

1. Εισαγωγή

1.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Από την ευρύτατη χρήση των ανανεωσίμων πηγών ενέργειας δύναται κανείς να διαπιστώσει ότι η χρήση των παραδοσιακών μορφών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πλησιάζει προς το τέλος της. Η περιορισμένη διαθεσιμότητα τους, η μόλυνση του περιβάλλοντος και το συνεχώς αυξανόμενο κόστος τους είναι σημαντικοί παράμετροι που καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για στροφή σε άλλες μορφές ενέργειας. Η πυρηνική ενέργεια θα αποτελούσε μια καλή λύση λόγω των τεράστιων δυνατοτήτων της αλλά λόγω των καταστροφικών κινδύνων που εγκυμονούν σε πιθανή περίπτωση ατυχήματος αλλά και λόγω των πολύ επικίνδυνων αποβλήτων καθίσταται λίαν επιφυλακτική η χρήση της, τουλάχιστον για το άμεσο μέλλον. Το μέλλον ανήκει στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Η απεριόριστη διαθεσιμότητα τους, η φιλικότητα τους προς το περιβάλλον και το συνεχώς ελαττωμένο κόστος δείχνουν το δρόμο που πρέπει να ακολουθηθεί. Από τις ΑΠΕ αυτή που είναι άμεσα εκμεταλλεύσιμη, ιδίως για τον Ελληνικό χώρο είναι σίγουρα η Αιολική ενέργεια.

Αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια που αναπτύσσει ο άνεμος και η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί με κατάλληλες μηχανές. Είναι μια ακόμη μορφή ηλιακής ενέργειας επειδή το δυναμικό της πηγάζει από τον ήλιο. Η εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου γίνεται μέσω ανεμοκινητήρων, που τη μετατρέπουν σε ωφέλιμη μηχανική ενέργεια μέσω ΑνεμοΓεννητριών (Α/Γ), δηλ. ανεμοκινητήρων που διαθέτουν

ηλεκτρογεννήτρια και τη μετατρέπουν απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Η Αιολική ισχύς, πέραν της βασικής της ιδιότητας, χρησιμοποιείται στη λειτουργία αντλιών ύδατος, στην ύδρευση και άρδευση περιοχών, στη θέρμανση αγροτικών μονάδων και κατοικιών και στη λειτουργία εγκαταστάσεων αφαλατώσεως ύδατος. Τέλος, χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενεργείας όπως η υδροδυναμική.

Συγκροτήματα από πολλές μηχανές μαζί, τα οποία ονομάζονται Αιολικά πάρκα Σχήμα 1.1, χρησιμοποιούνται για μαζική παραγωγή ηλεκτρικής ενεργείας. Το κυριότερο μειονέκτημα της Αιολικής ενεργείας είναι το αυξημένο κόστος συνδέσεως αυτών με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο, δεδομένου ότι η εγκατάστασή των κατά κανόνα ευρίσκεται σε απρόσιτες σχετικά περιοχές. Αυτό το μειονέκτημα όμως το αντιμετωπίζουν και όλοι οι άλλοι συμβατικοί ή όχι σταθμοί παραγωγής ενεργείας. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται, εν μέρει, με τη συγκέντρωση του ενεργειακού δυναμικού σε λιγότερα πάρκα αλλά με μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ.

Η τεχνολογία της παραγωγής ενεργείας από τον πνέοντα άνεμο προοδεύει σημαντικώς. Αυτό κυρίως οφείλεται στην επιστημονική πρόοδο της Μηχανικής Ρευστών των στροβιλομηχανών είτε αυτή επιτυγχάνεται μέσω υπολογιστικής είτε πειραματικής ανάλυσεως. Η υπολογιστική μηχανική ανάλυση έχει βοηθηθεί σε λίαν μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη κατάλληλου λογισμικού αλλά και ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η υπολογιστική τεχνική κυριαρχεί σε πολλούς τομείς της ηλεκτρικής ενεργειακής παραγωγής είτε με συμβατικούς σταθμούς παραγωγής, όπως ατμοστρόβιλοι και αεριοστρόβιλοι είτε σε μη-συμβατικούς σταθμούς όπως υδροδυναμικοί και Αιολικοί. Η Αιολική ενέργεια δύναται σε μερικά χρόνια να

αποτελέσει την κύρια μορφή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Η Ελλάδα είναι ιδιαίτερα προικισμένη χώρα όσον αφορά την εκ του ανέμου ενέργεια. Αρκετές περιοχές της ηπειρωτικής και νησιωτικής Ελλάδας έχουν σταθερούς και δυνατούς ανέμους σε συνεχή βάση. Λόγω της μορφολογίας του εδάφους και των φυσικών συνθηκών, κυρίως στη Ανατολική Ελλάδα, υπάρχουν οι πλέον κατάλληλες συνθήκες για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ανάπτυξη και εκμετάλλευση της εκ των ανέμων ενέργειας αποτελεί βασικό στοιχείο της ενεργειακής πολιτικής των τεχνολογικά ανεπτυγμένων χωρών όπως των Η.Π.Α., Ηνωμένο Βασίλειο, Γερμανία κ.ά. Στο Σχήμα 1.1 δείχνεται ένα συγκρότημα ανεμογεννητριών που στην ουσία αποτελούν ένα Αιολικό πάρκο, <http://www.fotosearch.com/photos-images/wind-turbines.html>.



Σχήμα 1.1 Αιολικό πάρκο σε λοφοσειρά.

Στην Ελλάδα η διείσδυση των ΑΠΕ μέχρι πρότινος ήταν χαμηλή. Το 1995 μ.Χ., η συμμετοχή των ΑΠΕ ήταν γύρω στο 6.0 % της συνολικής παραγωγής. Είναι μόνο τα τελευταία χρόνια που άρχισε σημαντική αύξηση της Αιολικής ενεργείας. Υπήρχε δυσπιστία των κυβερνήσεων, των εταιρειών ηλεκτροπαραγωγής, των διαφόρων επιχειρήσεων και των μεμονωμένων ατόμων προς τις ΑΠΕ που σχετίζονταν με το στρεβλό τρόπο με τον οποίο υπολογίζονταν τα κόστη και οι τιμές της ενεργείας. Το ενδιαφέρον της πολιτείας για την ανάπτυξη του τομέα αυτού τα τελευταία χρόνια έχει αλλάξει προς το καλύτερο και είναι εξαιρετικά έντονο. Συνέπεια αυτού του ενδιαφέροντος είναι η εφαρμογή αξιόλογων προγραμμάτων, που σχετίζονται με την ανάπτυξη και διάδοση των ΑΠΕ. Πολλά από τα προγράμματα αναπτύχθηκαν από τα διάφορα ΑΕΙ και ΤΕΙ της χώρας καθώς και από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) το οποίο ως βασικό του σκοπό έχει ακριβώς την προώθηση και αξιοποίηση των πηγών αυτών, www.cres.gr.

1.2 Ιστορική αναδρομή

Ο από παλαιών ετών ανεμόμυλος που κύριο σκοπό λειτουργίας του ήταν η χρήση της ενεργείας για άντληση, χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ως ανεμογεννήτρια το 1890 μ.Χ. όταν εγκαταστάθηκε πάνω σε χαλύβδινο πύργο ο ανεμόμυλος του Λα Κούρ στη Δανία, με ιστία με σχισμές και διπλά πτερύγια αυτόματου προσανατολισμού προς τη διεύθυνση του ανέμου. Πραγματικές μηχανές λειτούργησαν στις ΗΠΑ κατά τη δεκαετία του 1940 μ.Χ., στην Αγγλία στη δεκαετία του 1950 μ.Χ. καθώς και στη Γαλλία. Η πιο πετυχημένη μηχανή αναπτύχθηκε στη Δανία με 3 πτερύγια αλληλοσυνδεόμενα μεταξύ τους και με έναν πρόβολο στο μπροστινό μέρος του άξονα περιστροφής. Στην Ολλανδία έγιναν πειράματα με αντικείμενο τη μετασκευή των παλαιών ανεμόμυλων αλέσεως δημητριακών, ώστε η

πλεονάζουσα ενέργεια να χρησιμοποιηθεί για ηλεκτροπαραγωγή. Χρησιμοποιήθηκε ασύγχρονος ηλεκτροκινητήρας που κινούσε τον ανεμόμυλο, σε περίπτωση άπνοιας, ή λειτουργούσε σαν γεννήτρια, όταν φυσούσε αέρας.

