



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

“ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ  
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ”

ΦΟΙΤΗΤΕΣ:

ΓΚΟΝΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ  
ΖΟΥΡΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΣΧΟΪΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ Οκτώβριος, 2021

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή για την εξέλιξη των ανεμογεννητριών με την πάροδο του χρόνου. Στη συνέχεια δίνεται ο ορισμός των ΑΠΕ, τα είδη αυτών, καθώς τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους. Παραθέτοντας οικονομικά και ενεργειακά στοιχεία βλέπουμε την ανοδική τάση που υπάρχει στην εγκατάσταση των ΑΠΕ και από την επενδυτική οπτική αλλά και από την ενεργειακή προσφορά.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η δημιουργία του ανέμου, η άμεση σχέση που έχει αυτή με τη θερμοκρασία, καθώς και τα χαρακτηριστικά του ανέμου με τις παραμέτρους που τον επηρεάζουν, αλλά και τα μέσα με τα οποία μετράμε το αιολικό δυναμικό.

Το τρίτο κεφάλαιο περιγράφει αναλυτικά τη δομή μια ανεμογεννήτριας, τα βασικά μέρη που την απαρτίζουν και ο ρόλος του καθενός από αυτά στη λειτουργία της. Εξετάζονται οι διαφορές μεταξύ των δύο βασικών κατηγοριών, οριζοντίου και καθέτου τύπου, αναλύονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε κατηγορίας ξεχωριστά. Με τη χρήση γραφημάτων και μαθηματικών τύπων περιγράφεται η καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας, καθώς και οι παράγοντες που συντελούν στη τελική της μορφή. Επίσης γίνεται ξεχωριστή ανάλυση στο ηλεκτρολογικό και στο μηχανικό σύστημα, και στο πως αυτά συντελούν στην ορθή και βέλτιστη λειτουργία αυτής.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στα περιβαλλοντολογικά και κοινωνικά προβλήματα που σχετίζονται τις ανεμογεννήτριες και ειδικότερα στην επίδραση που μπορεί να έχουν στο άνθρωπο δημιουργώντας είτε άμεσα προβλήματα στον ίδιο είτε έμμεσα μέσω των επιπτώσεων που μπορεί να έχουν στο οικοσύστημα.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΑΠΕ

1.1	Ιστορική αναδρομή.....	4
1.2	Μορφές ΑΠΕ.....	5
1.3	Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα ΑΠΕ.....	10
1.4	Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ.....	11

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΑΝΕΜΟΣ

2.1	Δημιουργία του ανέμου.....	16
2.2	Χαρακτηριστικά του ανέμου.....	18
2.3	Μέτρηση αιολικού δυναμικού.....	19

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

3.1	Λειτουργία και κατηγορίες.....	22
3.2	Καμπύλη ισχύος.....	28
3.3	Δομή ανεμογεννήτριας.....	35
3.3.1	Μηχανικό - Ηλεκτρολογικό σύστημα .....	35
3.3.2	Σύστημα ελέγχου.....	58

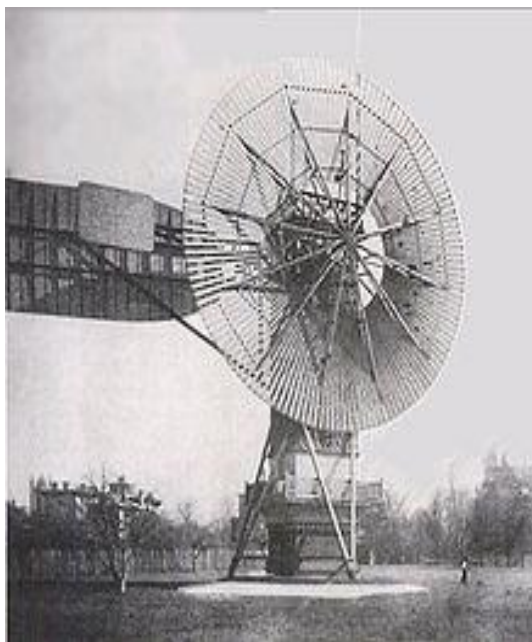
### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:ΣΥΧΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

4.1	Περιβαλλοντολογικά.....	59
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ.....	61

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

### 1.1 Ιστορική αναδρομή [1]

Η αιολική ενέργεια έχει κατανοηθεί και εκμεταλλευτεί έως ένα βαθμό από τον άνθρωπο από τα αρχαία χρόνια. Το όνομα της έχει προέλευση από τον αρχαίο Έλληνα θεό των ανέμων Αίοιο. Την πρώτη εφαρμογή και εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας θα την συναντήσουμε στη ναυσιπλοΐα. Μετέπειτα και περίπου τον 1ο αιώνα μ.Χ. εντοπίζεται στην Αλεξάνδρεια μηχανή που λειτουργεί εκμεταλλευόμενη την κίνηση τροχού μέσω αιολικής ενέργειας, και εν συνεχεία εντοπίζεται ξανά κάπου ενδιάμεσα από τον 6ο μέχρι τον 9ο αιώνα μ.Χ. στην Περσία. Αναφορές για χρήση ανεμόμυλων υπάρχουν και για την Κίνα περίπου τον 13ο αιώνα μ.Χ., και από την Ασία πάμε στην Ευρώπη όπου συναντάμε ως επί το πλείστον νερόμυλους οι οποίοι χρησιμοποιούνται για το άλεσμα σιτηρών καθώς και για την άντληση νερού. Στην Ελλάδα μέχρι και τη βιομηχανική επανάσταση αρχές με μέσα του 18<sup>ου</sup> αιώνα οι πλειοψηφία των ενεργειακών αναγκών καλύπτεται από ανεμόμυλους, νερόμυλους καθώς και από το ξύλο. Μερικές δεκαετίες αργότερα ξεκινά η χρήση πετρελαίου και αερίου σαν πηγές ενέργειας, παρόλα αυτά η κατανάλωση που γίνεται ολοένα και μεγάλη οδηγεί σε ανεύρεση νεών πηγών ενέργειας και για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε συνδυασμό με την προστασία του περιβάλλοντος. Με αυτή η αναζήτηση γεννήθηκε ουσιαστικά ο τρόπος εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας και η μετατροπή σε ηλεκτρική, στο Cleveland το 1887 από τον Τσαρλς Φ. Μπρας, με ένα ανεμόμυλο ο οποίος έφθανε σε ισχύ τα 12kW. Αυτή ήταν και η αρχή για να ακολουθήσουν μέσα στον επόμενο αιώνα ανεμογεννήτριες της τάξεως των 25kW και από εκεί να περάσουμε στις τελευταίες δυο με τρεις δεκαετίες όπου και η δυναμικότητα των ανεμογεννητριών κυμαίνεται στα 750 με 2500 kW.

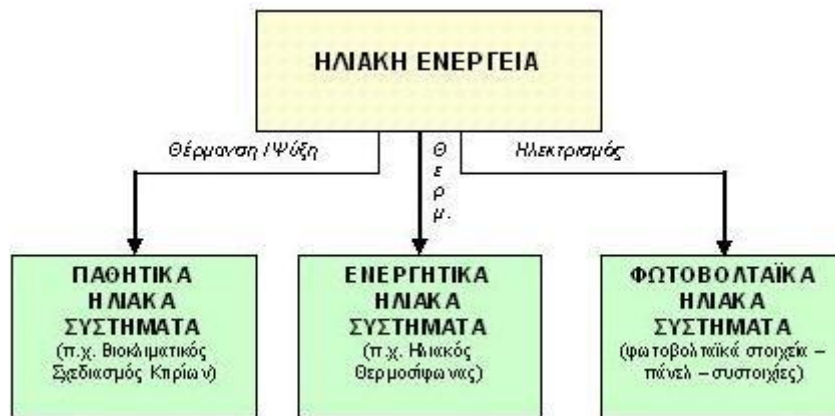


*Εικόνα 1. Η πρώτη αυτόματη ανεμογεννήτρια. Είχε 18 μέτρα ύψος, ζύγιζε 4 τόνους και παρήγαγε 12 kW. Πηγή <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%B5%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%B5%CE%BD%CE%BD%CE%AE%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%B1>*

## 1.2 Μορφές ΑΠΕ [1],[2],[6]

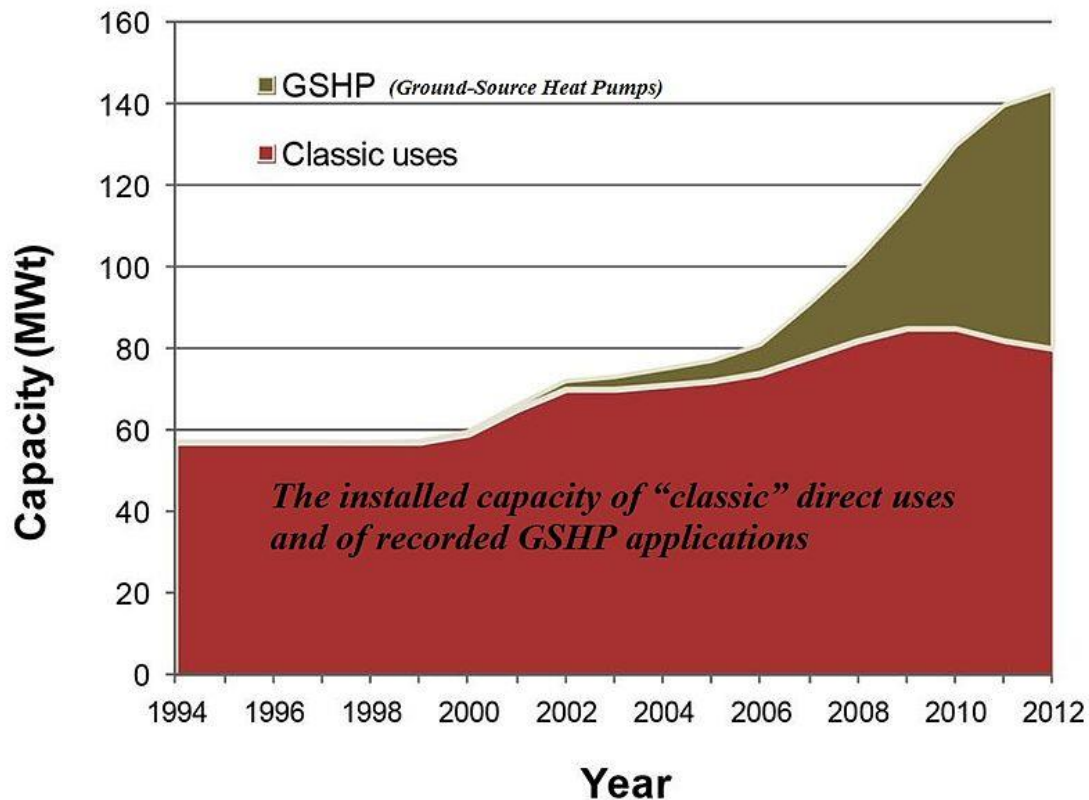
Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας(ΑΠΕ),ως τέτοιες πηγές έχουν οριστεί οι πηγές ενέργειας που συναντάμε σε άφθονα αποθέματα στο φυσικό μας περιβάλλον. Οι μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που θα συναντήσουμε στο περιβάλλον είναι:

- Ήλιος(ηλιακή ενέργεια),η οποία αποτελείται από μορφές ενέργειας προερχόμενες από τον ήλιο. Πρακτικά η ενέργεια που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε από τον ήλιο είναι αστείρευτη, γεγονός που καθιστά την ηλιακή ενέργεια και τις εφαρμογές τις πολύ σημαντικές. Ως προς την αξιοποίηση της, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρεις βασικές ομάδες εφαρμογών, οι οποίες είναι: τα παθητικά, τα ενεργητικά καθώς και τα φωτοβολταϊκά συστήματα.



Εικόνα 2. Κατηγορίες εφαρμογών ηλιακής ενέργειας Πηγή{<https://el.wikipedia.org/wiki/>}

- Γεωθερμία(γεωθερμική ενέργεια),η οποία είναι η φυσική θερμική ενέργειας της γης που εκλύεται στον πλανήτη από το εσωτερικό του προς την επιφάνεια. Η θερμική μετάδοση μπορεί να γίνει είτε με αγωγή θερμότητας από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό 0,04 έως 0,06 W/m<sup>2</sup>, είτε με ρεύματα μεταφοράς. Η αξιοποίηση αυτής της ενέργειας συσχετίζεται με το θερμοκρασιακό επίπεδο στο οποίο βρίσκεται, έτσι μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε υψηλής ενθαλπίας για( $\theta > 150^{\circ}\text{C}$ ) για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σε μέσης ενθαλπίας για(80 ως 150 $^{\circ}\text{C}$ ) με εφαρμογή την θέρμανση και τη ξήρανση ξυλείας ή αγροτικών προϊόντων, και τέλος σε χαμηλής ενθαλπίας (25 ως 80 $^{\circ}\text{C}$ ) για θέρμανση χώρων ή θερμοκηπίων και για ιχθυοκαλλιέργειες.



Γράφημα 1. Η εγκατεστημένη γεωθερμική ισχύς στην Ελλάδα. Πηγή {[el.wikipedia.org/wiki/](http://el.wikipedia.org/wiki/)}

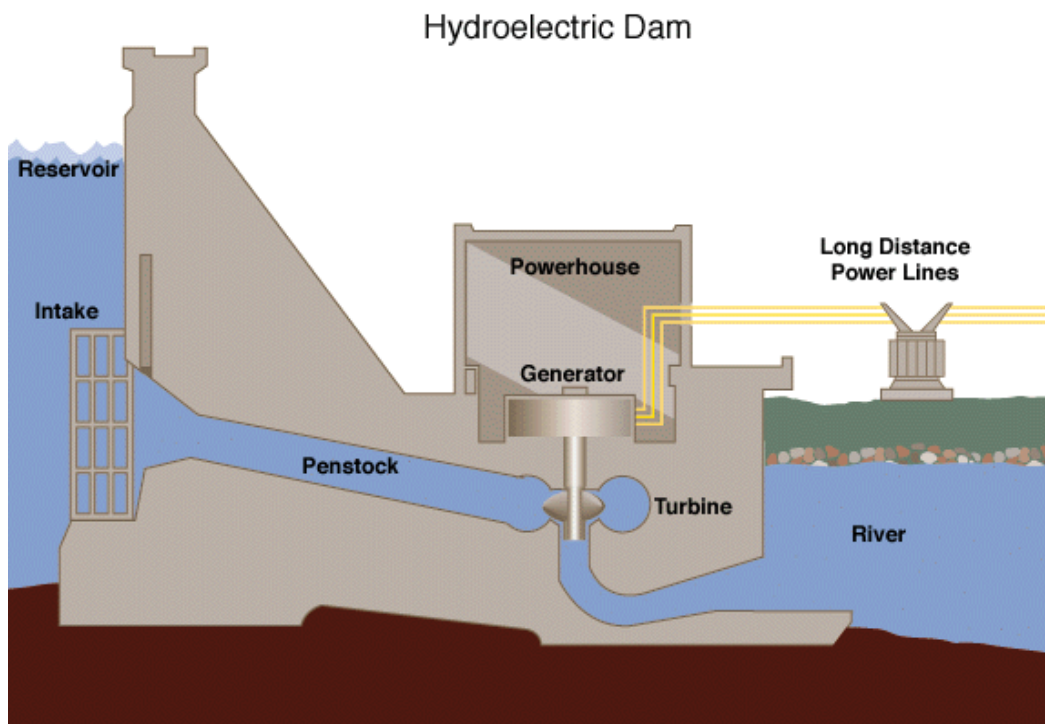
- Βιομάζα(βιοενέργεια), μπορεί να αποκαλεστεί οποιαδήποτε φυτική ύλη με ανακτήσιμο ενεργειακό περιεχόμενο, η οποία μπορεί να προέλθει από τη δασοκομία και τη γεωργία. Μπορεί να παράγει ενέργεια ως καύσιμο είτε στερεού τύπου(π.χ. πέλλετ, πυρηνόξυλα, καυσόξηλα) είτε υγρού τύπου με την ιδιότητα του καυσίμου κίνησης όπως βιοαιθανόλη και βιοντίζελ. Μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης αποδεσμεύεται η ενέργεια που υπάρχει στις φυτικές ουσίες και με αυτό τον τρόπο μετατρέπεται η ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα.





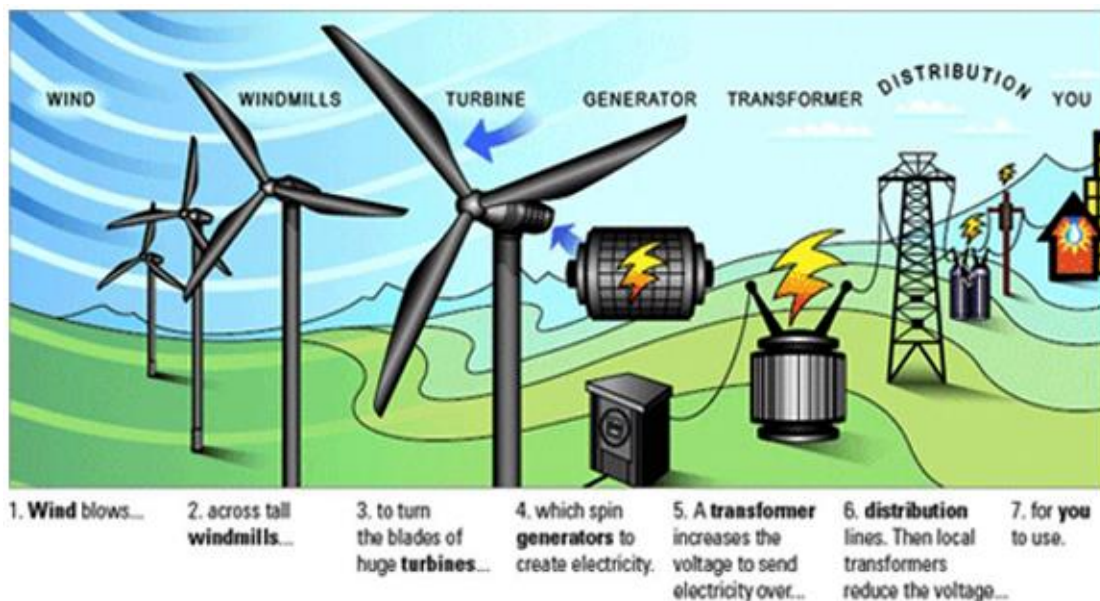
*Εικόνα 3. Πέλλετ ξύλου Πηγή{ [el.wikipedia.org/wiki/](http://el.wikipedia.org/wiki/)}*

- Υδροηλεκτρική ενέργεια, είναι η ηλεκτρική ενέργεια που παίρνουμε από την εκμετάλλευση της δυναμικής ενέργειας του νερού σε μια λίμνη ή στη θάλασσα. Η μετατροπή της δυναμικής ή κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται μέσω ενός υδροστρόβιλου, ο οποίος βρίσκεται σε κοινό άξονα με γεννήτρια η οποία θα την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική.



Εικόνα 4.Τυπική διάταξη Υ/Η σταθμού{ [el.wikipedia.org/wiki/](http://el.wikipedia.org/wiki/)}

- Άνεμος(αιολική ενέργεια), είναι η παραγόμενη ενέργεια από την εκμετάλλευση του ανέμου. Χαρακτηρίζεται ως καθαρή πηγή καθώς δεν δημιουργεί ρύπους. Η ανεμογεννήτρια είναι το βασικό μέσο μετατροπής της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική.



