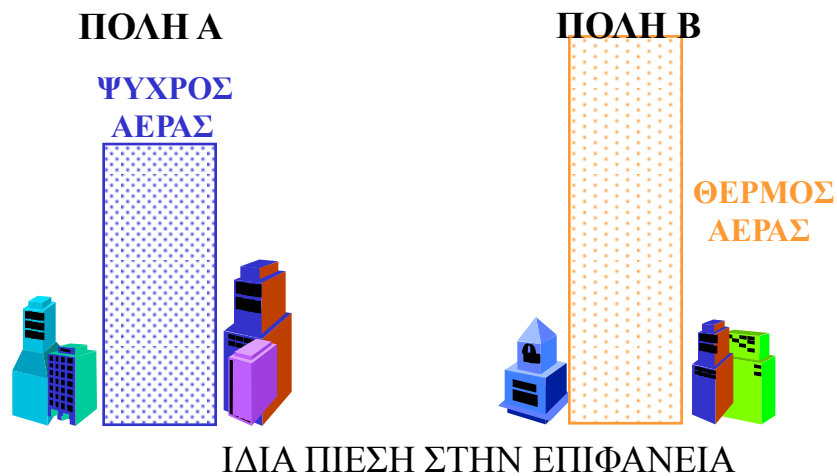
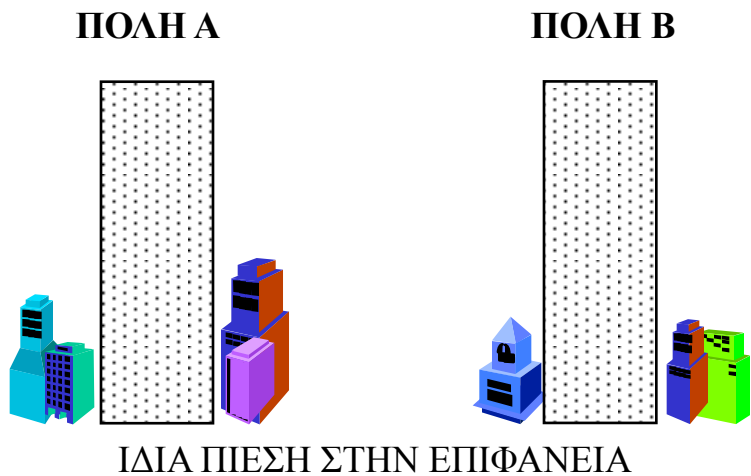


Αγγλικός



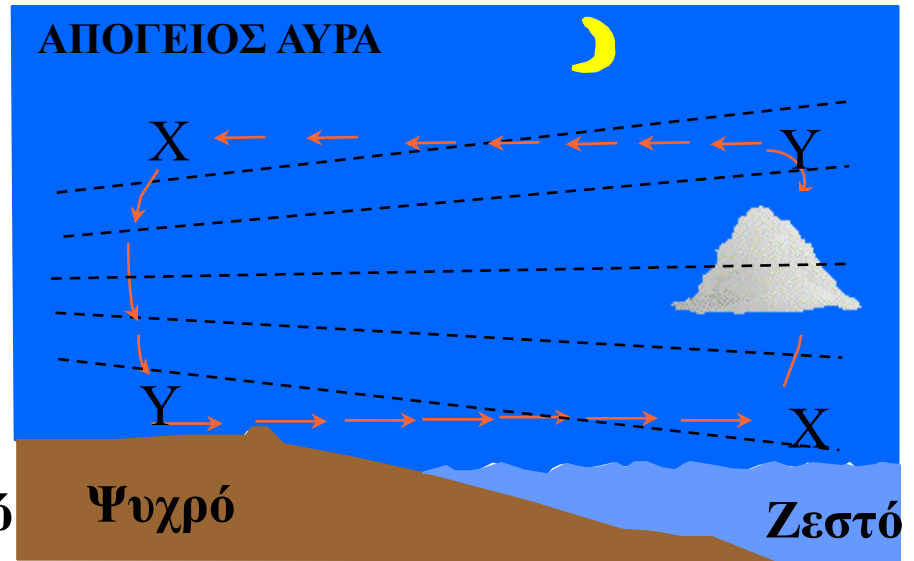
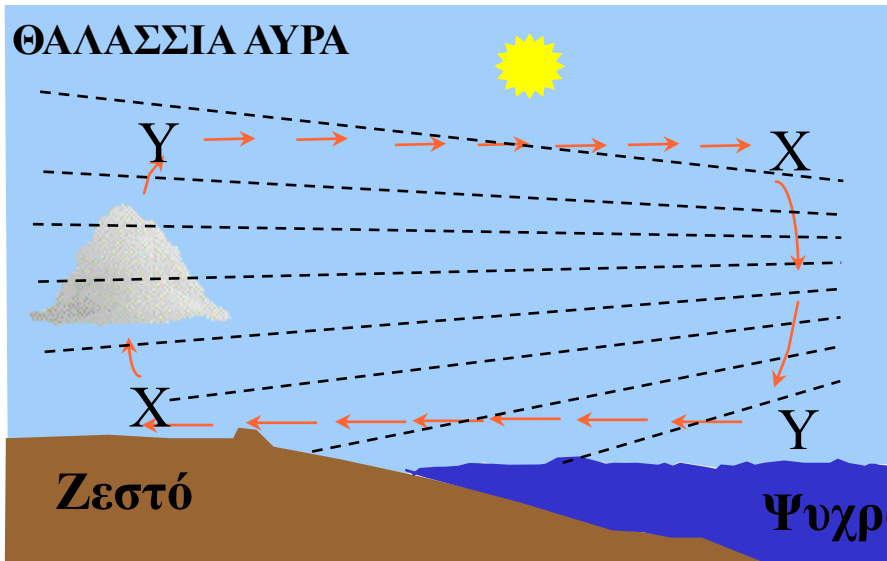
Αιολική ενέργεια

Δημιουργία ανέμων

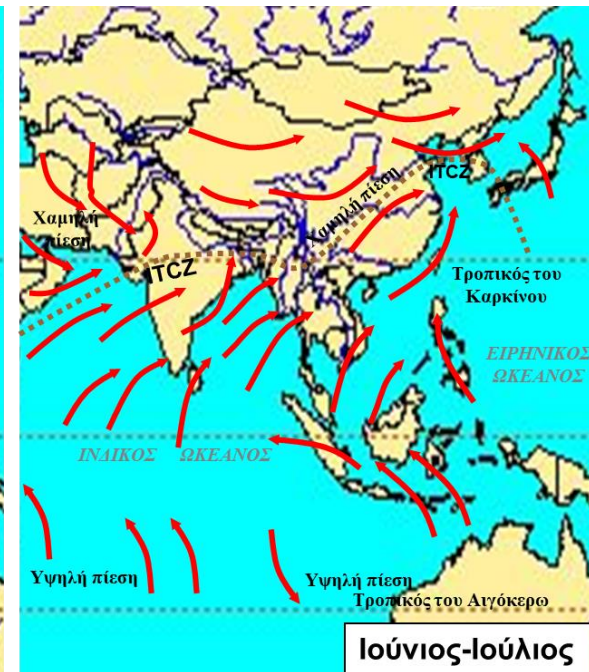
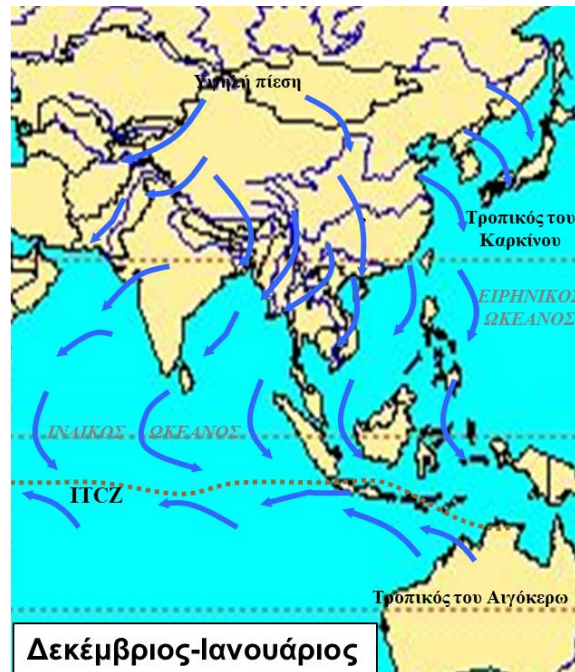
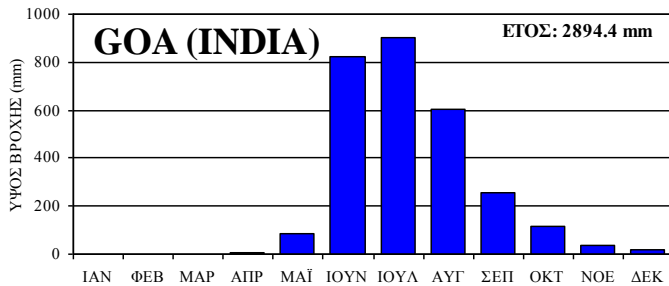


Αιολική ενέργεια

Δημιουργία ανέμων



Μουσώνες



Αιολική ενέργεια

Ταχύτητα ανέμου

Κλίμακα BEAUFORT

		Ταχύτητα ανέμου		
B	<i>Χαρακτηρισμός</i>	<i>m/s</i>	<i>km/h</i>	<i>κόμβοι</i>
0	Άπνοια	0-0.2	< 1	< 1
1	Σχεδόν άπνοια	0.3-1.5	1-5	< 1
2	Πολύ ασθενής	1.6-3.3	6-11	4-6
3	Ασθενής	3.4-5.4	12-19	7-10
4	Σχεδόν μέτριος	5.5-7.9	20-28	11-16
5	Μέτριος	8.0-10.7	29-38	17-21
6	Ισχυρός	10.8-13.8	39-49	22-27
7	Πολύ ισχυρός	13.9-17.1	50-61	28-33
8	Θυελλώδης	17.2-20.7	62-74	34-40
9	Πολύ θυελλώδης	20.8-24.4	75-88	41-47
10	Θύελλα	24.5-28.4	89-102	48-55
11	Ισχυρή θύελλα	28.5-32.6	103-117	56-63
12	Τυφώνας	≥ 32.7	≥ 118	≥ 64

Ταχύτητες τροπικών κυκλώνων

ΗΠΑ

Κατηγορία	Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (km/h)
1	117-153
2	154-177
3	178-209
4	210-249
5	> 249

Αυστραλία

Κατηγορία	Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (km/h)
1	< 125
2	125 - 170
3	170 - 225
4	225 - 280
5	> 280

Αιολική ενέργεια

Περιστατικά θυελλωδών ανέμων στην Ελλάδα

Ημερομηνία	Περιοχή	Μέγεθος	Παρατηρήσεις
21/7/1983	Θεσσαλονίκη	150 km/h > 12 B	
14-15/7/1985	Αιγαίο	11 B	
11/1/1987	Σαρωνικός	150 km/h > 12 B	Ανθρώπινα θύματα
6/1/1993	Κύθηρα	12 B	
30/1/1994	Αιγαίο	12 B	
25-26/3/1998	Αττική	12 B	Καταστροφές
14/1/2001	Αττική	12 B	Πτώση ελικοπτερου
1-2/12/2001	Νότιο Αιγαίο	12 B	
6-7/2/2003	Δωδεκάνησα	11 B	
17/3/2003	Πελοπόννησος	12 B	
17/12/2003	Αιγαίο	11 B	
22/1/2004	Λήμνος	150 km/h 14 B	

Πηγή: Γ. Μελανίτης, Ο καιρός και τα μυστικά του

Αιολική ενέργεια

Αιολικές μηχανές

Υπεράκτια αιολικά πάρκα

Οριζοντίου
άξονα



Κατακορύφου
άξονα



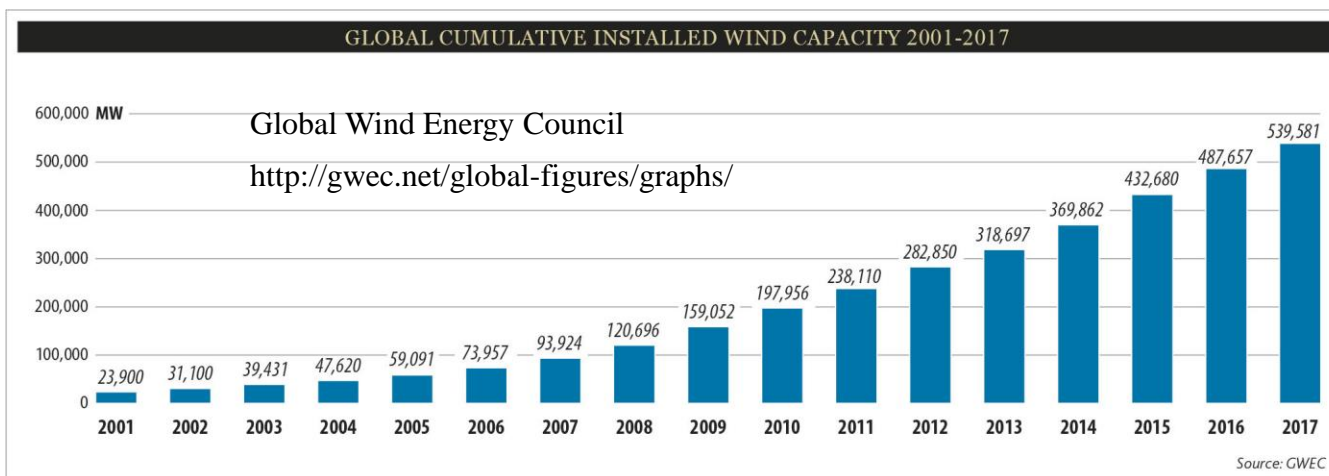
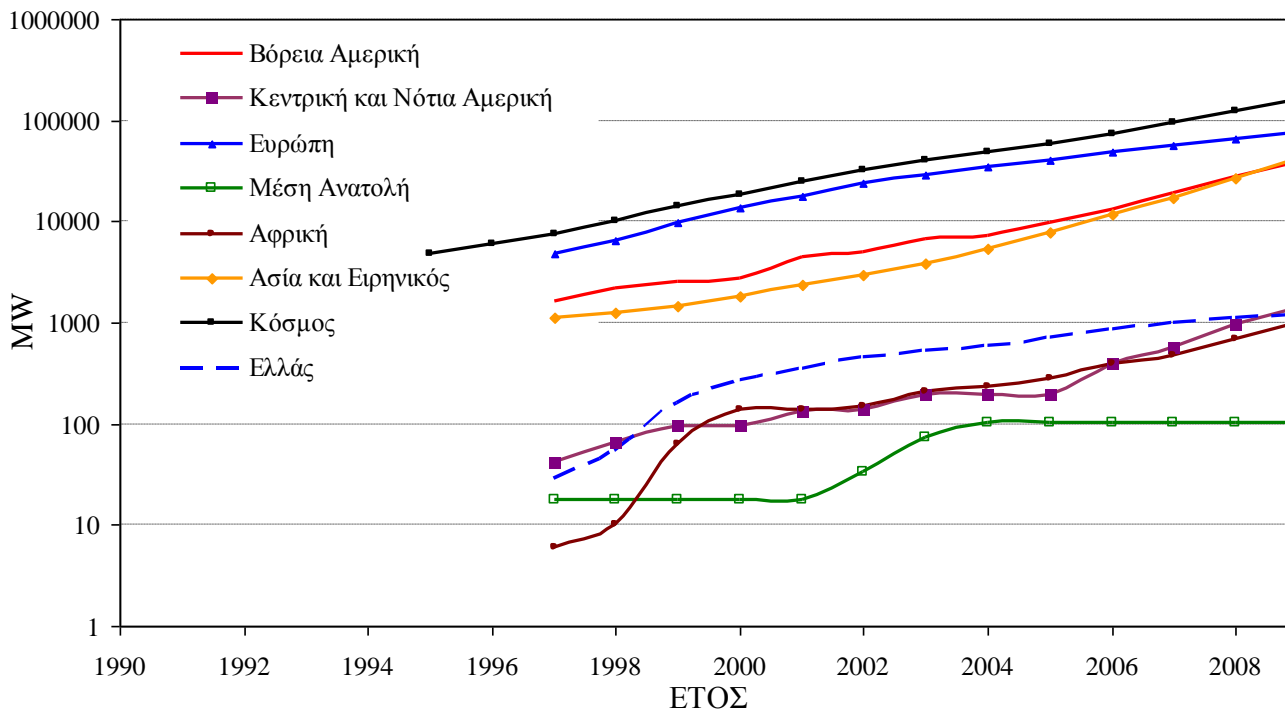
Αιολική ενέργεια

Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

- Ανεξαρτησία από ορυκτά καύσιμα
- Ιδιαίτερα φιλική στο περιβάλλον, με αμελητέες επιδράσεις στην πανίδα και ελάχιστες απαιτήσεις γης
- Τεχνολογικά ώριμη, οικονομικά ανταγωνιστική, γρήγορη και τυποποιημένη συναρμολόγηση και εγκατάσταση
- Χαμηλό λειτουργικό κόστος
- Βοηθά στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος μειώνοντας απώλειες μεταφοράς ενέργειας
- Η απρόβλεπτη **διακύμανση ενέργειας**
- Η κατασκευή μεγάλων οδικών έργων σε απρόσιτες περιοχές.
- Ο εκπεμπόμενος **θόρυβος** που προέρχεται από τα περιστρεφόμενα μηχανικά τμήματα και από την περιστροφή των πτερυγίων.
- Η **οπτική όχληση** είναι κάτι υποκειμενικό. Δεδομένου ότι οι ανεμογεννήτριες είναι ορατές από απόσταση, πρέπει να γίνεται προσπάθεια ενσωμάτωσης τους στο τοπίο.
- Η **επίδραση στις γεωργικές και κτηνοτροφικές** δραστηριότητες (το 99% της γης που φιλοξενεί αιολικά πάρκα είναι διαθέσιμο για άλλες χρήσεις).
- Το ποσοστό των **πουλιών που σκοτώνονται** ετησίως από πρόσκρουση σε ανεμογεννήτριες είναι ασήμαντο. Πάντως θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη χωροθέτηση τυχόν προστατευόμενες περιοχές και να εξετάζεται η τοποθέτηση συστήματος υπερήχων

Αιολική ενέργεια

Χρονική εξέλιξη εγκατεστημένης αιολικής ισχύος (MW) σε διάφορες περιοχές



Αιολική ενέργεια
Αισθητική αιολικών μηχανών
Aero Art Project -Γερμανία



Whirlers, Staten Island ΗΠΑ



Αιολική ενέργεια

Χαρακτηριστικά μεγέθη αιολικών μηχανών

Διάμετρος πτερωτής D : Μια τυπική μηχανή 1 MW έχει διάμετρο πτερωτής $D = 55$ m

Ύψος τοποθέτησης H : Συνήθως ισχύει $1.0 < H/D < 2.0$.

Πλήθος πτερυγίων: Έχουν επικρατήσει οι αιολικές μηχανές με 3 πτερύγια. Με λιγότερα πτερύγια (2 ή 1) απαιτείται μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής για το ίδιο ενεργειακό αποτέλεσμα που συνεπάγεται περισσότερο θόρυβο και φθορές, με μόνο πλεονέκτημα το μικρότερο κόστος.