Οι προσπάθειες εντάθηκαν μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973 *μ.Χ.* και στηρίχθηκαν κατά μεγάλο μέρος στην σύγχρονη αεροδιαστημική τεχνολογία. Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 *μ.Χ.* υπήρχαν και συγκροτήματα μηχανών μικρής εγκατεστημένης ισχύος μέχρι 25.0 *KW*. Οι μηχανές προηγμένης τεχνολογίας, που παρουσιάζουν και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι κυρίως οι οριζοντίου άξονα και οι Darrieus με κατακόρυφο άξονα. Οι μηχανές οριζοντίου άξονα, που είναι πιο εξελιγμένες και διαδεδομένες, έχουν εγκατεστημένη ισχύς τους κυμαίνεται από λίγα *kW* έως μερικά *MW*. Οι τύπου Darrieus είναι απλούστερες και μικρότερης ισχύος.

Επερχομένου του χρόνου, μειώθηκε σταδιακά το λειτουργικό κόστος των σε επίπεδο που κατέστησε οικονομικά συμφέρουσα την εκμετάλλευσή της. Αντιμετωπίστηκαν ικανοποιητικά τα μηχανολογικά τους προβλήματα και δόθηκε έμφαση στην ασφάλή τους λειτουργία και στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων. Συγκεκριμένα, η απόδοσή τους αυξήθηκε σημαντικά χάρη στη βελτίωση του μηχανολογικού σχεδιασμού τους και κυρίως της αεροδυναμικής τους συμπεριφοράς, στη χρησιμοποίηση σύγχρονων υλικών κατασκευής και στην εισαγωγή ηλεκτρονικών διατάξεων όπως μικροεπεξεργαστών και αισθητήρων ελέγχου στο σύστημα λειτουργίας τους.

Η χώρα με το μεγαλύτερο ποσοστό εγκατεστημένης Αιολικής ισχύος ήταν οι Η.Π.Α. με 1723.0 *MW* στις αρχές της δεκαετίας του 1990 *μ.Χ.* και ειδικότερα η

πολιτεία της Καλιφόρνια. Αιολικά πάρκα υπάρχουν, επίσης και στη Χαβάη, ενώ τότε άρχισε ο σχεδιασμός για την κατασκευή Αιολικών πάρκων και σε άλλες πολιτείες. Δεύτερη χώρα έρχεται η Δανία, η οποία έχει αναπτύξει και την πιο αξιόπιστη τεχνολογία στον τομέα κατασκευής κατέχοντας μεγάλο ποσοστό στην αντίστοιχη παγκόσμια αγορά. Η συνολική εγκατεστημένη Αιολική ισχύς στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης εκείνη την δεκαετία ήταν $862.0 MW$, www.ewea.com, ενώ ανάλογα προγράμματα αναπτύσσονταν στη Ρωσία και την Κίνα. Ακόμη, στις αρχές της ίδιας δεκαετίας άρχισαν να λειτουργούν στη Δανία και την Ολλανδία τα πρώτα Αιολικά πάρκα εγκατεστημένα μέσα στη θάλασσα και σε κυρίως αβαθείς περιοχές κοντά στις ακτές. Η ανάπτυξη της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνεχίσθηκε αλματωδώς και στα τέλη του 2016 μ.Χ. η συνολική εγκατεστημένη Αιολική ισχύς στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ενώσεως ανήρχετο $106200 MW$.

Το μέγεθος των εμπορικών διαθέσιμων μηχανών έχει εξελιχθεί μέχρι και μεγαλύτερο των $6.0 MW$ εγκατεστημένης ισχύος. Οι Α/Γ εγκαθίστανται συνήθως σε Αιολικά πάρκα εγκατεστημένης ισχύος από $10.0 MW$ έως $100.0 MW$. Για την εκτίμηση του διαθέσιμου δυναμικού του ανέμου έχει αναπτυχθεί ανάλογη τεχνολογία και απαραίτητο λογισμικό. Οι μηχανές έχουν ρυθμισθεί ώστε ακόμη και αν αυξηθεί η ταχύτητα του ανέμου η γεννήτρια να μην παράγει περισσότερη ισχύ από αυτή για την οποία έχει σχεδιαστεί.

Σημαντική εφαρμογή της Αιολικής ενέργειας είναι ο συνδυασμός της με την υδροηλεκτρική ενέργεια όταν δίνουν ισχύ στις αντλίες ύδατος τις ημέρες όπου το δυναμικό του ανέμου παρουσιάζεται αυξημένο. Η περίσσεια ισχύος χρησιμοποιείται για την αποταμίευση ύδατος σε ταμιευτήρες που βρίσκονται σε μεγάλο

ύψος. Το ύδωρ που ταμιεύεται μπορεί να χρησιμοποιείται για άρδευση ή σε ημέρες άπνοιας και να διατίθεται για την κίνηση υδροστροβίλων και την παραγωγή ηλεκτρικής ενεργείας.

Βασικός παράγοντας αναπτύξεως και εφαρμογής της εκ του ανέμου τεχνολογίας αποτελεί η χαρτογράφηση του Αιολικού δυναμικού. Η πραγματοποίησή της όμως είναι αρκετά δαπανηρή και απαιτεί χρόνο και για την καταγραφή αλλά και για την επεξεργασία των δεδομένων των ταχυτήτων και των διευθύνσεων του ανέμου. Η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών τόσο σε μνήμη όσο και σε ταχύτητα με το αντίστοιχο λογισμικό χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη αριθμητικών μοντέλων με τα οποία γίνεται μια πρώτη εκτίμηση της δυναμικής του χώρου πριν καν αρχίσουν οι μετρήσεις πεδίου. Με τον τρόπο αυτό μπορεί σε σύντομο χρόνο να εκτιμηθούν και να επιλεγούν περιοχές με αυξημένο δυναμικό και στη συνέχεια να πιστοποιηθούν οι εκτιμήσεις, με μετρήσεις επί τόπου. Κατασκευάζεται λοιπόν το μοντέλο που είναι ένας κατ' εκτίμηση Αιολικός χάρτης για μία ευρύτερη περιφέρεια, ο οποίος συντάσσεται με τη βοήθεια των προηγουμένως αναφερθέντων αριθμητικών μεθόδων και με βάση τα δεδομένα του ανέμου.

2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ισχύος εκ του ανέμου

2.1 Γενικά οφέλη από την δημιουργία Αιολικών έργων

2.1.1 Κοινωνικοοικονομικά οφέλη

Η εμπειρία της τελευταίων ετών δείχνει ότι στην Ευρωπαϊκή Ένωση λειτουργούν ήδη πάμπολλοι ΑΠΕ, από τους οποίους οι περισσότεροι είναι Αιολικά πάρκα <http://www.eref-europe.org/>. Στην Ελλάδα φαίνεται καθαρά και πέρα από κάθε αμφιβολία, ότι η ίδρυση και η λειτουργία Αιολικών έργων εμπορικής κλίμακας δημιουργεί ισχυρούς πόλους τοπικής αναπτύξεως και περιβαλλοντικής αναβαθμίσεως και προσφέρει πολλαπλά, μετρήσιμα και ουσιαστικά οφέλη στις τοπικές κοινωνίες, στις περιοχές των οποίων εγκαθίστανται αυτά τα έργα. Πιο συγκεκριμένα και με βάση τα καταγεγραμμένα απολογιστικά στοιχεία των εν λειτουργία Αιολικών έργων τα έργα αυτά,

- Συμβάλλουν σημαντικά στην τοπική απασχόληση. Η συμβολή γενικά των Αιολικών έργων στην απασχόληση, τόσο στην τοπική όσο και σε εθνικό επίπεδο, γίνεται πραγματικά εντυπωσιακή εάν συμπεριληφθούν οι προοπτικές εγχώριας κατασκευής και συναρμολογήσεως μεγάλων τμημάτων του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού των έργων αυτών, όπως οι πυλώνες, οι μετασχηματιστές, κ.ά. Η λειτουργία Αιολικών πάρκων προσφέρει ένα μόνιμο και σημαντικό ετήσιο έσοδο στους τοπικούς

Δήμους, που είναι 2.0 % επί του τζίρου τους για όλη τη διάρκεια ζωής των, αλλά και στην τοπική οικονομία γενικότερα.