Εικόνα 5.Η διαδρομή από τον άνεμο έως την κατανάλωση. Πηγή { <https://www.emc2.gr/el/vivliothiki/energeia-energy/aioliki-energeia/>}

### 1.3 Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα ΑΠΕ [1],[2],[7]

#### ➤ Πλεονεκτήματα

- Θεωρούνται πρακτικά αστείρευτες πηγές ενέργειας.
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον καθώς έχουν ελάχιστους ρύπους και απόβλητα.
- Είναι κατασκευές με μεγάλη αντοχή στο χρόνο.
- Από οικονομική άποψη είναι η βέλτιστη επιλογή για χώρες που χρειάζονται να γίνουν ενεργειακά ανεξάρτητες καθώς μπορούν να τις βοηθήσουν να απαλλαγούν σε μεγάλο ποσοστό από τις υψηλού κόστους εισαγωγές πετρελαίου.
- Υπάρχει η δυνατότητα για δημιουργία μικρότερων μονάδων παραγωγής με σκοπό την άμεση κάλυψη ενεργειακών σε συγκεκριμένες περιοχές, γλυτώνοντας με αυτό τον τρόπο απώλειες ενέργειας στην προσπάθεια για μεταφορά με δίκτυα που καλύπτουν τεράστιες αποστάσεις.
- Οι κατασκευές πλέον συγκαταλέγονται σε ποικίλα επιδοτούμενα προγράμματα από διάφορες κυβερνήσεις ή την ευρωπαϊκή ένωση.

#### ➤ Μειονεκτήματα

- Η σχέση εξάρτησης που υπάρχει μεταξύ παροχής και απόδοσης των ΑΠΕ ανάλογα με την εποχή του χρόνου και το κλίμα της περιοχής που έχει γίνει μια εγκατάσταση.
- Έχουν μικρό συντελεστή απόδοσης που συνεπάγεται τεράστιες εκτάσεις για εγκαταστάσεις ικανές να τροφοδοτούν εξολοκλήρου τα μεγάλα αστικά κέντρα.
- Σε πολλές περιπτώσεις έχουν γίνει αισθητά φαινόμενα με θανάτους σμήνους πουλιών από προσκρούσεις με ανεμογεννήτριες, γεγονός που τις καθιστά ως αρνητική επίπτωση στα οικοσυστήματα συγκεκριμένων τόπων.
- Οι πολύ μεγάλες εκτάσεις που απαιτούνται για εγκατασταθούν, καθιστά δύσκολη τη μεταφορά και αποθήκευση ενέργειας σε ένα μέρος.



- Υψηλότερο κόστος συγκριτικά με παλαιότερους και δημοφιλέστερους τρόπους παραγωγής ενέργειας, όπως τα ορυκτά.

## 1.4 Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ [3],[4],[5]

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ενός σταθμού ΑΠΕ είναι σύνολο όλης της ισχύς που εντάσσεται στον εκάστοτε σταθμό. Σύμφωνα με το τελευταίο δελτίο ετήσιας πληροφόρησης για όλο το έτος 2020 του ΔΑΠΕΕΠ(διαχειριστής ΑΠΕ και εγγυήσεων προέλευσης) το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύς σε διασυνδεδεμένο δίκτυο ήταν 7.383MW με παραγωγή ενέργειας 13.519GWh.

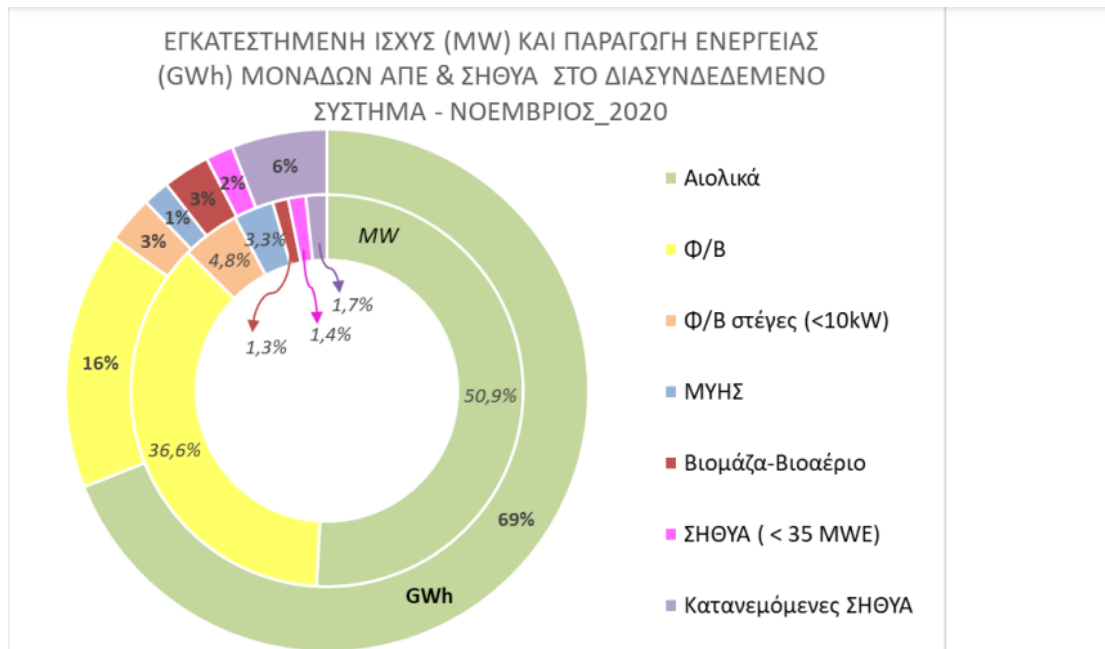
**ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (GWh) ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2020**

Μήνας	Αιολικά		Φ/Β		Φ/Β Στέγες		ΜΥΗΣ		Βιοαέριο-Βιομάζα		ΣΗΘΥΑ & Καταναεόμενες ΣΗΘΥΑ		Σύνολο	
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
Ιαν	3.315	710,9	2.308	213,9	353	31,0	241	51,6	88	32,0	233	106,0	6.539	1.145
Φεβ *	3.394	743,9	2.323	245,9	353	22,6	233	46,8	89	33,2	237	92,1	6.629	1.184
Μαρ	3.526	761,5	2.336	290,0	353	23,1	233	66,1	89	37,9	237	94,8	6.774	1.273
Απρ	3.526	726,9	2.354	317,0	353	28,3	233	76,8	89	35,4	237	88,4	6.793	1.273
Μάι	3.569	520,9	2.382	375,6	353	40,5	233	50,1	89	35,6	237	89,2	6.863	1.112
Ιουν *	3.591	492,4	2.399	388,4	353	38,4	242	37,0	89	32,5	237	81,1	6.911	1.070
Ιουλ	3.628	738,3	2.428	418,0	353	45,5	243	33,2	95	31,4	235	83,3	6.982	1.350
Αυγ	3.687	554	2.490	403	353	54	243	31	95	34	235	82	7.103	1.158
Σεπ	3.709	935	2.540	346	353	57	243	28	95	36	235	88	7.174	1.490
Οκτ *	3.727	580	2.609	313	353	46	243	34	95	36	235	97	7.262	1.105
Νοε	3.755	936	2.702	216	353	40	243	22	95	40	235	103	7.383	1.357
Δεκ														
Σύνολο Έτους	<b>3.755</b>	<b>7.700</b>	<b>2.702</b>	<b>3.527</b>	<b>353</b>	<b>426</b>	<b>243</b>	<b>477</b>	<b>95</b>	<b>383</b>	<b>235</b>	<b>1.005</b>	<b>7.383</b>	<b>13.519</b>

\* Μήνες εκκαθάρισης για τα Φ/Β Χαμηλής Τάσης

Πίνακας 1. Εγκατεστημένη ισχύς και παραγωγή ενέργειας για διασυνδεδεμένο δίκτυο στο έτος 2020-Πηγή {<https://energyexpress.gr/news/sta-78-gw-dynamiko-ape-stin-ellada-oi-allages-anatehnologia-diastrima-ianoyarios-noemvrios-2020>}

Παραθέτουμε και γράφημα για την καλύτερη εικόνα κάλυψης της συνολικής εγκατεστημένης ισχύς.



Γράφημα 2. Ποσοστιαία συνεισφορά ΑΠΕ στη συνολική εγκατεστημένη ισχύ για διασυνδεδεμένο δίκτυο. Πηγή { [https://www.dapeep.gr/wp-content/uploads/ELAPE/2020/07\\_NOV\\_2020\\_DELTIO\\_ELAPE\\_v1.0\\_01.02.2021\\_d.pdf?t=1612280977](https://www.dapeep.gr/wp-content/uploads/ELAPE/2020/07_NOV_2020_DELTIO_ELAPE_v1.0_01.02.2021_d.pdf?t=1612280977) }

Τα αντίστοιχα νούμερα για το μη διασυνδεδεμένο δίκτυο ήταν, συνολική εγκατεστημένη ισχύς 465,82MW με παραγωγή ενέργειας 908,32GWh.

**ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (GWh) ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ 2020**

Αιολικά		Φ/Β		Φ/Β Στέγες		ΜΥΗΣ		Βιοαέριο-Βιομάζα		ΥΒΣ/ΑΠΕ**		ΣΗΘΥΑ & Κατανεμόμενες ΣΗΘΥΑ		Σύνολο	
MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
306,15	75,28	129,75	11,50	22,06	1,53	0,30	0,07	1,00	0,39	2,95	1,02			462,21	89,78
306,75	61,71	129,75	13,20	22,07	1,91	0,30	0,05	1,00	0,38	2,95	0,30			462,82	77,54
306,75	57,73	129,75	17,51	22,07	2,41	0,30	0,08	1,00	0,47	2,95	0,46			462,82	78,65
306,75	46,32	129,75	20,08	22,07	3,04	0,30	0,08	1,00	0,46	2,95	0,35			462,82	70,32
306,75	36,88	129,75	24,07	22,07	3,65	0,30	0,07	1,00	0,45	2,95	0,10			462,82	65,23
306,75	42,31	129,75	24,50	22,07	3,68	0,30	0,06	1,00	0,44	2,95	0,08			462,82	71,08
306,75	90,34	129,75	26,56	22,07	4,01	0,30	0,06	1,00	0,49	2,95	0,13			462,82	121,58
306,75	88,33	129,75	24,78	22,07	3,91	0,30	0,05	1,00	0,51	2,95	0,18			462,82	117,76
309,75	66,06	129,75	20,89	22,07	3,47	0,30	0,02	1,00	0,42	2,95	0,13			465,82	90,98
309,75	31,75	129,75	16,79	22,07	1,51	0,30	0,00	1,00	0,44	2,95	0,11			465,82	50,59
309,75	60,13	129,75	11,80	22,07	2,39	0,30	0,00	1,00	0,28	2,95	0,20			465,82	74,81
<b>309,75</b>	<b>656,83</b>	<b>129,75</b>	<b>211,68</b>	<b>22,07</b>	<b>31,50</b>	<b>0,30</b>	<b>0,53</b>	<b>1,00</b>	<b>4,73</b>	<b>2,95</b>	<b>3,05</b>			<b>465,82</b>	<b>908,32</b>

Πίνακας 2. Εγκατεστημένη ισχύς και παραγωγή ενέργειας για μη διασυνδεδεμένο δίκτυο στο έτος 2020.

Πηγή { [https://energyexpress.gr/sites/default/files/styles/magnific/public/paragraphs/mdn\\_\\_0.png](https://energyexpress.gr/sites/default/files/styles/magnific/public/paragraphs/mdn__0.png) }

Συνοψίζοντας το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύς για διασυνδεδεμένο και μη διασυνδεδεμένο δίκτυο ήταν 7.849MW με αντίστοιχη παραγωγή ενέργειας 14.427GWh.

#### ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) & ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (GWh) ΤΟ ΕΤΟΣ 2020

Μήνας	Αιολικά		Φ/Β		Φ/Β Στέγες		ΜΥΗΣ		Βιοαέριο-Βιομάζα		ΥΒΣ/ΑΠΕ**		ΣΥΘΗΑ & Κατανεμόμενες ΣΥΘΗΑ		Σύνολο	
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
Ιαν	3.621,5	786,1	2.437,9	225,4	375,2	32,6	241,3	51,7	89,4	32,4	2,95	1,02	233,4	106,0	7.001,7	1.235,2
Φεβ *	3.700,7	805,6	2.452,4	259,1	375,3	24,5	232,9	46,9	89,9	33,6	2,95	0,30	237,4	92,1	7.091,5	1.262,0
Μαρ	3.832,6	819,3	2.465,7	307,5	375,3	25,5	232,9	66,2	89,9	38,4	2,95	0,46	237,4	94,8	7.236,8	1.352,1
Απρ	3.832,6	773,3	2.484,2	337,1	375,3	31,4	233,5	76,9	89,9	35,8	2,95	0,35	237,4	88,4	7.255,8	1.343,3
Μάι	3.875,6	557,7	2.511,8	399,7	375,1	44,2	233,5	50,1	89,9	36,1	2,95	0,10	237,4	89,2	7.326,1	1.177,2
Ιουν *	3.897,87	534,71	2.528,37	412,94	375,30	42,09	242,17	37,09	89,89	32,95	2,95	0,08	237,37	81,09	7.373,92	1.140,95
Ιουλ	3.934,65	828,68	2.558,21	444,54	375,34	49,51	243,33	33,23	95,91	31,88	2,95	0,13	234,65	83,35	7.445,04	1.471,32
Αυγ	3.993,45	642,20	2.620,09	427,74	375,34	57,67	243,33	31,45	95,91	34,43	2,95	0,18	234,65	82,45	7.565,72	1.276,12
Σεπ	4018,25	1001,39	2669,53	366,55	375,34	60,57	243,33	28,39	95,91	36,14	2,95	0,13	234,65	87,83	7.639,95	1.581,01
Οκτ *	4036,25	611,75	2739,01	329,82	375,34	47,59	243,33	33,63	96,41	36,36	2,95	0,11	234,65	96,65	7.727,94	1.155,91
Νοε	4064,25	996,58	2832,18	227,85	375,34	42,08	243,33	22,33	96,41	39,89	2,95	0,20	234,65	103,24	7.849,10	1.432,18
Δεκ																
Σύνολο Έτους	4.064	8.357	2.832	3.738	375	458	243	478	96	388	2,95	3,05	235	1.005	7.849	14.427

\* \*Μήνες εκκαθάρισης για τα Φ/Β Χαμηλής Τάσης (Διασυνδεδεμένο Σύστημα).

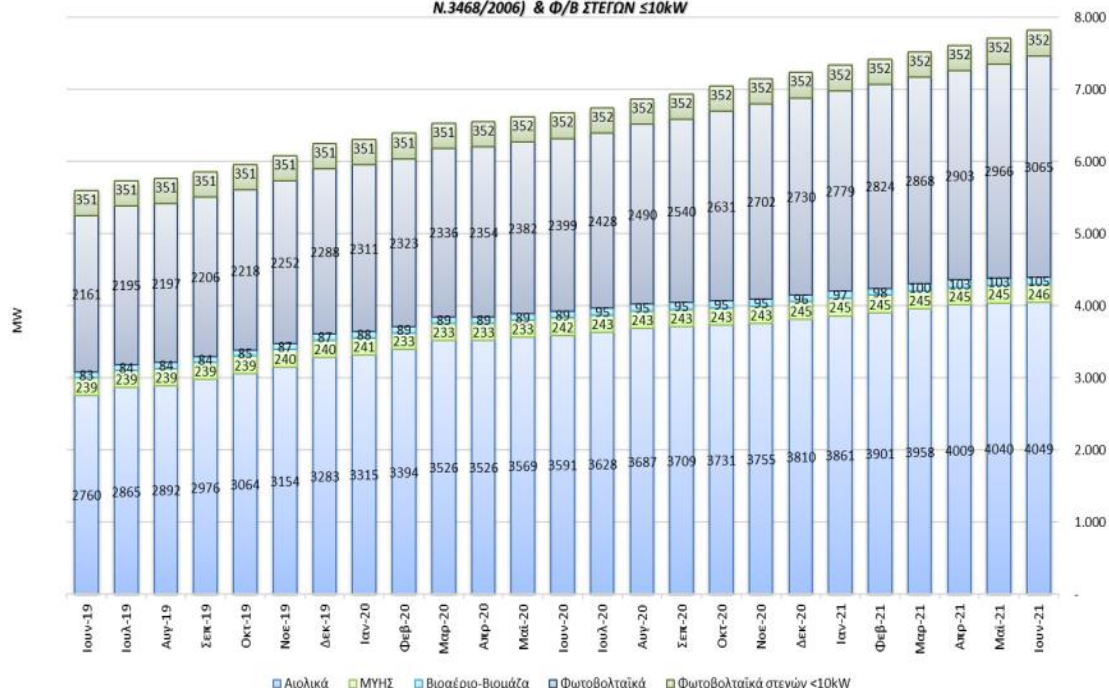
\*\* Περιλαμβάνεται ενέργεια από ΥΒΣ που θεωρείται ΑΠΕ. Ως ισχύς των ΥΒΣ νοείται η εγγυημένη ισχύς βάσει Αδειας Παραγωγής.

Πίνακας 3.Εγκατεστημένη ισχύς και παραγωγή ενέργειας για διασυνδεδεμένο και μη διασυνδεδεμένο δίκτυο στο έτος 2020. Πηγή{ [https://energypress.gr/sites/default/files/styles/magnific/public/paragraphs/epikrateia\\_dapeep\\_2020\\_0.png](https://energypress.gr/sites/default/files/styles/magnific/public/paragraphs/epikrateia_dapeep_2020_0.png) }

Από τον παραπάνω πίνακα.3 μπορούμε να δούμε και την προσφορά κάθε ΑΠΕ στην συνολική εγκατεστημένη ισχύ όπου την πρωτιά έχουν τα αιολικά με ποσοστό 51,77% και ακολουθούν τα φ/β με 36,08%,οι φ/β στέγες με 4,77%,οι ΜΥΗΣ με 3,09%,η βιομάζα-βιοαέριο με 1,22%,οι ΣΥΘΗΑ με 2,99% και τέλος οι ΥΒΣ με 0,037%. Παρατηρούμε πως πάνω από τη μισή εγκατεστημένη ισχύ την παίρνουμε από τα αιολικά.

Πιο πάνω παραθέσαμε τα στοιχεία της εγκατεστημένης ισχύς και παραγωγής ενέργειας του προηγούμενου έτους για να έχουμε μια καλύτερη εικόνα ως προς την ανοδική τάση που είχαν οι τιμές κατά τη διάρκεια του έτους. Παρακάτω θα δούμε μέχρι και τις τελευταίες ενημερώσεις που έχουμε, οι οποίες φθάνουν μέχρι το μήνα Ιούνιο του 2021.

2019 – 2021 ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΕ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (Άρθρο 9 Ν.3468/2006) & Φ/Β ΣΤΕΓΩΝ <10kW



Γράφημα 3.Εγκατεστημένη ισχύς για διασυνδεδεμένο δίκτυο. Πηγή{[https://www.dapeep.gr/wp-content/uploads/DAPE/2021/%CE%95%CE%BD%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CF%81%CF%89%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CE%94%CE%B5%CE%BB%CF%84%CE%AF%CE%BF%20%CE%99%CE%BF%CF%8D%CE%BD%CE%B9%CE%BF%CF%82%202021.pdf?\\_t=1628840956](https://www.dapeep.gr/wp-content/uploads/DAPE/2021/%CE%95%CE%BD%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CF%81%CF%89%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CE%94%CE%B5%CE%BB%CF%84%CE%AF%CE%BF%20%CE%99%CE%BF%CF%8D%CE%BD%CE%B9%CE%BF%CF%82%202021.pdf?_t=1628840956)}

Από το παραπάνω βλέπουμε πως μέχρι τον Ιούνιο του 2021 η εγκατεστημένη ισχύς είναι κοντά στις 8.000MW, ένα νούμερο που βάσει των παραγωγών που βρίσκονται σε αναμονή για την ένταξη τους πιθανότητα να ξεπεραστεί μέχρι και το τέλος του έτους.

Επιπλέον για να έχουμε μια εικόνα για τιμές που υπάρχουν στην αγορά σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία που έχει δώσει ο ΔΑΠΕΕΠ κατά τον Αύγουστο του 2021 και σε εφαρμογή των διατάξεων της Υ.Α. ΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ.187480 (ΦΕΚ Β΄3955/09.12.2016). Η ειδική τιμή αγοράς(ΕΤΑ) υπολογίστηκε ως εξής:

Αύγουστος 2021	ΕΤΑ(€/MWh)
Αιολικά	112,11
Φ/Β	122,33
ΜΥΗΣ	122,59
Βιομάζα	126,50
ΣΗΘΥΑ	126,50



Ενδιαφέρον είναι να δούμε και την γεωγραφική κατανομή στην Ελλάδα για την αποδιδόμενη αιολική ισχύ στο δίκτυο.