Είδος πτερυγίων (πάχος, υλικό): Οι πολύ συμπαγείς πτερωτές (πολλά ή φαρδιά πτερύγια) σημαίνει ότι ξεκινάνε τη λειτουργία τους με μικρές ταχύτητες ανέμου αλλά θα πρέπει να βγαίνουν εκτός λειτουργίας στις μεγάλες ταχύτητες. Κλασικό παράδειγμα τέτοιων ανεμομύλων αποτελούν οι αμερικανικοί του 18^{ου} αιώνα οι οποίοι αντλούσαν σταθερά μικρή ποσότητα νερού όλο το χρόνο.

Ονομαστική ταχύτητα περιστροφής: Συνδέεται με παράγοντες όπως η συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου και η αντοχή των πτερυγίων σε φυγόκεντρες τάσεις.

Συντελεστής ισχύος C : Υπολογίζεται από το πηλίκο της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την εισερχόμενη ενέργεια του αέρα. Ουσιαστικά είναι ο αεροδυναμικός βαθμός απόδοσης πτερωτής και έχει μέγιστο όριο την τιμή $C \leq 16/27 = 0.593$ (όριο Betz, 1919). Πρακτικά στην περίπτωση καλού σχεδιασμού ο συντελεστής κυμαίνεται στο 0.35.

Ονομαστική ισχύς: Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να παραξει η ανεμογεννήτρια.

Αιολική ενέργεια

Θεωρητική αιολική ισχύς

$$I = E / t = (1/2) m V^2 / t = (1/2) \rho L A V^2 / t = (1/2) \rho A V^3$$

I αιολική ισχύς (W)

E κινητική ενέργεια (J)

t χρόνος (s)

m μάζα αέρα (kg)

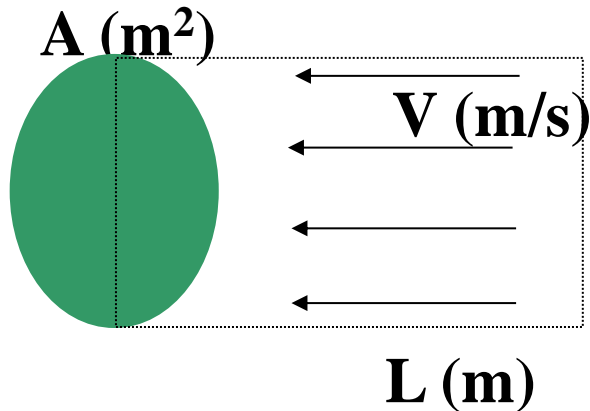
V ταχύτητα ανέμου (m/s)

ρ πυκνότητα αέρα (kg/m³)

A επιφάνεια αναφοράς (m²)

L διαδρομή ανέμου σε χρόνο t (m)

Ονομαστική ισχύς ανεμογεννήτριας



$$I = (1/2) C \eta_M \eta_E \rho A V^3$$

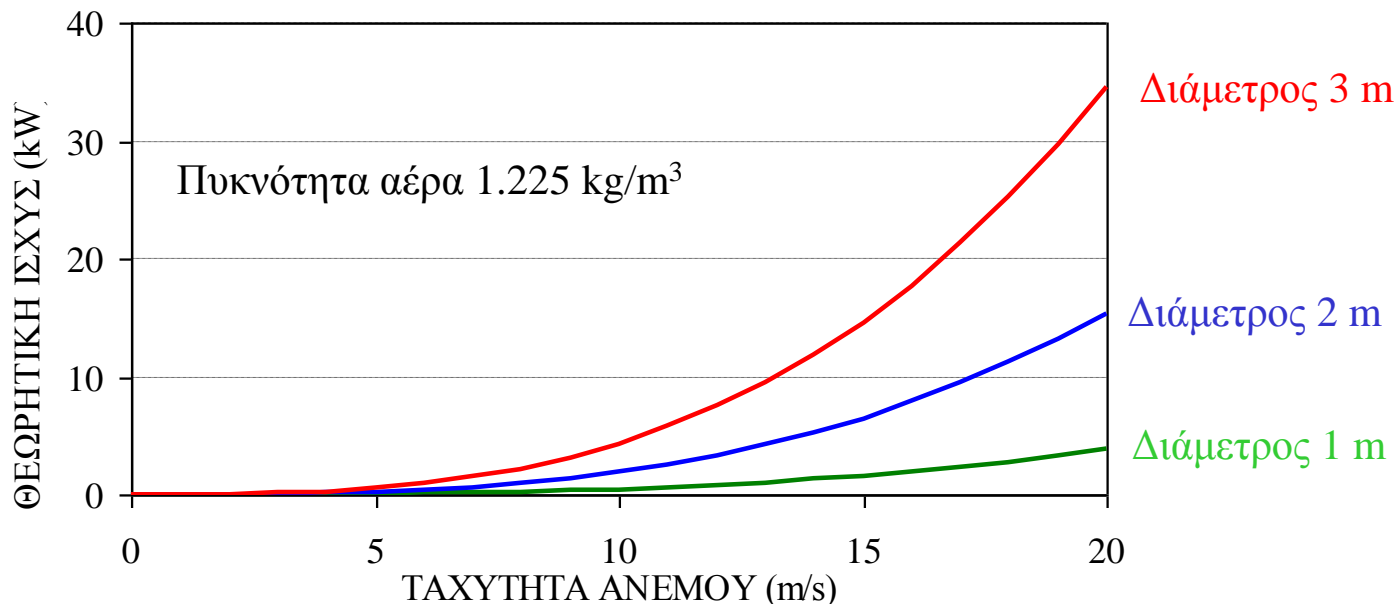
C συντελεστής ισχύος

η_M βαθμός απόδοσης μηχανικού συστήματος

η_H βαθμός απόδοσης ηλεκτρομηχανικής μετατροπής

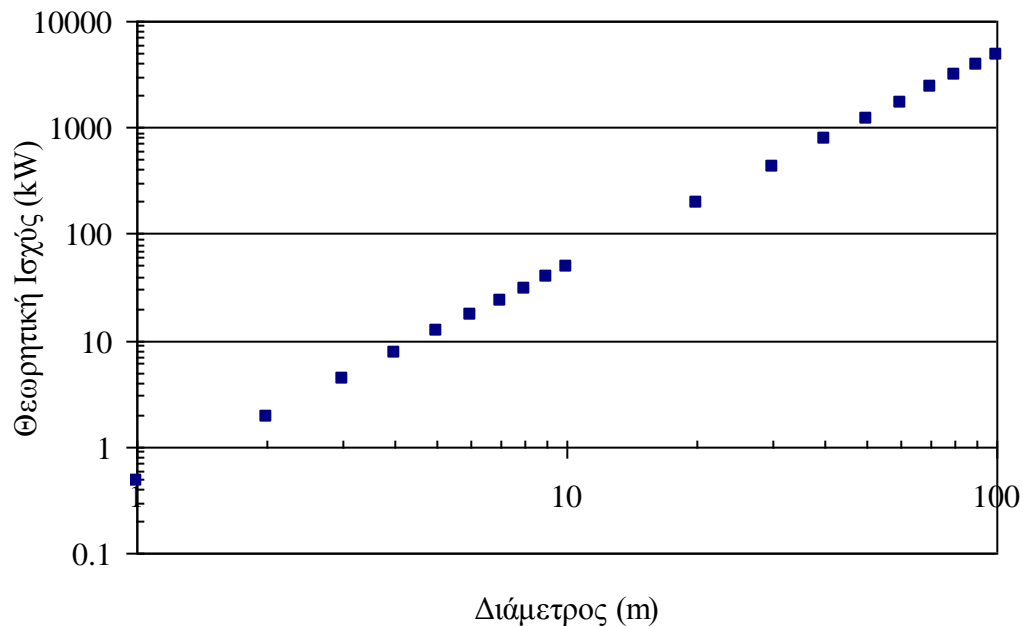
Αιολική ενέργεια

Θεωρητική αιολική ισχύς συναρτήσει της ταχύτητας



Θεωρητική ισχύς συναρτήσει της διαμέτρου (για ταχύτητα 10 m/s)

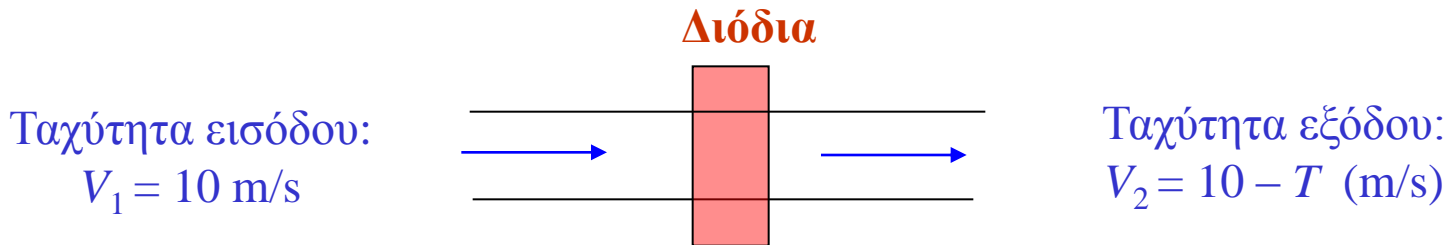
$D = 1.0 \text{ m}$	$I = 0.48 \text{ kW}$
$D = 10 \text{ m}$	$I = 48.1 \text{ kW}$
$D = 100 \text{ m}$	$I = 4.8 \text{ MW}$



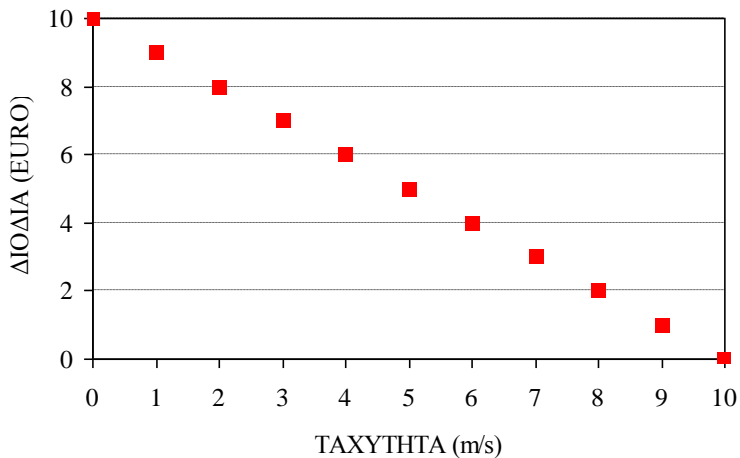
Αιολική ενέργεια

Όριο Betz

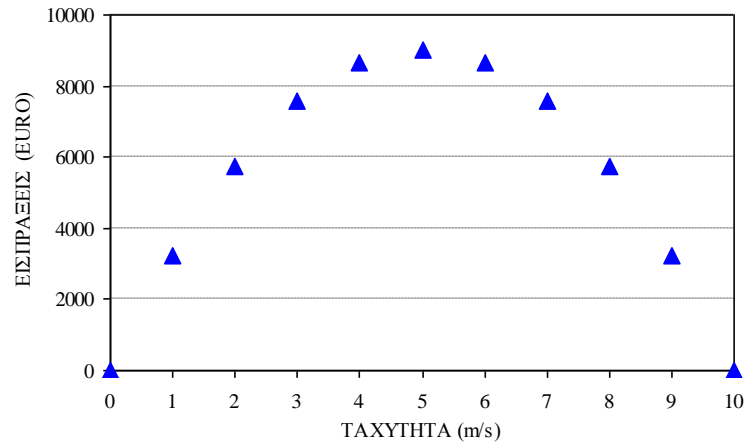
Σε αυτοκινητόδρομο με συνεχή ροή τα αυτοκίνητα εισέρχονται σε σταθμό διοδίων με ταχύτητα $V_1 = 10$ m/s και εξέρχονται με ταχύτητα V_2 , που είναι συνάρτηση της τιμής των διοδίων T ($0 \leq T \leq 10$ €) και δίδεται από τη σχέση V_2 (m/s) = $10 - T$. Ποια είναι η τιμή των διοδίων που μεγιστοποιεί τις ημερήσιες εισπράξεις;



Τιμή (T): 0-10 EURO



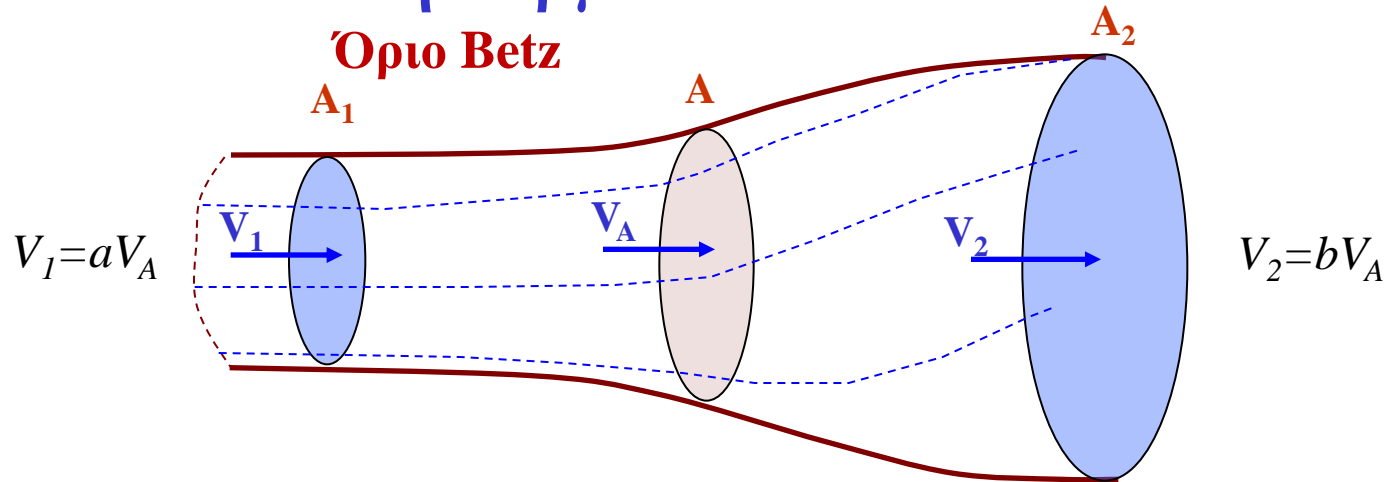
Εισπράξεις (EURO/h)



Αιολική ενέργεια

Όριο Betz

V ταχύτητες ανέμου
 A επιφάνειες
 Q παροχή



Εξίσωση συνέχειας

$$Q = A_1 V_1 = A V_A = A_2 V_2 \Rightarrow$$

$$a V_A A_1 = A V_A = b V_A A_2 \Rightarrow$$

$$A_1 = A/a \text{ και } A_2 = A/b$$

Εξίσωση ενέργειας

Αν ΔE είναι η ενέργεια ανά μονάδα εισερχόμενης μάζας που μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό τότε:

$$\Delta E = 0.5 V_1^2 - 0.5 V_2^2 = 0.5 V_A^2 (a^2 - b^2) \quad (1)$$

Η διερχόμενη μάζα στη μονάδα του χρόνου είναι $\rho \cdot A \cdot V_A$. Άρα η παραγόμενη ισχύς (ενέργεια στη μονάδα του χρόνου) είναι

$$P = \rho A V_A \Delta E = 0.5 \rho A V_A^3 (a^2 - b^2) \quad (2)$$

Εξίσωση ορμής

Η δύναμη (F) στην πτερωτή τότε

$$F = \rho Q (V_1 - V_2) = \rho A V_A (V_1 - V_2) = \rho A V_A^2 (a - b)$$

Το έργο (P) που παράγει η δύναμη (F) στη μονάδα του χρόνου (ισχύς) είναι:

$$P = F V_A = \rho A V_A^3 (a - b) \quad (3)$$

Συνδυάζοντας τις σχέσεις ενέργειας (2) και ενέργειας (3) προκύπτει:

$$0.5 \rho A V_A^3 (a^2 - b^2) = \rho A V_A^3 (a - b) \Rightarrow 0.5 (a - b) (a + b) = a - b \Rightarrow a + b = 2 \quad (4)$$

$$\text{Άρα: } V_A = 0.5 (V_1 + V_2)$$

Αιολική ενέργεια

Όριο Betz

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (3) και (4) η ισχύς (P) είναι: $P = \rho A V_A^3 (2a-2) = 2\rho A V_A^3 (a-1)$ (5)

Από την σχέση (5) η ισχύς P συναρτήσκει της ταχύτητας ανέμου στο περιβάλλον πριν την εγκατάσταση V_1 είναι: $P = 2\rho A (V_1/a)^3 (a-1) = 2\rho A (V_1)^3 (a^{-2} - a^{-3})$ (6)

Η ισχύς P **μεγιστοποιείται** όταν μηδενίζεται η πρώτη παράγωγος ως προς a

$$-2a^{-2} + 3a^{-4} = 0 \text{ άρα } a = 1.5, b = 0.5 \text{ και } V_1 = 3V_2$$

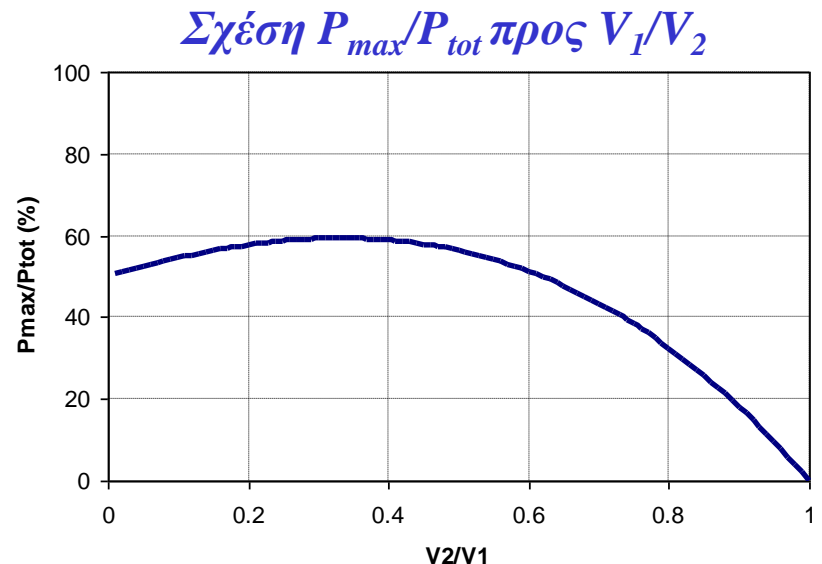
Από τη σχέση (6) η μέγιστη δυνατή ισχύς P_{max} είναι: $P_{max} = 2\rho A (V_1^3 (2/3)^3 (3/2 - 1)) = (2/3)^3 \rho A (V_1)^3$

Μηδενίζοντας την ταχύτητα ανέμου εξόδου V_2 ($b=0, a=2$) παίρνουμε το σύνολο της ισχύος (P_{tot}) που από τη σχέση (2) είναι: $P_{tot} = 0.5\rho A V_1^3$

Ο λόγος **C (όριο Bentz)** της μέγιστης ισχύος που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε (P_{max}) προς την θεωρητικά μέγιστη (P_{tot}) είναι:

$$C = P_{max}/P_{tot} = 2(2/3)^3 = 0.593$$

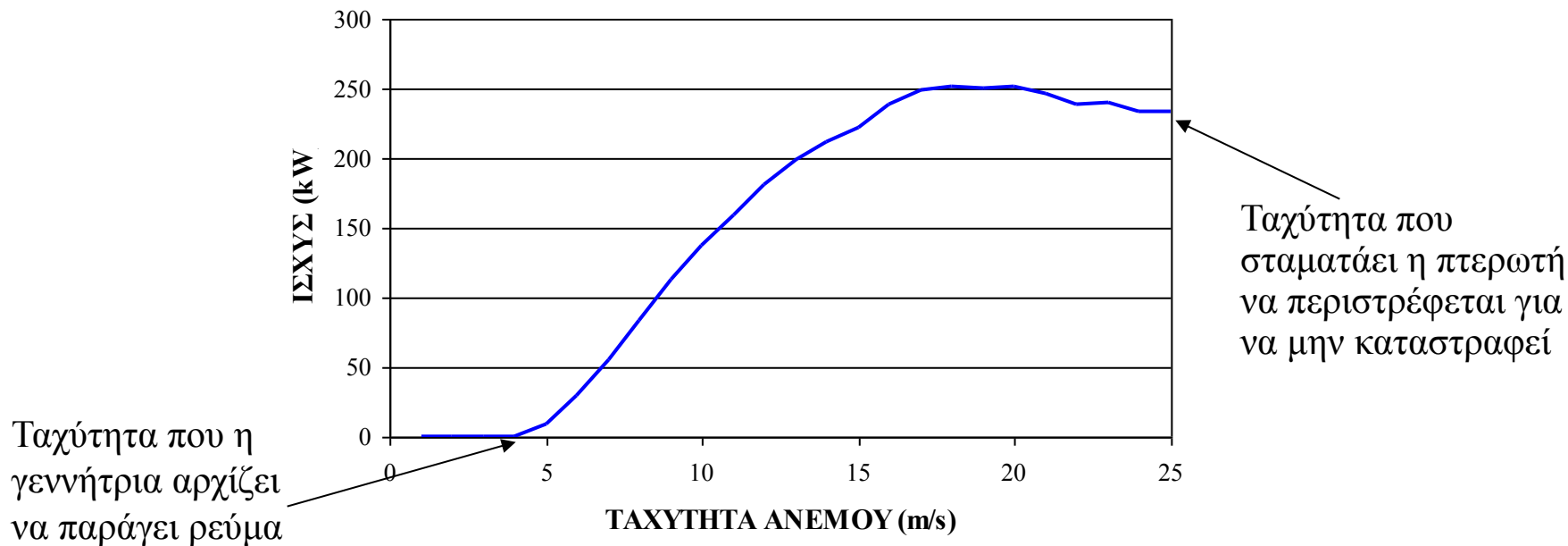
Απόδειξη: Δ. Κουτσογιάννης 2010



Αιολική ενέργεια

Καμπύλες ισχύος ανεμογεννήτριας

Ορισμός: Η σχέση μεταξύ της καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από μια ανεμογεννήτρια και της ταχύτητας του ανέμου στη συγκεκριμένη θέση.