- Η κατασκευή αντιστοιχών έργων σε μία περιοχή συνοδεύεται από την παράλληλη υλοποίηση σειράς αντισταθμιστικών οφελών, πέραν των άμεσων και μετρήσιμων οικονομικών εισροών και των δημιουργούμενων θέσεων απασχόλησης. Έτσι,
 - 1) Κατασκευάζονται ή/και βελτιώνονται, χωρίς κόστος για τους δημότες, σημαντικά έργα υποδομής στην ευρύτερη περιοχή όπως, οδικό δίκτυο, τηλεπικοινωνίες, ηλεκτρικό δίκτυο.
 - 2) Κατασκευάζονται, ως αντισταθμιστικά οφέλη χωρίς κόστος για τους τοπικούς Δήμους, διάφορα κοινωφελή έργα, όπως κοινοτικοί δρόμοι, σχολεία, παιδικοί σταθμοί κ.ά., ενώ προσφέρονται από τους επενδυτές και ανάλογες χορηγίες.
 - 3) Προωθούνται νέες, εναλλακτικές και ιδιαίτερα κερδοφόρες μορφές τουρισμού στην περιοχή, όπως π.χ. επισκέψεις σε εγκαταστάσεις με Αιολικά πάρκα.

2.1.2 Περιβαλλοντικά οφέλη

Τα ενέργεια που λαμβάνεται από τον άνεμο συντελεί αποφασιστικά στην προστασία του περιβάλλοντος μιας περιοχής, αφού με τον τρόπο αυτό περιορίζεται σε σημαντικό βαθμό η εκπομπή επιβλαβών για την υγεία ρυπαντικών ουσιών, που προκαλούνται από την καύση ορυκτών καυσίμων, όπως άνθρακα, πετρελαίου και αερίου. Η κατασκευή και λειτουργία μηχανών εγκατεστημένης ισχύος 50.0 MW έχει ως αποτέλεσμα την αποτροπή έκλυσης στην ατμόσφαιρα περίπου 128000.0 τόνων το χρόνο διοξειδίου του άνθρακα, αερίου που είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Έγκυρες μελέτες της Ευρωπαϊκής

Ένωσης έδειξαν ότι μία σημαντική υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων με ΑΠΕ και κυρίως με Αιολικά πάρκα που βρίσκονται ήδη στο στάδιο σχεδιασμού ή υλοποιήσεως, θα μπορούσε να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή τουλάχιστον κατά 11.0 %, και επομένως να περιορίσει αντίστοιχα και τις δυσμενείς επιπτώσεις από το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

2.2 Πλεονεκτήματα

Πέραν των όσων σε γενικές γραμμές περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, τα αναλυτικά περιβαλλοντικά και ενεργειακά πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν,

- Μηδενικές ατμοσφαιρικές εκπομπές αερίων. Είναι δηλαδή ιδιαίτερα φιλική στο περιβάλλον, δεν εκπέμπει κανένα συντελεστή ρύπανσης π.χ διοξείδιο του άνθρακα που να συντελεί στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ή να δημιουργεί την όξινη βροχή.
- Μηδενικά προβλήματα μετά το τέλος λειτουργίας.
- Καλό ενεργειακό ισοζύγιο.
- Περιορισμένη χρήση γης. Η εκ του ανέμου ενέργεια δεν εμποδίζει τις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες. Δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι τα Αιολικά πάρκα επιβαρύνουν τη γεωργία ή την κτηνοτροφία. Ενδεικτικά και για λόγους σύγκρισης, αναφέρεται ότι για την παραγωγή ενέργειας από έναν σταθμό ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιεί άνθρακα απαιτείται έως και 4.5 φορές μεγαλύτερη έκταση απ' αυτή που απαιτείται για να καλυφθούν οι ίδιες ενεργειακές ανάγκες με Αιολική ενέργεια. Όσον αφορά στην Ελλάδα, πρέπει να τονισθεί ότι στη μεγάλη τους πλειοψηφία οι μηχανές εγκαθίστανται σε ορεινές θέσεις

με αραιή θαμνώδη βλάστηση, η οποία οφείλεται, ως ένα βαθμό στις υψηλές ταχύτητες του ανέμου. Η παρουσία υψηλής βλαστήσεως σε μία περιοχή με συστάδες δένδρων και δασώδεις εκτάσεις δεν προσφέρεται για εκμετάλλευση, δεδομένου ότι επιβραδύνει τη ροή του ανέμου στα συνήθη ύψη του δρομέα, πράγμα που καθιστά τις θέσεις αυτές μη ελκυστικές. Η συνήθης χρήση γης στις θέσεις εγκαταστάσεως Αιολικών πάρκων είναι η βοσκή αιγοπροβάτων.

- Ο άνεμος είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενεργείας, η οποία μάλιστα παρέχεται δωρεάν.
- Η Αιολική ενέργεια είναι μια τεχνολογικά ώριμη, οικονομικά ανταγωνιστική και φιλική προς το περιβάλλον ενεργειακή επιλογή. Εδώ δεν υπάρχουν ραδιενεργά κατάλοιπα ούτε ιονίζουσες ακτινοβολίες όπως με την ραδιενέργεια.
- Προστατεύει τη γη καθώς κάθε μια *kWh* που παράγεται από τον άνεμο αντικαθιστά μια *kWh* που παράγεται από συμβατικούς σταθμούς.
- Δεν επιβαρύνει το τοπικό περιβάλλον με επικίνδυνους αέριους ρύπους, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, καρκινογόνα μικροσωματίδια κ.ά
- Ενισχύει την ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια κάτι ιδιαίτερα σημαντικό για τη χώρα μας.
- Βοηθά στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς ενεργείας.
- Συμβάλλει στην τοπική ανάπτυξη. Για κάθε *1.0 MW* εγκατεστημένης ισχύος Αιολικής ενεργείας δημιουργούνται 15 με 22 θέσεις εργασίας, εκ των οποίων μερικές είναι μόνιμες. Ακόμη όμως και χωρίς να συμπεριληφθεί το περιβαλλοντικό κόστος, η Αιολική ενέργεια είναι

σήμερα μια οικονομικά ανταγωνιστική εναλλακτική λύση απέναντι στα ρυπογόνα ορυκτά καύσιμα και την επικίνδυνη πυρηνική ενέργεια.

- Επιπλέον, κάθε 1.0 kW που παράγεται με Αιολική ενέργεια και δεν παράγεται π.χ. με καύση άνθρακος, εξοικονομεί περίπου ένα kg CO_2 που δεν εκλύεται στην ατμόσφαιρα.
- Τέλος, η Αιολική ενέργεια είναι και μία ώριμη τεχνολογία. Η βιομηχανία αυτή είναι η ταχύτερα αναπτυσσόμενη ενεργειακή τεχνολογία, με εντυπωσιακούς ρυθμούς αναπτύξεως τα τελευταία χρόνια.

2.3 Μειονεκτήματα

Τα περιβαλλοντικά μειονεκτήματα σε τοπικό επίπεδο έχουν ως,

- Αισθητική επίπτωση στο τοπίο και τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικού.
- Πρόκληση θορύβου.
- Κινούμενες σκιές κατά την λειτουργία.
- Διάβρωση του εδάφους και υποβάθμιση από την διάνοιξη δρόμων σε κορυφογραμμές.
- Επιπτώσεις στα πουλιά.
- Ηλεκτρομαγνητικές παρενοχλήσεις, όπως τηλεπικοινωνίες, ραντάρ, τηλεόραση.
- Ασφάλεια προσωπικού. Λόγω του μεγάλου ύψους και του όγκου της κατασκευής υπάρχει ρίσκο ασφαλείας για τους εργαζομένους.

Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά μερικά εκ των μειονεκτημάτων.

2.3.1 Αισθητική υποβάθμιση

Οι ανεμογεννήτριες σχεδιάζονται ώστε να τοποθετούνται σε ανοιχτές περιοχές και να είναι εκτεθειμένες στους ανέμους. Η οπτική εμφάνιση των ανεμογεννητριών μπορεί να αποτελέσει αρνητική επίπτωση δημιουργώντας προβλήματα στην εγκατάστασή τους σε συγκεκριμένες περιοχές. Η ορατότητα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το ύψος του πύργου, η αμεσότητα τους από γειτονικούς οικισμούς και αυτοκινητόδρομους, από την τοπική μορφολογία του εδάφους, από την κάλυψη σε δένδρα, από την απόσταση και τον τρόπο τοποθέτησης μεταξύ τους και την ομοιομορφία τους. Το ύψος μπορεί να φθάσει και τα 100.0 m που την κάνει διακριτή από απόσταση αρκετών χιλιομέτρων, Σχήμα 2.1. Η οπτική αισθητική επίδραση, είναι κάπως έντονη σε περιπτώσεις εγκαταστάσεων με μεγάλη διάμετρο πτερωτής σε σχετικά κλειστές περιοχές.