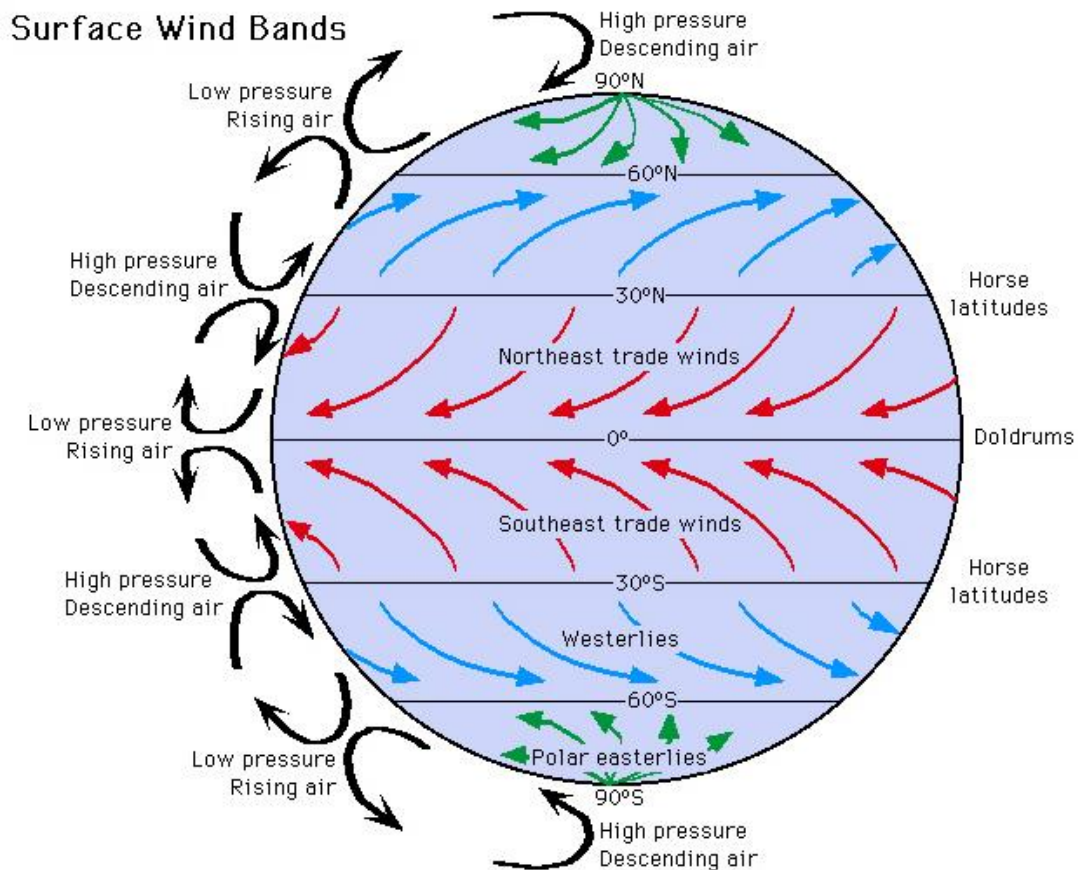
Εικόνα 6. Γεωγραφική κατανομή Ελλάδας. Πηγή: <https://eletaen.gr/wp-content/uploads/2021/07/2021-07-21-Eletaen-Statistics-S1-2021-scaled.jpg>



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΑΝΕΜΟΣ**

### **2.1 Δημιουργία του ανέμου [1]**

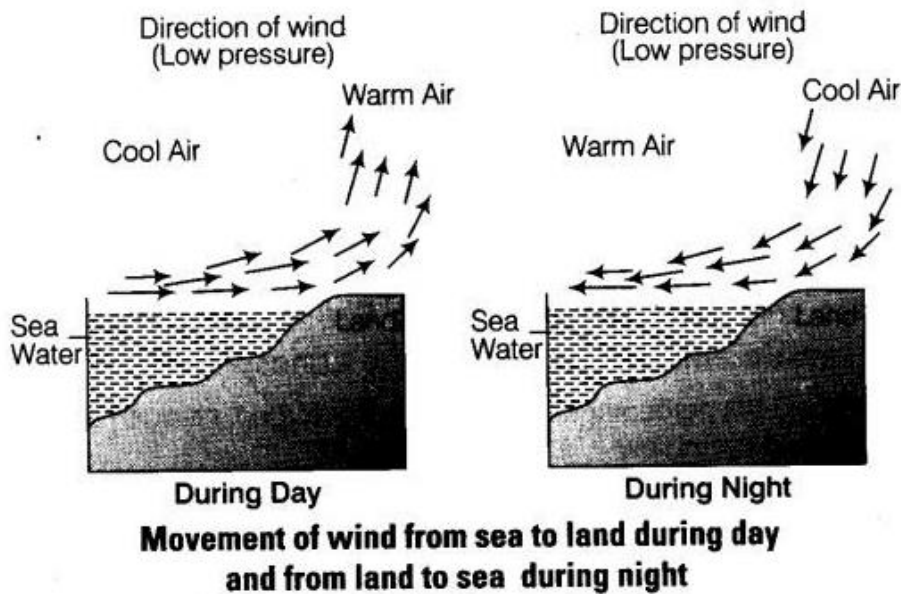
Ο ήλιος παράγει θερμική ενέργεια η οποία πέφτει στην επιφάνεια της γης, με αποτέλεσμα να δημιουργείται κίνηση της ατμόσφαιρας σε μεγάλο ποσοστό. Σε αυτό βεβαία συμβάλουν και οι τοπικές αλλαγές που προκαλούνται από τους εκάστοτε παράγοντες. Στους πόλους ο κρύος αέρας γίνεται βαρύτερος και αρχίζει να κατεβαίνει. Εν αντίθεσή με τις περιοχές του ισημερινού στις οποίες γίνεται πιο ελαφρύς και αρχίζει να ανεβαίνει. Η ανύψωση του αέρα στον ισημερινό κινείται προς νότο και βορρά ενώ σταματά στις 30 μοίρες νότια και 30 μοίρες βόρεια. Τότε ο αέρας βυθίζεται ούτως ώστε να μετατρέπεται σε ψυχρό στα κατώτερα στρώματα τις ατμόσφαιρας. Η περιστροφή της γης είναι υπεύθυνη για την επιτάχυνση που δημιουργεί η δύναμη Coriolis και προκαλεί απόκλιση του αέρα από τον ισημερινό προς τους πόλους στα ανατολικά και του επιστρεφόμενου αέρα στα δυτικά. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται οι διαδρομές των ανέμων.



Adapted from Duxbury, Alyn C. and Alison B. Duxbury. *An Introduction to the World's Oceans, 4/e.* Copyright © 1994 Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, Iowa.

Εικόνα7.Κυκλοφορία ανέμων στην επιφάνεια της γης. Πηγή { <https://history.aip.org/climate/xGenCirc.htm> }

Η διακύμανση των θερμοκρασιών γίνεται με ταχύτετους ρυθμούς καθώς η κίνηση των αερίων μαζών αλλάζει από την γήινη επιφάνεια η οποία είναι είτε στεριά (μικρότερη θερμοχωρητικότητα) είτε θάλασσα (μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα). Έτσι συμβαίνει συνεχής μετακίνηση αερίων στρωμάτων από την θάλασσα στην στεριά στη διάρκεια της μέρας με σκοπό να θερμανθούν και αντίστοιχα από τη στεριά στη θάλασσα κατά τη διάρκεια της νύχτας καθώς η θάλασσα συγκεντρώνει πιο υψηλές θερμοκρασίες από τη στεριά.



Εικόνα 8. Κίνηση αερίων στρωμάτων κατά τη διάρκεια της μέρας και νύχτας Πηγή{ <https://www.studyrankersonline.com/18230/coastal-area-current-moves-from-towards-land-during-during-night-moves-land-discuss-reason> }

## 2.2 Χαρακτηριστικά του ανέμου [1],[9]

Απαιτείται να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά του ανέμου για να υπολογίζουμε την απόδοση της ανεμογεννήτριας, καθώς η ισχύς που της εξασφαλίζει ο άνεμος είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του ανέμου. Παρατηρείται ότι μεγάλες ταχύτητες ανέμων συναντιούνται στις κορυφές των βουνών, σε ανοιχτά πελάγη και εκτιθέμενες από τον άνεμο ακτές. Αναφορικά ως κάνουμε λόγο για κάποιες παραμέτρους όπως οι ημερήσιες, εποχιακές, ετήσιες μεταβολές, οι μεταβολές γύρω από την μέση ταχύτητα (θύελλες), η κατεύθυνση, η μέση ταχύτητα του ανέμου και οι μεταβολές ανάλογα με το ύψος του εδάφους. Οι παράμετροι αυτές ποικίλλουν σε κάθε τόπο και προσδιορίζονται μέσω μετρήσεων για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η χρήση των παραπάνω παραμέτρων είναι απαραίτητη για την εκτίμηση των οικονομικών και την απόδοση ενός αιολικού σταθμού παραγωγής ενέργειας. Τα μετεωρολογικά δεδομένα οδηγούν αρκετές φορές σε λαθεμένη εκτίμηση των ταχυτήτων των ανέμων σε έναν ορισμένο τόπο. Η θερμική επιφάνεια της γης θερμαίνει τον αέρα της ατμόσφαιρας. Ο θερμός

αέρας είναι ελαφρύτερος και με μικρότερη πυκνότητα από τον ψυχρό. Η γήινη επιφάνεια όταν έρθει σε επαφή με ένα στρώμα αέρα θα το θερμάνει και εκείνο με τη σειρά του θα ανέλθει. Τότε την θέση του θα πάρει ένα ψυχρότερο στρώμα αέρα που και αυτό με την σειρά του θα ακολουθήσει την ίδια διαδικασία με το προηγούμενο και θα ανέλθει. Αυτή η κυκλική καθοδική και ανοδική κίνηση των ψυχρών και θερμών μαζών ονομάζεται κατακόρυφη μεταφορά. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η περιστροφή της γης σε συνδυασμό με την διαδικασία που μόλις περιγράψαμε δημιουργεί τον άνεμο.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας που περιβάλλει την γη βρίσκεται σε συνεχή κίνηση λόγω κάποιων παραμέτρων όπως:

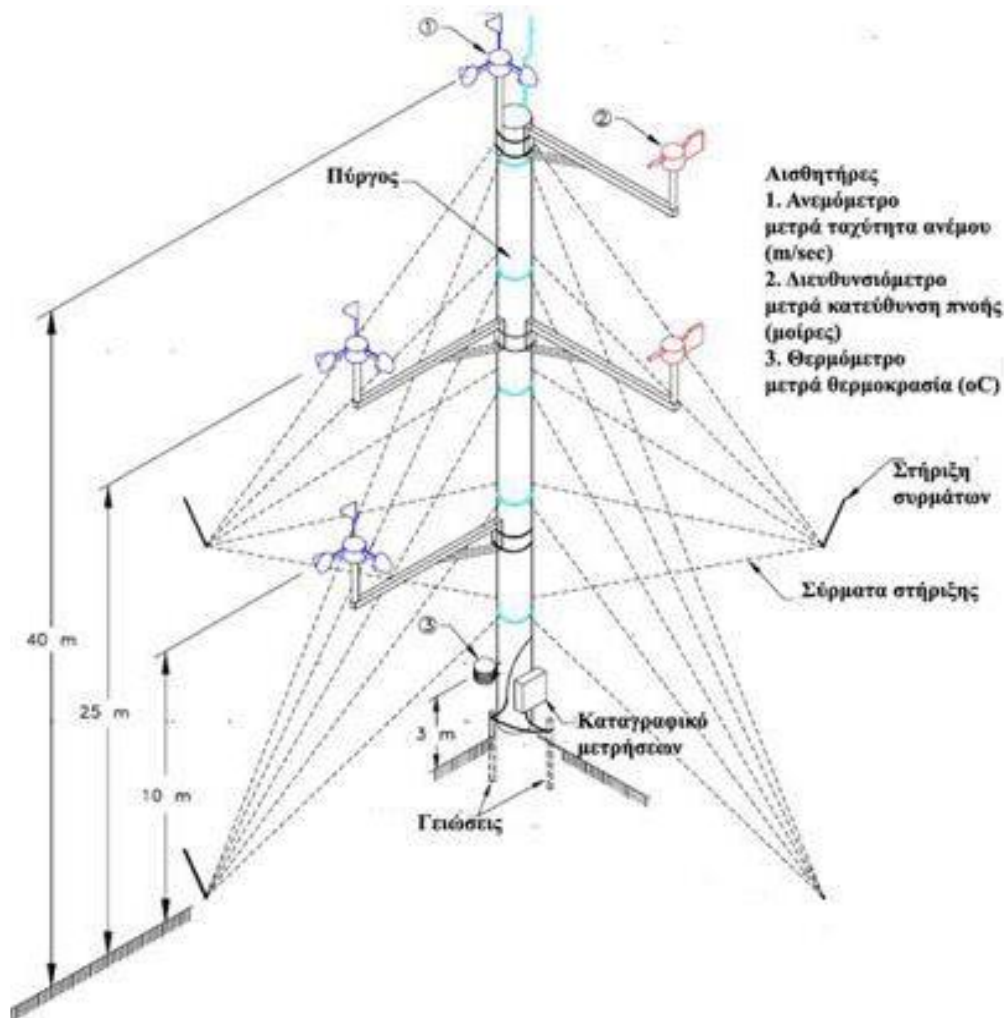
- Η περιστροφική κίνηση της γης.
- Η ανομοιογένεια του ανάγλυφου( θάλασσα, στεριά , υψομετρικές διαφορές).
- Ο τρόπος που επιδρά η ηλιακή ακτινοβολία στη γη.

Για παράδειγμα στην Ευρώπη οι άνεμοι επηρεάζονται από τα ψυχρά βόρεια και τα θερμά τοπικά της Σαχάρας καθώς και τα ανατολικά ρεύματα του Ατλαντικού. Έτσι οι άνεμοι που πνέουν το καλοκαίρι είναι βορειοδυτικοί και δυτικοί ενώ τον χειμώνα είναι νοτιοδυτικοί.

### **2.3 Μέτρηση αιολικού δυναμικού [7],[9]**

Για να μπορέσουμε να εκμεταλλευτούμε στο μέγιστο το αιολικό δυναμικό πρέπει πρώτα να έχουν γίνει απαραίτητες μετρήσεις του ανέμου. Με την σωστή καταμέτρηση των ανέμων που πνέουν σε μια περιοχή μπορούμε να λάβουμε μια πλήρη εικόνα για το αιολικό δυναμικό της περιοχής αυτής. Ο άνεμος και το αιολικό δυναμικό μετριούνται με ανεμοδείκτες/διευθυνσιόμετρα για την διεύθυνση του ανέμου καθώς και με ανεμόμετρα για τον υπολογισμό της ταχύτητας του. Ο μετεωρολογικός ιστός τοποθετείται κοντά στην περιοχή ενδιαφέροντος καθώς σε αυτόν τοποθετούνται τα ανεμόμετρα αλλά και τα διευθυνσιόμετρα. Αναλυτικότερα

συνηθίζεται να εντοπίζεται στις υψηλότερες κορυφές για την αποφυγή διαφόρων τεχνικών αλλά και φυσικών «τροχοπεδών» προκειμένου να αποφευχθεί η αλλοίωση αποτελεσμάτων.



Εικόνα 9.Μετεωρολογικός ιστός. Πηγή { <http://www.aiolikigi.gr/el/e-learning/wind-potential-evaluation/> }

Στην παραπάνω φωτογραφία βλέπουμε έναν μετεωρολογικό ιστό όπου πάνω του υπάρχουν ανεμόμετρα τα οποία είναι τοποθετημένα σε διαφορετικά ύψη για την μέτρηση του ανέμου. Παράλληλα παρατηρούνται και διευθυνσιόμετρα επίσης σε διαφορετικά ύψη καθώς δείχνουν την φορά κατεύθυνση του ανέμου.

Οι πιο συνήθεις συσκευές μέτρησης του ανέμου είναι τα ανεμόμετρα καθώς η ταχύτητα που περιστρέφει το πάνω μέρος του είναι ίδια με την ταχύτητα του ανέμου που επικρατεί εκείνη την στιγμή στο συγκεκριμένο σημείο. Επίσης τα

ανεμόμετρα θεωρούνται αθροιστικά καθώς μετρούν μέσες τιμές έντασης του ανέμου.

### **Είδη ανεμομέτρων είναι τα παρακάτω:**

- Ανεμόμετρο πίεσης. Καταγράφει την στιγμιαία μέτρηση του ανέμου μέσω πίεσης που ασκεί ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου.
- Κυπελλοφόρα. Αποτελούνται από έναν κατακόρυφο άξονα ο οποίος στην κορυφή του έχει τρεις ή τέσσερις οριζόντιους βραχίονες συμμετρικά τοποθετημένοι. Στα άκρα κάθε βραχίονα υπάρχει ένα κωνικό κύπελλο έτσι ώστε η διαμετρική τομή να είναι κατακόρυφη.



*Εικόνα 10.Κυπελλοφόρο ανεμόμετρο. Πηγή { <https://it.windlogger.eu/products/anemometer-class-1-measnet-nrg> }*

Ας δώσουμε παρακάτω κάποια στοιχεία για τους ανεμοδείκτες. Όπως αναφέραμε παραπάνω η διεύθυνση του ανέμου μετριέται από ανεμοδείκτες. Ο ανεμοδείκτης αποτελείται από έναν κατακόρυφο άξονα, στο πάνω μέρος του οποίου, γύρνα ένας οριζόντιος άξονας με δυο ή ένα ελάσματα στο άκρο του. Όταν η πίεση του ανέμου έρθει σε ισορροπία και από τις δύο πλευρές του ελάσματος αυτός έχει φορά ώστε ο δείκτης του ανεμοδείκτη στον οποίο βρίσκεται το αντίβαρο εξισορρόπησης του ελάσματος να κατευθύνεται προς την προς την πλευρά που φυσά.

## **Χαρακτηριστικά ενός ανεμοδείκτη[1]:**

- Παρουσιάζει ταχύτατη απόκριση στις συνεχείς αλλαγές της κατεύθυνσης του ανέμου.
- Παρουσιάζει ικανοποιητική απόσβεση των εκάστοτε ταλαντώσεων.
- Παρουσιάζει μέγιστη ροπή στρέψης για αλλαγή της κατεύθυνσης του ανέμου σε σχέση με την αδράνεια του οργάνου.  
Κινείται γύρω από τον άξονα του με σχεδόν καθόλου τριβές.
- Δεν παρουσιάζει τάσεις κλίσεως σε μια διεύθυνση λόγω της ακριβής αντιστάθμισης ελασμάτων με την χρήση αντίβαρου.

Αξιοσημείωτο θεωρείτε ότι καθώς η διεύθυνση του ανέμου μετριέται βάση του πραγματικού βορρά, το όργανο προσανατολίζεται λόγω της χαραγής που έχει πάνω του.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ**

### **3.1 Λειτουργία και κατηγορίες[1],[3],[7],[9]**

Οι ανεμογεννήτριες είναι ουσιαστικά μηχανές μετατροπής της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η μετατροπή της ενέργειας από κινητική σε ηλεκτρική μπορεί χωρίζεται σε δύο βασικά στάδια. Αρχικά η κίνηση των πτερυγίων λόγω του ανέμου στρέφει τον άξονα όπου είναι συνδεδεμένα, άξονας ο οποίος είναι με τη σειρά του συνδεδεμένος με το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης το οποίο έπειτα θα στρέψει τον άξονα που το συνδέει με τη γεννήτρια, για να παραχθεί η ηλεκτρική ενέργεια. Οι ανεμογεννήτριες κατηγοριοποιούνται ως προς τον άξονα περιστροφής τους σε δύο βασικές κατηγορίες, η πρώτη και πιο διαδεδομένη είναι αυτή του οριζόντιου άξονα περιστροφής και η δεύτερη είναι αυτή του κάθετου άξονα περιστροφής.