Αν και υπάρχει η θεωρητικά υπολογιζόμενη απόδοση της ανεμογεννήτριας, οι καμπύλες ισχύος συνήθως εκτιμώνται εμπειρικά, από μετρήσεις πεδίου της ταχύτητας ανέμου με ανεμόμετρο και της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος.

Υπάρχουν αβεβαιότητες στην εκτίμηση των καμπυλών που σχετίζονται με:

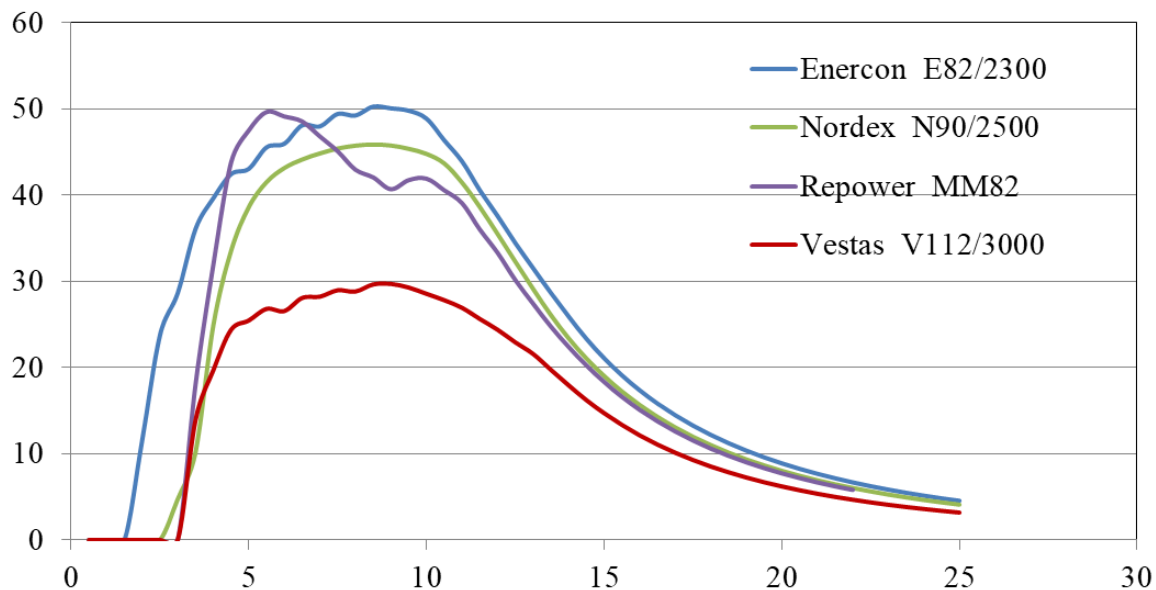
(α) τη μέτρηση της ταχύτητας και

(β) την ποσότητα του αέρα που εισέρχεται στην πτερωτή

Αιολική ενέργεια

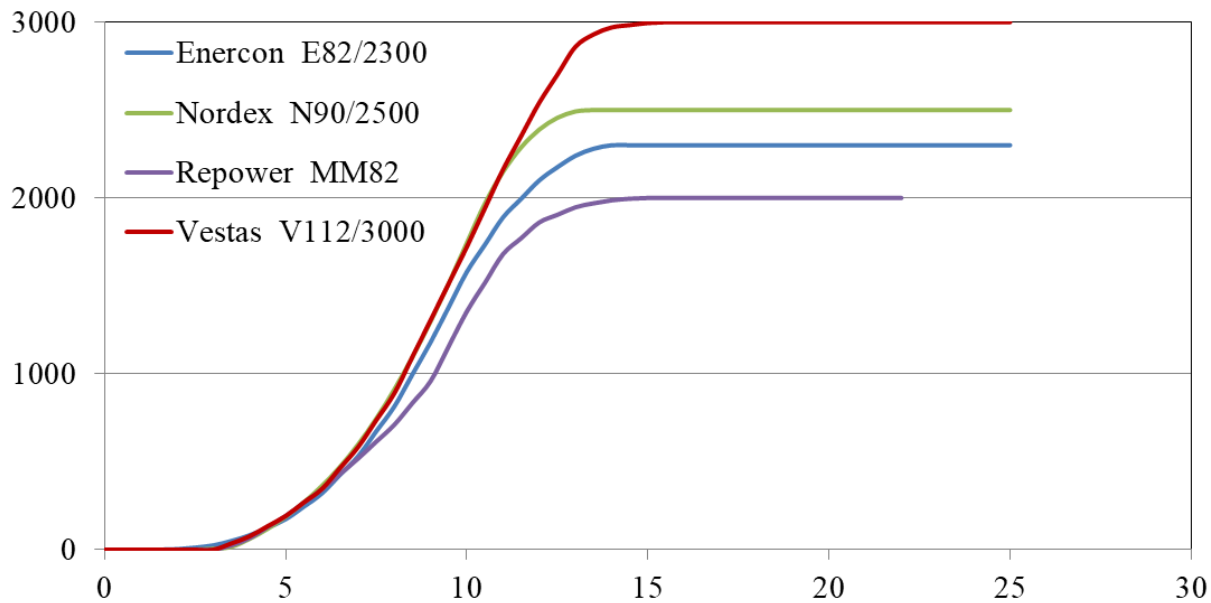
Συντελεστής ισχύος (Power coefficient)

Ο λόγος της ισχύος που παράγει η ανεμογεννήτρια σε κάθε ταχύτητα ανέμου, προς τη θεωρητική.



Διακύμανση συντελεστή ισχύος ανεμογεννήτριας με την ταχύτητα ανέμου

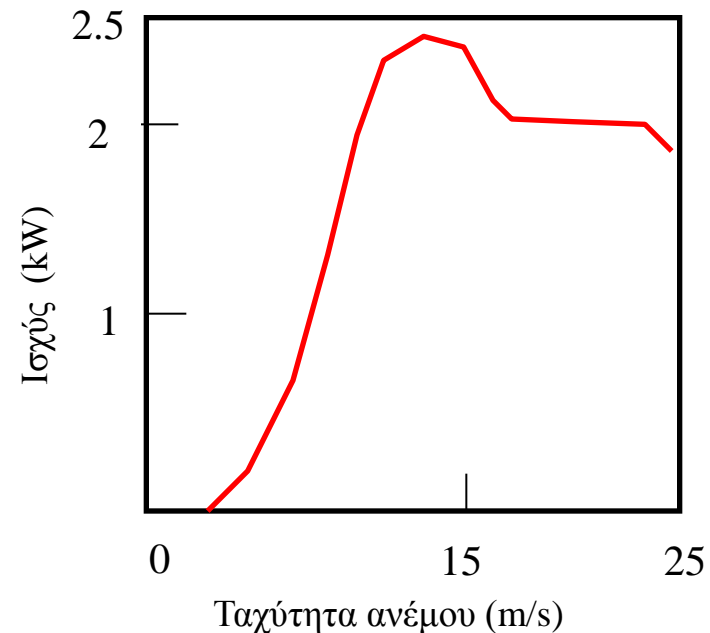
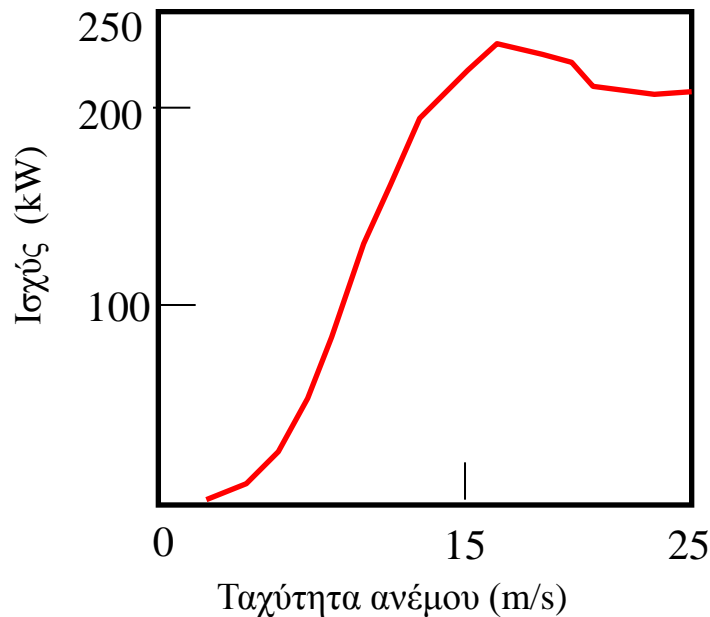
Καμπύλες ισχύος ανεμογεννητριών



Αιολική ενέργεια

Χαρακτηριστικά 2 μικρών ανεμογεννητριών

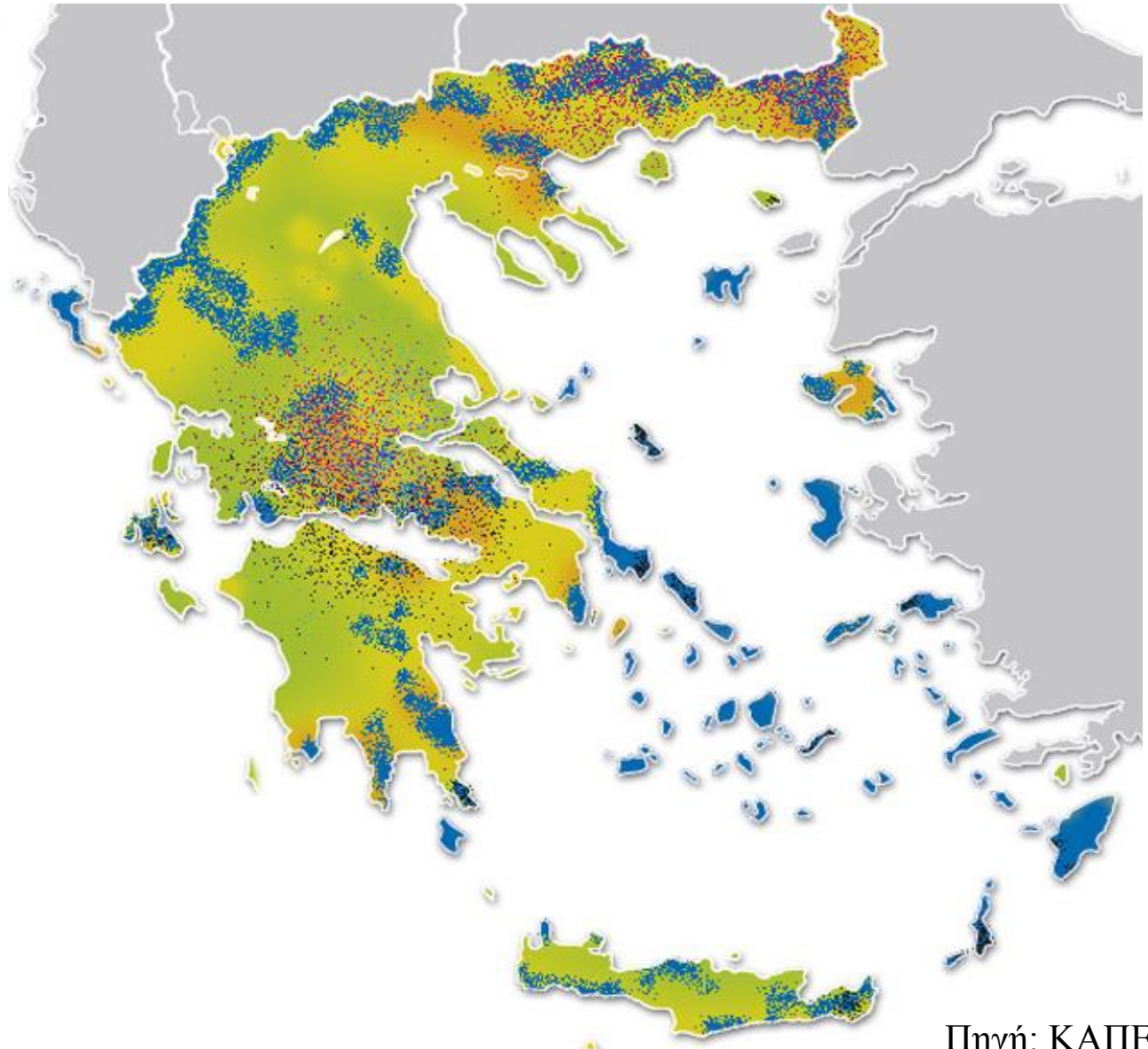
Μοντέλο	Zeus 225/40	Skystream 3.7
Μέγιστη ισχύς (kW)	225	2.4
Διάμετρος (m)	29.8	3.72
Ύψος (m)	48.7	10-18
Ταχύτητες λειτουργίας (m/s)	4-25	3.5-25
Ταχύτητα μέγιστης ισχύος (m/s)	15	13
Συντελεστής μέγιστης ισχύος	0.16	0.17
Τιμή	335.000 \$	12-18.000 \$



Αιολική ενέργεια

Αιολικό δυναμικό Ελλάδας

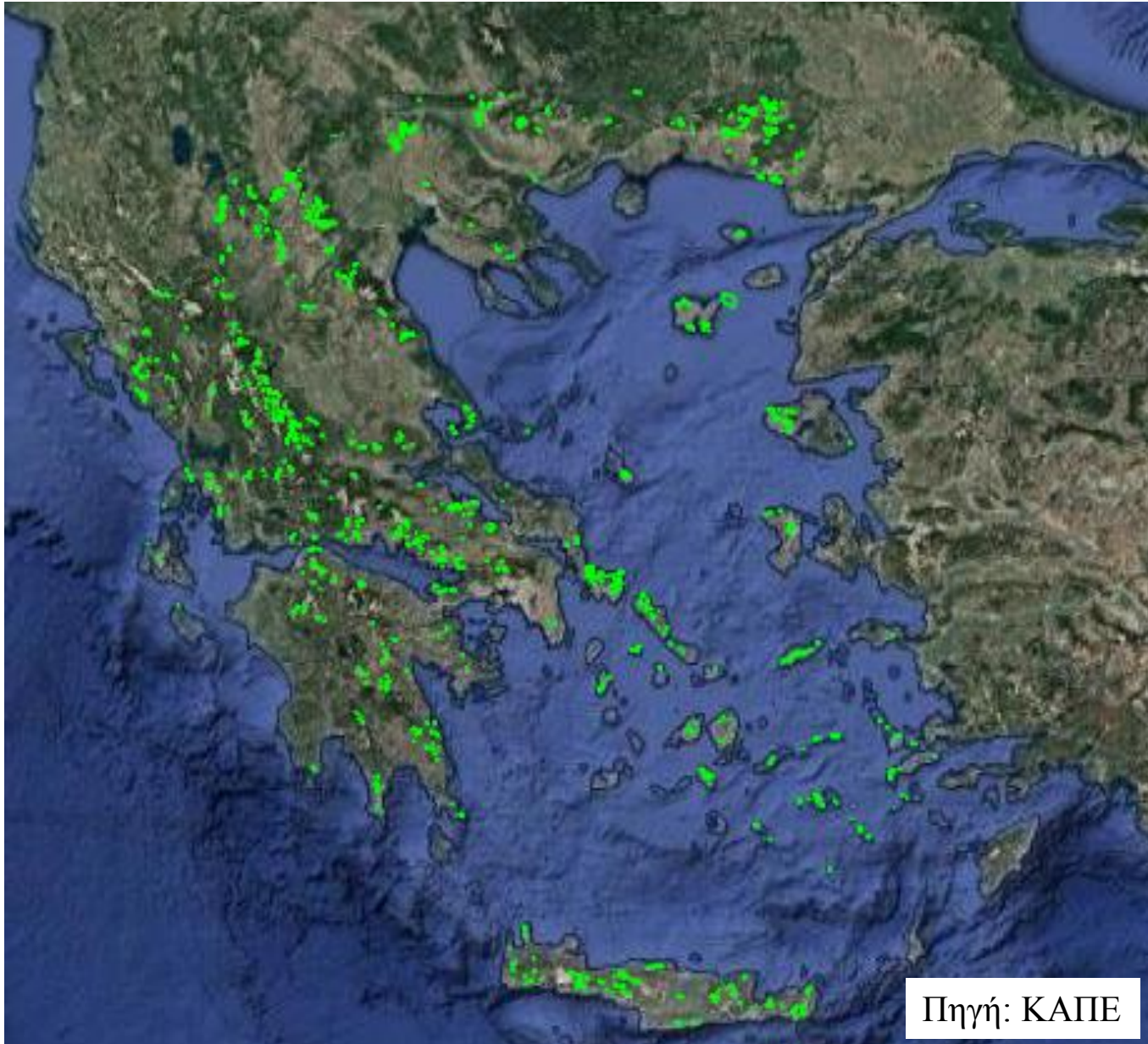
Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου



Πηγή: ΚΑΠΕ

Αιολική ενέργεια

Σταθμοί με άδεια παραγωγής (719)