Σχήμα 2.1 Ανεμογεννήτριες και αισθητική παρέμβαση.

Οι μηχανές θα πρέπει να μην είναι ατάκτως τοποθετημένες αλλά σε γεωμετρικά ή γραμμικά σύνολα, όπου έχουν ληφθεί υπόψη η διεύθυνση, το χρώμα, το ύψος, η διάμετρος του δρομέα. Πολλές φορές είναι κατάλληλη η τοποθέτηση των σε υποσύνολα που το καθένα ξεχωρίζει ως μία αυτόνομη σύνθεση.

2.3.2 Θόρυβος

Ο θόρυβος προκαλείται από τα μηχανικά μέρη του συστήματος, δηλαδή από την περιστροφή των πτερυγίων, από το συριγμό της ηλεκτρογεννήτριας, από το κιβώτιο μετάδοσης και τα έδρανα στήριξης. Η στάθμη του θορύβου περιστροφής αυξάνεται με τη διάμετρο, τη μείωση του αριθμού των πτερυγίων, τη μεγαλύτερη ταχύτητα των ακροπτερυγίων και την αεροδυναμική φόρτιση των πτερυγίων, την αύξηση δηλ. της απορροφημένης ισχύος. Παράλληλα ο θόρυβος από την τυρβώδη ροή συνδέεται με το στροβιλισμό στο χείλος του απόρρου των ακροπτερυγίων αλλά και με το γενικό πεδίο τύρβης κατάντη του δρομέως. Οι μεγάλες μηχανές επειδή έχουν χαμηλό ρυθμό περιστροφής εκπέμπουν την μέγιστη ακουστική ενέργεια στην υποηχητική ακτίνα εκπομπής. Για τις μικρότερες, η μέγιστη τιμή εκτείνεται στην χαμηλή συχνότητα εκπομπής. Η ενέργεια των ηχητικών κυμάτων και συνεπώς η οξύτητα του ήχου μειώνεται με το τετράγωνο της απόστασης από την ηχητική πηγή. Ένας δρομέας παράγει 100.0 dB σε απόσταση 43.0 m από τη βάση της Α/Γ. Ο αεροδυναμικός θόρυβος πρέπει να αντιμετωπιστεί κατά το στάδιο του σχεδιασμού και κατασκευή της μηχανής. Για να μειωθεί ο θόρυβος τύρβης πρέπει να ελαττωθεί η ταχύτητα των ακροπτερυγίων, που όμως μειώνει και την αποδιδόμενη ισχύ.

2.3.3 Ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση

Η λειτουργία των μηχανών προκαλεί ηλεκτρομαγνητικά πεδία στον γύρω χώρο. Υπάρχει επίσης η αλληλεπίδραση λόγω της ανάκλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω στα περιστρεφόμενα πτερύγια του δρομέα. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού χρησιμοποιούνται νέα, σύνθετα πλαστικά υλικά που μειώνουν την δυνατότητα παρεμβολών.

2.3.4 Επιπτώσεις στην υγεία και την ασφάλεια

Πέραν των προηγουμένως αναφερθέντων, υπάρχει και το πρόβλημα από την εγκατάσταση γραμμών μεταφοράς του παραγόμενου ηλεκτρισμού που θα πρέπει να γίνεται μακριά από κατοικημένες περιοχές λόγω πιθανών κινδύνων στην υγεία. Σε πιθανή εγκατάσταση μέσα ή πλησίον κατοικημένων περιοχών υπάρχει ο κίνδυνος να εκσφενδονιστούν τμήματα των πτερυγίων του δρομέως και να θέσουν σε κίνδυνο την ζωή των ανθρώπων.

2.3.5 Επιπτώσεις σε απρόσιτα μέρη

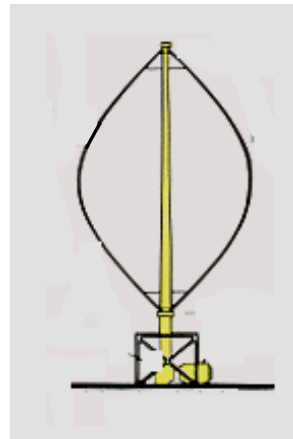
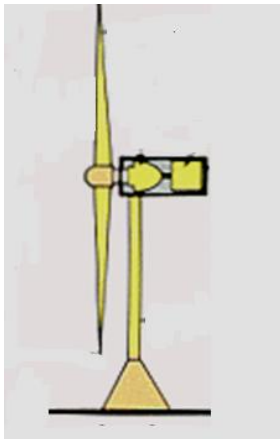
Η εγκατάσταση μεγάλων και πολλών ανεμογεννητριών απαιτεί σημαντική παρέμβαση στο περιβάλλον και υποχρεωτικώς συνοδεύεται με διάνοιξη νέων δρόμων, εγκατάσταση γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος, κυκλοφορία οχημάτων και προσωπικού συντήρησης. Απαιτείται συντονισμένη προσπάθεια ώστε να μειωθούν αυτές οι αλλαγές στον χώρο. Σε διαφορετική περίπτωση, υπάρχει σοβαρός κίνδυνος οι επιδράσεις αυτές να είναι και καταστροφικές και να οδηγήσουν σε μεταμόρφωση του τοπίου.

3. Ανεμογεννήτριες

3.1 Τύποι ανεμογεννητριών

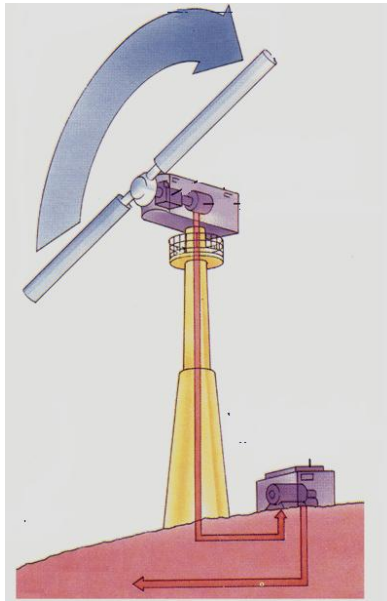
Το συνολικό εκμεταλλεύσιμο Αιολικό δυναμικό της Ελλάδας μπορεί να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των ηλεκτρικών αναγκών της, www.hellasres.gr. Υπάρχουν πολλών ειδών Α/Γ οι οποίες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες,

- Οριζοντίου άξονα, των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους, Σχήμα 3.1 (αριστερά).
- Κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους, Σχήμα 3.1 (δεξιά) <http://windturbine-analysis.com>.



Σχήμα 3.1 Ανεμογεννήτριες οριζοντίου (αριστερά) και κατακόρυφου άξονα (δεξιά).

Η απόδοση της μηχανής εξαρτάται από το μέγεθος της και την 3η δύναμη της ταχύτητας του ανέμου. Το μέγεθος είναι συνάρτηση των αναγκών που καλείται να εξυπηρετήσει και ποικίλει από 10.0^2 W μέχρι 10.0^6 W. Οι τυπικές διαστάσεις των 0.5 MW εγκατεστημένης ισχύος είναι, διάμετρος δρομέα, 40.0 m και ύψος στηρίξεως 40.0 - 50.0 m. Παρόλο που δεν υφίσταται κανένας καθοριστικός λόγος, στην αγορά έχουν επικρατήσει αποκλειστικά οι μηχανές οριζοντίου άξονα, με 2 ή 3 πτερύγια δρομέως, Σχήμα 3.2. Μια τυπική Α/Γ οριζοντίου άξονα αποτελείται από τα εξής μέρη,



Σχήμα 3.2 Δομή ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα με 2 πτερύγια.

- Το δρομέα, που αποτελείται από πολλαπλά πτερύγια. Τα πτερύγια προσδένονται πάνω στην πλήμνη είτε σταθερά είτε με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονα της μεταβάλλοντας το βήμα.