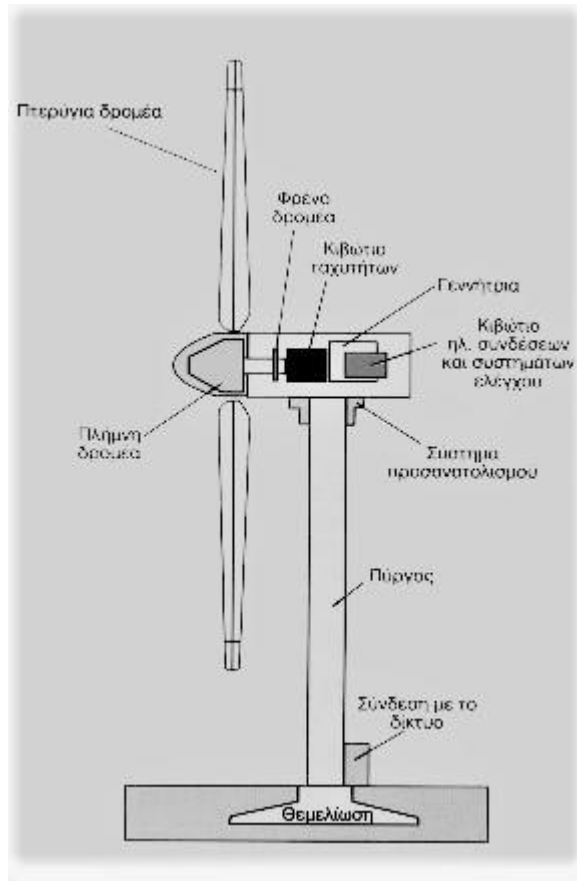
*Εικόνα 11.Κατηγορίες ανεμογεννητριών. Πηγή {<https://slideplayer.gr/> }*

### **Τύποι ανεμογεννητριών:**

#### **➤ Ανεμογεννήτριες οριζόντιου τύπου**

Είναι αυτές όπου ο δρομέας (rotor) είναι τοποθετημένος ώστε ο προσανατολισμός του να παράλληλος σε σχέση με τη γη και την κατεύθυνση του ανέμου.





Εικόνα 12.Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα. Πηγή {cres.gr}

Με βάση την παραπάνω εικόνα θα δούμε τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται μια ανεμογεννήτρια.

### Κύρια μέρη ανεμογεννήτριας:

- Πύργος (tower)
- Ρότορας (rotor)
- Γεννήτρια (generator)
- Φρένα (brakes)
- Σύστημα ελέγχου ταχύτητας (speed control)
- Κέλυφος (nacelle)
- Κιβώτιο ταχυτήτων (gear box)
- Πτερύγια (blades)
- Σύστημα προσανατολισμού (yaw motor, yaw drive)

Αναλυτικότερα, ο πύργος είναι αυτός πάνω στον οποίο θα στηριχθεί εξολοκλήρου η μηχανολογική και ηλεκτρολογική εγκατάσταση του συστήματος που απαρτίζει μια

ανεμογεννήτρια. Είναι κατασκευασμένος από μεταλλικό υλικό και είναι είτε σωληνωτός είτε δικτυωτός ενώ μεγάλη έμφαση δίνεται στο ύψος κατασκευής του, όπου θα πρέπει να βρεθεί το καταλληλότερο ύψος για να υπάρξει η μέγιστη δυνατή προσλαμβανόμενη κινητική ενέργεια από τον άνεμο στις τουρμπίνες σε συνδυασμό με ομαλή ροή του ανέμου που προσπίπτει στα πτερύγια της ανεμογεννήτριας.

Στο κέλυφος υπάρχει το σύστημα μετάδοσης κίνησης μαζί με τα φρένα καθώς και η γεννήτρια με τον ελεγκτή.

Ο ρότορας(ή δρομέας) ο οποίος μπορεί να στρέφεται ενώ το άκρο του μπορεί να αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια.

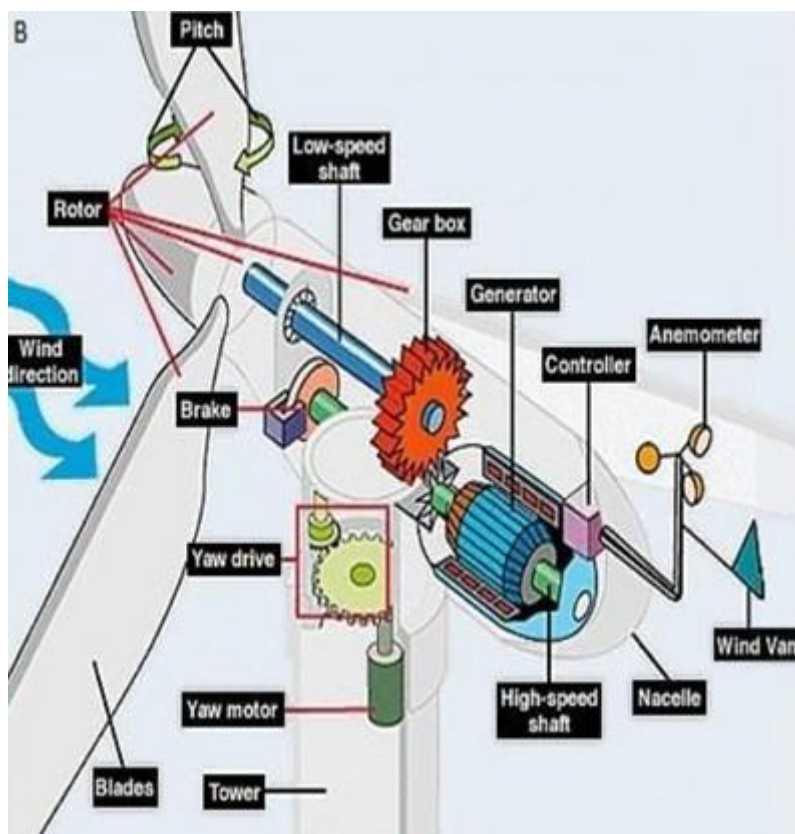
Τα πτερύγια μπορεί να είναι σταθεροποιημένα είτε πάνω σε μια πλήμνη ή επειδή έχουν τη δυνατότητα ελέγχου βήματος(pitch control) , μπορούν να περιστρέφονται και γύρω από τον διαμήκη άξονα τους. Η περιστροφή των πτερυγίων είναι συνδυαστικό αποτέλεσμα της πίεσης και της άνωσης των προσπιπτουσών μαζών αέρα πάνω σε αυτά. Ο έλεγχος βήματος δίνει τη δυνατότητα να ελέγχεται η ταχύτητα του δρομέα ώστε αυτός να μην στρέφεται κατά τη διάρκεια πολύ έντονων ή ασθενών ανέμων.

Με το σύστημα μετάδοσης κίνησης πραγματοποιείται η μετάδοση κίνησης από τις χαμηλές στροφές που περιστρέφεται ο δρομέας στις υψηλές στροφές περιστροφής της γεννήτριας. Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα κύριο άξονα για τις χαμηλές ταχύτητες(low speed shaft) μαζί με τα έδρανα του και ένα κιβώτιο(gearbox) πολλαπλασιασμού στροφών το οποίο είναι και αυτό που θα προσαρμόσει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας μέσω του άξονα υψηλής ταχύτητας(high speed shaft)ενώ η διασφάλιση της σταθερότητας των στροφών γίνεται μέσω ενός ελεγκτή(controller).

Το σύστημα πέδησης(brakes) που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση είναι ένα δισκόφρενο το οποίο τοποθετείται στον κύριο άξονα.

Η γεννήτρια(generator),μπορεί να είναι είτε σύγχρονη είτε ασύγχρονη και συνήθως έχει 4 με 6 πόλους και η είσοδος της συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή όπου και παίρνει τη μηχανική ενέργεια που θα μετατρέψει σε ηλεκτρική μέσω ενός υβριδικού ή ελαστικού συνδέσμου.

Το σύστημα προσανατολισμού(yaw),φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, μέσω των ενδείξεων που λαμβάνει από το ανεμόμετρο(anemometer) για την ένταση και τη φορά του ανέμου, ρυθμίζει κατάλληλα τον άξονα περιστροφής του δρομέα έτσι ώστε να είναι πάντα σε παράλληλη θέση με την κατεύθυνση του ανέμου.



Εικόνα 13. Τα μέρη μιας ανεμογεννήτριας. Πηγή{researchgate.net}

### ➤ Πλεονεκτήματα ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα:

- Υψηλός αεροδυναμικός συντελεστής.
- Ευκολία συναρμολόγησης.
- Λόγω ύψους της ανεμογεννήτριας εκμεταλλεύεται ανέμους μεγαλύτερων ταχυτήτων.
- Υψηλότερη απόδοση σε σχέση με αυτές του κάθετου άξονα.

Εδώ μπορεί να γίνει και ένας μικρός διαχωρισμός με βάση το πλήθος των πτερυγίων που υπάρχουν ,καθώς:

Με λιγότερα πτερύγια συνεπάγεται μικρότερη αδράνεια επομένως μεγαλύτερη ταχύτητα και επίσης υψηλότερη συχνότητα άρα συνίσταται για παραγωγή ισχύος.

Αντίθετα με περισσότερα πτερύγια συνεπάγεται μεγαλύτερη αδράνεια επομένως και μικρότερη ταχύτητα. Παράλληλα όμως η χαμηλότερη συχνότητα που παρουσιάζουν συνίσταται για φόρτιση μπαταριών.

### ➤ **Μειονεκτήματα ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα**

- Μεγάλο κόστος μεταφοράς και κατασκευής λόγω μεγέθους.
- Δημιουργία θορύβου κατά της λειτουργία της.
- Απαραίτητη χρήση συστήματος προσανατολισμού(yaw) για την εκμετάλλευση του ανέμου.

### ➤ **Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου τύπου**



Εικόνα 14. Ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα. Πηγή {<https://polydomiki.gr/arthra-oikologikou-endiaferontos/anemogennitries-kathetou-axona-gia-uperaktia-aiolik>}

### ➤ Πλεονεκτήματα ανεμογεννήτριας κατακόρυφου άξονα

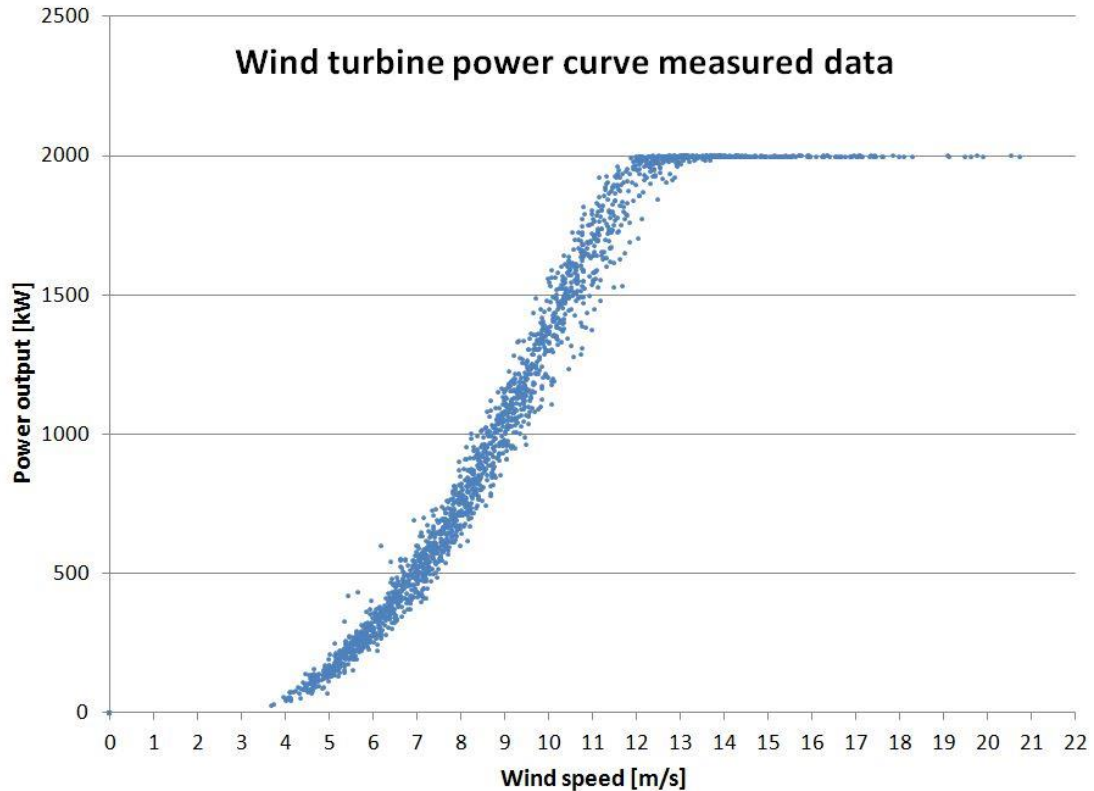
- Απλούστερη και φθηνότερη κατασκευή.
- Η τοποθέτηση της γεννήτριας και του κιβωτίου ταχυτήτων στη βάση καθιστά πιο εύκολη τη συντήρησή τους.
- Λόγω μεγέθους είναι πιο εύκολη η τοποθέτησή της σε πιο πολλά μέρη όπως σε κατοικημένες περιοχές και αυτοκινητόδρομους.
- Μικρότερη παραγωγή θορύβου.
- Δεν χρειάζεται μηχανισμό προσανατολισμού.

### ➤ Μειονεκτήματα ανεμογεννήτριας κατακόρυφου άξονα

- Χαμηλότερη απόδοση.
- Υψηλή ροπή εκκίνησης άρα χαμηλή ταχύτητα περιστροφής.
- Δεν μπορεί να υπάρξει εκμετάλλευση ανέμων υψηλής έντασης λόγω μικρού μεγέθους.
- Δεν μπορεί να περιστρέφεται μόνος του άρα υπάρχει ανάγκη για ύπαρξη κατάλληλου βοηθητικού κινητήρα.

## 3.2 Καμπύλη ισχύος [1],[7],[8],[9]

Η καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας εκφράζεται από τη σχέση που έχει η ταχύτητα του ανέμου συναρτήσει με την παραγόμενη ισχύ. Μέσω αεροδυναμικών υπολογισμών και πρακτικών μετρήσεων όπως για παράδειγμα ηλεκτρολογικές και μετεωρολογικές σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο IEC 61400-12, επιβεβαιώνεται είτε ο βαθμός απόδοσης είτε η καμπύλη ισχύος. Γενικά μπορεί να οριστεί σαν λόγος της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας της γεννήτριας προς την προσκρουόμενη κινητική ενέργεια του ανέμου στην επιφάνεια των ελίκων.



*Γράφημα 4. Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας. Πηγή: <http://www.estiaconsulting.gr/el/FFC02B0E> }*

Η καμπύλη ισχύος είναι αυτή που προσδιορίζει ουσιαστικά την ανεμογεννήτρια και ταυτοχρόνως αποτελεί το βασικότερο μέσο σύγκρισης για την επιλογή της καταλληλότερης, μεταξύ των πιθανών διαθέσιμων επιλογών προς εγκατάσταση ανεμογεννητριών, οδηγώντας στη βέλτιστη δυνατή επιλογή εκφράζοντας με τον αποδοτικότερο τρόπο τα μετεωρολογικά και γεωφυσικά δεδομένα που έχουν μετρηθεί.

Για να γίνει πιο κατανοητή η έννοια της καμπύλης ισχύος θα παραθέσουμε μια σειρά από φυσικά μεγέθη και σχέσεις που μας βοηθήσουν στην πορεία[9]:

Αρχικά η αιολική ισχύς( $P_{wind}$ ), ορίζεται ως η συνολικά διαθέσιμη κινητική ενέργεια του ανέμου στη μονάδα του χρόνου.

Η ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας είναι η εξής:  $P_{wind} = 1/2 * \rho * A * V_w^3(t)$  [Σχέση 1]

Όπου :  $P_{wind}$  = η παραγόμενη από τον άνεμο ισχύς(watt)

$\rho$  = η πυκνότητα του αέρα( $gr/m^3$ )

$A = \eta$  επιφάνεια που διαπερνά κάθετα ο αέρας ( $m^2$ ),

Με  $A = \pi/4 * D^2$ , όπου διάμετρος δρομέα  $D = 2 * (\mu\kappa\omicron\varsigma \text{ πτερυγίου})$

$V_w = \eta$  ταχύτητα του ανέμου ( $m/sec$ )

Από τη [Σχέση.1] , φαίνεται πως η ισχύς του ανέμου είναι ανάλογη της τρίτης δύναμης της ταχύτητας του και ευθέως ανάλογη της πυκνότητας του. Το αιολικό δυναμικό μίας θέσης εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου αξιολογείται στη βάση της ειδικής ισχύος  $p$  [ $W/m^2$ ] του ανέμου στην περιοχή αυτή, δηλαδή της ισχύος του ανέμου ανά μονάδα επιφάνειας που δυνητικά θα σαρώνεται από τα πτερύγια. Η ειδική ισχύς προκύπτει από τη διαίρεση της [Σχέση.1] με την επιφάνεια  $A$  και δίνει ως αποτέλεσμα:

$$P = 1/2 * p * V_w^3 \text{ (watt/m}^2\text{)} \text{ [Σχέση.2]}$$

Από τη διατιθέμενη αιολική ισχύ του ανέμου, μόνο ένα μέρος απορροφάτε από το δρομέα. Η νέα ισχύς  $P_o$  που απορροφάτε στα πτερύγια, ισούται με τη διαφορά ισχύος του ανέμου πριν και μετά τη σάρωση του από αυτά. Αν η μειωμένη μετά την ανεμογεννήτρια ταχύτητα είναι  $V_o$ , τότε η προσλαμβάνουσα από τα πτερύγια ισχύς θα ισούται με:

$$P_o = 1/2 * m (V^2 - V_o^2) \text{ , (watt) } \text{ [Σχέση.3]}$$

Όπου  $V = \eta$  ταχύτητα του ανέμου πριν από το επίπεδο σάρωσης ( $m/sec$ )

και  $V_o = \eta$  ταχύτητα του ανέμου μετά το επίπεδο σάρωσης ( $m/sec$ )

Θεωρώντας πως η ταχύτητα στο επίπεδο σάρωσης είναι ίση με τη μέση τιμή των ταχυτήτων πριν και μετά το επίπεδο έχω:

$$V_{average} = (V + V_o) / 2 \text{ , (m/sec) } \text{ [Σχέση.4]}$$

Άρα έχουμε μαζική παροχή ανέμου διαμέσου πτερυγίων:

$$m = p * A * \{(V + V_o) / 2\} \text{ , (kg/sec) } \text{ [Σχέση.5]}$$

με προσλαμβανόμενη από τα πτερύγια ισχύ :

$$P_o = 1/2 * \rho * A * \left\{ \frac{V + V_o}{2} \right\} * (V^2 - V_o^2), (\text{watt}) \text{ [Σχέση.6]}$$

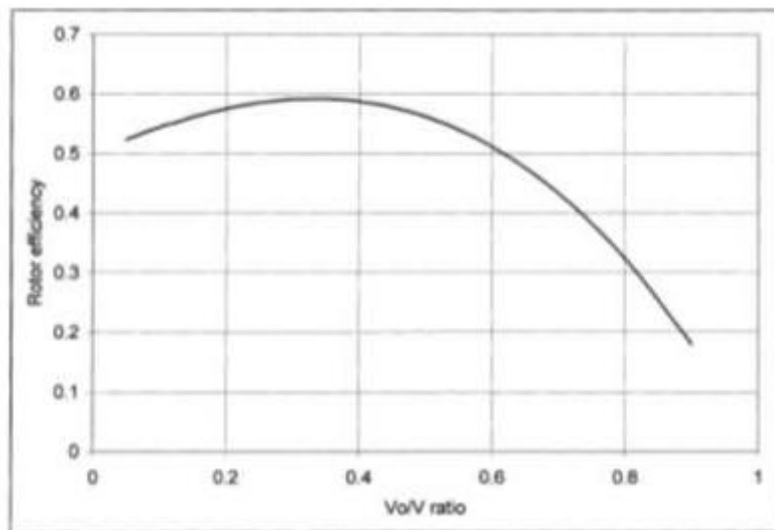
ή αλλιώς ισοδυνάμως

$$P_o = 1/2 * \rho * A * V^3 * \left\{ \frac{(1 + V_o/V) * (1 - (V_o/V)^2)}{2} \right\}, (\text{watt}) \text{ [Σχέση.7]}$$