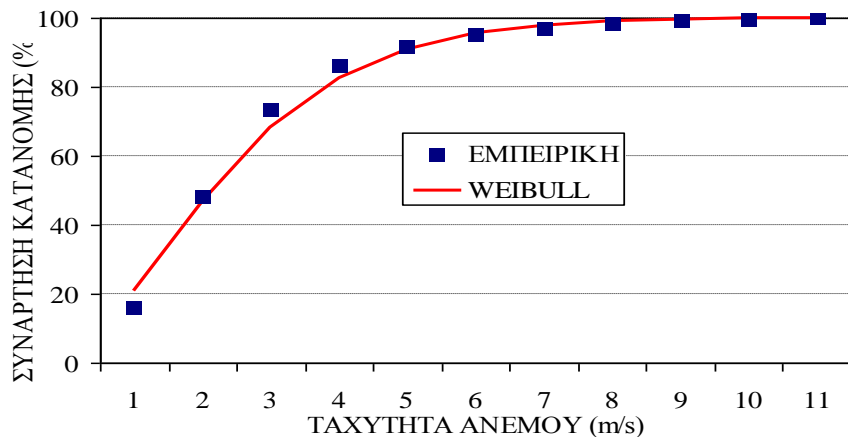
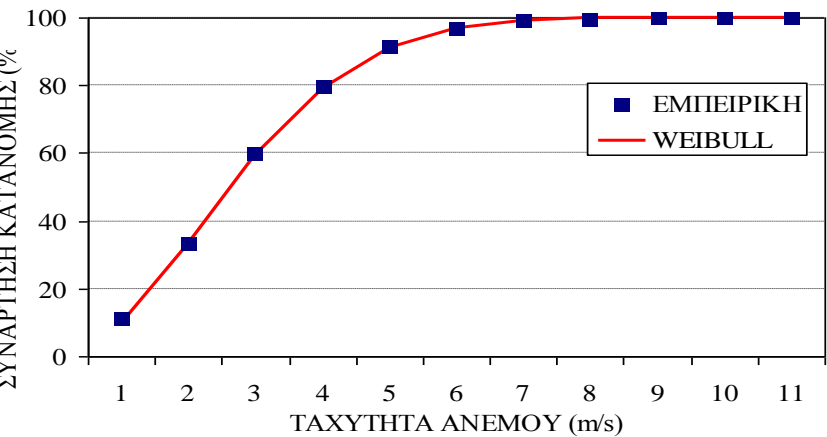
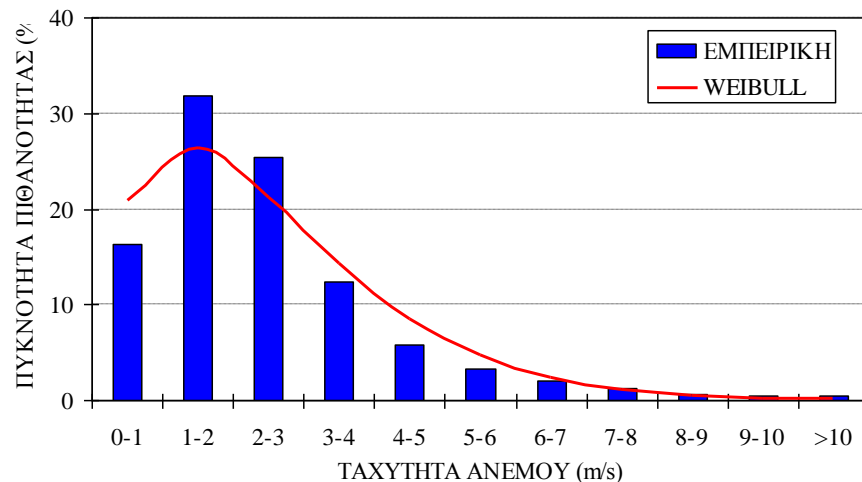
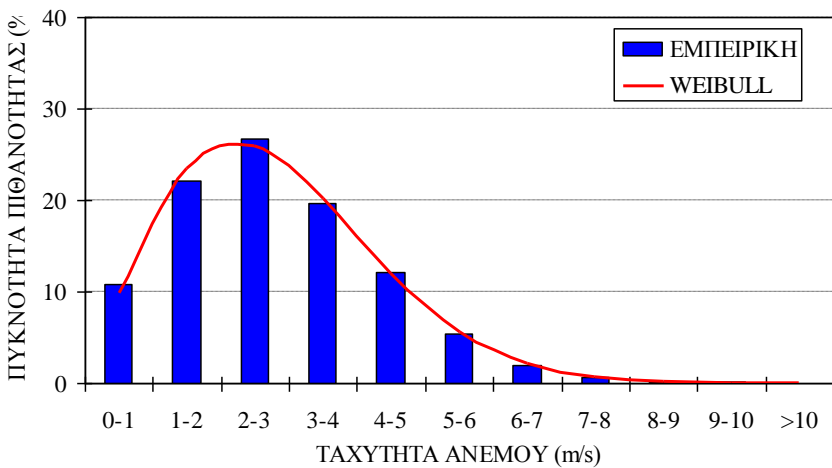
Πηγή: ΚΑΠΕ

Αιολική ενέργεια

Επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων

Πεντέλη

Ψυτάλλεια



Αιολική ενέργεια

Επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων

Υψομετρική μεταβολή της ταχύτητας ανέμου

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

όπου
 u_1, u_2 η ταχύτητα ανέμου σε ύψη z_1 και z_2 αντίστοιχα
 z_0 η παράμετρος τραχύτητας

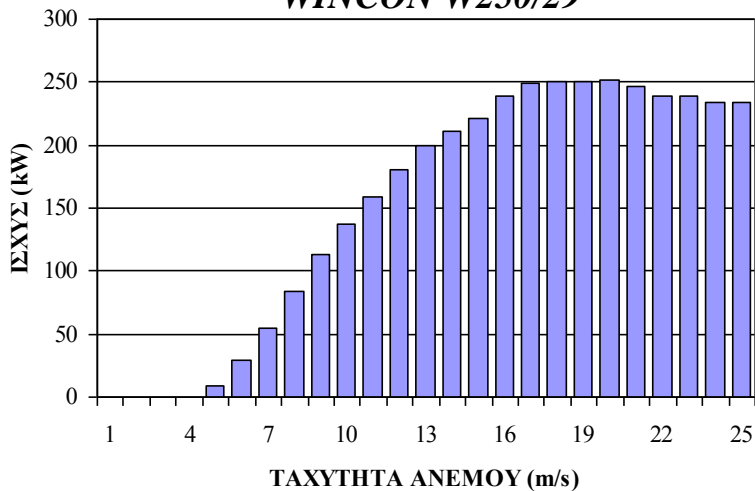
Τυπικές τιμές της παραμέτρου τραχύτητας z_0 για διάφορες φυσικές επιφάνειες (cm)

Πάγος	0.001
Ασφαλτοστρωμένη επιφάνεια	0.002
Υδάτινη επιφάνεια	0.01-0.06
Χλόη ύψους μέχρι 1cm	0.1
Χλόη ύψους μέχρι 1-10 cm	0.1-0.2
Χλόη-σιτηρά κλπ ύψους 10-50 cm	2-5
Φυτοκάλυψη ύψους 1-2 m	20
Δένδρα ύψους 10-15 m	40-70

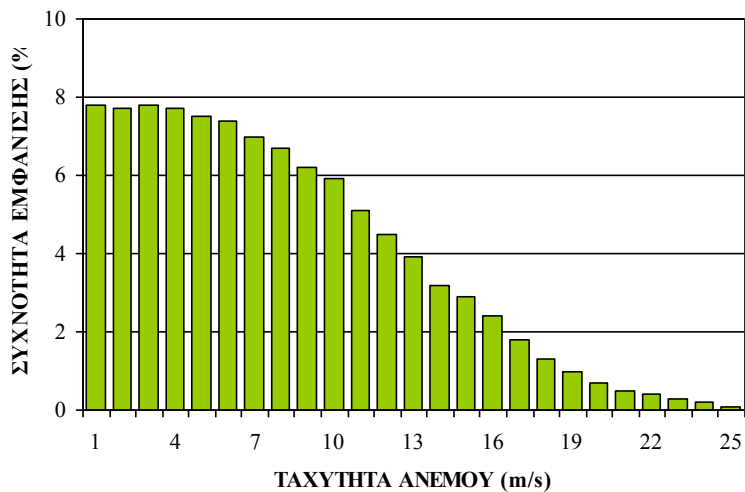
Αιολική ενέργεια

Εκτίμηση παραγόμενης ενέργειας

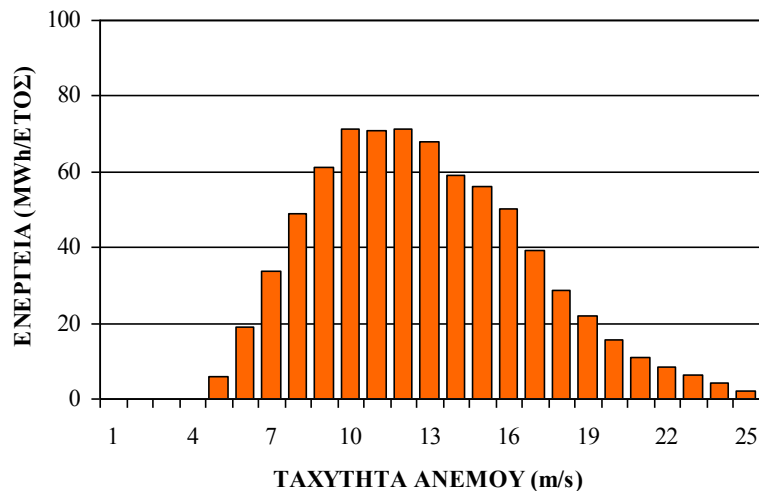
ΚΑΜΠΥΛΗ ΙΣΧΥΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ WINCON W250/29



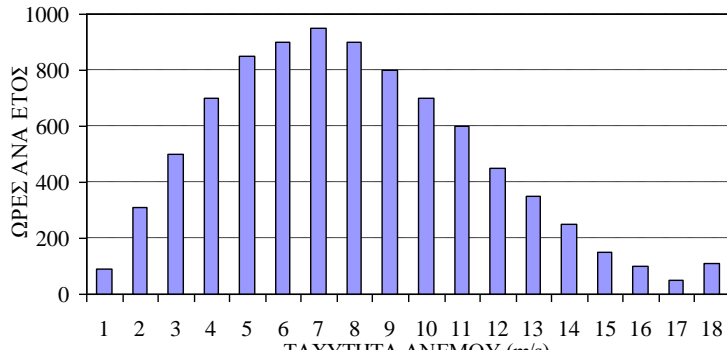
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΝΕΜΟΥ



ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ



Κατανομή ταχυτήτων

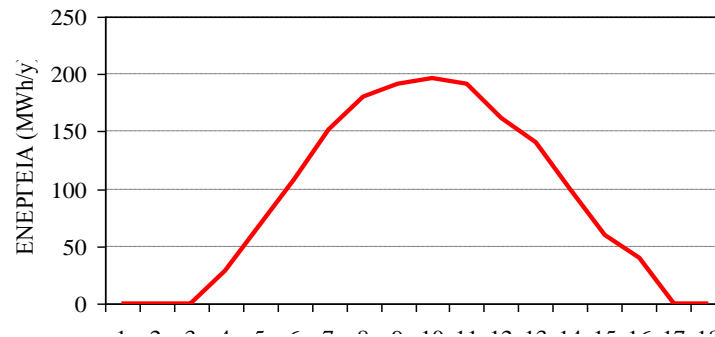
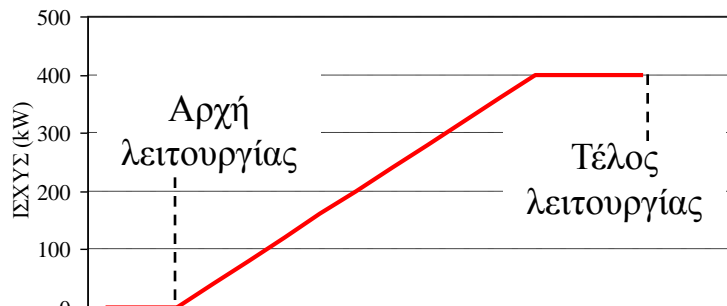


Αιολική ενέργεια Εκτίμηση παραγόμενης ενέργειας

Καταλληλότητα καμπύλης ισχύος
σε σχέση με τα ανεμολογικά
χαρακτηριστικά

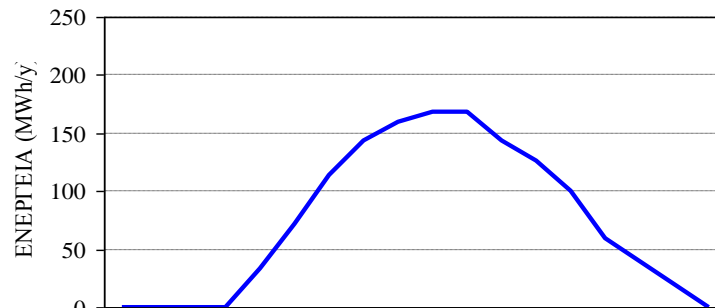
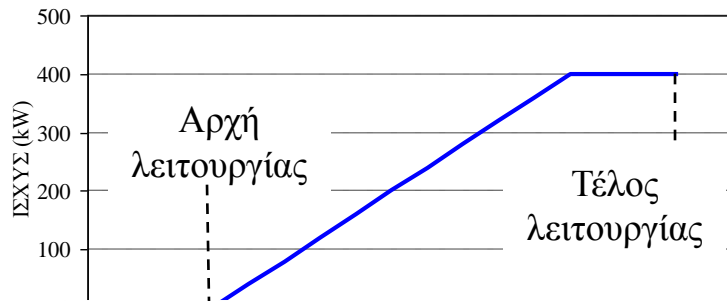
Σύνολο
(MWh)

Καμπύλη 1



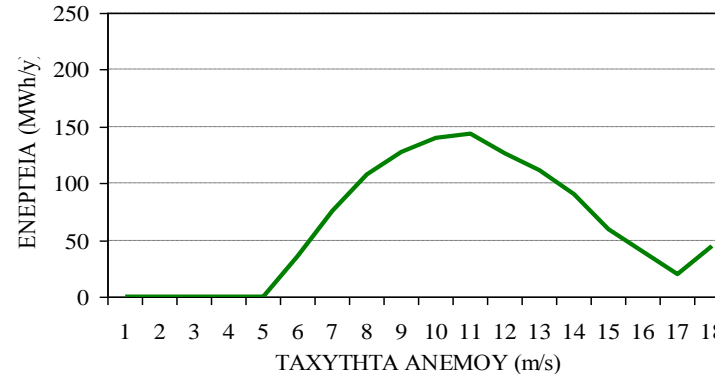
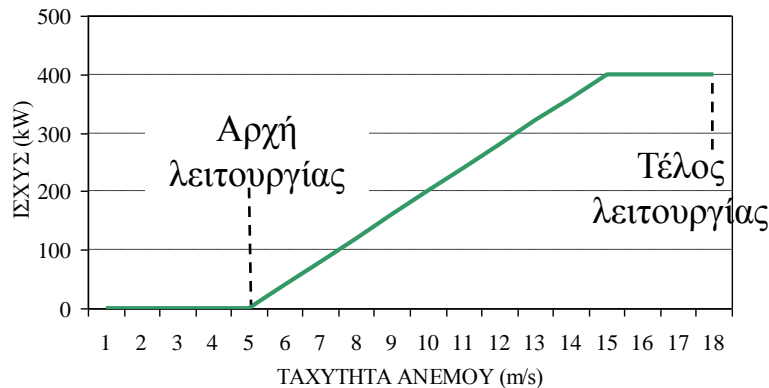
1650

Καμπύλη 2



1350

Καμπύλη 3



1124

Ηλιακή ενέργεια

Βασικά μεγέθη

ΙΣΧΥΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

$$I_H = E_{N_{\Gamma}} * E\Pi_{\Gamma-H} = 3.9 * 10^{26} \text{ W}$$

ΕΝΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ
ΣΤΗ ΦΩΤΟΣΦΑΙΡΑ

$$E_{N_{\Phi}} = I_H / E\Pi_{\Phi} = 6.3 * 10^7 \text{ W/m}^2$$

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
ΦΩΤΟΣΦΑΙΡΑΣ

$$E_{N_{\Phi}} = \sigma * T^4, T \approx 5780 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

ΕΝΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗ ΓΗ
(ΗΛΙΑΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ)

$$E_{N_{\Gamma}} = 1367 \text{ W/m}^2$$

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΦΑΙΡΑΣ

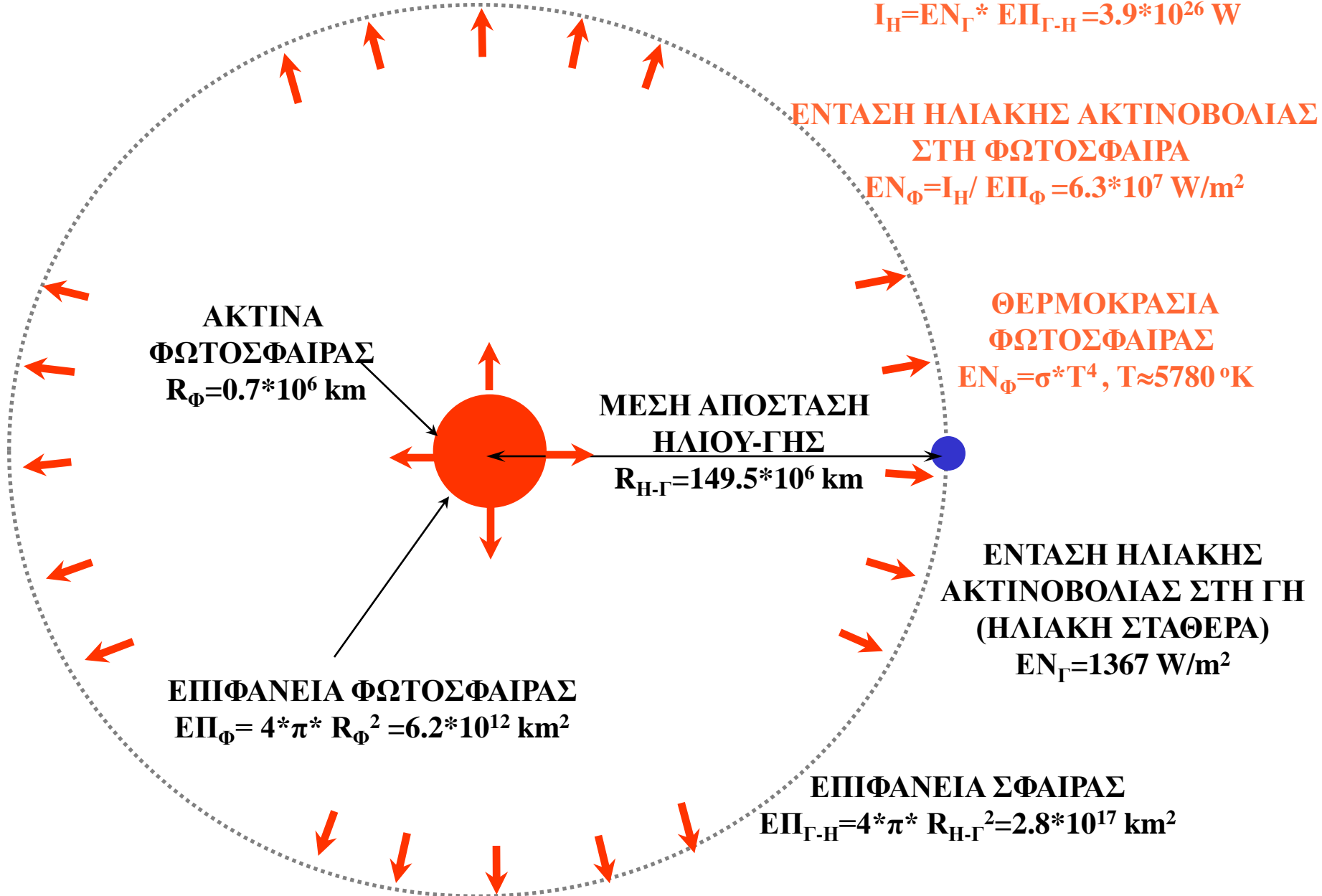
$$E\Pi_{\Gamma-H} = 4 * \pi * R_{H-\Gamma}^2 = 2.8 * 10^{17} \text{ km}^2$$