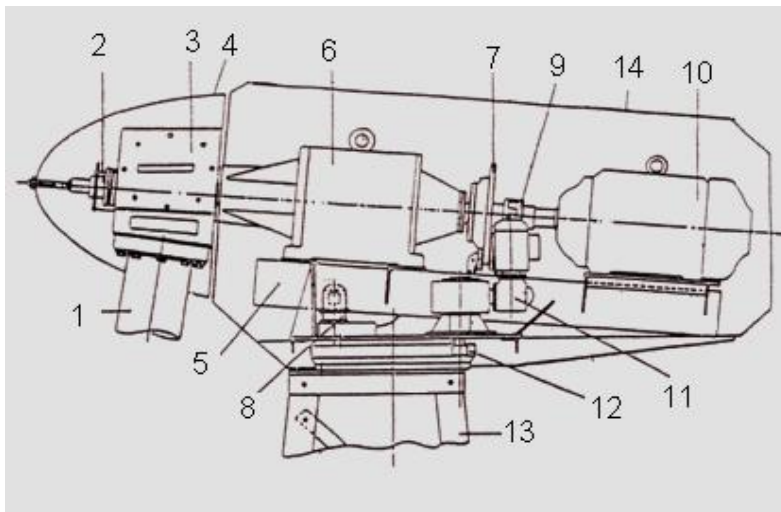
- Το σύστημα μετάδοσης της κινήσεως, αποτελούμενο από τον κύριο άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής.
- Την ηλεκτρική γεννήτρια, σύγχρονη ή επαγωγική με 4 ή 6 πόλους η οποία συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και βρίσκεται συνήθως πάνω στον πύργο. Υπάρχει και το σύστημα πέδης το οποίο είναι ένα συνηθισμένο δισκόφρενο που τοποθετείται στον κύριο άξονα περιστροφής.
- Το σύστημα προσανατολισμού, που αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου.
- Τον πύργο, ο οποίος στηρίζει όλη την παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Ο πύργος είναι συνήθως σωληνωτός ή δικτυωτός και σπανίως από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- Τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες για την απρόσκοπτη λειτουργία, <http://ape.chania.teicrete.gr>.

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να ομαδοποιηθούν και να χρησιμοποιηθούν ως,

- Συνδεδεμένες σε μεγάλα ηλεκτρικά δίκτυα.
- Συνδεδεμένες σε υβριδικά ενεργειακά συστήματα που συνδυάζονται με άλλες ενεργειακές πηγές.

- Αυτόνομα συστήματα για άντληση ύδατος, φόρτιση μπαταριών, θέρμανση, κ.ά.

Σχηματικά περιγράφεται παρακάτω μια μηχανή του τύπου “*BW 10*” η οποία είναι σχεδιασμένη για να παρέχει ρεύμα για την εξυπηρέτηση εγκαταστάσεων που η σύνδεσή τους με το δίκτυο της ΔΕΗ δεν είναι δυνατή. Στο Σχήμα 3.3 φαίνεται η γενική μορφή της ατράκτου, η οποία αποτελείται από τα εξής μέρη, <http://en.wikipedia.org>,



Σχήμα 3.3 Γενική μορφή της ατράκτου.

- | | |
|---|---|
| 1) πτερύγιο | 5) πλαίσιο ατράκτου |
| 2) φυγοκεντρικός μηχανισμός
αεροδυναμικού φρένου | 6) κιβώτιο πολλαπλασιασμού |
| 3) πλήμνη | 7) δισκόφρενο |
| 4) κάλυμμα πλήμνης | 8) υδραυλική μονάδα ελέγχου του
φρένου |

9) ελαστικός σύνδεσμος

12) τράπεζα ολισθήσεως

10) γεννήτρια.

13) πυλώνας

11) μονάδα προσανετισμού
ατράκτου.

14) κάλυμμα ατράκτου

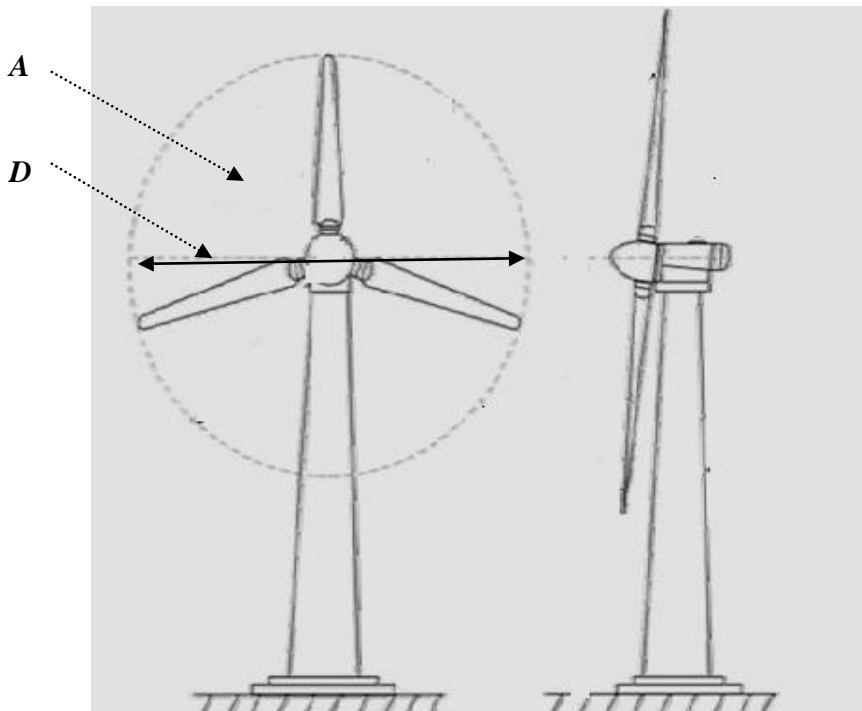
3.2 Αρχές λειτουργίας

Στις αρχές λειτουργίας των ανεμογεννητριών ενυπάρχουν τρεις βασικοί νόμοι. Αυτοί αναφέρονται ως προς την διαθέσιμη από τον άνεμο ενέργεια και την απόδοση λειτουργίας των μηχανών αυτών.

Ο 1ος νόμος δηλώνει ότι η παραγόμενη από τον άνεμο ισχύς I είναι ανάλογη της 3ης δυνάμεως της ταχύτητας του ανέμου, V . Η ισχύς του ανέμου σε χαμηλές ταχύτητες είναι πολύ μικρή. Τα δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου θα πρέπει να είναι διαθέσιμα μετά από ακριβή και λεπτομερή καταμέτρηση αυτών για μια συγκεκριμένη περιοχή ώστε να είναι δυνατό να υπολογιστεί με ακρίβεια το επίπεδο της ενεργειακής παραγωγής. Οι μηχανές θα πρέπει να σχεδιαστούν και να διαστασιολογηθούν ακριβώς για την περιοχή αυτή.

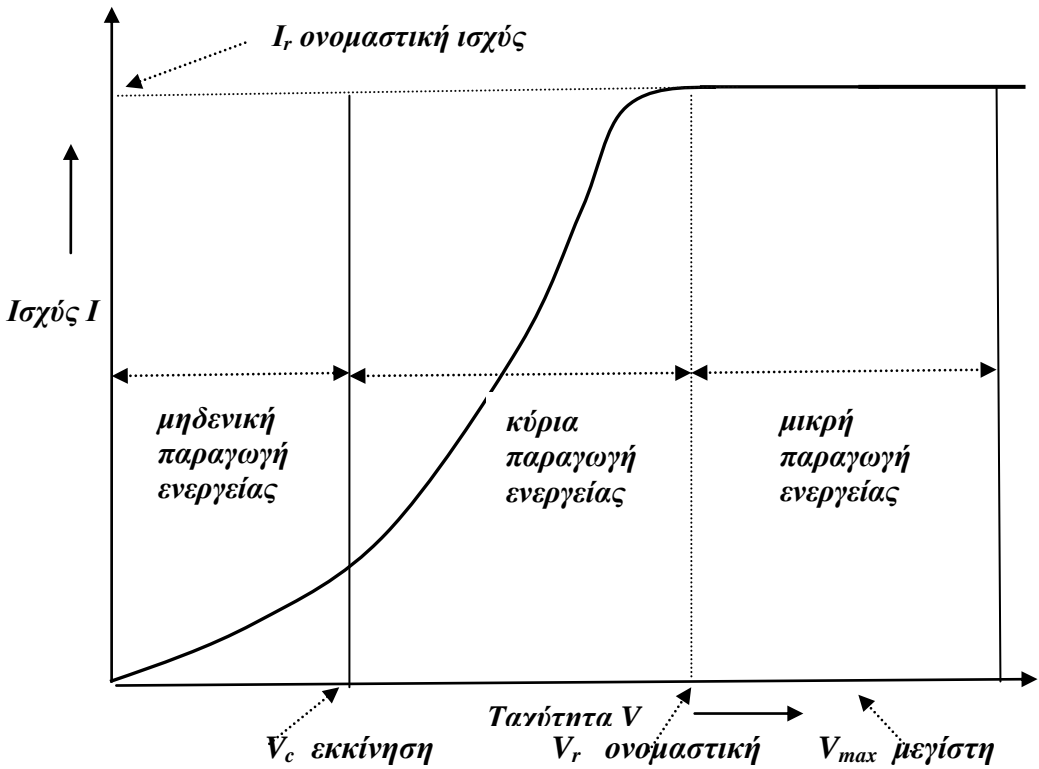
Ο 2ος νόμος δηλώνει ότι η διαθέσιμη ισχύς είναι ανάλογη της επιφανείας A που σαρώνουν οι πτέρυγες, είναι δηλ. ανάλογη του τετραγώνου της διαμέτρου D της πτέρυγας, Σχήμα 3.4, δηλ. $A = \pi D^2/4$.