Με τον όρο  $\left\{ \frac{(1 + V_o/V) * (1 - (V_o/V)^2)}{2} \right\}$ , να αποτελεί τον ορισμό του συντελεστή ισχύος (ή απόδοση του δρομέα)

Δηλαδή,  $C_p = \left\{ \frac{(1 + V_o/V) * (1 - (V_o/V)^2)}{2} \right\}$ , [Σχέση.8]

Αν διαιρέσουμε τη [Σχέση.8] με το λόγο  $V_o/V$  παίρνουμε την παρακάτω γραφική παράσταση:



Γράφημα 5. Μεταβολή του  $C_p$  με το λόγο  $V_o/V$ . Πηγή

[https://eclass.uowm.gr/modules/document/file.php/MECH101/%CE%91%CE%A3%CE%9A%CE%97%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3/2\\_%CE%91%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%95%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1\\_oc.pdf](https://eclass.uowm.gr/modules/document/file.php/MECH101/%CE%91%CE%A3%CE%9A%CE%97%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3/2_%CE%91%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%95%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1_oc.pdf)

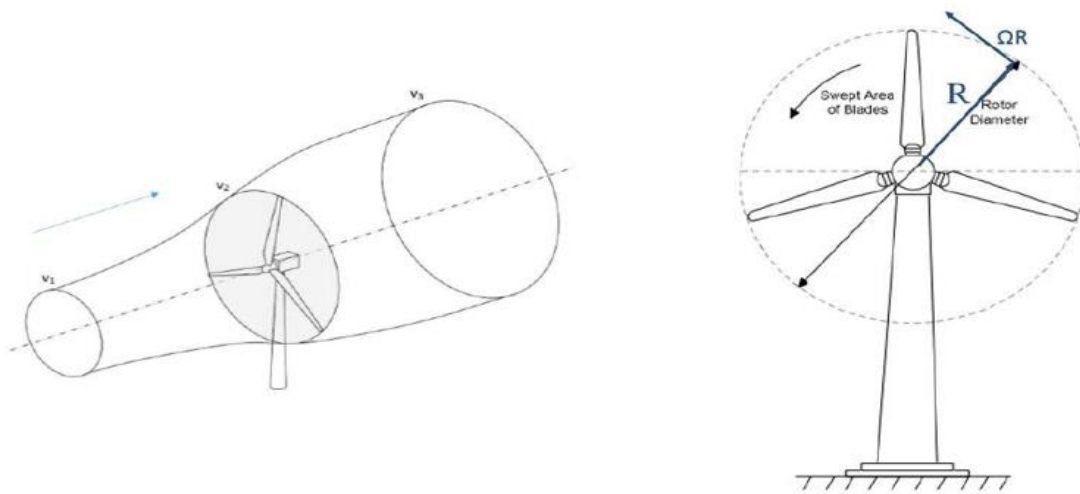
Το παραπάνω γράφημα είναι αυτό που μας δείχνει και το όριο του Betz, όπου δηλαδή παίρνουμε και τη μέγιστη θεωρητική απόδοση, η οποία είναι  $C_p = 0,59$  ή 59% και εμφανίζεται για  $V_o/V = 1/3$ .



Πρακτικά η τιμή αυτή είναι πολύ υψηλή, η πραγματική προσεγγίσιμη τιμή είναι περίπου το 50% για ανεμογεννήτριες δύο πτερυγίων υψηλής ταχύτητας, ενώ το ποσοστό αυτό είναι πολύ χαμηλότερο όταν μιλάμε για συμβατικές ανεμογεννήτριες δύο ή τριών πτερυγίων όπου λαμβάνει τιμές από 20 έως 40%.

Έτσι βασιζόμενοι στη [Σχέσης.8] μαζί με στη [Σχέση.7], η παραγόμενη από την ανεμογεννήτρια ισχύς δίνεται από τη σχέση:

$$P_o = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \text{ (watt)}, [\text{Σχέση.9}]$$



Εικόνα 15. Σωλήνας ροής ηλεκτροκινητήρα. Πηγή  
[http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4436/auto\\_43244.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4436/auto_43244.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

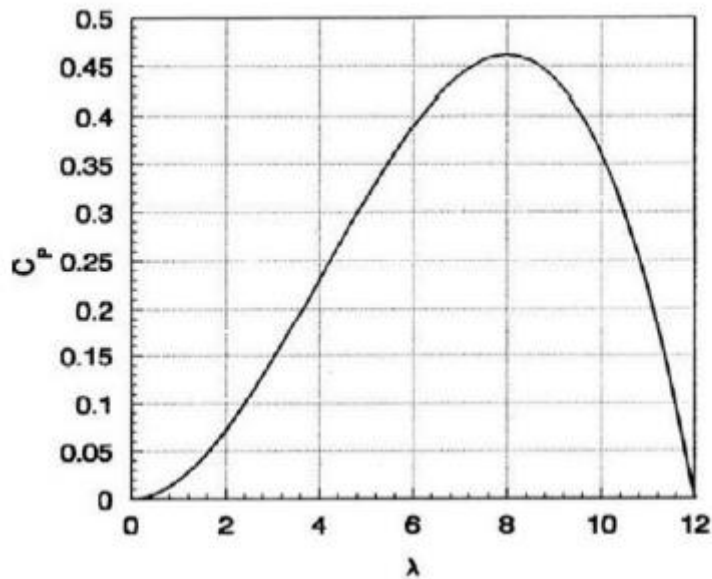
Ο λόγος ταχύτητας του ακροπτερυγίου (tip speed ratio), εκφράζει τη γραμμική ταχύτητα στο άκρο του πτερυγίου ως ποσοστό της ταχύτητας του ανέμου και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\lambda = \Omega \cdot R / V, [\text{Σχέση9}]$$

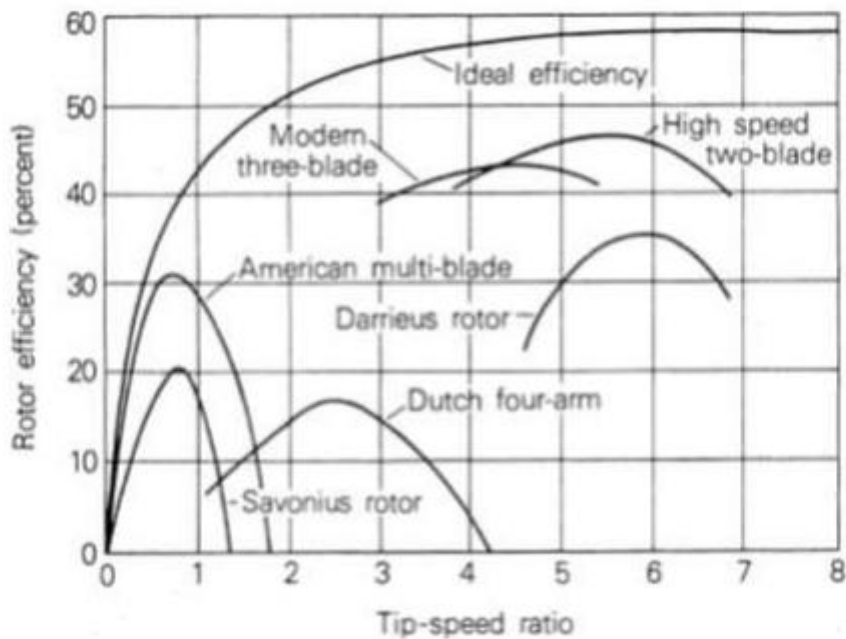
Με :  $\Omega$  = γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της ανεμογεννήτριας (rad/sec)

R = μήκος πτερυγίου αεροκινητήρα (m)

V = ταχύτητα του ανέμου (m/sec)



Γράφημα 6. Συντελεστής  $C_p$  σε σχέση την ταχύτητα ακροπετερυγίου  $\lambda$ . Πηγή [http://mstudioblackboard.tudelft.nl/duwind/Wind%20energy%20online%20reader/Static\\_pages/Cp\\_lambda\\_curve.htm](http://mstudioblackboard.tudelft.nl/duwind/Wind%20energy%20online%20reader/Static_pages/Cp_lambda_curve.htm)



Γράφημα 7. Τυπικές τιμές συντελεστή απόδοσης του δρομέα συναρτήσει του  $\lambda$  για διάφορους τύπους ανεμογεννήτριας. Πηγή [https://eclass.uowm.gr/modules/document/file.php/MECH101/%CE%91%CE%A3%CE%9A%CE%97%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3%2\\_%CE%91%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%95%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1\\_oc.pdf](https://eclass.uowm.gr/modules/document/file.php/MECH101/%CE%91%CE%A3%CE%9A%CE%97%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3%2_%CE%91%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%95%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1_oc.pdf)

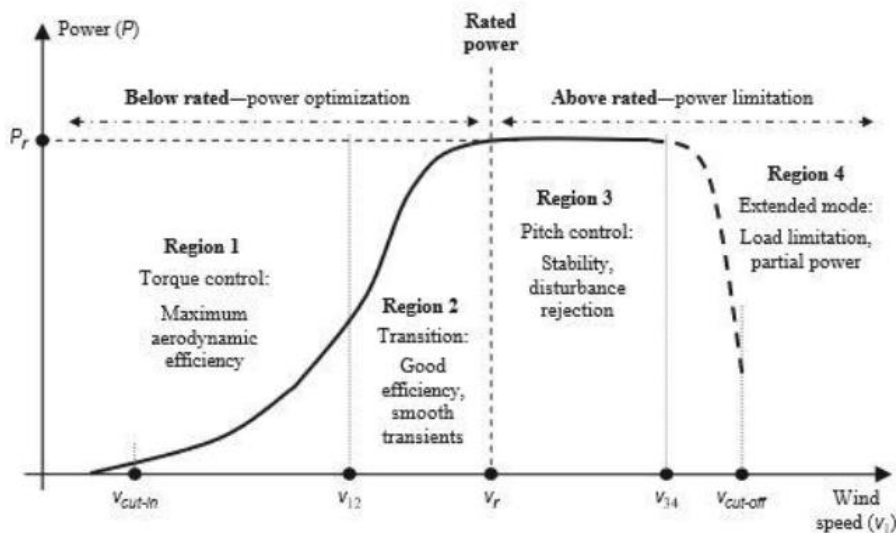
Τέλος η ισχύς που μεταφέρεται από τον άνεμο Σχέσεις [1,2,3] όπως και η προσλαμβανόμενη από την ανεμογεννήτρια ισχύς Σχέσεις [6,7,9], βλέπουμε πως επηρεάζονται από την πυκνότητα του αέρα. Σε κανονικές συνθήκες, (δηλ. 25°C και 1atm πίεση), ισούται με 1,225(kg/m<sup>3</sup>). Με αυτές τις συνθήκες η πυκνότητα του ανέμου θα μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία και την πίεση σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\rho = p/RT(\text{kg/m}^3), [\text{Σχέση 10}]$$

Όπου :  $p$ =πίεση (pa)

$T$ =απόλυτη θερμοκρασία (K)

$R$ =παγκόσμια σταθερά των αερίων(ισούται με 8,314(j/molK)



Γράφημα 8. Διάγραμμα καμπύλης ισχύος(P-V). Πηγή {[http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4436/auto\\_43244.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4436/auto_43244.pdf?sequence=2&isAllowed=y)}

Από το παραπάνω διάγραμμα μπορούμε να διακρίνουμε τρεις διαφορετικές ταχύτητες ανέμου που καθορίζουν την καμπύλη:

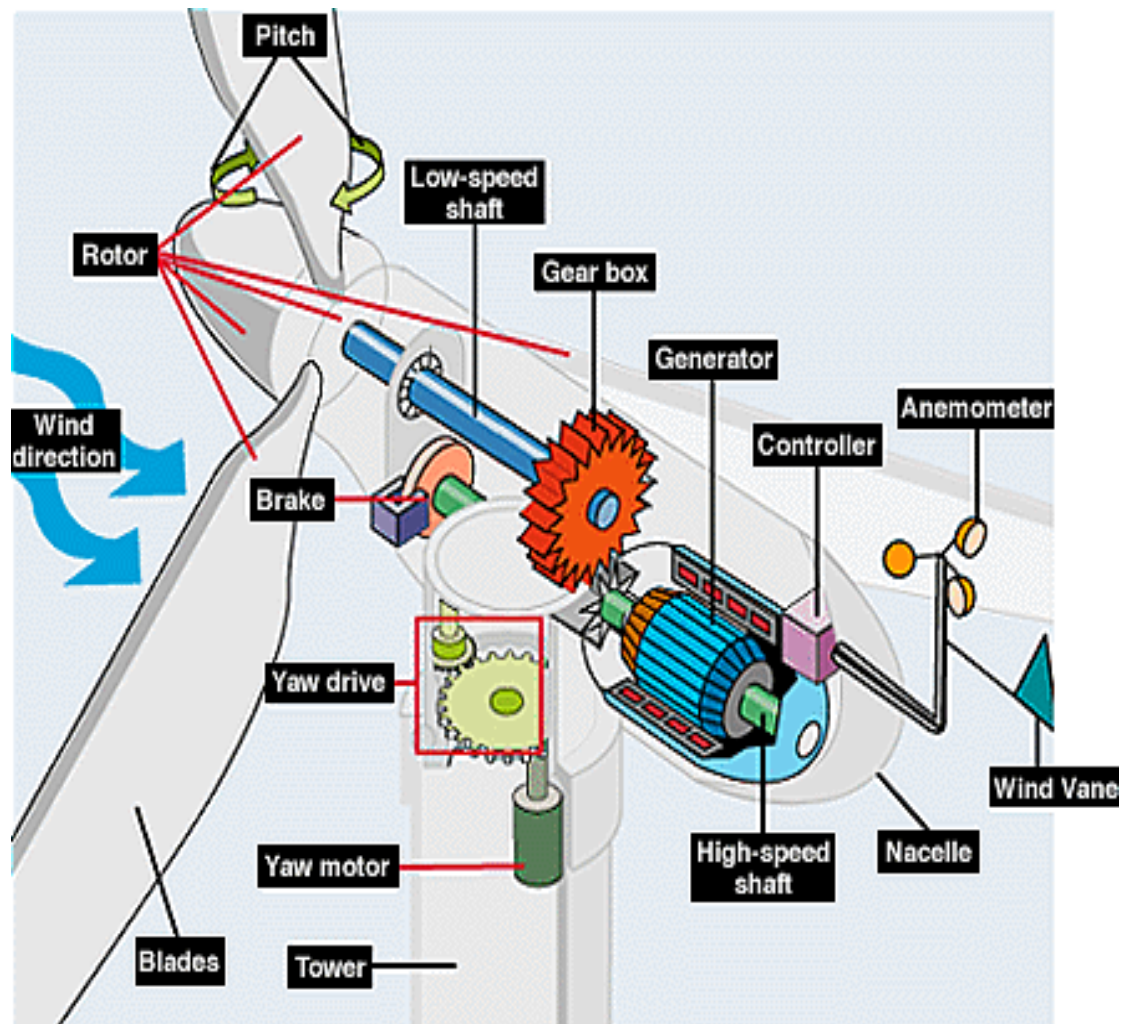
- Ταχύτητα έναρξης ( $v_{cut-in}$ ), είναι η ελάχιστη δυνατή ταχύτητα με την οποία μπορεί η ανεμογεννήτρια να λειτουργήσει και να παράγει ισχύ ( $v=2\sim 4\text{m/sec}$ ).
- Ονομαστική ταχύτητα ( $v_r$ ), είναι η ταχύτητα πάνω από την οποία η παραγόμενη ισχύς λαμβάνει τιμές ονομαστικής ( $v=12\sim 17\text{m/sec}$ ).

Ταχύτητα αποκοπής ( $V_{cut-off}$ ), είναι η μέγιστη ταχύτητα πάνω από την οποία η ανεμογεννήτρια σταματά να λειτουργεί για λόγους ασφαλείας. Η πλήρης ακινητοποίηση γίνεται με τη βοήθεια του συστήματος πέδησης ( $v=25\sim 30\text{m/sec}$ ).

### 3.3 Δομή ανεμογεννήτριας

#### 3.3.1 Μηχανικό-Ηλεκτρολογικό σύστημα [7],[8],[9]

Το μηχανικό σύστημα μιας ανεμογεννήτριας παρουσιάζεται στην παρακάτω φωτογραφία.



Εικόνα 16. Μηχανικά μέρη ανεμογεννήτριας. Πηγή: <https://www.wikiwand.com/el/%CE%91%CE%BD%CE%B5%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%B5%CE%BD%CE%BD%CE%AE%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%B1>

## Ρότορας

Ο ρότορας είναι ένα από τα βασικά στοιχεία μιας ανεμογεννήτριας, ο οποίος αποτελεί περίπου το 20% του συνολικού κόστους της. Τοποθετημένο πάνω στο ρότορα βρίσκεται η πλήμνη, στην οποία τοποθετούνται τα τρία πτερύγια της ανεμογεννήτριας που μετατρέπουν την αιολική ενέργεια σε χαμηλής ταχύτητας κινητική. Στο κέντρο του ρότορα είναι τοποθετημένος ένας μεταλλικός πυρήνας. Περιμετρικά από τον πυρήνα υπάρχει μια κατασκευή η οποία αποτελείται από έναν αριθμό αλουμινένιων ή χάλκινων ράβδων, οι οποίες είναι ενωμένες στις άκρες τους. Κατά την εργοστασιακή κατασκευή του ρότορα, πάνω του τοποθετούνται και βιδώνονται τρία μεγάλα ρουλεμάν, όπου σε κάθε ένα πάνω σε αυτά βιδώνεται ένα πτερύγιο. Τα ρουλεμάν αυτά χρησιμοποιούνται για την μεταβολή της γωνίας των πτερυγίων.



Εικόνα 17.Ρότορας ανεμογεννήτριας. Πηγή

{ <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%B5%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%B5%CE%BD%CE%BD%CE%AE%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%B1> }

## Πτερύγια

Τα πτερύγια σε μια σύγχρονη ανεμογεννήτρια είναι από τα πιο κρίσιμα δομικά στοιχεία για τον σχεδιασμό της και για την μέγιστη απόδοση. Είναι από τα σημαντικότερα εξαρτήματα της ανεμογεννήτριας επειδή είναι υπεύθυνα για την μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε μηχανική περιστροφική. Άλλα είναι περιστρεφόμενο στον άξονα του ρότορα και περιστρέφονται προς της φορά του ανέμου και άλλα είναι σταθερά προς τον άξονα της ανεμογεννήτριας. Τα υλικά τα



οποία χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους διαφέρουν ανάλογα το μέγεθος της ανεμογεννήτριας. Σε μικρές ανεμογεννήτριες το κύριο τους υλικό είναι το υαλόνημα και το ξύλο με εσωτερική επένδυση την πολυουρεθάνη. Σε μεσαίου μεγέθη πτερύγια χρησιμοποιείται επίσης υαλόνημα με διαφορετική κατεύθυνση και εναλλαγή των υαλονημάτων σε πολλαπλές στρώσεις. Σε περίπτωση που χρειάζεται να έχουν μεγαλύτερη αντοχή, τοποθετείται ξύλο το οποίο εμφανίζει και μικρότερη κόπωση. Σε ανεμογεννήτριες οι οποίες παράγουν μεγάλη ισχύς χρησιμοποιούνται εποξικό υλικό ενισχυμένο με υαλόνημα και ανθρακονήματα. Για την μέγιστη απόδοση και την καλύτερη αεροδυναμική των πτερυγίων χρησιμοποιείται η τεχνολογία ελίκων των αεροσκαφών.