ΑΚΤΙΝΑ
ΦΩΤΟΣΦΑΙΡΑΣ
 $R_{\Phi} = 0.7 * 10^6 \text{ km}$

ΜΕΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΗΛΙΟΥ-ΓΗΣ

$$R_{H-\Gamma} = 149.5 * 10^6 \text{ km}$$

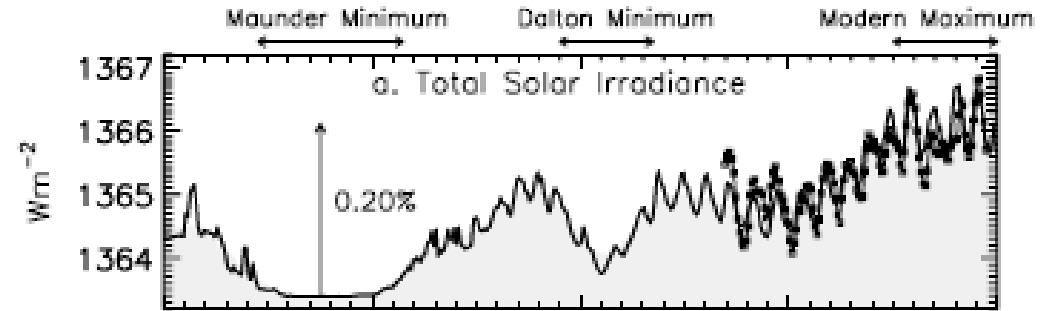
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΦΩΤΟΣΦΑΙΡΑΣ
 $E\Pi_{\Phi} = 4 * \pi * R_{\Phi}^2 = 6.2 * 10^{12} \text{ km}^2$



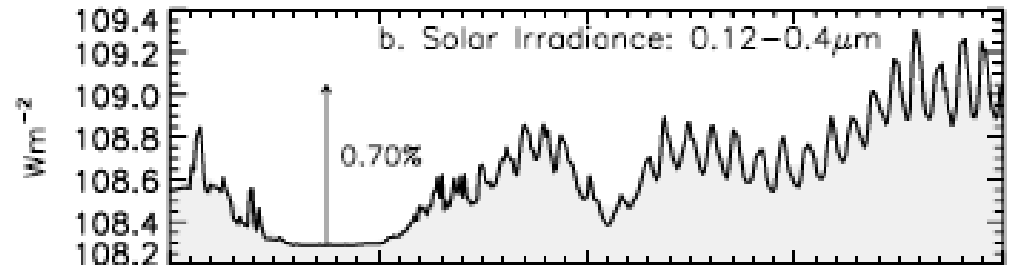
Ηλιακή ενέργεια

Χρονική εξέλιξη ηλιακής ενέργειας στη Γη (W/m^2)

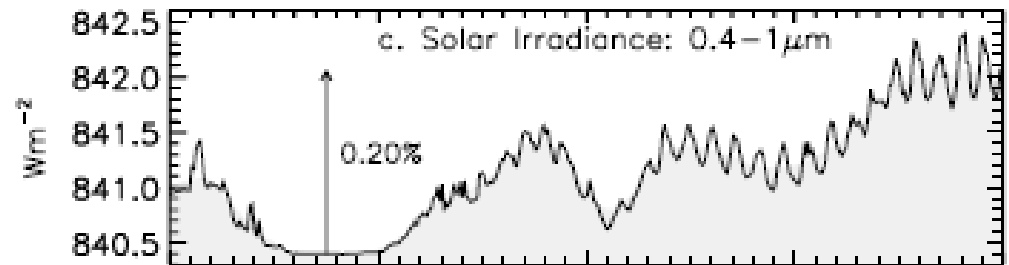
Συνολική



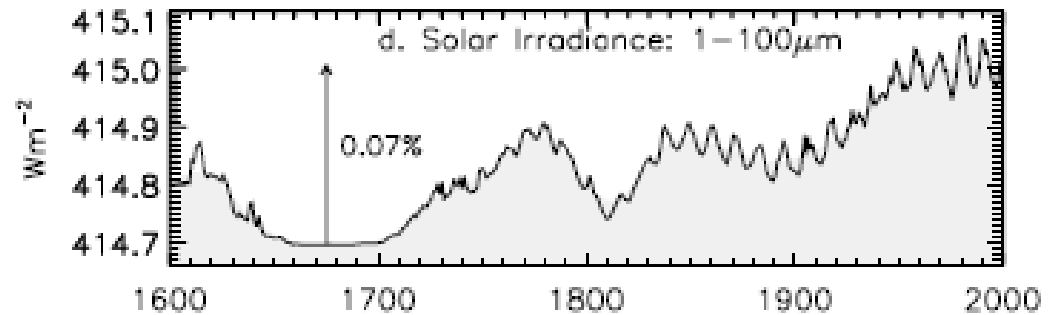
Μήκη κύματος από 0.12-0.4 μm



Μήκη κύματος από 0.4-1 μm



Μήκη κύματος από 1-100 μm



Ηλιακή ενέργεια

Παράγοντες που επιδρούν στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία



Εξερχόμενη ηλιακή ενέργεια

Εξαρτάται από την ηλιακή δραστηριότητα

Υψόμετρο ηλίου

Εξαρτάται από το χρόνο (ώρα, ημέρα) και το γεωγραφικό πλάτος

Απόσταση Γης-Ηλίου

Η απόσταση είναι στις 3/1 $147 \cdot 10^6$ και στις 4/7 $152 \cdot 10^6$ km, (μεταβολή απόστασης: 3.4%)

Ηλιοφάνεια

Εξαρτάται από τη νεφοκάλυψη και τη δομή της ατμόσφαιρας

Ανάγλυφο

ΕΛΑΦΟΣ

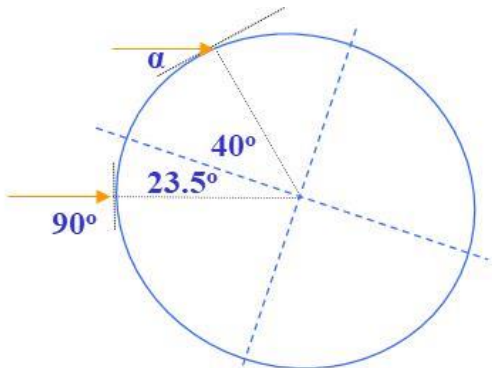
Ανακλαστικότητα επιφάνειας

Εξαρτάται από την επιφάνεια (νερό: 0.06, έδαφος: 0.25, χιόνι: 0.95)

Ηλιακή ενέργεια

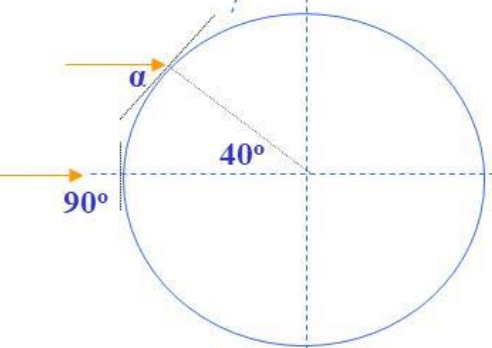
Γεωγραφικό πλάτος 40°

Γωνία πρόσπτωσης ηλιακών ακτινών το μεσημέρι, σε επίπεδη επιφάνεια



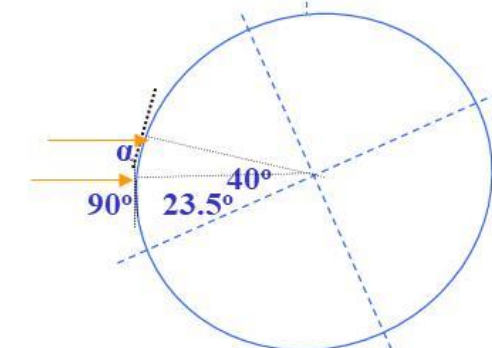
Χειμερινό ηλιοστάσιο

Γωνία πρόσπτωσης α:
 $90 - (40 + 23.5) = 26.5^\circ$



Ισημερίες

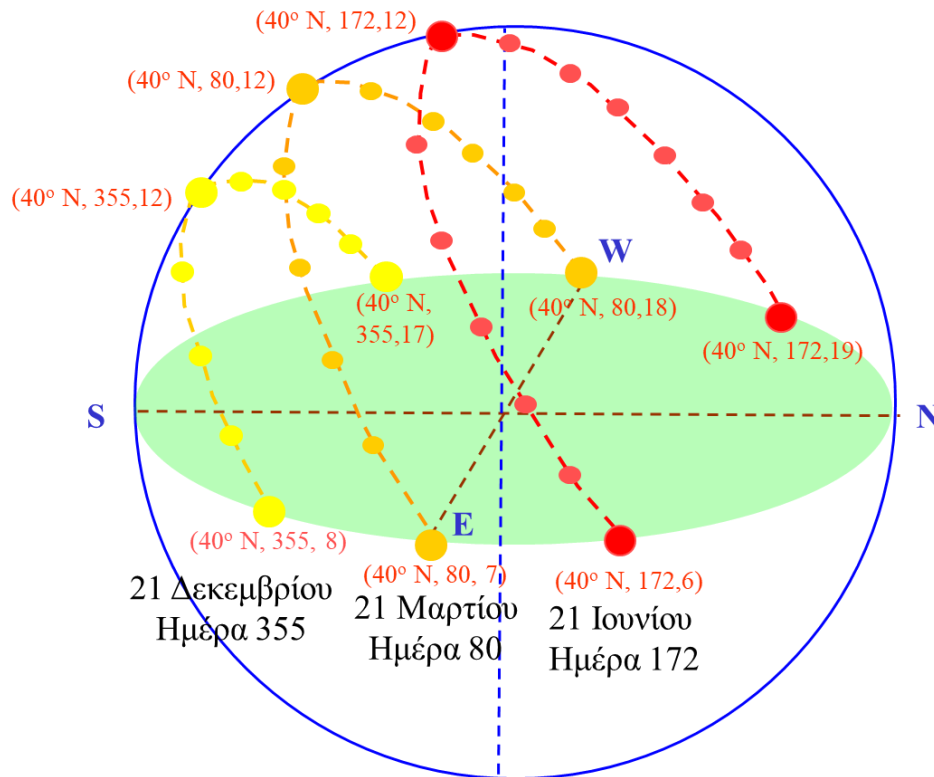
Γωνία πρόσπτωσης α:
 $90 - 40 = 50^\circ$



Θερινό ηλιοστάσιο

Γωνία πρόσπτωσης α:
 $90 - (40 - 23.5) = 73.5^\circ$

Μεταβολή θέσης ήλιου

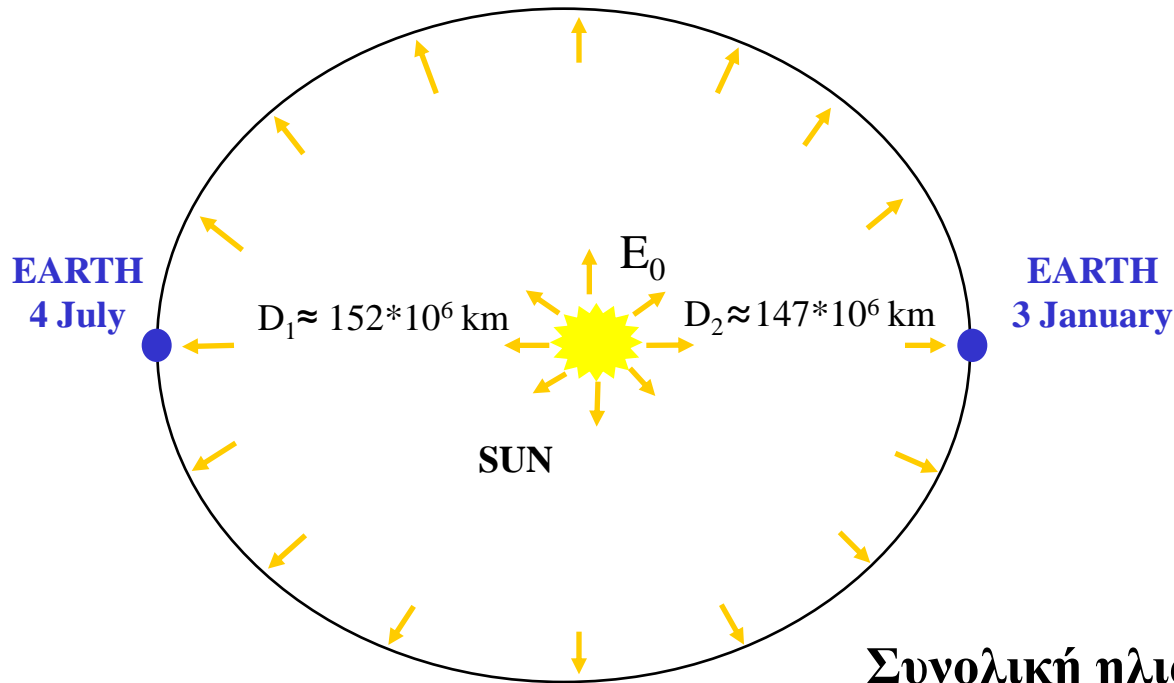


Το ύψος και το αζιμούθιο του Ηλίου είναι συνάρτηση των

- Γεωγραφικό πλάτος
- Ημέρας
- Ώρας της ημέρας

Ηλιακή ενέργεια

Υπολογισμός εκκεντρότητας (eccentricity)
και ηλιακής σταθεράς (solar constant)



Συντελεστής εκκεντρότητας

$$d = (D_{mean}/D_j)^2$$

D_{mean} Η μέση απόσταση γης-ηλίου ($\approx 149.6 * 10^6$ km)

D_j η απόσταση γης-ηλίου την ημέρα J

Συνολική ηλιακή ενέργεια

$$E = 3.9 * 10^{26} \text{ W}$$

Ηλιακή ακτινοβολία στη γη

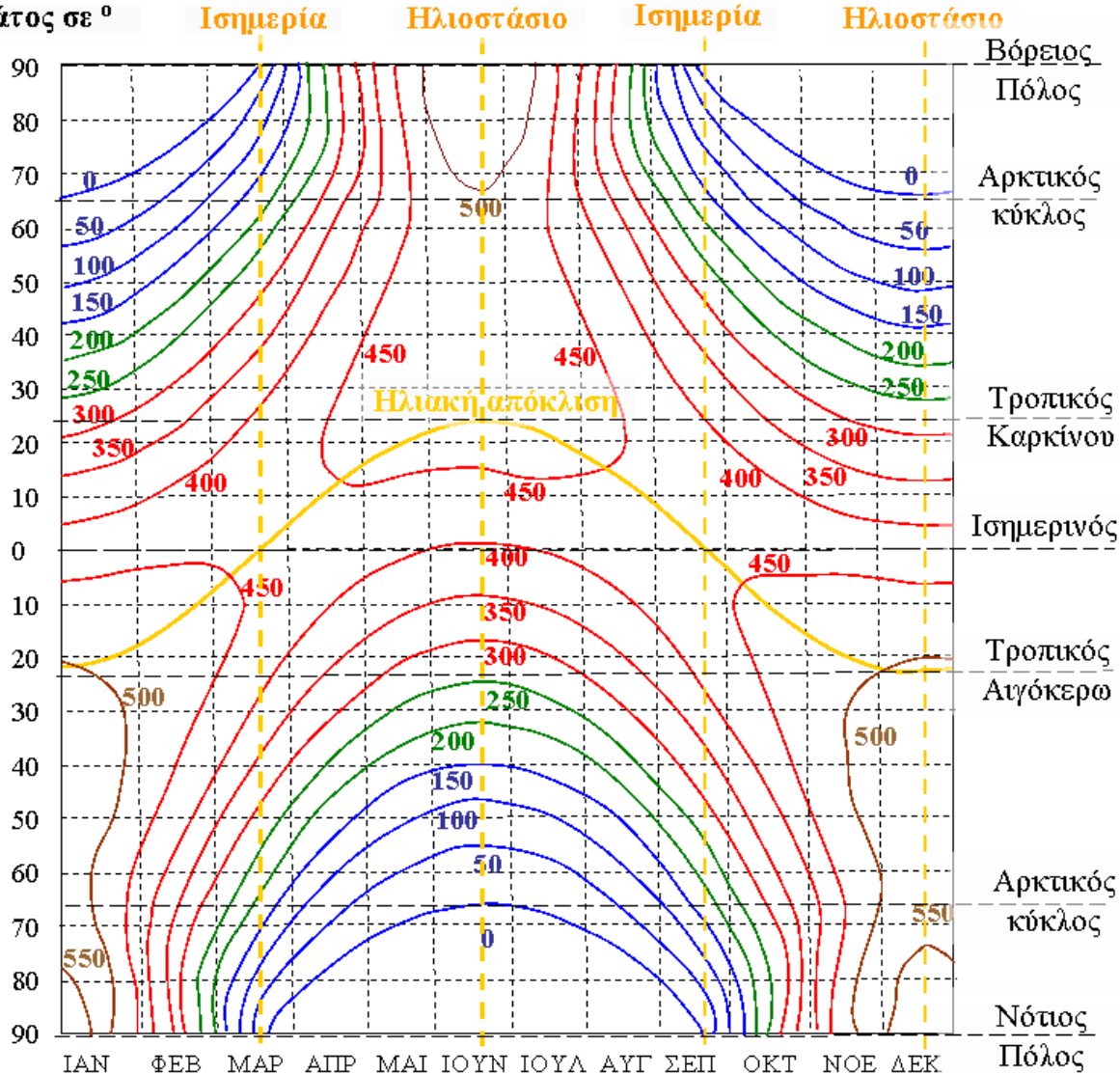
$$I = E / (4 * \pi * D^2) \text{ W/m}^2$$

$$\text{Ηλιακή σταθερά } I_o = E / (4 * \pi * D_{mean}^2) \text{ W/m}^2$$

Ηλιακή ενέργεια

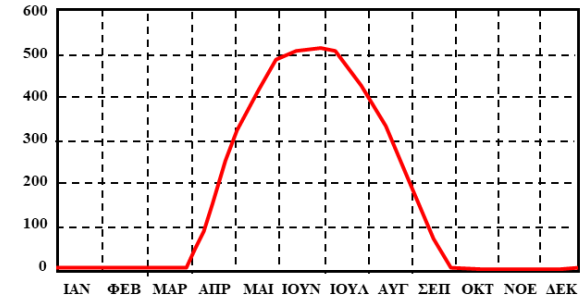
Ημερησία ηλιακή ακτινοβολία στο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας (W/m^2)