Ο 3ος νόμος δηλώνει ότι υπάρχει μια μέγιστη θεωρητική απόδοση C_p που είναι 59.0 %. Στην πραγματικότητα οι περισσότερες μηχανές έχουν χαμηλότερο συντελεστή ισχύος, C_p . Οι καλύτερες μηχανές έχουν αποδόσεις της τάξεως 36.0 - 40.0 %.



Σχήμα 3.4 Διάταξη Α/Γ σε 2 τομές. Διάμετρος D και επίπεδο σαρώσεως A .

Οι μηχανές σχεδιάζονται να λειτουργούν σε συγκεκριμένες τιμές ταχύτητας ανέμου. Στο Σχήμα 3.5, V_c είναι η ταχύτητα εμπλοκής ή εκκινήσεως και είναι περίπου $4.0 - 6.0 \text{ m/s}$ στην οποία ο δρομέας ξεκινά να παράγει ισχύ. Κάτω από αυτή την ταχύτητα υπάρχει μικρή ενέργεια E ανέμου και δεν δύνανται να υπερκραστούν οι τριβές εκκινήσεως του συστήματος.



Σχήμα 3.5 Διάγραμμα ισχύος I και ταχύτητας V ανέμου.

Η V_r (*rated*) είναι η ταχύτητα λειτουργίας ή ονομαστική όπου η μηχανή φθάνει στην ισχύ σχεδιασμού.

Η ισχύς σχεδιασμού ή ονομαστική ισχύς είναι η I_r και αναπτύσσεται με την ονομαστική ταχύτητα. Η καμπύλη ισχύος I και ταχύτητας V του ανωτέρω σχήματος είναι τυπική. Η μηχανή ακολουθεί την καμπύλη της ισχύος μέχρι το μέγιστο της ισχύος I_r και ρυθμίζεται να παράγει σταθερή ισχύ μέχρι του να τεθεί εκτός λειτουργίας.

Η ταχύτητα αποκοπής, δηλ. η ανωτάτη ταχύτητα λειτουργίας V_{max} , είναι η τιμή της ταχύτητος όταν η μηχανή τίθεται εκτός λειτουργίας. Αυτή η ταχύτητα καθορίζεται από την ικανότητα της συγκεκριμένης μηχανής να αντέχει στην καταπόνηση σ' εκείνη την ταχύτητα του ανέμου.

Από το διάγραμμα λειτουργίας της Α/Γ, Σχήμα 3.5, είναι προφανές ότι η ισχύς I (W) που αναπτύσσεται είναι, Πίνακας 3.1,

Πίνακας 3.1 Διάγραμμα λειτουργίας ανεμογεννητριάς.

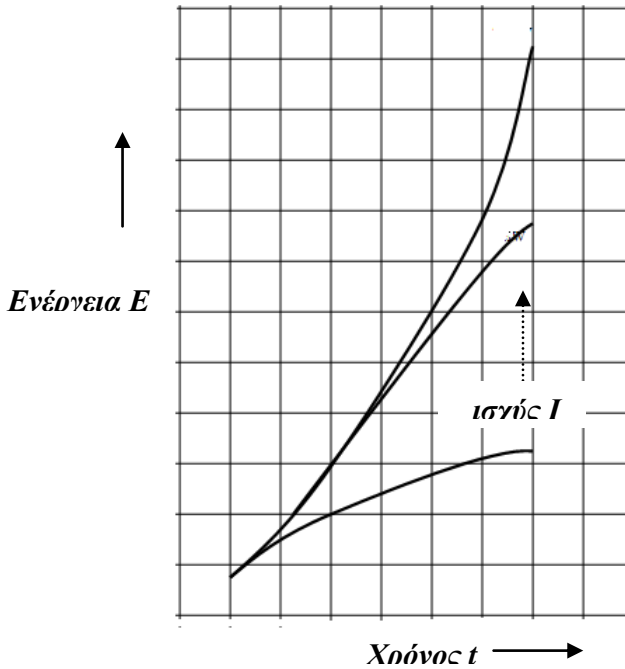
0	αν $V < V_c$
$I = n C_p(\lambda) 1/2 \rho A V^3$	αν $V_c < V < V_r$
I_r	αν $V_r < V < V_{max}$
0	αν $V > V_{max}$

Στην ανωτέρω εξίσωση $n = n_{μηχ} n_{γεν}$ είναι ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως της μηχανής, με $n_{μηχ}$ την απόδοση λειτουργίας λόγω τριβών του άξονος περιστροφής και $n_{γεν}$ το βαθμό αποδόσεως της γεννητριάς, ενώ $C_p(\lambda)$ είναι ο συντελεστής ισχύος εξαρτώμενος από τον λ τον αριθμό δηλ. της ταχυστροφίας, ιδέ Κεφάλαιο 6. Από τις ανωτέρω εξισώσεις είναι δυνατή η παραγωγή της ενεργείας εκ της μηχανής.

Σε τιμές ταχύτητος μικρότερες της ταχύτητος εκκινήσεως είναι προφανές ότι ουδεμία ενέργεια παράγεται. Η κυρίως ενέργεια παράγεται μεταξύ της ταχύτητος εκκινήσεως και της ονομαστικής ταχύτητος. Στην περιοχή αυτή ευρίσκονται μέσου μεγέθους ταχύτητες αλλά έχουν μεγάλη πιθανότητα χρονικών

εμφανίσεων. Σε τιμές ταχύτητας πέραν της ονομαστικής η ενέργεια είναι πάρα πολύ μικρή διότι ναι μεν η ταχύτητα είναι μεγάλη αλλά η πιθανότητα εμφανίσεων τέτοιων τιμών είναι πολύ μικρή.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σχετίζεται με την μέση ταχύτητα του ανέμου. Αυξανόμενης όμως της εγκατεστημένης ισχύος της μηχανής η ετησία παραγωγή αυξάνεται, Σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας E ως συνάρτηση του χρόνου t για αυξανόμενες τιμές εγκατεστημένης ισχύος I .

3.3 Τα μέρη μιας ανεμογεννήτριας

Ακολουθεί, <http://windturbineanalysis.com> μια αναλυτική περιγραφή των τμημάτων μιας Α/Γ.