Εικόνα 18. Πτερύγια ανεμογεννήτριας. Πηγή (<https://www.newsbeast.gr/environment/arthro/6502107/ti-symvainei-sta-aiolika-parka-otan-teleiose-i-diarkeia-zois-toys>)

## Άτρακτος

Κατασκευάζεται από πολυεστερικό υλικό το οποίο είναι και ενισχυμένο από υαλοβαμβάκα. Βρίσκεται στο πάνω μέρος του πύργου και μέσα του τοποθετούνται όλα τα βασικά στοιχεία για την λειτουργία της ανεμογεννήτριας, όπως είναι ο πολλαπλασιαστής στροφών ή κιβώτιο ταχυτήτων, την γεννήτρια, το σύστημα προσανατολισμού, το σύστημα περιστροφή, τα φρένα κ.λπ. σκοπός της ατρακτού είναι να φυλάσσει και τα προστατεύει όλα τα λειτουργικά στοιχεία της

ανεμογεννήτριας από τα έντονα καιρικά φαινόμενα. Μπορούμε να την εντοπίσουμε σε κυλινδρική, ορθογώνια και ρομβοειδή μορφή.



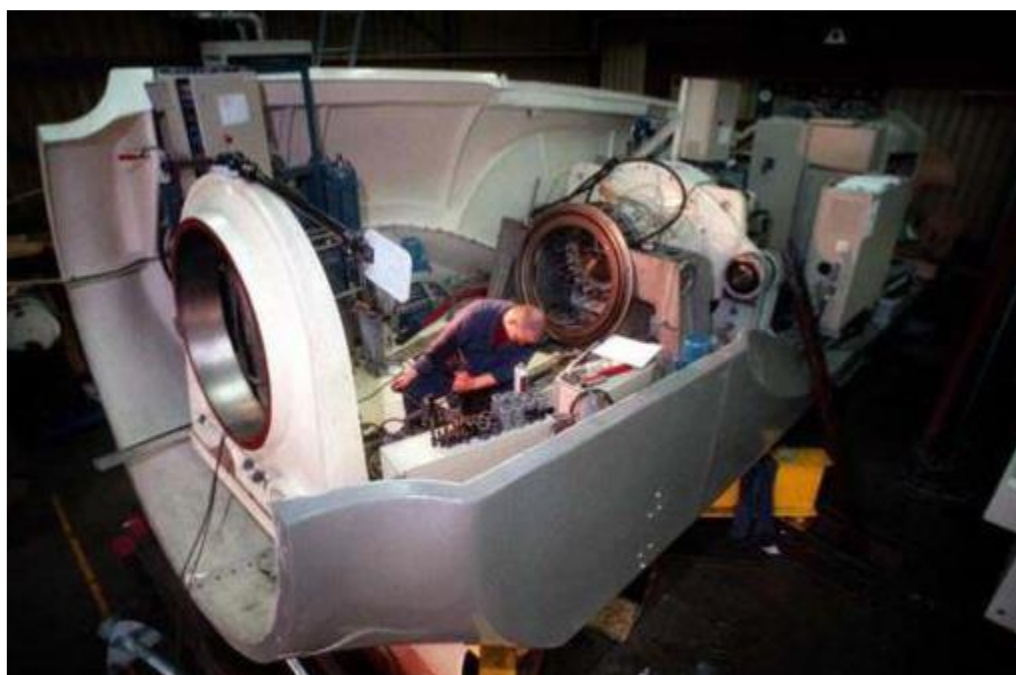
*Εικόνα 19. Άτρακτος ανεμογεννήτριας της εταιρίας Vestas. Πηγή {<https://energy-industry.gr> }*



*Εικόνα 20. Άτρακτος ανεμογεννήτριας της εταιρίας Siemens. Πηγή {<https://www.pemptousia.gr/2012/02/anemogennitries-neas-genias/> }*



*Εικόνα 21. Ατράκτος ανεμογεννήτριας της εταιρίας Enercon. Πηγή  
{<https://www.energyregister.gr> }*



*Εικόνα 22. Το εσωτερικό της ατράκτου. Πηγή  
{<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%B5%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%B5%CE%BD%CE%BD%CE%AE%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%B1> }*



## Ηλεκτρική γεννήτρια [7],[10],[11]

Η γεννήτρια είναι μια κλασική μηχανή η οποία καθώς λειτουργεί μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η λειτουργία της γεννήτριας ή αλλιώς ηλεκτρογεννήτριας βασίζεται στο φαινόμενο της φυσικής, στο οποίο όταν ένα πηνίο ξεκινάει να περιστρέφεται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, τότε εμφανίζεται διαφορά δυναμικού στα άκρα του πηνίου. Η γεννήτρια είναι σχεδιασμένοι από δυο κύρια μέρη τα οποία είναι ο στάτης που εκεί συναντάμε τους σταθερούς μαγνήτες, και το δεύτερο μέρος είναι ο ρότορας που αποτελείται από πηνία. Έτσι όταν θα υπάρχει περιστροφή του ρότορα (στην συγκεκριμένη περίπτωση με την περιστροφή των πτερυγίων με την βοήθεια του ανέμου) μέσα στον στάτη, τότε παρατηρείται διαφορά δυναμικού.

Όλες οι ανεμογεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργεια χρησιμοποιούν επαγωγικές και σύγχρονες μηχανές, οι οποίες συνδέονται με μετασχηματιστή έτσι ώστε η παραγόμενη ισχύς να είναι κατάλληλα προσαρμοσμένη στο εκάστοτε δίκτυο μεταφοράς. Όταν η ηλεκτρογεννήτριες χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά ισχύος κατά την σύνδεση τους με το δίκτυο τότε είναι δυνατή η περιστροφή με μεταβλητή ταχύτητα. Σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθούν ηλεκτρονικά ισχύος κατά την σύνδεση με το δίκτυο μεταφοράς, τότε η περιστροφή της ανεμογεννήτριας γίνεται με σταθερή ταχύτητα.

Οι γεννήτριες που χρησιμοποιούνται εναλλασσόμενου ρεύματος είναι οι εξής:

A) οι ασύγχρονες γεννήτριες

B) Οι σύγχρονες γεννήτριες

Οι ασύγχρονες γεννήτριες τροφοδοτούνται με διέγερση εναλλασσόμενου ρεύματος και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος, στο οποίο η ταχύτητα περιστροφής δεν επηρεάζει καθόλου την συχνότητα του παραγόμενου ρεύματος.

Οι σύγχρονες γεννήτριες τροφοδοτούνται με διέγερση συνεχούς ρεύματος και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος, στο οποίο η συχνότητα του παραγόμενου ρεύματος είναι ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής.

Ο τύπος γεννήτριας που χρησιμοποιείται πιο συχνά είναι οι ασύγχρονες γεννήτριες. Ο πιο κυρίαρχος τύπος ηλεκτρογεννήτριας στην αγορά ανεμογεννητριών είναι αυτός με επαγωγική γεννήτρια διπλής τροφοδοσίας(DFIG), με ποσοστό το οποίο ξεπερνάει το 70% της αγοράς. Ο συγκεκριμένος τύπος γεννήτριας κατέχει την δυνατότητα μεταβλητού ελέγχου γωνίας κλίσης των πτερυγίων και μεταβλητή ταχύτητα. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται στην αγορά η αύξηση των ανεμογεννητριών που χρησιμοποιούν σύγχρονες γεννήτριες με μόνιμο μαγνήτη.

Οι κατηγορίες γεννητριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ανεμογεννήτριες είναι οι παρακάτω.

#### **A) Ασύγχρονες ή επαγωγικές γεννήτριες**

1. Ασύγχρονες μηχανές δακτυλιοφόρου δρομέα(WRIG)
2. Ασύγχρονες μηχανές δακτυλιοφόρου δρομέα με ηλεκτρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση δρομέα (OSIG)
3. Ασύγχρονες μηχανές δακτυλιοφόρου δρομέα διπλής τροφοδοσίας (DFIG)
4. Ασύγχρονες μηχανές βραχυκυκλωμένου κλωβού (SCIG)

#### **B) Σύγχρονες μηχανές**

1. Ασύγχρονες μηχανές δακτυλιοφόρου δρομέα(WRSG)
2. Σύγχρονες γεννήτριες με μόνιμο μαγνήτη (PMSG)

Για την παραγωγή ισχύος των τάξεων MW, μπορεί να γίνει η χρήση οποιονδήποτε τύπο τριφασικής μηχανής από τις παραπάνω.

Τα πλεονεκτήματα μιας σύγχρονης μηχανής σε σύγκριση με μια ασύγχρονη είναι:

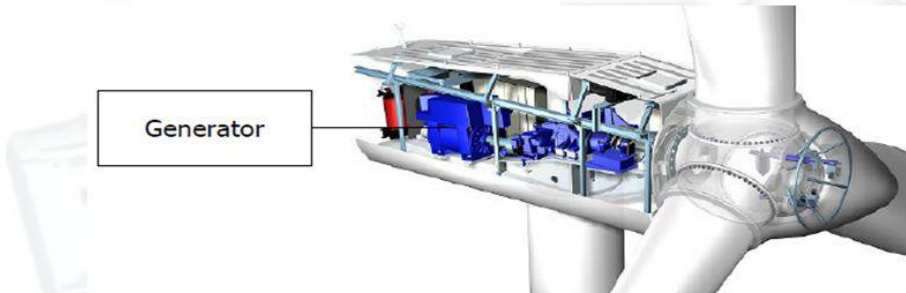
- Το ρεύμα μαγνήτισης είναι ανεξάρτητο από το κύκλωμα του στάτη.
- Η δημιουργία του μαγνητικού πεδίου γίνεται με την χρήση μόνιμων μαγνητών ή συμβατικών τυλιγμάτων του δρομέα.
- Η σύγχρονη γεννήτρια με την χρήση κατάλληλων αριθμών και μεγάλων πόλων, μπορεί να λειτουργήσει και χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων.

- Η σύνδεση με το δίκτυο επειδή γίνεται με την χρήση ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος, διαθέτει την δυνατότητα για καταλληλότερο έλεγχο πλήρους ισχύος. Ο μετατροπέας ισχύος δίνει την δυνατότητα να αποσβένει διαταραχές ισχύος οι οποίες οφείλονται στις ριπές ανέμων και τις διαταραχές του δικτύου. Και τέλος πολύ σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι ελέγχει την μαγνήτιση για να παραμένει η μηχανή συγχρονισμένη με το δίκτυο.

Το κυρίως αρνητικό μια σύγχρονης γεννήτριας είναι ότι είναι πολύ ακριβή και πολύ περίπλοκη στο μηχανολογικό τμήμα της από μια ανάλογου ασύγχρονης γεννήτριας.

Οι πιο συνηθισμένες σύγχρονες μηχανές που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών είναι η σύγχρονη γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη (PMSG) και η σύγχρονη γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα (WRSG).

#### Γεννήτρια Ανεμογεννήτριας Vestas V80 2MW



Όνομαστική ισχύς	2MW
Τάση	690 V AC
Συχνότητα	50Hz
Αριθμός πόλων	4
Βαθμός προστασίας	IP 55
Όνομαστική ταχύτητα	2900 RPM (50Hz)
Όνομαστικό ρεύμα	1709 A
Συντελεστής ισχύος	cosφ1.0
Κατασκευαστής	ABB, Weier.
Βάρος Ψύκτη	430kg
Βάρος Γεννήτριας	5700kg

Ασύγχρονη με διέγερση στον ρότορα από το Vestas Converter System AMK 500L4A BAYH

Εικόνα 23. Ηλεκτρική γεννήτρια ανεμογεννήτριας. Πηγή (<https://slideplayer.gr>)

## **Σύστημα περιστροφής και προσανατολισμού (Yaw system)[7],[12]**

Ο άξονας της ανεμογεννήτριας πρέπει να έχει την ίδια φορά με την διεύθυνση του ανέμου ώστε να παραχθεί όσο το δυνατόν περισσότερη κινητική ενέργεια. Ο σερβοκινητήρας χρησιμοποιείται συνήθως για τον προσανατολισμό της ανεμογεννήτριας σε παράλληλη θέση του άξονα με την διεύθυνση του ανέμου καθώς περιστρέφει την άτρακτο της μηχανής με την βοήθεια γραναζιών και ελέγχεται από τον ανεμοδείκτη που βρίσκεται στην κορυφή της ατράκτου. Στην κορυφή του πύργου είναι τοποθετημένη μια οδοντωτή στεφάνη στην οποία εφαρμόζουν δυο οδοντωτοί ηλεκτροκίνητοι τροχοί προσανατολισμού η οποίοι προσανατολίζουν τον ρότορα. Τα ηλεκτρικά συγκροτήματα γραναζιών που περιστρέφουν την άτρακτο είναι υπεύθυνα για την οδόντωση της στεφάνης η οποία είναι εσωτερική ή εξωτερική. Η χρήση των ηλεκτρικών συγκροτημάτων γραναζιών είναι :

1. Για τον αυτόματο προσανατολισμό της ατράκτου με την διεύθυνση του ανέμου .
2. Για την συγκράτηση της ατράκτου μέσω ηλεκτρικών φρένων που διαθέτουν οι ηλεκτροκινητήρες ώστε να μην περιστραφεί.

Ο ελεγκτής δίνει εντολή σε κάθε ηλεκτροκινητήρα ανάλογα με τις πληροφορίες που δέχεται από τον ανεμοδείκτη σχετικά με την διεύθυνση του ανέμου για δεξιά ή αριστερή παρέκκλιση. Ο αριθμός ηλεκτρικών συγκροτημάτων γραναζιών που διαθέτει ποικίλει ανάλογα με το μέγεθος της κάθε ανεμογεννήτριας. οι ανεμογεννήτριες του 1MW διαθέτουν δυο ηλεκτρικά συγκροτήματα γραναζιών, ενώ εκείνες άνω των 2MW διαθέτουν αντίστοιχα τέσσερα ηλεκτρικά συγκροτήματα γραναζιών.



Εικόνα 24. Yaw system ανεμογεννήτριας( πηγή: <http://rolling-mill-bearings.com/application/WTG/> )



Εικόνα 25. Οδοντωτή στεφάνη. Πηγή(<http://rolling-mill-bearings.com/application/WTG/33.html> )



Εικόνα 26. Ηλεκτροκινητήρας με γρανάτζι. Πηγή/  
<https://www.brevinipowertransmission.com/product/yaw-and-pitch-drives-en/>

### **Διαφορικό χαμηλών ταχυτήτων-κύριος άξονας[12],[13]**

Το κιβώτιο ταχυτήτων με την πλήμνη συνδέεται με το διαφορικό χαμηλών ταχυτήτων. Η μηχανική ισχύς του ρότορα μεταφέρεται με τον κύριο άξονα στο κιβώτιο ταχυτήτων όπου εκεί γίνεται πολλαπλασιασμός των στροφών. Η σύνδεση με την πλήμνη γίνεται στον ένα άκρο του μέσο φλάντζας, ενώ στο άλλο άκρο συνδέεται με γρανάτζια με το κιβώτιο ταχυτήτων. Επειδή όγκος και το βάρος της κατασκευής είναι πολύ μεγάλο, τις περισσότερες φορές η σύνδεση γίνεται κατευθείαν στο κιβώτιο ταχυτήτων χωρίς την χρήση εδράνων. Για τον λόγο αυτό όμως το κιβώτιο ταχυτήτων πρέπει να είναι μεγαλύτερης ισχύος επειδή δέχεται κατευθείαν το φορτίο του ρότορα και είναι πολύ μεγάλο. Η ύπαρξη μεγάλων φορτίων έχει την συνέπεια να γίνονται οι προ-συντήρησης και μη καταστρεπτικές δοκιμές του διαφορικού χαμηλών ταχυτήτων. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του είναι ο χάλυβας μεγάλης αντοχής με κύριες προσμίξεις το νικέλιο, μολυβδαίνιο και το χρώμιο. Είναι

κοίλος ή συμπαγής. Η στήριξη και η περιστροφή του κύριος άξονα γίνεται με δυο κυλινδρικά ρουλεμάν με τα οποία γίνεται η μεταφορά των ωστικών και ακτινικών δυνάμεων στην άτρακτο και στην συνέχεια τον πύργο θεμελίωσης.



Εικόνα 27. Διαφορικό χαμηλών ταχυτήτων( *Low speed shaft*). Πηγή: [https://www.ecplaza.net/products/main-shaft-low-speed-shaft-rotor\\_3450704](https://www.ecplaza.net/products/main-shaft-low-speed-shaft-rotor_3450704)

### Διαφορικό υψηλών ταχυτήτων [7],[12],[13]

Μετά την έξοδο του κιβώτιου ταχυτήτων συναντάμε τον άξονα υψηλής ταχύτητας που συνδέεται με έναν ελαστικό σύνδεσμο . Στο άλλο άκρο του συνδέεται με τον άξονα της ηλεκτρικής γεννήτριας.( στην ουσία αποτελεί τον ρότορα της ηλεκτρικής γεννήτριας.) Συνήθως η ταχύτητα περιστροφής του διαφορικού υψηλής ταχύτητας είναι στις 1500 στροφές ανά λεπτό(RPM). Σε περίπτωση κάποιας βλάβης ή αστοχίας του μηχανισμού ρύθμισης των πτερυγίων, τοποθετείται ένα υδραυλικό δισκόφρενο πάνω στο διαφορικό υψηλών ταχυτήτων για την ακινητοποίηση του ρότορα.



Εικόνα 28. Διαφορικό υψηλής ταχύτητας ( *high speed shaft*) (πηγή: [https://www.pngkey.com/detail/u2w7w7y3r5q8a9y3\\_this-wind-turbine-high-speed-shaft/](https://www.pngkey.com/detail/u2w7w7y3r5q8a9y3_this-wind-turbine-high-speed-shaft/) )



## **Κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών (gear box) [9],[11],[12]**

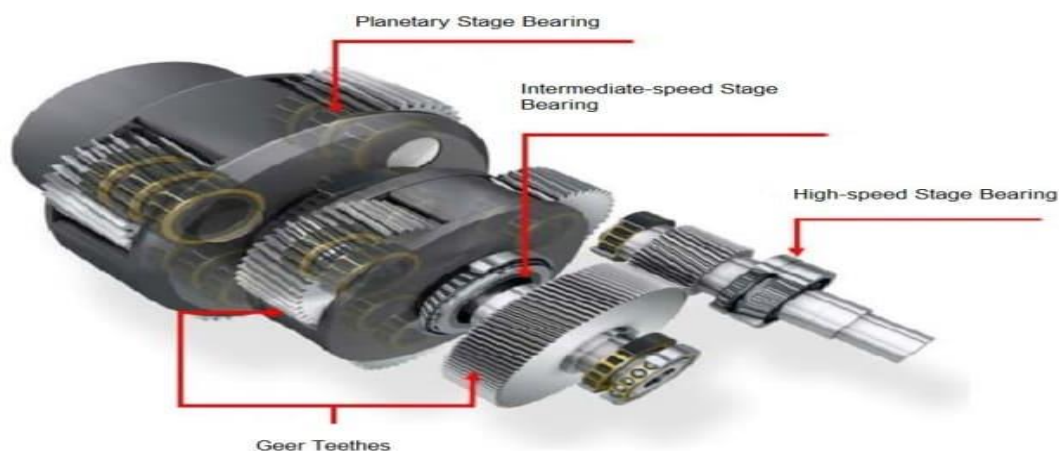
Ο μηχανισμός του κιβώτιου πολλαπλασιασμού στροφών χρειάζεται για την προσαρμογή των στροφών του δρομέα στις στροφές λειτουργίας της γεννήτριας. Με το διαφορικό χαμηλών στροφών μεταφέρεται η ενέργεια περιστροφής της ανεμογεννήτριας στο κιβώτιο ταχυτήτων και από εκεί μέσω του διαφορικού υψηλής ταχύτητας μεταφέρονται οι επιθυμητές στροφές περιστροφής στην ηλεκτρική γεννήτρια. Η τοποθέτηση του κιβώτιου πολλαπλασιασμού είναι για να επιταχυνθούν οι στροφές περιστροφής της ανεμογεννήτριας στις επιθυμητές που χρειάζεται η ηλεκτρική γεννήτρια για να παράγει επιθυμητή ισχύς. Ένα κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών μετατρέπει τις στροφές του ρότορα από δεκάδες ανά λεπτό σε μερικές εκατοντάδες ή χιλιάδες ανά λεπτό που χρειάζεται για την σωστή λειτουργία η γεννήτρια. Πολύ σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών φθείρεται γρήγορα και η διάρκεια ζωής του μειώνεται απότομα, λόγο ότι είναι αναγκασμένο να λειτουργεί τι περισσότερες φορές με κρουστικά φορτία, επειδή μεταβάλλεται συνέχεια η ταχύτητα του ανέμου. Η επιλογή του κιβώτιου ταχυτήτων γίνεται με ονομαστική ισχύς πολύ μεγαλύτερη αυτή της ανεμογεννήτριας και ονομαστική ροπή πολύ μεγαλύτερη αυτή της αιολικής μηχανικής, περίπου 200%.