Γεωγραφικό πλάτος σε °

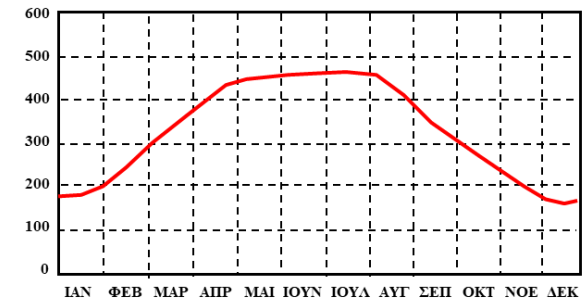


Μήνας

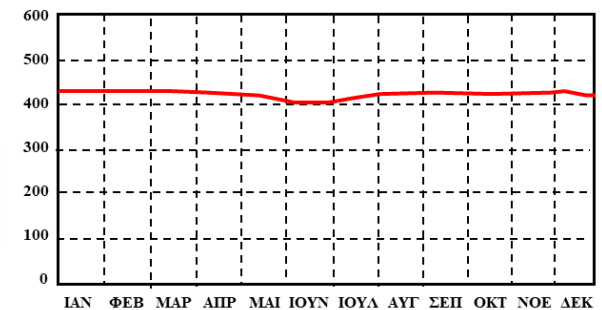
Βόρειος πόλος (90° Β)



Νέα Υόρκη (40° Β)



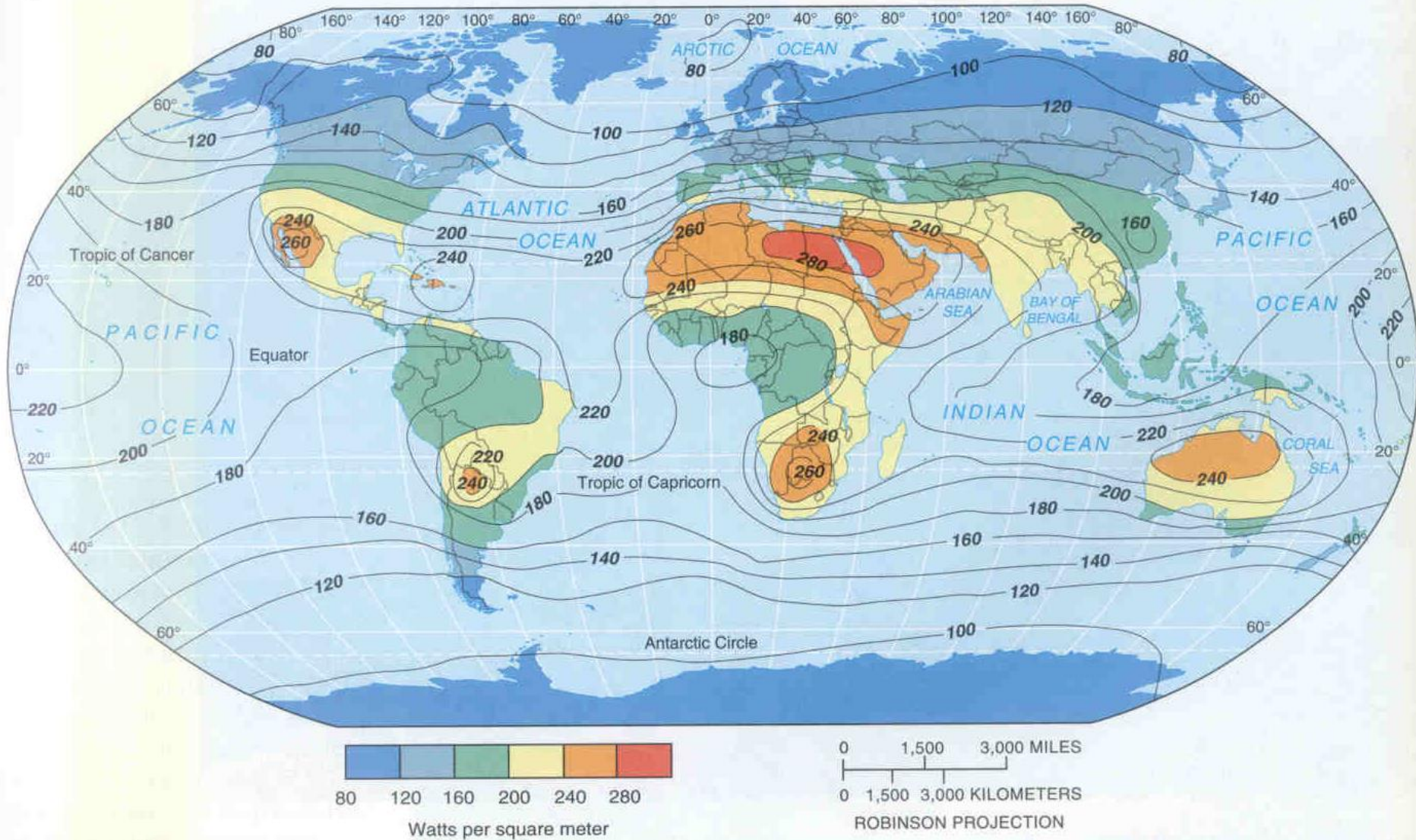
Ισημερινός (0°)



Πηγή: Christopherson, 2000

Ηλιακή ενέργεια

Μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στο έδαφος (W/m^2)



Ηλιακή ενέργεια

Ηλιακή ισχύς και ενέργεια στο έδαφος

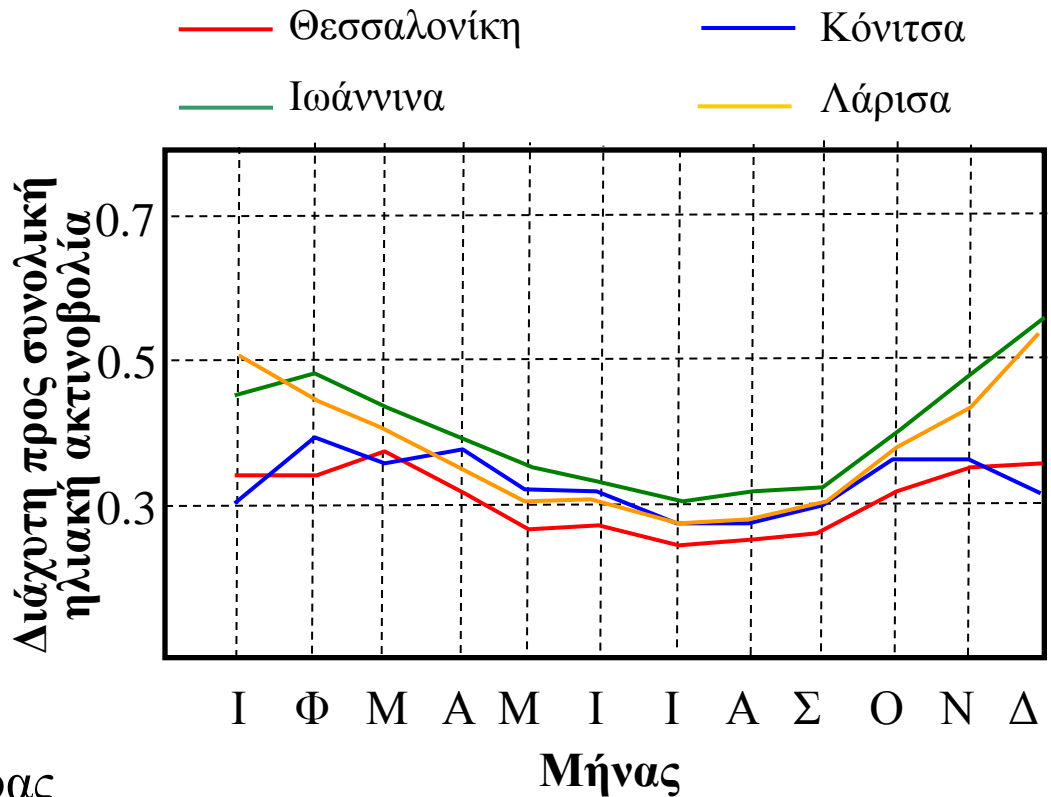
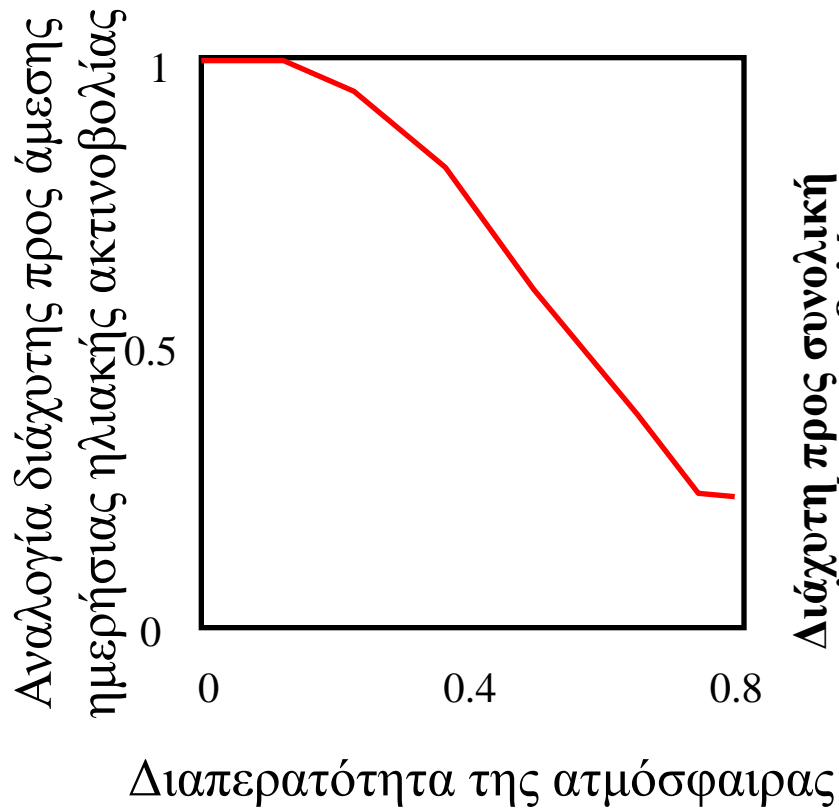
	Βόρεια Ελλάδα		Αιγαίο		Κρήτη	
	kWh/m ²	W/m ²	kWh/m ²	W/m ²	kWh/m ²	W/m ²
ΙΑΝ	60	81	62	83	74	100
ΦΕΒ	75	112	81	120	93	138
ΜΑΡ	113	152	130	175	145	195
ΑΠΡ	132	183	173	241	189	262
ΜΑΙΟΣ	161	216	223	300	232	312
ΙΟΥΝ	181	251	249	346	254	353
ΙΟΥΛ	190	255	254	341	261	351
ΑΥΓ	171	230	227	305	235	316
ΣΕΠ	131	183	174	242	186	258
ΟΚΤ	94	126	121	162	134	180
ΝΟΕ	60	83	71	99	83	115
ΔΕΚ	49	65	52	70	65	87
ΕΤΟΣ	1416	161	1817	207	1951	222

Πηγή: RETScreen Data, NASA

Ηλιακή ενέργεια

Άμεση (direct): Η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης χωρίς να σκεδαστεί στην ατμόσφαιρα.

Διάχυτη (diffuse): Η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης αφού έχει αλλάξει η διεύθυνση της από ανάκλαση ή σκέδαση στην ατμόσφαιρα.

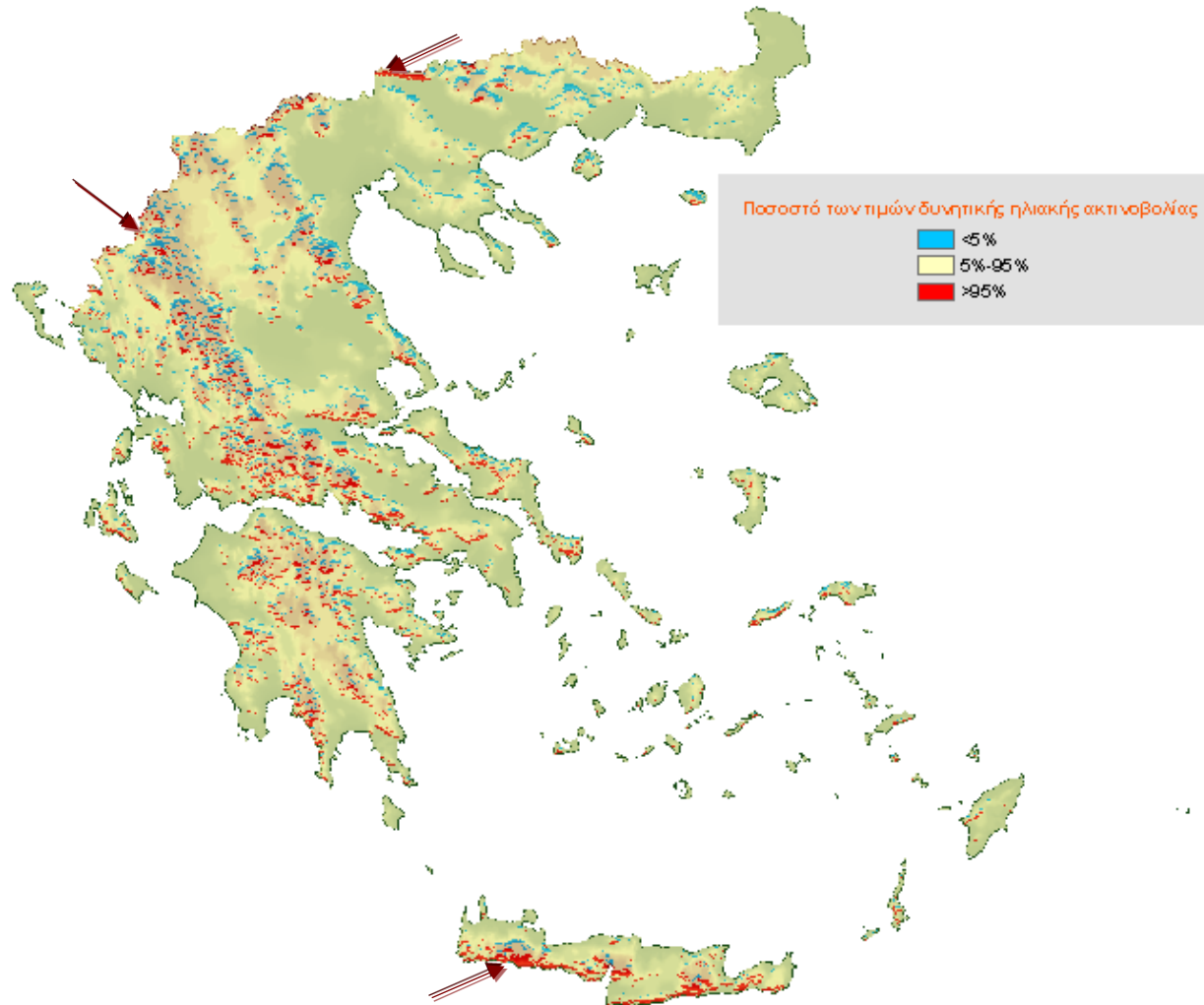


Πηγή: B. D. Katsoulis, A Comparison of Several Diffuse Solar Radiation, Theor. Appl. Climatol. 44, 181-186 (1991)

Ηλιακή ενέργεια

Επίδραση αναγλύφου στη εισερχόμενη ακτινοβολία

Ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας στο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας ως προς τη δυνητική



Ηλιακή ενέργεια

Ηλιοθερμικά συστήματα

Τα ηλιοθερμικά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια πρώτα σε θερμική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική με ατμοστρόβιλους



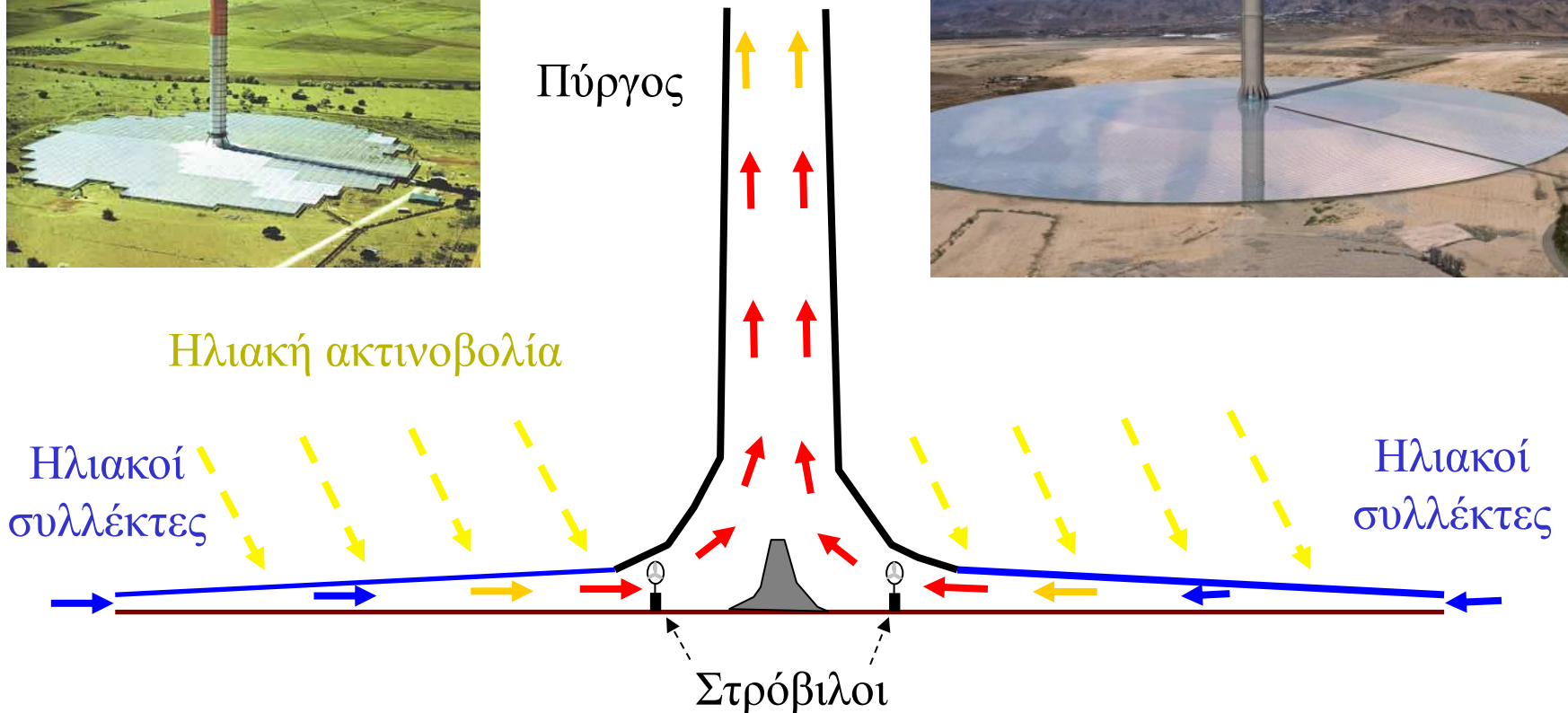
Ο ηλιακός φούρνος στο Odeillo των Πυρηναίων (Γαλλία) κατασκευάστηκε το 1969 από τον Felix Trombe και είναι ο μεγαλύτερος στον κόσμο. Αποτελείται από 63 κάτοπτρα συνολικής επιφάνειας 2840 m^2 για να συγκεντρώσει ηλιακές ακτίνες σε μία επιφάνεια από επάργυρο γυαλί η θερμοκρασία της οποίας μπορεί να φτάσει τους $3200 \text{ }^\circ\text{C}$. Η μέγιστη ισχύς είναι 1 MW .

Ηλιακή ενέργεια

Ηλιακός πύργος

Ισπανία, κατασκευάστηκε το 1982. Πύργος ύψους 195 m και διαμέτρου 10 m. Επιφάνεια συλλεκτών 46000 m² (διάμετρος 244 m). Μέγιστη ισχύς 50 kW. Καταστράφηκε σε καταιγίδα το 1989.