3.3.1 Δρομέας

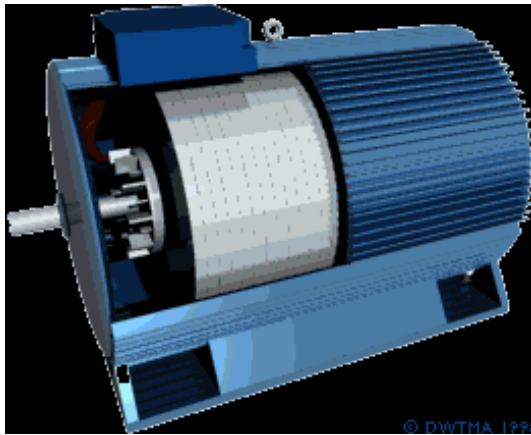
Το πλέον διακριτό τμήμα μιας ανεμογεννήτριας είναι ο δρομέας με τα πτερύγια που μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε περιστροφική ενέργεια στον άξονα περιστροφής. Οι σύγχρονες μηχανές αναπτύσσουν κατά την λειτουργία τους αερο-δυναμική άντωση λόγω της ροής του αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς η επιτάχυνση της ροής στο κυρτό τμήμα της πτέρυγος (επιφάνεια υποπίεσεως), προκαλεί διαφορά πίεσεως με το κοίλο τμήμα (επιφάνεια πίεσεως) όπου η ροή επιβραδύνεται, (Σούλης, 1993 μ.Χ., “Υδραυλικά Στροβιλομηχαναί Α! Τόμος, Υδροστρόβιλοι”), ιδέ Παράγραφο 6.5. Το μέγεθος των ποικίλλει από διάμετρο $D = 60.0 \text{ cm}$ και ονομαστική ισχύ $I_r \sim 50.0 \text{ W}$ έως διάμετρο $D = 60.0 \text{ m}$ και ισχύ $I_r \sim 3.0 \text{ MW}$ ή και περισσότερο. Οι πτέρυγες του δρομέα έχουν σχεδιαστεί να γυρίζουν με τον άνεμο, περιστρέφοντας την γεννήτρια, Σχήμα 3.7. Υπάρχει το κιβώτιο των ταχυτήτων για να αυξήσει την συχνότητα του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος. Για την κατασκευή των πτερύγων χρησιμοποιείται ένα ευρύ φάσμα υλικών. Οι μεγάλες μηχανές σχεδιάζονται συνήθως με 2 πτερύγια, ενώ με 3 πτερύγια σχεδιάζονται μηχανές εγκατεστημένης ισχύος κάτω από 500.0 W . Η ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων είναι περίπου αντιστρόφως ανάλογος με την διάμετρο του δρομέως, ώστε η προκύπτουσα γραμμική ταχύτητα $U \text{ (m/s)}$ του άκρου της πτέρυγας να είναι μεταξύ των τιμών ταχύτητας από 50.0 έως 100.0 m



Σχήμα 3.7 Δρομέας ανεμογεννήτριας με 3 πτερύγια.

3.3.2 Γεννήτρια

Παράγει τον ηλεκτρισμό όταν υπάρχει ικανοποιητική ταχύτητα του ανέμου για να περιστραφούν τα πτερύγια. Σχήμα 3.8. Υπάρχουν δύο είδη γεννητριών, η σύγχρονη και η ασύγχρονη γεννήτρια. Η τελευταία υπερτερεί στο ότι είναι απλή κατασκευαστικά και συνδέεται εύκολα στο δίκτυο, ενώ το γεγονός ότι χρειάζεται ρεύμα μαγνητίσεως από το δίκτυο δημιουργεί προβλήματα όταν η ισχύς της είναι συγκρίσιμη με του ηλεκτρικού δικτύου. Οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την φόρτιση μπαταριών. Υπάρχει και η μονάδα ελέγχου που συγχρονίζει το ρεύμα που παράγεται από την γεννήτρια με την ζήτηση ισχύος από το δίκτυο και το επίπεδο του ανέμου. Τέλος, υπάρχει η ανάγκη να μεταφερθεί το ηλεκτρικό ρεύμα στο σημείο συνδέσεως με το δίκτυο το οποίο μπορεί να βρίσκεται αρκετά χιλιόμετρα μακριά.



Εικόνα 3.8 Γεννήτρια μιας ανεμογεννήτριας.

3.3.3 Σύστημα διεύθυνσεως

Οι μηχανές οριζοντίου άξονα απαιτούν ένα μηχανισμό ο οποίος να τις φέρνει ώστε το επίπεδο που σαρώνει ο δρομέας να είναι κάθετο στην κατεύθυνση του ανέμου, Σχήμα 3.9. Οι μικρές έχουν έναν τέτοιο μηχανισμό στο ουραίο τμήμα, ενώ οι μεγάλες έχουν συνήθως έναν σερβομηχανισμό που τις προσανατολίζει ώστε να παράγουν την μέγιστη ισχύ σχεδιασμού τους.



Σχήμα 3.9 Σύστημα διεύθυνσεως.

3.3.4 Σύστημα προστασίας

Οι σύγχρονες μηχανές είναι εξοπλισμένες με μηχανισμό που τις θέτει εκτός λειτουργίας ώστε να μην υποστούν καταστροφικές δράσεις από υπερβολικά μεγάλες ταχύτητες ανέμων. Υπάρχουν πολλοί τρόποι ακινητοποίησης του δρομέα σε περίπτωση υπερβολικά μεγάλης ταχύτητος ανέμου όπως,

- η μεταβολή του βήματος του πτερυγίου,
- η ενεργοποίηση της αεροπέδης στο ακροπτερύγιο,
- η στροφή του δρομέα παράλληλα με τον άνεμο,
- η πέδηση του άξονα.

Ο προτιμότερος τρόπος ακινητοποίησης της γεννήτριας είναι η σταδιακή μείωση των αεροδυναμικών φορτίσεων στη μηχανή με παράλληλη αύξηση αντιρροπής. Έτσι, επιτυγχάνεται αποφυγή δημιουργίας κρουστικών φορτίων κατά την πέδηση, η οποία γίνεται με δισκόφρενο ασφαλείας.

3.3.5 Πυλώνας στηρίξεως

Ο πυλώνας επιτρέπει στα πτερύγια να βρίσκονται κατά το δυνατόν υπεράνω των τυρβωδών ρευμάτων του ανέμου. Περαιτέρω δεσμεύει ανέμους με μεγάλη ταχύτητα. Ο σχεδιασμός του ύψους είναι κρίσιμος διότι θα πρέπει να είναι αρκετά υψηλός αλλά και οικονομικός για το όλο κόστος του συστήματος. Το εύρος συχνοτήτων των πτερύγων να μην συμπίπτει με την συχνότητα συν-τονισμού του πύργου. Είδη πυλώνων είναι ο τύπου δικτυώματος και ο σωληνωτός.

- Πιο εύκολος στην επιτόπου συναρμολόγηση είναι ο τύπος δικτυώματος, ενώ παράλληλα είναι ελαφρύτερος, φθηνότερος και προτιμάται για την εγκατάσταση μικρών μονάδων.

- Ο σωληνωτός είναι αισθητικά προτιμότερος, ενώ το εσωτερικό του μπορεί να αποτελεί θάλαμο στέγασης όλων των οργάνων. Παρουσιάζεται όμως δυσκολία στην μεταφορά του και στην ανέγερση του, ενώ πρέπει να συγκολληθεί στον τόπο εγκαταστάσεως του. Αυτός ο τύπος προτιμάται για μεγάλες μηχανές.

Ο πυλώνας στηρίξεως είναι μια ειδική κατασκευή το ύψος του οποίου καθορίζεται από την ανάγκη να βρίσκεται μέσα στην οριακή στοιβάδα του ανέμου. Πρέπει δηλ. να αντέχει την αύξηση της ροπής στην βάση του. Η θεμελίωση του συνεπώς θα πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να αντέχει στη ροπή κάμψεως αλλά και στις αναπτυσσόμενες ταλαντώσεις που αναπτύσσονται από την συχνότητα περιστροφής του δρομέως.

1. Δηζαγσγή

1.1 Ιζρύο κηθζώλ πδξνε ιεθξηθώλ ζηαζκώλ

Ζ πδξαπιηθή ελέξγεηα, δει. ε ελέξγεηα ηηπ ρδαηηνο, είλαη κηα αλαλεψζηθε πεγή ελεξγεηάο πηπ ππεξέθεξε θαη ππεξεθεί ηηζήηα ηηλ άλζξσπν ζην δέφκν ηεο αλαπηηκεζο. Σν ρδξξό θάιηηηο ηηλ "θθθθθθθ" ζηε θηζζε έρεη δπλακηθή ελέξγεηα, φηηλ βξίζθεηαη πεξηηέο κε κεγάιν πξφθεηξν, ε νπνία κηαηέρεηαη ζε κηα κηθξή φηηλ ρδξξό ζέηεηαο ρακηφ εζο πεξηηέο. Με ηα πδξνε ιεθξηθώλ έξγα, δει. κε ηηλ πδξνθαηεπηήξα, ηηλ θξάγκα, ηηλ κηκηθφ αγγεηφ πξνζαγγέο, ηηλ πδξνζηζξφβηο, ηελ εηεθξνγελιήηηα θαη ηελ δημξπγα θπγήο εθκεηαιεξεηαη θαλείο ηελ ελέξγεηα ηηπ ρδαηηνο γηα ηελ παξαγσγή εηεθξηθφλ ζεκαηηφλ νπνίηηο δημξεξεηαη ζηελ θαηαλάζεε κε ηηλ εηεθξηθφ δίθηπν. Ζ κηαηέρεηα ηεο ελεξγεηάο ηφλ πδαηηημξεοο κε ηε ρξήζε πδξαπιηθώλ ζηξνβίσλ παξάγεη ηελ πδξνε ιεθξηθή ελέξγεηα.