Τα ποιο σύνηθες κιβώτια ταχυτήτων που θα συναντήσουμε στην αγορά είναι:

1. Το κιβώτιο με οδοντωτούς τροχούς οι οποίοι έχουν ελικοειδή οδόντωση. Ο βαθμός απόδοσης είναι πολύ μεγάλος, είναι σχεδόν αθόρυβο αλλά το κόστος του είναι πάρα πολύ μεγάλο.
2. Το κιβώτιο ταχυτήτων το οποίο είναι με παράλληλες οδοντώσεις γραναζιών. Η κατασκευή του είναι απλούστερη με αποτέλεσμα ο βαθμός απόδοσης να είναι μικρότερος και να δημιουργεί αρκετό θόρυβο. Αλλά είναι πολύ οικονομικότερος.

Είναι πολύ σημαντικό να σημειωθεί ότι υπάρχουν ανεμογεννήτριες οι οποίες δεν χρησιμοποιούν κιβώτιο ταχυτήτων( ανεμογεννήτριες Enercon). Η απουσία του κιβώτιου ταχυτήτων συντελεί στην μείωση του θορύβου της ανεμογεννήτριας αλλά το ποιο σημαντικό είναι ότι με την απουσία του κιβώτιου δεν υπάρχουν ταλαντώσεις της κυματομορφής της παραγόμενης τάσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο βαθμός απόδοσης να είναι πολύ καλύτερος απ' ότι μια ανεμογεννήτρια με κιβώτιο ταχυτήτων

και να είναι περισσότερο αξιόπιστη γιατί η μετάδοση της κινητικής ενέργεια γίνεται κατευθείαν από τον ρότορα στην ηλεκτρική γεννήτρια.



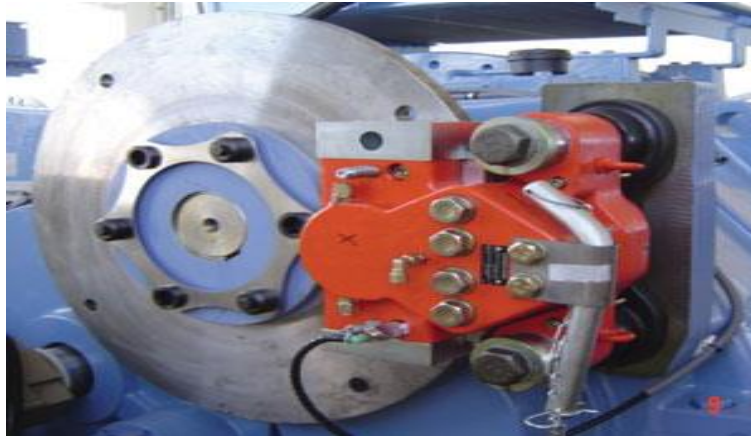
*Εικόνα 29.Κιβώτιο ταχυτήτων ανεμογεννήτριας. (πηγή: <https://www.engineering.com/story/the-future-of-wind-turbines-comparing-direct-drive-and-gearbox> )*

## Σύστημα πέδησης [9],[11],[12]

Για να μπορέσει να γίνει έλεγχος και συντήρηση της ανεμογεννήτριας όσο και για την αποφυγή της καταστροφής της σε υψηλούς ανέμους, γίνεται η τοποθέτηση του συστήματος πέδησης. Για την πλήρη ακινητοποίηση της ανεμογεννήτριας το σύστημα πέδησης τοποθετείται στην έξοδο του κιβωτίου ταχυτήτων. Ανάλογα την ανεμογεννήτρια συμπεριλαμβάνει μηχανικό και αεροδυναμικό σύστημα ασφαλείας.

- Μηχανικό φρένο
- Μερικός έλεγχος του ανοίγματος( μεταπερύγιο, περύγιο)

Η ενεργοποίηση του μηχανικού φρένου γίνεται ταυτόχρονα με την ταχεία ρύθμιση του βήματος των φτερών. Για να προστατευτεί ο ρότορας από πολύ μεγάλες ταχύτητες που προκαλούνται από μεγάλους ρίπους ανέμου επεμβαίνει αυτόματα στον άξονα του ρότορα το υδραυλικό δισκόφρενο για την μείωση της ταχύτητας περιστροφής και την ασφαλή λειτουργία της ανεμογεννήτριας.



Εικόνα 30. Σύστημα πέδησης ανεμογεννήτριας (brake system) (πηγή: <https://www.twiflex.com>)

## Αισθητήρες [8],[12]

Για την σωστή και ομαλή λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας χρειάζονται πολλά αισθητήρια συστήματα τα οποία θα αναφερθούν αναλυτικά στην συνέχεια.

- Συστροφή καλωδίων

Τα καλώδια τροφοδοσίας και ελέγχου είναι τοποθετημένα μέσα στον πύργο, τα οποία περιστρέφονται μαζί με την ανεμογεννήτρια. Η περιστροφή τους όμως περιορίζεται και ελέγχεται από έναν ηλεκτρομηχανικό διακόπτη ο οποίος τα περιορίζει στις τέσσερις περιστροφές προς την ίδια κατεύθυνση. Σε περίπτωση που ολοκληρωθούν και οι τέσσερις περιστροφές προς την ίδια κατεύθυνση, τότε η λειτουργία της ανεμογεννήτριας σταματάει και ξεκινάει να ξετυλίγει τα καλώδια περιστρέφοντας την άτρακτο από την άλλη φορά περιστροφής. Σε περίπτωση που το σύστημα αναγνωρίσει κάποιο σφάλμα τότε θα πραγματοποιηθεί αντίθετη περιστροφή σε τέσσερις και μισό και η λειτουργία της ανεμογεννήτριας θα σταματήσει μέχρι να πραγματοποιηθεί αποκατάσταση του σφάλματος.

- Αισθητήρας υπερθέρμανσης γεννήτριας.

Στην γεννήτρια τοποθετούνται δυο αισθητήρια ξεχωριστά. Ένα είναι τοποθετημένο στο δρομέα και ένα στον στάτη. Σε περίπτωση που

ξεπεράσει η γεννήτρια την επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας της, τότε αυτόματα ενεργοποιείται το φρένο στον δρομέα και σταματάει την λειτουργία της.

- Αισθητήρας υπερτάχυνσης

Σε περίπτωση που ο δρομέας υπερβεί ένα συγκεκριμένο ποσοστό της ταχύτητας, τότε ένας ηλεκτρομηχανικός διακόπτης υπερτάχυνσης ενεργοποιείται αυτόματα και ενεργοποιεί την διαδικασία παύσης έκτακτης ανάγκης με ταχύτατο ρυθμό ρύθμισης του βήματος των πτερυγίων. Για να μπορέσει η ανεμογεννήτρια να ξανά μπει σε κανονική λειτουργία, θα πρέπει να γίνει μηχανική διάγνωση.

- Αισθητήρας ταλάντωσης

Πρόκειται για έναν αισθητήρα οποίος είναι τοποθετημένος μέσα ένα κατάλληλο σημείο της ατράκτου που δημιουργούνται πολλές ταλαντώσεις. Αν ο αισθητήρας αντιληφθεί μεγάλες ταλαντώσεις τότε θέτει σε άμεση παύση την λειτουργία της ανεμογεννήτριας και γίνεται γρήγορη ρύθμιση της γωνίας των πτερυγίων.

- Αισθητήρας θερμοκρασίας μετασχηματιστή

Είναι γνωστό ότι όλοι οι μετατροπείς ενέργειας είτε είναι μετασχηματιστές είτε είναι ηλεκτρονικοί μετατροπείς έχουν μεγάλες απώλειες καθώς αυξάνουν θερμοκρασία. Γι' αυτό τον λόγο τοποθετούνται μέσα ψύξης. Τα κυριότερα μέσα ψύξης σε μετασχηματιστές είναι το λάδι και ο αέρα που χρησιμοποιούνται και σαν μονωτικά. Σε περίπτωση που τα μέσα ψύξης δεν λειτουργήσουν με το επιθυμητό αποτέλεσμα και έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας, τότε το σύστημα μπαίνει αυτόματα σε αδράνεια μέχρι να πραγματοποιηθεί διάγνωση.

- Αισθητήρας θερμοκρασίας ρουλεμάν.

Καθώς ξεκινήσει η λειτουργία την ανεμογεννήτριας δημιουργούνται δυνάμεις τριβής όπου εμφανίζονται με την μορφή θερμότητας και αυξάνει την γενική θερμοκρασία του συστήματος. Για να αποφευχθεί το φαινόμενο αυτό η λίπανση των ρουλεμάν κρίνεται απαραίτητη. Όταν η θερμοκρασία των ρουλεμάν υπερβεί τα όρια της επιθυμητής, τότε εμφανίζεται σφάλμα στην μηχανή και φρενάρει αυτόματα μέχρι η θερμοκρασία πέσει στην επιθυμητή. Τότε η λειτουργία της ανεμογεννήτριας θα επανέρθει αυτόματα. Για να αποφευχθούν τέτοιας μορφής προβλήματα και την αύξηση θερμοκρασίας, θα πρέπει να γίνεται συχνή αλλαγή και καθαρισμός των γράσων που λιπαίνουν τα ρουλεμάν. Πρέπει να τονιστεί επίσης ότι για την αύξηση της θερμοκρασίας των ρουλεμάν σημαντικός παράγοντας είναι και οι αυξομειώσεις της ταχύτητας του ανέμου αλλά και η εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

- Αισθητήρας εξωτερικής θερμοκρασίας.

Η ανεμογεννήτριας έχουν μια ασφαλή θερμοκρασία λειτουργίας. Ο αισθητήρας αυτός μετράει την εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Σε περίπτωση που ξεπεράσει αυτά τα όρια θερμοκρασίας τότε αυτόματα ενεργοποιείται το φρένο στο δρομέα της ανεμογεννήτριας και σταματάει η λειτουργία της.

- Αισθητήρας θερμοκρασίας καμινών ελέγχου.

Μέσα σε μια καμπίνα ελέγχου είναι τοποθετημένα πολλά στοιχεία που καθώς λειτουργούν αυξάνουν την θερμοκρασία της καμπίνας. Τέτοια στοιχείο είναι ο μετασχηματιστής. Κατά την σωστή λειτουργία του συνολικού συστήματος για την αποφυγή μεγάλων θερμοκρασιών και την διατήρησή τους σε επιθυμητά επίπεδα, είναι τοποθετημένη μεγάλοι ανεμιστήρες οι οποίοι είναι σε συνεχή λειτουργία. Σε περίπτωση που ένας ανεμιστήρας βγει εκτός λειτουργίας, τότε αισθητήρας να αντιληφθεί

αύξηση της θερμοκρασίας και θα τεθεί αυτόματα ο μετατροπέας εκτός λειτουργίας.

Αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι τα σημαντικότερα αισθητήρια που χρησιμοποιούνται από τις περισσότερες εταιρίες. Υπάρχουν αισθητήρια το οποία από εταιρία σε εταιρία διαφέρουν και η κάθε εταιρία χρησιμοποιεί τα δικά της επιπλέον.

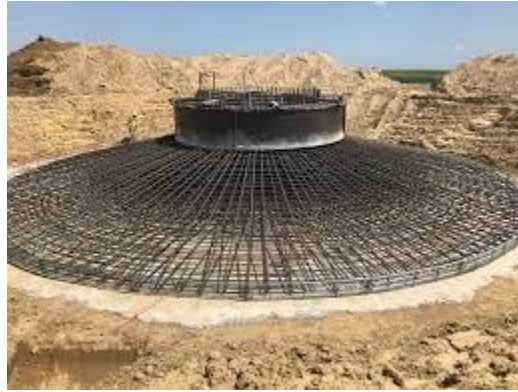
## **Εργασίες εγκατάστασης και ο πύργος στήριξης**

Για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών χρειάζεται να δημιουργηθούν δρόμοι οι οποίοι να είναι εφικτή η διέλευση των φορτηγών που θα μεταφέρουν τα κομμάτια συνδεσμολογίας της ανεμογεννήτριας. Σε ορεινές περιοχές κατασκευάζονται και δρόμοι επικοινωνίας από ανεμογεννήτρια σε ανεμογεννήτρια. Κατά την δημιουργία των δρόμων, τοποθετείται υπόγεια ένα δίκτυο το οποίο συνδέει τις μηχανές με τον υποσταθμό ανύψωσης τάσης.( εσωτερικό δίκτυο τάσης 20.000V) Για να μεταφερθεί η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς, κατασκευάζεται εξωτερικό δίκτυο μεσαίας ή υψηλής τάσης από τον υποσταθμό μέχρι το δίκτυο της γραμμής διανομής που συνήθως είναι εναέριο. Αφού δημιουργηθούν οι δρόμοι και η μεταφορά των στοιχείων της ανεμογεννήτριας είναι εφικτή, τότε ξεκινάει η κατασκευή της βάσης της. Στην βάση της δημιουργείται μια πλατεία από συμπακνωμένο μπετόν για να είναι ασφαλής η χρήση των γερανών για την συναρμολόγηση των ανεμογεννητριών. Αφού ολοκληρωθεί το έργο και η εγκατάσταση είναι έτοιμη, τότε το μεγαλύτερο μέρος της πλατείας μπορεί να αποκατασταθεί με επανατοποθέτηση της φυτικής γης που απομακρύνθηκε.

Οι τύποι πύργων που κυριαρχούν στην εγκατάσταση ανεμογεννητριών είναι είτε δικτυωτός είτε σωληνωτός. Η κατασκευή τους γίνεται κυρίως από χάλυβα με σημαντικό παράγοντα την απορρόφηση των κραδασμών που δημιουργούνται από τον ρότορα. Στην κορυφή του πύργου γίνεται όλη η στήριξη της ηλεκτρομηχανολογικής εγκατάστασης. Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος του πύργου τόσο μεγαλύτερες είναι και οι ριπές ανέμων που δέχεται.

Αναλυτικά ο δικτυωτός πύργος είναι ελαφρύτερος για την μεταφορά και ευκολότερος στην συναρμολόγηση του. Συνεπώς και φθηνότερος. Ο σωληνωτός

πύργος των μεγάλων ανεμογεννητριών μπορεί να γίνει και χώρος αποθήκευσης για όλα τα εσωτερικά συστήματα της ανεμογεννήτριας. Σημαντικό είναι να τονιστεί ότι στην βάση του πύργου τοποθετείται ο μετασχηματιστής της εγκατάστασης. Η πρόσβαση στην άτρακτο γίνεται με την τοποθέτηση εσωτερικής σκάλας στον πύργο ή με την τοποθέτηση ανελκυστήρων σε πολύ μεγάλους πύργους.



Εικόνα 31. Βάση ανεμογεννήτριας (πηγή: [http://www.holtindependent.com/turbine-foundation-base---step-1/image\\_166c34f6-8324-11e5-902c-5fd53b2d3f85.html](http://www.holtindependent.com/turbine-foundation-base---step-1/image_166c34f6-8324-11e5-902c-5fd53b2d3f85.html) )



Εικόνα 32. Εγκατάσταση πύργου ανεμογεννήτριας (πηγή: [http://www.holtindependent.com/turbine-foundation-base---step-1/image\\_166c34f6-8324-11e5-902c-5fd53b2d3f85.html](http://www.holtindependent.com/turbine-foundation-base---step-1/image_166c34f6-8324-11e5-902c-5fd53b2d3f85.html) )

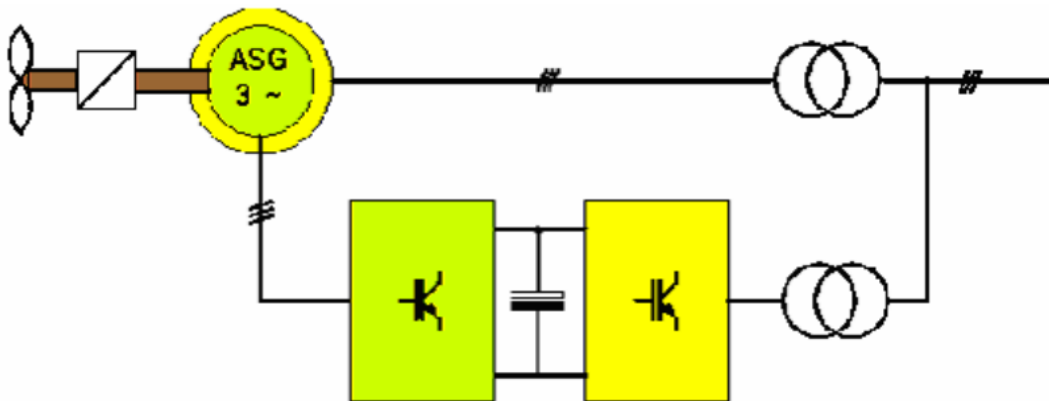


## Διασύνδεση των ανεμογεννητριών με το δίκτυο [12],[13]

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να συνδεθούν με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είτε κατευθείαν είτε με την χρήση ηλεκτρονικών ισχύος.

### A) Κατευθείαν σύνδεση

Οι ανεμογεννήτριες που η σύνδεση του γίνεται κατευθείαν με το δίκτυο χρησιμοποιούν ασύγχρονη γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα η οποία είναι διπλά τροφοδοτούμενη. Ο στάτης της μηχανής είναι απευθείας συνδεδεμένος με το δίκτυο ενώ ο δρομέας είναι πράτα συνδεδεμένος με έναν ηλεκτρονικό μετατροπέα ισχύος και στην συνέχεια με το δίκτυο. Η διασύνδεση αυτή άρχισε να χρησιμοποιείται πρόσφατα στα αιολικά κέντρα και χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο. Το βασικότερο πλεονέκτημα αυτού του είδος σύνδεσης είναι ότι από τον μετατροπέα περνάει περίπου 20% με 30% της συνολικής ισχύος με αποτέλεσμα να εμφανίζει λιγότερες απώλειες σε σχέση με το σύστημα απευθείας οδηγούμενο από τον ανεμοκινητήρα. Ένα ακόμα βασικό στοιχείο είναι ότι ο ηλεκτρικός μετατροπέας της κατευθείαν σύνδεση είναι πολύ οικονομικότερος από τον μετατροπέα της παρακάτω παραγράφου, επειδή δεν χρειάζεται εξωτερικό κύκλωμα διέγερσης μιας και προέρχεται απευθείας από το δίκτυο.