Αυστραλία (υπό κατασκευή). Πύργος ύψους 1100 m και διαμέτρου 150 m. Επιφάνεια συλλεκτών 20 km² (διάμετρος 5 km). Μέγιστη ισχύς 200 MW. Κόστος 800 εκ. \$



Ηλιακή ενέργεια

Φωτοβολταϊκά συστήματα

- Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα έχει στόχο την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Αποτελείται από ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά στοιχεία και τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή.
- Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι συνήθως από **άμορφο ή κρυσταλλικό πυρίτιο**. Εκτός από το πυρίτιο χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων, όπως το Κάδμιο - Τελλούριο και ο ινδοδισεληνιούχος χαλκός.
- Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. Τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία είχαν 1-2% απόδοση, τη δεκαετία του 1950 είχαν 6%, ενώ σήμερα βρίσκεται στο 13- 15%. Συγκρινόμενη με την απόδοση άλλων συστημάτων ωτόσο, μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών σε ηλιοστάτη.

Για την παραγωγή 1 kW απαιτείται επιφάνεια:

μονοκρυσταλλικού πυριτίου: **7-9 m²**

πολυκρυσταλλικού πυριτίου: **9-11 m²**

άμορφου πυριτίου: **16-20 m²**

Ένα πλήρες Φ/Β σύστημα μαζί με τις βάσεις ζυγίζει περίπου **15-20 Kg/m²**.

Τα ποσά διαφοροποιούνται, διότι η τεχνολογία κατασκευής των Φ/Β συνεχώς εξελίσσεται

Ηλιακή ενέργεια

Ιστορική ανάδρομη στα Φ/Β

- 1839 Ο Γάλλος Φυσικός Edmond Becquerel παρατηρεί το Φ/Β φαινόμενο
- 1873 Ο Willoughby Smith ανακαλύπτει την φωτοαγωγιμότητα του σεληνίου
- 1883 Ο Αμερικανός εφευρέτης Charles Fritts περιγράφει την κατασκευή των πρώτων Φ/Β στοιχείων από σελήνιο.
- 1915 Ο Πολωνός επιστήμονας Czochralski ανέπτυξε μια μέθοδο για την παραγωγή μονοκρυσταλλικού πυριτίου.
- 1954 Οι Rappaport, Loferski και Jenny ανακοινώνουν την εφαρμογή του Φ/Β φαινομένου με υλικά από κάδμιο (Cd). Στα εργαστήρια Bell οι ερευνητές Pearson, Chapin και Fuller ανακοινώνουν την επίτευξη απόδοσης Φ/Β Πυριτίου. Σε λίγους μήνες η απόδοση έφτασε το 6%.
- 1955 Η εταιρεία Hoffman Electronics ανακοινώνει την εμπορική διάθεση Φ/Β με 2% απόδοση, κόστους \$25/στοιχείο, 14 MW το καθένα δηλ. με κόστος ενέργειας \$1500/W.
- 1957 Η εταιρεία Hoffman Electronics κατασκευάζει Φ/Β στοιχεία με 8% απόδοση.
- 1958 Εκτοξεύεται από τις ΗΠΑ ο πρώτος δορυφόρος με Φ/Β Vanguard I. Λειτουργήσε για 8 έτη.
- 1960 Η εταιρεία Hoffman Electronics κατασκευάζει Φ/Β στοιχεία με 14% απόδοση.
- 1963 Στην Ιαπωνία εγκαθίσταται το μεγαλύτερο για την εποχή Φ/Β πεδίου 242-W σε ένα φάρο.
- 1964 Εκτοξεύεται από τις ΗΠΑ το διαστημόπλοιο Nimbus εξοπλισμένο με Φ/Β 470-W.
- 1977 Η παγκόσμια παραγωγή Φ/Β ξεπερνάει τα 500 kW.
- 1979 Το πρώτο Φ/Β σύστημα για οικισμό εγκαθίσταται από ερευνητικό κέντρο της NASA Lewis Research Center ισχύος 3,5 kW στον Ινδιάνικο οικισμό Parago στην Αριζόνα.
- 1983 Η παγκόσμια παραγωγή Φ/Β ξεπερνάει τα 21,3 MW και οι πωλήσεις τα 250 εκατ. δολάρια.
- 2004 Η παγκόσμια παραγωγή Φ/Β ξεπερνάει τα 1200 MW.

Ηλιακή ενέργεια

Στάδια κατασκευής



Καθαρισμός & διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου



Οικοδομικές εργασίες



Συναρμολόγηση μεταλλικού σκελετού βάσεων



Σύνδεση ηλεκτρολογικού εξοπλισμού

Φ/Β σταθμός Αγνάντια
Εγκατεστημένος σε γήπεδο 11 000 m², σε υψόμετρο 38 m, με ονομαστική ισχύ **100 kWp**. Διαθέτει σύστημα ηλιακής ιχνηλάτησης.

Φ/Β σταθμός Μοναστηράκι
Εγκατεστημένος σε γήπεδο 11 000 m², σε υψόμετρο 32 m, με ονομαστική ισχύ **100 kWp**. Χρησιμοποιούνται σταθερές βάσεις για τη στήριξη των Φ/Β πλαισίων.

Πηγή: Μαλτέζος, Φ.
Αποτίμηση λειτουργίας φωτοβολταϊκών σταθμών, Διπλωματική εργασία, 2013

Ηλιακή ενέργεια

Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός



Φωτοβολταϊκά πλαίσια

- Ονομαστική ισχύς : 210 W
- Απόδοση φ/β γεννήτριας : 13.4 %
- Θερμοκρασιακός συντελεστής ισχύος: -0.44 %/ °C
- Διαστάσεις (Μ x Π x Υ) : 1650,5×951,3×46 (mm)

Τα φ/β πλαίσια ομαδοποιούνται και συνδέονται με τους **αντιστροφείς ρεύματος** οι οποίοι μετατρέπουν το συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα για την έγχυση του στο δίκτυο.



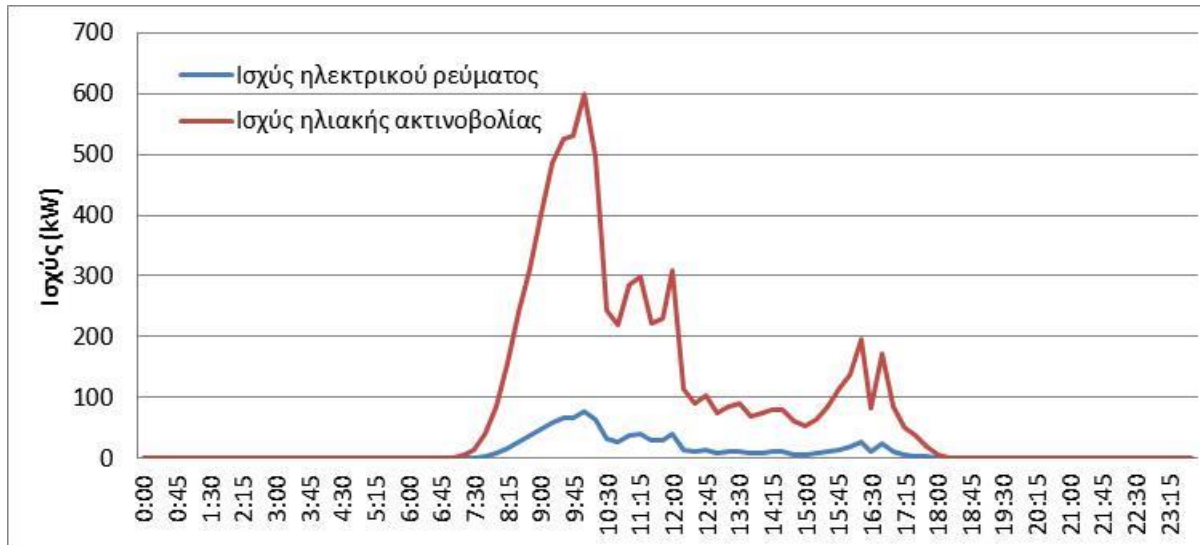
Φ/Β σταθμός	Αγνάντια	Μοναστηράκι
Αριθμός αντιστροφέων	8 x 10 kW + 1 x 12.5 kW	8 x 12.5 kW
Αριθμός πλαισίων	472	476

Ηλιακή ενέργεια

Απόδοση Φ/Β



21/6/2013

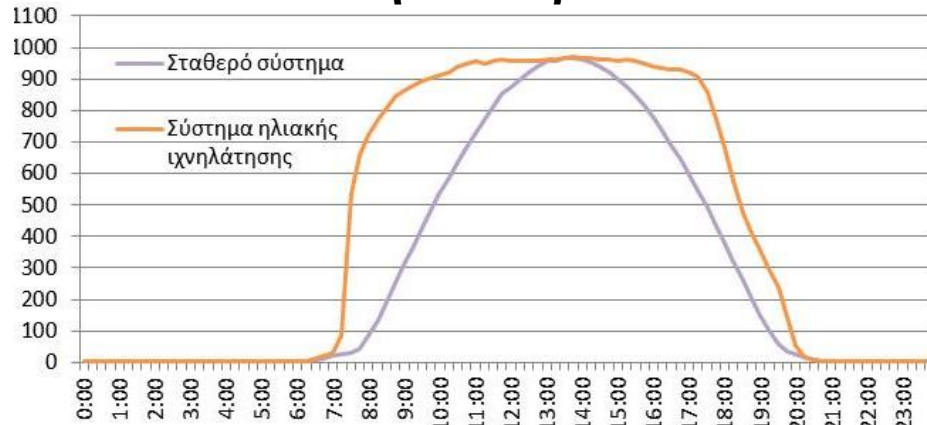


17/2/2013

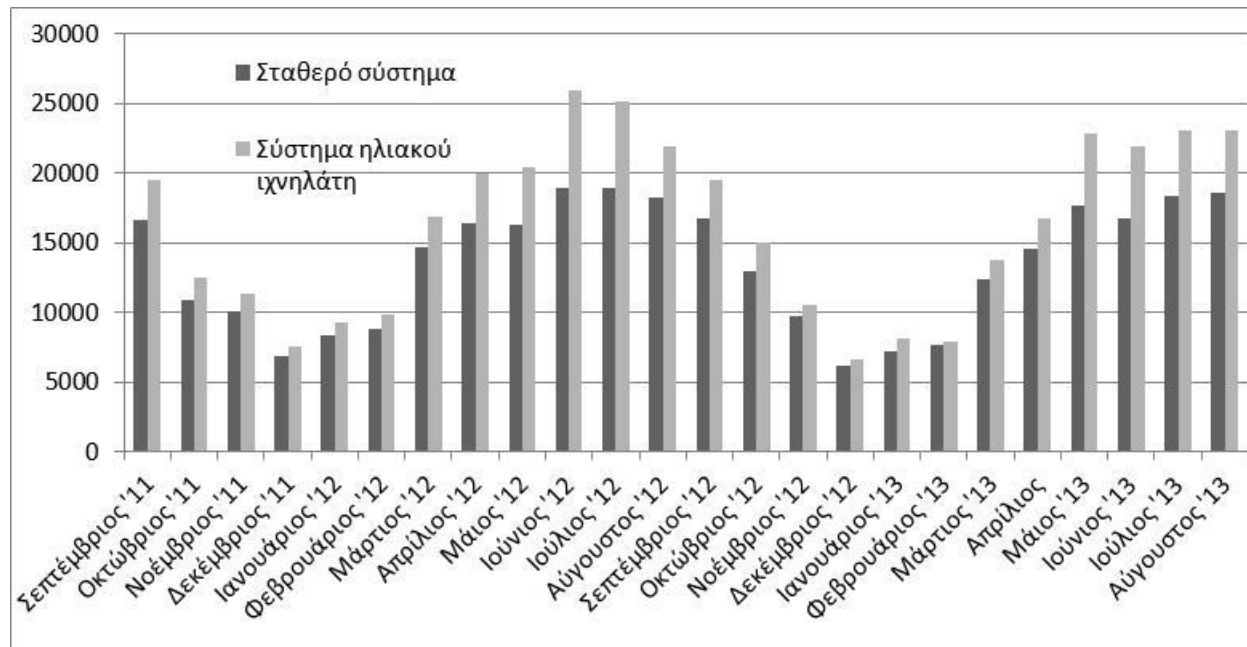
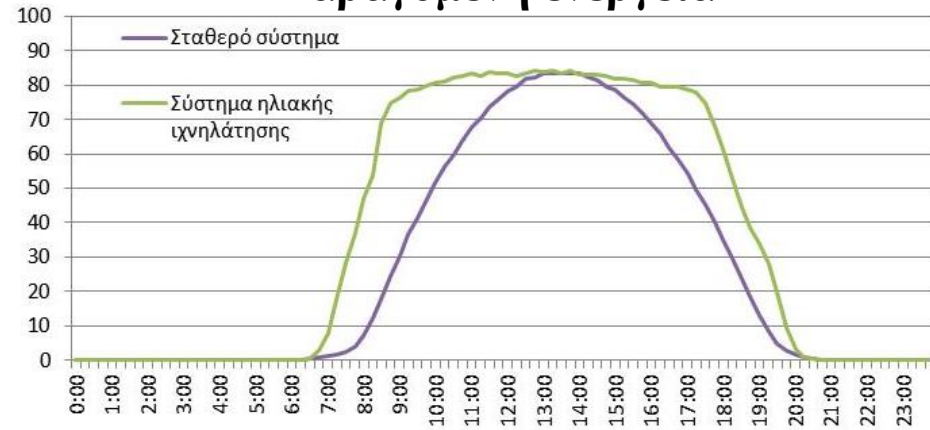
Ηλιακή ενέργεια

Σύγκριση σταθερών συστημάτων με συστήματα ηλιακής ιχνηλάτησης

Ηλιακή ακτινοβολία



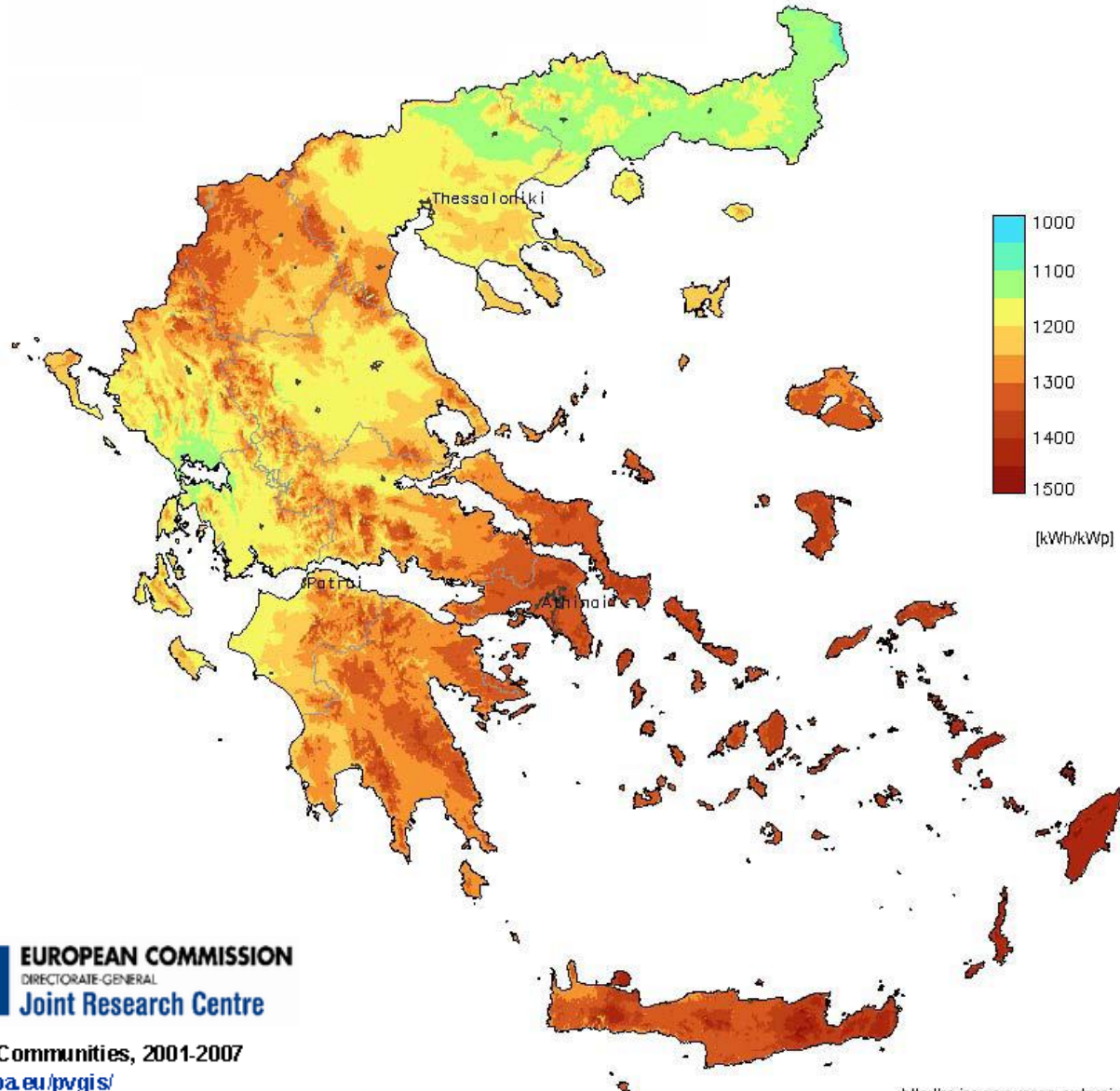
Παραγόμενη ενέργεια



Αποτίμηση λειτουργίας
Φωτοβολταϊκών
σταθμών, Φ. Μαλτέζος,
Διπλωματική εργασία,
2013

Ηλιακή ενέργεια

Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (kWh/ kWp)
(για φωτοβολταϊκό σύστημα τοποθετημένο στη βέλτιστη κλίση)



Βιομάζα

Βιομάζα είναι η ύλη που έχει βιολογική προέλευση. Πρακτικά, στον όρο εμπεριέχεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο.

Οι φυτικές ύλες που προέρχονται από φυσικά οικοσυστήματα αυτοφυή φυτά και δάση

Τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής,

π.χ. άχυρα, στελέχη αραβόσιτου, στελέχη βαμβακιάς, κλαδοδέματα, κλαδιά δένδρων, φύκη, κτηνοτροφικά απόβλητα, οι κληματίδες κ.ά.

Τα υποπροϊόντα που προέρχονται από τη μεταποίηση ή επεξεργασία των υλικών αυτών

π.χ. τα ελαιοπυρηνόξυλα, υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, το πριονίδι κ.ά.

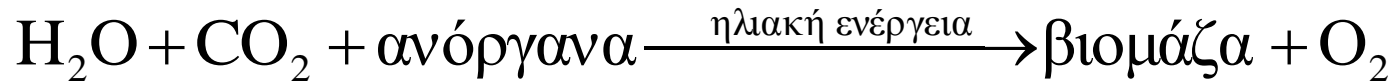
Οι ενεργειακές καλλιέργειες (έτσι ονομάζονται τα φυτά που καλλιεργούνται ειδικά με σκοπό την παραγωγή βιομάζας για παραγωγή ενέργειας)

π.χ. το σόργο το σακχαρούχο, το καλάμι, ο ευκάλυπτος κ.ά.

Το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών.