Εικόνα 33. Ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος ανεμογεννήτριας (πηγή: [http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC\\_WORK/EKDILOSEIS\\_P/EPISTHMONI\\_KES\\_EVENTS/HLEKTROKINHTA%20ISXYOS/268/270/ST3%20PASTROMAS%20SAFAKA\\_S.pdf](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/EKDILOSEIS_P/EPISTHMONI_KES_EVENTS/HLEKTROKINHTA%20ISXYOS/268/270/ST3%20PASTROMAS%20SAFAKA_S.pdf))

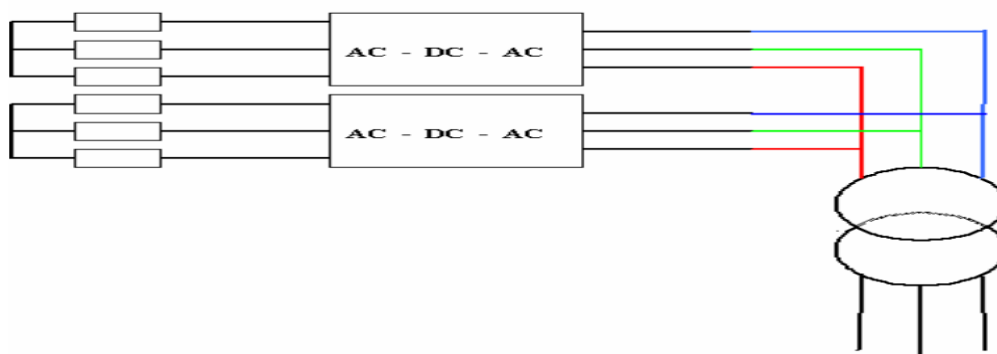
Είναι γνωστό ότι για να μετατοπιστεί η καμπύλη ροπής-στροφών χρησιμοποιούνται αντιστάσεις. Ο τρόπος αυτός μπορεί να είναι αξιόπιστος αλλά οι αντιστάσεις εμφανίζουν μεγάλες απώλειες και η δυνατότητα ελέγχου για την άμεση

μετατροπή της καμπύλης είναι πολύ δύσκολη για τον λόγο ότι η τιμή της αντίστασης δεν μεταβάλλεται τόσο γρήγορα λόγω συνδεσμολογίας αλλά και επειδή δεν επικοινωνεί με το υπόλοιπο κύκλωμα. Ενώ με την χρήση του ηλεκτρονικού μετατροπέα που αντικαθιστούν τις αντιστάσεις, σταματάνε να υπάρχουν οι ωμικές απώλειες και η μετατόπιση την καμπύλης γίνεται πολύ γρήγορα. Με την μετατόπιση την καμπύλης μπορούμε να πετύχουμε μεγάλη ρύθμιση της ροπής εκκίνησης ανάλογα την ταχύτητα του αέρα και να προστατεύσουμε την γεννήτρια από μεγάλα ρεύματα κατά την εκκίνηση . Έτσι μπορούμε να εκμεταλλευτούμε για τις χαμηλότερες ταχύτητες του αέρα. Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος αλλάζει την αντίσταση του δρομέα με αποτέλεσμα να αλλάζει το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό της γεννήτριας και μετακινείται η καμπύλη  $C_p$ -λ στην επιθυμητή τιμή  $\lambda_{opt}$  όπου το  $C_p$  είναι μέγιστο. Με αυτό τον τρόπο η λειτουργία της ανεμογεννήτριας προσαρμόζεται αυτόματα με τις αλλαγές της ταχύτητας του ανέμου. Με την χρήση του ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος το εύρος ρύθμισης της τάσης είναι πολύ μεγάλο και συνεπώς της άεργου ισχύος.

## **B) Διασύνδεση με την χρήση ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύων**

Η συγκεκριμένη σύνδεση έχει το χαρακτηριστικό ότι κάθε γεννήτρια είναι απευθείας οδηγούμενη από τον ανεμοκινητήρα. Η συνήθως τάση που παράγει μια ανεμογεννήτρια είναι στα 400V και το μόνο που μεταβάλλεται είναι η συχνότητα που παράγει η γεννήτρια ,η οποία είναι διαφορετική των 50Hz. Όπως είναι γνωστό η ταχύτητα περιστροφής του ανεμοκινητήρα εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου. Για να μπορέσει να επιτευχθεί σύνδεση με το δίκτυο είναι απαραίτητο η συχνότητα να είναι στα 50Hz. Για τον λόγο αυτό, τοποθετείται μια διπλή γέφυρα με ηλεκτρονικά ισχύος, ο λεγόμενος ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος. Έτσι υπάρχει συγχρονισμός της σύγχρονης γεννήτριας με το δίκτυο. Με αυτό τον τρόπο η συχνότητα είναι η ονομαστική του δικτύου. Όσο αφορά την τάση την οποία παράγει η ανεμογεννήτρια, εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα και το ρεύμα διέγερσης του. Το ρεύμα διέγερσης είναι αυτό που μεταβάλλεται έτσι ώστε η τάση εξόδου της σύγχρονης γεννήτριας να παραμένει σταθερή. Το ρεύμα διέγερσης επί της ουσίας μεταβάλλει το μαγνητικό πεδίο. Ο τρόπος σύνδεσης μια τέτοιας ανεμογεννήτριας γίνεται ως εξής, μετά το τύλιγμα σύγχρονης γεννήτριας συνδέεται

ο ηλεκτρικός μετατροπέας ισχύος και στην συνέχεια συνδέεται με το δίκτυο. Για να γίνει πιο κατανοητό θα χρησιμοποιηθεί ένα παράδειγμα από μια σύνδεση ανεμογεννητριών μιας γερμανικής εταιρίας. Στην συγκεκριμένη σύγχρονη γεννήτρια οι φάσεις είναι 6. Γι αυτό τον λόγο υπάρχουν 2 ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος. Οι φάσεις είναι ανά τρεις και τα τυλίγματα είναι συνδεδεμένα σε αστέρα. Τέλος υπάρχει ένας μετασχηματιστής οποίος κάνει ανύψωση της τάσης.

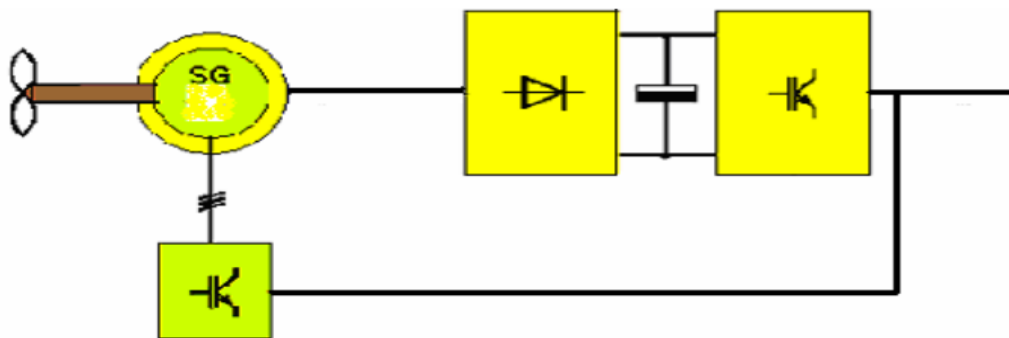


Εικόνα 34. Σύνδεση την σύγχρονης μηχανής μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος με το δίκτυο διανομής. (πηγή: [http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC\\_WORK/EKDILOSEIS\\_P/EPISTHMONI\\_KES\\_EVENTS/HLEKTROKINHTA%20ISXYOS/268/270/ST3%20PASTROMAS%20SAFAKA\\_S.pdf](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/EKDILOSEIS_P/EPISTHMONI_KES_EVENTS/HLEKTROKINHTA%20ISXYOS/268/270/ST3%20PASTROMAS%20SAFAKA_S.pdf))

Οι περισσότεροι ηλεκτρικοί μετατροπείς ισχύος είναι εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές ρεύματος και εναλλασσόμενου ρεύματος (E.P.-Σ.P.-E.P.). ο συγκεκριμένος μετατροπέας αποτελείται από δύο κύρια μέρη, τον μετατροπέα E.P.-Σ.P που είναι στην πλευρά της μηχανής και τον μετατροπέα Σ.P.-E.P που είναι στην πλευρά του δικτύου. Ο πρώτος μετατροπέας, μετατρέπει την εκάστοτε εναλλασσόμενη τάση που παράγει η γεννήτρια σε συνεχές. Η συγκεκριμένη ανόρθωση γίνεται με διόδους ισχύος για την αποφυγή αντιστροφής του ρεύματος. Σε περίπτωση που χρειάζεται να γίνει αντιστροφή του ρεύματος, αυτό μπορεί να γίνει είτε με αντιπαράλληλες διόδους ισχύος είτε με γέφυρα IGBT. Ανάμεσα στους δύο μετατροπείς ισχύος, υπάρχουν τοποθετημένοι πυκνωτές οι οποίοι είναι υπεύθυνη να εξομαλύνουν και να διατηρούν σταθερή την τάση. Στην συνέχεια ο μετατροπέας ισχύος που είναι στην πλευρά του δικτύου συνήθως είναι μια γέφυρα IGBT με δικό του κατάλληλο κύκλωμα παλμοδότησης που κάνει αντιστροφή της τάσης από συνεχής σε εναλλασσόμενη με χαρακτηριστικά 400V-50Hz.

Η εκκίνηση της μηχανής γίνεται με την ταχύτητα του ανέμου. Όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι η κατάλληλη, δηλαδή να είναι ίση με την ταχύτητα σύζευξης τότε ο ανεμοκινητήρας αρχίζει να περιστρέφεται. Στην συνέχεια λειτουργεί ένα ξεχωριστό κύκλωμα διέγερσης το οποίο αποτελείται από έναν μετατροπέα ισχύος E.P-Σ-P που τροφοδοτείται από το δίκτυο. Η λειτουργία του κυκλώματος είναι η ίδια με το παραπάνω κύκλωμα διέγερσης, δηλαδή ελέγχει την ταχύτητα περιστροφής του ανεμοκινητήρα και ανάλογα τροφοδοτεί το ανάλογο ρεύμα διέγερσης έτσι ώστε η τάση εξόδου να παραμένει σταθερή. Δηλαδή όταν στη μεριά του ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος που είναι στην πλευρά του δικτύου παρατηρηθεί μείωση της τάσης τότε στην περιοχή του μετατροπέα που υπάρχει συνεχής τάση θα μειωθεί και με συνέπεια και η τάση της γεννήτριας. Για να κρατηθεί σταθερή η τάση στην πλευρά του δικτύου, ο μετατροπέας του κυκλώματος της διέγερσης μέσω πολυάριθμων ελεγκτών δίνει εντολή να αυξηθεί το ρεύμα διέγερσης στο δρομέα της σύγχρονης γεννήτριας με αποτέλεσμα να ανεβεί η τάση της γεννήτριας και η συχνότητα. Αυτή η διαδικασία έχει σαν αποτέλεσμα την επιθυμητή τάση εξόδου αλλά η γεννήτρια θα τροφοδοτήσει το δίκτυο με άεργο ισχύ. Παρατηρούμε ότι ο μετατροπέας με την λειτουργία αυτή καθορίζει και τον τρόπο λειτουργίας της σύγχρονης μηχανής. (επαγωγικά ή χωρητικά) Ο μετατροπέας ισχύος είναι υπεύθυνος ώστε να είναι κατάλληλες οι στροφές του ανεμοκινητήρα και να λειτουργεί με μέγιστο  $C_p$  για κάθε ταχύτητα ανέμου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχουν στροφές του δρομέα τέτοιες που να εμφανίζονται  $C_{popt}$  και  $\lambda_{opt}$ .

Παρατηρούμε ότι για να υπάρχει βέλτιστη ταχύτητα περιστροφής του δρομέα, ο ηλεκτρονικός μετατροπέας επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, τέτοιοι όπως είναι η ταχύτητα του ανέμου, η γωνία των πτερυγίων, η ακτίνα των πτερυγίων και πολλών άλλων παραμέτρων. Για να καταφέρει ο ηλεκτρικός μετατροπέας να λειτουργήσει σωστά, ασφαλές και με τον μέγιστο βαθμό απόδοσης την ανεμογεννήτρια πρέπει να επικοινωνήσει με το κεντρικό επεξεργαστή της για να συλλέξει πολλά στοιχεία. Συνεπώς ο ηλεκτρονικός μετατροπέας δεν είναι ανεξάρτητος από τα υπόλοιπα στοιχεία της ανεμογεννήτριας και βρίσκεται συνεχώς σε ανταλλαγή διαφόρων δεδομένων.



Εικόνα 35. Ηλεκτρικός μετατροπέας ισχύος ανεμογεννήτριας. (πηγή: [http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC\\_WORK/EKDILOSEIS\\_P/EPISTHMONI\\_KES\\_EVENTS/HLEKTROKINHTA%20ISXYOS/268/270/ST3%20PASTROMAS%20SAFAKA\\_S.pdf](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/EKDILOSEIS_P/EPISTHMONI_KES_EVENTS/HLEKTROKINHTA%20ISXYOS/268/270/ST3%20PASTROMAS%20SAFAKA_S.pdf))

### 3.3.2 Σύστημα ελέγχου [12],[13]

Το σύστημα ελέγχου μιας ανεμογεννήτριας αποτελείται από ένα πλήθος μικροελεγκτών, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε διάφορα σημεία της. Οι μικροελεγκτές είναι σε συνεχή λειτουργία για να παρακολουθούν και να ελέγχουν την λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Είναι κατασκευασμένοι να αντέχουν σε αντίξοες θερμοκρασίες  $-25$  έως  $+70$  βαθμούς κελσίου και σε αντίξοες υγρασίες που κυμαίνονται από  $0$  μέχρι  $100\%$ . Για να υπάρχει αποτελεσματική και άμεση επικοινωνία, έχει τοποθετηθεί μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας η οποία επικοινωνεί με τους υπόλοιπους μικροελεγκτές μέσω οπτικής ίνας. Οι κυριότεροι μικροελεγκτές είναι τρεις:

1. **Converter controller**, είναι τοποθετημένος στην άτρακτο και είναι υπεύθυνος να ελέγχει τη μέτρηση της τάση και του ρεύματος, την διακοπή της γεννήτριας και τον έλεγχο της ανεμογεννήτριας.
2. **Top controller**, είναι υπεύθυνος να ελέγχει σήματα εισόδου και εξόδου. Τα σήματα εισόδου είναι τα προερχόμενα από τα αισθητήρια και τα σήματα εξόδου είναι αυτά που προέρχονται από απεσταλμένα σήματα προς τους ενεργοποιητές. Είναι και αυτός τοποθετημένος στην άτρακτο και είναι υπεύθυνος για την σωστή λειτουργία της μηχανής. Ελέγχει τις θερμοκρασίες των λαδιών, των ρουλεμάν, του πολλαπλασιαστή στροφών, την εσωτερική

θερμοκρασία της ατράκτου και την εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Επίσης ελέγχει την ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου, την γωνία περιστροφής της ατράκτου και των πτερυγίων, την υδραυλική πίεση, τη συχνότητα και το μέγεθος των ταλαντώσεων των πτερυγίων και της ατράκτου, τον αριθμό συστροφής των καλωδίων και τέλος ένα σύστημα συναγερμού για τον έλεγχο της κεντρικής πόρτας να παραμένει κλειστή. Είναι προγραμματισμένος οι περισσότερες λειτουργίες να πραγματοποιούνται σε πραγματικό χρόνο.

3. **Ground controller**, είναι τοποθετημένος στην βάση του πύργου και είναι υπεύθυνος να ελέγχει τους κύριους διακόπτες. Με αυτόν ο χειριστής έχει τον άμεσο χειρισμό της ανεμογεννήτριας και την άμεση οπτική με όλα τα στοιχεία της. Εμφανίζει να σφάλματα της ανεμογεννήτριας, τυχόν προειδοποιήσεις για την αποφυγή βλάβης, τα σήματα των αισθητήρων και την κατάσταση κύριων και βοηθητικών συστατικών.

Ουσιαστικά ο κύριος ρόλος των παραπάνω ελεγκτών είναι να συλλέγουν και να καταγράφουν σημαντικές πληροφορίες με τις οποίες γίνονται αναλύσεις και διάγνωση σφαλμάτων.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:Συχνά προβλήματα**

### **4.1 Περιβαλλοντολογικά [14],[15]**

Πέρα από τα πολλά θετικά που συναντάμε από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας μέσω των ανεμογεννητριών και τα οφέλη που υπάρχουν για το περιβάλλον, υπάρχουν αντίστοιχα και κάποιες αρνητικές επιπτώσεις σε αυτό. Αναλυτικότερα:

υπάρχουν αντίστοιχα και κάποιες αρνητικές επιπτώσεις σε αυτό. Αναλυτικότερα:

- **Θόρυβος**, αποτελεί το βασικότερο πρόβλημα από τη χρήση των ανεμογεννητριών. Χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες α)το μηχανικό, ο οποίος προέρχεται από τα περιστρεφόμενα μηχανικά τμήματα της ανεμογεννήτριας. Η βασική αντιμετώπιση των μηχανικών θορύβων γίνεται από την αρχή του σχεδιασμού με γρανάζια πλάγιας οδόντωσης και με



εσωτερική ηχομόνωση στο κέλυφος της ανεμογεννήτριας. Επίσης χρησιμοποιούνται γενικότερα ηχομονωτικά πετάσματα και αντικραδασμικά πέλματα στήριξης όπου αυτό είναι εφικτό. Η άλλη κατηγορία είναι β) ο αεροδυναμικός θόρυβος, ο οποίος προέρχεται από την αλληλεπίδραση της ροής του αέρα με τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας. Η αντιμετώπιση του αεροδυναμικού θορύβου έρχεται από την προσεκτική κατασκευή των πτερυγίων με σκοπό την ελάττωση του και με χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής των πτερυγίων. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε διάφορες χώρες της Ε.Ε υπάρχουν όρια για την εκπομπή θορύβου από τις ανεμογεννήτριες(όπως για παράδειγμα στη Δανία το μέγιστο όριο είναι περίπου 40(db(A)) στην πλησιέστερη κατοικία.

- **Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές**, ένα πρόβλημα που έχει επίπτωση στην κανονική λειτουργία τηλεοράσεων και ραδιοφώνων. Είναι γεγονός πως η διάδοση των εκπομπών στις συχνότητες τους, επηρεάζεται από τα εμπόδια που μπορεί να υπάρχουν μεταξύ εκπομπού και δέκτη. Ο βασικότερος λόγος σε αυτές τις παρεμβολές είναι η αυξομείωση του σήματος από τις αντανακλάσεις στα περιστρεφόμενα πτερύγια. Το ότι τα σύγχρονα πτερύγια κατασκευάζονται από συνθετικά υλικά και όχι από μεταλλικά όπως ήταν τα παλαιότερα χρόνια ελαχιστοποιεί αυτή την επίδραση. Για την αποφυγή του συγκεκριμένου φαινομένου μεριμνάει και η ελληνική νομοθεσία καθώς έχει θέσει ελάχιστα όρια στις αποστάσεις που μπορεί να γίνει μια εγκατάσταση από τηλεπικοινωνιακούς και ραδιοφωνικούς σταθμούς με σκοπό να υπάρχει καλύτερος σχεδιασμός και χωροθέτηση. Επίσης σαν τεχνικά μέτρα υπάρχει η εγκατάσταση επιπλέον αναμεταδοτών.
- **Οπτική όχληση**, δεδομένου ότι οι ανεμογεννήτριες είναι κατ' ανάγκη ορατές από απόσταση, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι ιδιαιτερότητες κάθε τύπου εγκατάστασης και να γίνεται προσπάθεια ενσωμάτωσής τους στο τοπίο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- <https://el.wikipedia.org/> [1]
- <http://www.allaboutenergy.gr/> [2]
- <http://www.cres.gr/> [3]
- <https://eletaen.gr/> [4]
- <https://www.dapeep.gr/> [5]
- <https://www.anemogennitria.gr/> [6]
- <http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/handle/123456789/4436> ΔΙΑΜΑΝΤΗ ΕΙΡΗΝΗ ΑΙΓΑΛΕΩ 2018 [7]
- [https://eclass.uowm.gr/modules/document/file.php/MECH101/%CE%91%CE%A3%CE%9A%CE%97%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3/2\\_%CE%91%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%95%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1\\_oc.pdf](https://eclass.uowm.gr/modules/document/file.php/MECH101/%CE%91%CE%A3%CE%9A%CE%97%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3/2_%CE%91%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%95%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1_oc.pdf) ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ-Ειδικά Κεφάλαια Παραγωγής Ενέργειας-Γεώργιος Μαρνέλλος[8]
- [http://ikee.lib.auth.gr/record/133389/files/%CE%91%CE%B9%CE%BF%CE%B%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CE%95%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1.pdf](http://ikee.lib.auth.gr/record/133389/files/%CE%91%CE%B9%CE%BF%CE%B%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%95%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1.pdf) ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ 2013-ΒΑΤΑΛΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ[9]
- <https://www.energyregister.gr> [10]
- <https://energy-industry.gr> [11]
- [http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC\\_WORK/EKDILOSEIS\\_P/EPISTHMONIKES\\_EVENTS/HLEKTROKINHTA%20ISXYOS/268/270/ST3%20PASTROMAS%20SAFAKAS.pdf](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/EKDILOSEIS_P/EPISTHMONIKES_EVENTS/HLEKTROKINHTA%20ISXYOS/268/270/ST3%20PASTROMAS%20SAFAKAS.pdf) [12]
- <http://repository.library.teiwest.gr> [13]
- <http://diocles.civil.duth.gr/links/home/periodiko/issue14/is14ar06.pdf> [14]
- <http://greenagenda.gr/> [15]