Βιομάζα

Βιοενέργεια είναι η δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας, αποτέλεσμα φωτοσύνθεσης



- Η βιοενέργεια παράγεται σε κύκλο.
- Αέναη χρήση φυσικών ενεργειακών ροών που μιμείται τους οικολογικούς κύκλους.
 - Ο άνθρακας προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα και επιστρέφει σε αυτήν
 - Οι θρεπτικές ουσίες λαμβάνονται από το έδαφος και επιστρέφουν σε αυτό
 - Τα υπολείμματα ενός σταδίου συνιστούν τις εισροές του επόμενου σταδίου.
- **1 τόνος ξηρής ουσίας βιομάζας ισοδυναμεί με 0,4 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΠ)**
- **1 ποτιστικό στρέμμα παράγει 3-4 τόνους ξηρής ουσίας, ήτοι 1-1,6 ΤΠ.**
- **1 ξηρικό στρέμμα παράγει 2-3 τόνους ξηρής ουσίας, ήτοι 0,7-1,2 ΤΠ.**

Βιομάζα

Πλεονεκτήματα

- Δεν συνεισφέρει στην παραγωγή CO₂ αφού οι παραγόμενες κατά την καύση ποσότητες CO₂ δεσμεύονται εκ νέου μέσω της φωτοσύνθεσης.
- Δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με SO₂ γιατί η βιομάζα δεν περιέχει θείο.
- Μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα
- Εξασφάλιση θέσεων εργασίας και συγκράτηση των αγροτικών πληθυσμών

Μειονεκτήματα

- Μεγάλος όγκος και υψηλή περιεκτικότητα υγρασίας, ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας
- Δυσκολία συλλογής, μεταφοράς, αποθήκευσης, έναντι συμβατικών καυσίμων
- Υψηλό κόστος αξιοποίησης (δαπανηρές εγκαταστάσεις και εξοπλισμός)
- Χωρική διασπορά και εποχιακή παραγωγή
- Για την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα συνεργάζονται δύο διαφορετικού χαρακτήρα συστήματα:
 - ένα σύστημα τροφοδοσίας που παράγει, συλλέγει και παραδίδει το καύσιμο
 - και ένας σταθμός που παράγει και διαθέτει τον ηλεκτρισμό.

Βιομάζα

Άμεσα διαθέσιμη βιομάζα στην Ελλάδα

- Υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών (7.500.000 t/year)

- Πυρηνόξυλο
- Εκκοκκιστήρια βάμβακος
- Πυρήνες φρούτων (ροδάκινα, βερίκοκα)
- Άχυρο
- Ρυζοφλοιοί
- Στελέχη & σπάδικες καλαμποκιού
- Κλαδοδέματα οπωροφόρων, ελιάς και αμπελιού

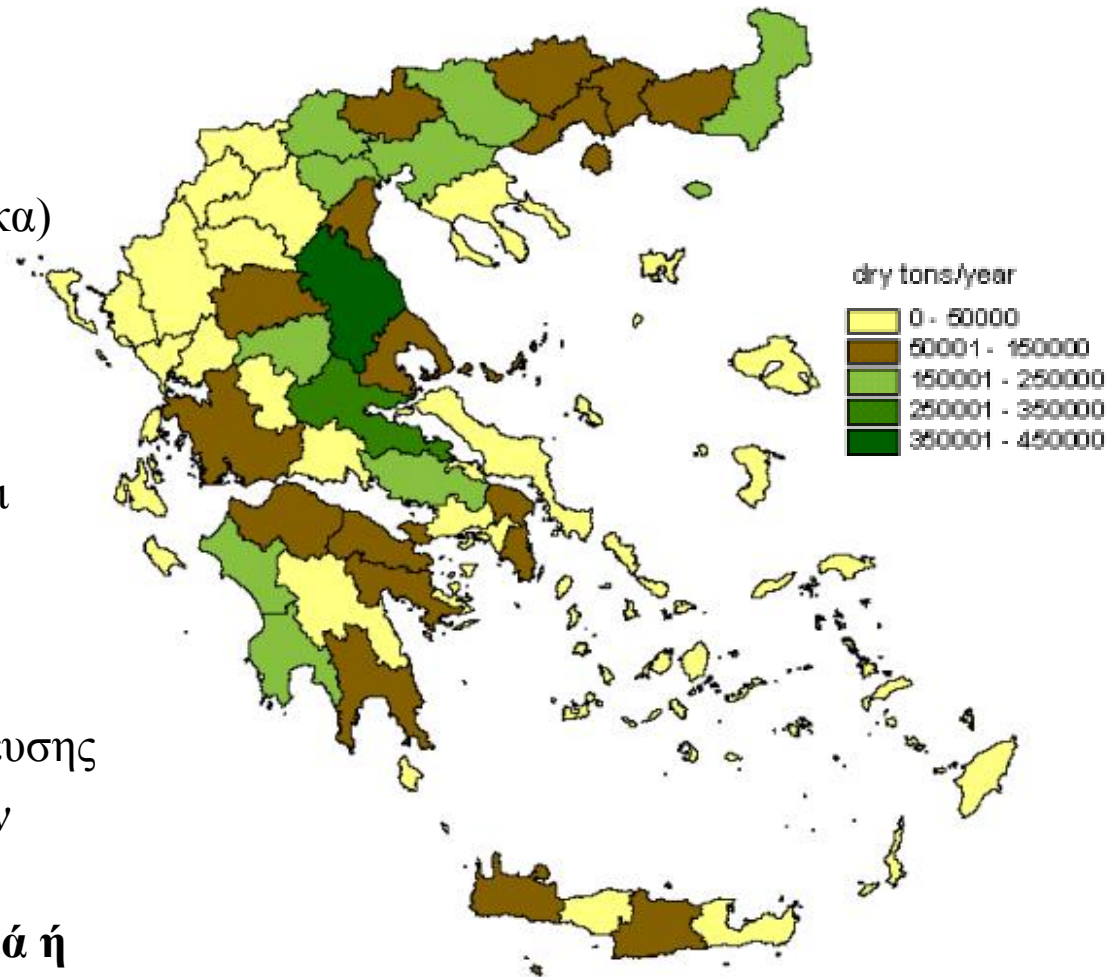
- Δασικά υπολείμματα υλοτομίας (2.700.000 t/year)

- Θρυμματισμένο ξύλο δασικής προέλευσης
- Υπολείμματα από διαχείριση δασικών οικοσυστημάτων (κορυφές, φλοιοί,)

- Ενεργειακές καλλιέργειες για στερεά ή υγρά βιοκαύσιμα.

- Βιοαποδομήσιμο κλάσμα αστικών απορριμμάτων (ζυμώσιμα και χαρτί)

Θεωρητικό δυναμικό γεωργικών υπολειμμάτων στην Ελλάδα ανά νομό



Πηγή: cres.gr

Βιομάζα

Ενεργειακές καλλιέργειες

Καλλιέργειες	Παραγωγή ξηρής ουσίας (tn/στρέμμα)	Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)	Συλλογή
Αγριαγκινάρα	1 - 2	18	Ιούλιο-Αύγουστο
Καλάμι	2 - 3	18,6	Ιανουάριο-Φεβρουάριο
Μίσχανθος	1 - 2	17,3	Δεκέμβριο-Φεβρουάριο
Ευκάλυπτος	1,8 - 3,2	19	Όλο το έτος
Switchgrass	1,4 - 2,5	17,4	Νοέμβριο-Φεβρουάριο
Κενάφ	0,7 - 2	17	Οκτώβριο-Δεκέμβριο
Σόργο	1 - 3	17,2	Οκτώβριο

Αγριαγκινάρα



Μίσχανθος



Σόργο



Καλάμι



Βιομάζα

Απόβλητα

Υπολείμματα από τη βιομηχανία τροφίμων

- Φλοιοί και υπολείμματα φρούτων και λαχανικών
- Τρόφιμα που δεν ανταποκρίνονται στα πρότυπα ποιότητας
- Πολτός από ίνες από την εξαγωγή ζάχαρης και αμύλου
- Υγρά απόβλητα από το πλύσιμο κρέατος και λαχανικών, τη λεύκανση των φρούτων και λαχανικών και το προ-μαγείρεμα. Είναι κατάλληλα για παραγωγή βιοαερίου μέσω αναερόβιας χώνευσης ή ζύμωση για παραγωγή αλκοόλης

Ζωικά απόβλητα

- Κοπριές από χοιρινά, κοτόπουλα και βοοειδή (σε εκτροφεία). Στο παρελθόν διασκορπίζονταν στους αγρούς σαν λίπασμα. Σήμερα η διάθεση τους αποτελεί μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα
- Δυνατότητα αξιοποίησης μέσω της αναερόβιας χώνευσης για παραγωγή βιοαερίου

Αστικά λύματα

- Η ιλύς από την επεξεργασία των λυμάτων αποτελεί καλό συστατικό για παραγωγή βιοαερίου

Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ)

- Σύσταση ΑΣΑ: 40-60% υπολείμματα τροφίμων, 15-20% χαρτί, 7-15% πλαστικό, 4-10% μέταλλα, 4-10% αδρανή
- Μετατροπή σε ενέργεια με άμεση καύση ή με αναερόβια χώνευση. Θερμογόνος δύναμη 8-12 GJ/t
- Φυσική παραγωγή βιοαερίου σε ΧΥΤΑ. Αξιοποίηση σε μηχανές εσωτερικής καύσης ή αεριοστροβίλους

Βιομάζα

Χαρακτηριστικά

Καλλιέργειες	Μέρος Φυτού	Υγρασία μετά την συγκομιδή (%)	Παραγωγή ξηράς ουσίας (kg/στρέμμα)	Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)	Περίοδος Συλλογής
Σιτάρι	Άχυρο	10	217	18,5	Ιούνιος-Αύγουστος
Κριθάρι	Άχυρο	10	120	18,2	Ιούνιος-Αύγουστος
Καλαμπόκι	Στέλεχος	14,7	1010	18	Σεπτέμβριος-Νοέμβριος
Βρώμη	Άχυρο	8,5	355	18	Ιούνιος-Αύγουστος
Σίκαλη	Άχυρο	8	200	18,3	Ιούνιος-Αύγουστος
Βαμβάκι	Στέλεχος	40	350	18	Σεπτέμβριος-Οκτώβριος
	Υπολείμματα εκκοκκισμού	15	100	17,5	Σεπτέμβριος-Οκτώβριος

Καλλιέργειες	Μέρος Φυτού	Υγρασία μετά την συγκομιδή (%)	Παραγωγή ξηράς ουσίας (kg/στρέμμα)	Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)	Περίοδος Συλλογής
Ελιές	Κλαδέματα	43	37,2	19	Δεκέμβριος-Μάρτιος
	Πυρήνας	48	120	19,7	Νοέμβριος-Φεβρουάριος
Ροδακινιές	Κλαδέματα	41	52,1	18,8	Δεκέμβριος-Μάρτιος
	Πυρήνας	20	180	19,3	Μάιος-Σεπτέμβριος
Αμπέλια	Κλαδέματα	39	32,1	18,7	Ιανουάριος-Φεβρουάριος
Βερικοκιές	Κλαδέματα	38	53,2	17,8	Δεκέμβριος-Μάρτιος
Αχλαδιές	Κλαδέματα	39	48,7	18,7	Ιανουάριος-Μάρτιος
Αμυγδαλιές	Κελύφη	20	220	19,1	Αύγουστος-Σεπτέμβριος

Βιομάζα

Χαρακτηριστικά

Καύσιμο	Υγρασία (%)	Θερμογόνος δύναμη (kWh/kg)	Τέφρα (%)
Ξύλο	15	4,3	0 – 1,5
Χαρτί	6	4,1	6
Φλοιός βαμβακόσπορων	9	4,1	12
Φλοιός ξηρών καρπών	11-24	3,7-5,1	1 – 4
Άχυρο	8	4,0	2
Ορυζοφλοιός	9	3,4	18 – 20
Εκκοκκιστήριο βάμβακα	13	4,1	16

Πηγή: Α. Ζαμπανιώτου. «Μικρές κινούμενες μονάδες αεριοποίησης για πράσινη ενέργεια και επιχειρηματικότητα», 2ο Αναπτυξιακό Συνέδριο Καρδίτσας Τεχνολογίες αξιοποίησης βιομάζας, Καρδίτσα 21 /11/2010

Βιομάζα	Πυκνότητα (kg/m ³)	Υγρασία (%)	Θερμογόνος δύναμη (kWh/kg)	Τιμή πώλησης (€/t)
Πυρηνόξυλο	650	20	5,28	42-60
Κουκούτσια ροδάκινου	540	5	5,67	50
Θρυμματισμένο ξύλο	175-200	25	4,22	30
Pellets	650	<10	4,72	150-170
Άχυρόμπαλα	100	15	4,0	50

Πηγή: Παπαμιχαήλ Ι. ΚΑΠΕ, Διαθεσιμότητα βιομάζας για υποψήφια έργα, Συνάντηση εργασίας προγράμματος BIOSOLESCO, Αθήνα, 2010

Βιομάζα

Η διαδικασία παραγωγής σύμπηκτων

- Τα σύμπηκτα (pellets) είναι μικρά κυλινδρικά τεμάχια συμπιεσμένης βιομάζας από διάφορες καλλιέργειες (π.χ., δασική βιομάζα), υπολείμματα βιομηχανίας ξύλου (π.χ., πριονίδια) διαφόρων μεγεθών, διαμέτρου 3-25 mm και μήκους 5-40 mm.
- Απόδοση:
 - 0,30 kg pellets/kg κλαδέματος
 - 1 τόνος pellets = 0,43 ΤΙΠ
- Η παραγωγή των πελλετών (pellets) γίνεται σε αντίστοιχες μονάδες επεξεργασίας με την ακόλουθη διαδικασία:
Θρυμματισμός → Άλεση → Ξήρανση → Πελλετοποίηση → Ψύξη → Συσκευασία
- Η βιομηχανία παραγωγής καυστήρων πελλέτας έχει κάνει μεγάλα τεχνολογικά άλματα με αποτέλεσμα οι καυστήρες πελλέτας που κυκλοφορούν στο εμπόριο σήμερα να έχουν πολύ μεγάλη απόδοση, **παρόμοια πλέον με την απόδοση των καυστήρων πετρελαίου (80-85%)**.



Βιομάζα

Παραδείγματα ενεργειακής αξιοποίησης

1. Εργοστάσιο συμπαραγωγής με καύση υπολειμμάτων ξυλείας

- Διαθέσιμα 15.000 t/year υπολείμματα ξυλείας
- Κατανάλωση
 - Μέση κατανάλωση καυσίμου = 1,7 τόνοι/ώρα
 - Ώρες λειτουργίας = 8000 ώρες
- Ετήσια κατανάλωση καυσίμου = 14.000 t/year
- Βασικά ενεργειακά μεγέθη
 - Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς = 1 MW
 - Παραγόμενη θερμότητα = 5 MW
- Κόστος έργου
 - Λεβητοστάσιο και μονάδα συμπαραγωγής = 2.300.000 €
 - Σύνδεση με ΔΕΗ, κτίριο, υδραυλικά, και ηλεκτρικά δίκτυα = 700.000 €
 - Σύνολο = 3.000.000 €
- Βασικά οικονομικά στοιχεία
 - Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια = 8000 MWh/έτος
 - Έσοδα από την πώληση ενέργειας = 1.600.000 €/έτος (200 €/MWh – Νόμος 3851/2010)
 - Έξοδα λειτουργίας μονάδας = 900.000 €/έτος
 - Όφελος = 700.000 €/έτος
- Απόσβεση μονάδας = 5 έτη (4 έτη αν ληφθεί υπόψη και η πώληση θερμότητας)

Βιομάζα

Παραδείγματα ενεργειακής αξιοποίησης

2. Εργοστάσιο συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας στην Αυστρία

- Δυναμικότητα 4,1 MW
- Παραγωγή ενέργειας – **συνολική** , **ηλεκτρική**, **θερμική**
 - **19 MW**, **4,1 MW**, 12,1 MW (αποδόσεις **93%**, **19%**, 63%)
- Τεχνολογία: ατμοστρόβιλος
- Θερμότητα σε βιομηχανική χρήση
- Βιομάζα με υψηλή υγρασία
 - 50% υγρασία
 - Αποθήκευση: για 3000 m³ (0.90 τόνοι)
- Αναγνωρισμένες ατέλειες: συχνές διακυμάνσεις στην ποιότητα του ατμού
- Λειτουργία : 6000 ώρες/έτος
- Λειτουργικό κόστος : < 2,6 εκ. €/ετος
 - **Πρώτες ύλες 25%**, **ενεργειακή κατανάλωση 55%**, **λειτουργικά 20%**
- Κόστος επένδυσης: 19 εκ. €
- Κόστος παραγωγής ενέργειας: <0,03 €/kWh

Βιομάζα

Παραδείγματα ενεργειακής αξιοποίησης

3. Εκκοκκιστήριο βάμβακος στη Βοιωτία

- Παραγωγή βαμβακιού : 40.000-50.000 t/year
- Παραγωγή υπολειμμάτων: 4.000-5.000 t/year
- Υφιστάμενη πρακτική: ξήρανση βαμβακιού πριν τον εκκοκκισμό με την καύση πετρελαίου και διοχέτευση των καυσαερίων στο προς ξήρανση βαμβάκι.
- Νέα εγκατάσταση
 - Ισχύς λέβητα βιομάζας 4.000.000 kcal/h (~4.5 MW), παραγόμενος ατμός πίεση 10 bar
 - Το έργο που παράγεται, κατά την εκτόνωση του ατμού σε ένα στρόβιλο, μετατρέπεται στη γεννήτρια σε ηλεκτρική ενέργεια ισχύος 500 kW.
 - Μετά την εκτόνωσή του, ο ατμός οδηγείται, μέσω σωληνώσεων σε εναλλάκτες θερμότητας, όπου θερμαίνεται ο αέρας σε θερμοκρασία 130°C.
 - Ο θερμός αέρας χρησιμοποιείται αφενός για την ξήρανση του βαμβακιού σε ειδικούς πύργους, αφετέρου στο σπορελαιουργείο, στις πρέσες ατμού, για την εξαγωγή του βαμβακόλαδου.
- Οικονομικά μεγέθη
 - Καλύπτεται το σύνολο των αναγκών σε θερμότητα και μέρος των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια
 - Επιτυγχάνεται εξοικονόμηση 630 τόνων πετρελαίου ετησίως.
 - Η αρχική επένδυση, συνολικού ύψους 1.000.000 ευρώ, αποσβέσθηκε σε μόλις 6-7 εκκοκκιστικές περιόδους.

Βιομάζα

Παραδείγματα ενεργειακής αξιοποίησης

4. Εργοστάσιο συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας στη Δανία

- Δυναμικότητα 4,4 MW
- Παραγωγή ενέργειας – συνολική , ηλεκτρική, θερμική
 - 20 MW, 4,4 MW, 14 MW (αποδόσεις 92%, 22%, 70%)
- Τεχνολογία: ατμοστρόβιλος
- Θερμότητα για αστική χρήση
- Τροφοδοσία: 150.000 m³ ξύλο/έτος
 - 5-55% υγρασία
 - Αποθήκευση: για 9.000 m³ (2.500 τόνοι)
- Αναγνωρισμένες ατέλειες: σχεδιασμός εφοδιαστικής αλυσίδας
- Λειτουργία : 5.500 ώρες/έτος
- Λειτουργικό κόστος : < 5 εκ. €/ετος
 - Πρώτες ύλες 50%, ενεργειακή κατανάλωση 40%, λειτουργικά 10%
- Κόστος επένδυσης: 17 εκ. €
- Κόστος παραγωγής ενέργειας: <0,04 €/kWh