Με ηελ ζαγαδαία αμμεζε ηεο ηηκίηηο ηφλ πδξνγνιναλζξάθσλ ηηλ ελδηθέξνλ γηα ηελ αλάπηηκε ηφλ Μηθξψλ Τδξν-Ζ ιεκξηθψλ Σηαζκψλ (κΤΖΣ) έρεη δηέξωο ελθαζεί, αθφκε θαη ζηηη αλαπηηγκέιεο ρηξεο ηηπ θφζκνπ. Σπλεπέα ηηηηφλ, έγηιφ ελκαηηφ κει έηεο γηα λα θαζνξίζεη ηηλ δπλακηθην νπνίηηο ζα κπνξνχζε θάπηηηο λα εθκεηαιεξεηε ηεο θηζζεο. Ζ πδξνε ιεκξηθή ελέξγεηα παξάγεηαη ηε ζηηή αζκκίεηηηηηη ζεπζηηη (ρδαηηνο) δηα ηφλ ηηξέηηηηη ηεο πδξαπιηθίηηη ζηξνβηο-κεηαιήο κε ηελ ζηηηή ζηξέεο εσο ηηπ δέκκεο. Ζ ρξήζε κηθξψλ πδξνζηζξφβησλ κε εγθαηέζε κέιε ηξφχ $H < 10.0 \text{ MW}$ ζε πηηέο ρηξεο ηηπ θφζκνπ, ήηαλ πξάγκα ηηηηηηη θαηά ηα έηε ηηπ 19^{th} αηηηά. Γηα ζηνλ ηηπ 20^{th} αηηηηο

άξρηξ ε ζπζηεκαθηθή ρξεζήκνπνίεζε ησλ κηθξψλ πδξνζηξνβί σλ πξνο παξαγογή ελεξγείαο.

Ο νξήζκφο κηθξνί πδξνζήξβνη νη απφ ηερλεηνί απφρρσο, είλαη απζαίξεην. Σηηο ΖΠΑ, σο κηθξνί πδξνζήξβνη ζεοξνχ ληαη ηα ζπζηήκαηα παξαγογήο ελεξγείαο κε αλσηαηη φξηηα $15.0 MW$ αλ θαηζπκθψλσο πξνο ηελ πξφζεθαηε λνκνζεζία ηη φξηηα έρεη απμειεί ζηα $30.0 MW$. Σηελ Δπξώπε θαη ζε κειηάο ρξεο, φπσο ε Διιάδα, σο κηθξνί πδξνζηξνβνη ζεοξνχ ληαη νη κεραλέο κε εγθαηξέθε έλε ηύρ κέρξη θαη $10.0 MW$.

Ζ πδξνείεθηηθή ελέξγεηα εησλ κηθξψλ πδξνζηξνβί σλ, ηφρσ ησλ ζπλερψο απκαλκέεσλ απαηηήζεο λείεη ηηηήο θαηαλαηψζεο οθαηηεο δηαθψο βειηηνπκέεο απνδφζεο ηεηηηπξγίαο ησλ πδξνζήξβί σλ, ρξεζηκνπνίεη επξέσο οπιένλ ζε παγθφζηην επίπεδν θαη απηεηεί, καδί κε ηελ Αηηηηή παξαγογή ζεκαηηθή αλαεηξηθε ηεγή ελεξγείαο. Αλ θαη νη κηθξνί πδξνζήξβνη είλαη έγγα ζρεηηψο κηθξνχ ελδηθέξνλ ηηα ηελ παξαγογή ελεξγείαο, φηαλ ηηπνζεηξνχ λ ζε κεγάλν αξηύκφο δηλαηηα ζεοξνχ ζεκαηηθή ηεγή. θαη δηλαηηα ρξεζηκνπνίεζνχλ κε πνιηαηηή ζηνηηκφηα έρνπζα πξνθαλψο πνιηαηηή σθειηκφηα.

Σα βαζηθά δεδνκέεα πηπ απαηηηηα ηηα ηηλ θαξνζηξφ ηεο ηύρην ηεο ππφ εθηερά ηεπζε ζέζεο είλαη, ε παξνρή ηηπ ξένλ ηηο χδαηηο θαη ηη πδξαηηηφρρνο ή θνξνί. Ζ ηακβαλκέε ηύρσο $H(W)$ ελφο κηθξνχ πδξνζήξβνη ηη δηλαηηα πνιηηηείσο, $I = n\rho gQH$ n είλαη ε απφδνζε ηεηηηπξγίαο ηηπ πδξνζηξνβί νη κε δεθαδηθή έθηεζε, ζ (kg/m^3) ε πηθλφηεηα ηηπ χδαηηο, g (m/s^2) ε επηφρρπζε ηεο βαξηηεηαο ζηελ ππφρρζε ζέζε, Q (m^3/s) ε παξνρή θαη Z (m) ηη δηαθέξηηκν

πξνο ηλ πδξνζ ηξφβην θνξήν. Σν δηαζέξην θνξήν, δεη ην $H_n(m)$ θαζαξφ θνξήν, ελλνείηαο ε δηαθνξά ησλ ζηαηηθψλ πξψλ ησλ ει επζέξσο επηθαλεψλ ηπ αλάηε ηαθεπηά θαηηπ θαηάηε ρψνπ ξνήο κείνλ ην ζπλν ηφφρσλ ησλ αποιεψλ θνξήνπ ζηνλ αγγφ πξνζ αγγήο ηπ ρδαηνο πξνο ηλ πδξνζηξφβην. Γεληθί, ε αλσηέξσο παξνρή είλαη ηακία κφλ ηεο παξνρήο ηπ πδαηνξέεο καινο θαη πξνθαλ, δελ είλαη κεγίηε. Θα ήην νηθνλνκηθφ άζηνπ λ α εγθαηαζηαζεί πδξνζηξφβην έξνληαο δηαζέξην ππ ζα εθεκαηεχλ ηελ κεγίηε ησλ δηαζέξσο παξνψλ. Δίλαη αλαγθαίλ α είλαη γλσζηέο νη ίθαθεο ησλ κεγίηε ησλ θαηηαίηε ησλ παξνψλ ηπ πδαηνξέεο καινο.

Ηρχο είλαη ην πνζφλ ειεξγείαο ην παξαγφκελ ή αλα ηξφφκελ αλά δεπηεξέο επη. Μνλάδα ηρχνο είλαη ην W (Watt). Πνι ιαίηα απηηα θαηηαξέε ζε ρήζε κνλάδεο ηρχνο ζε νξνι γία ησλ κηθξψλ πδξνζ ηξνβί σλ είλαη ην $kW = 1000.0 W$ θαη ην $MW = 1000.0 kW$. Μνλάδα έρηνπ Δ είλαη ην J (Joule) ηαηηξέκν κε ην W/s . Δλ ρήζε κνλάδεο ειεξγείαο είλαη ε θηνβαηηά kWh . Μία θηνβαηηά είλαη ελεξγεαππ παζάγεηα ή αλα ίζεηα ηα κνλάδα ηρχνο $1.0 kW$ ζε κηα ψα. Ζ ρήζε kWh θαη J είλαη $1.0 kWh = 1.0 kW \times 3600.0 s = 3600.0 kJ$. Δλ αλαθνξά πξνο ηελ ρήζε ηεο θαρξέο πεηξείαηπ σο πεγή ειεξγείαο ηρχο 1.0 ήλνο πεηξείαηπ ην $4500.0 kWh$. Έλαο ιακπηάο θσηηκχ ηαηηθί νηθί ηρχ $50.0 - 100.0 W$, ν ηε νηηηφδεηεο $200.0 - 400.0 W$ θαη κεραλή πηπλεξίνπ $2.8 - 3.5 kW$. Η εηαηρεία παξαγγήο ει εθξηθνζέεο ηεο Γαηίια, EDF, αλαθέξεη ηηο πηήξσο ειηθί νηηηθί εμνπ ηέλε ηαηηθί νηθί ηεο ρηαο ηεο απηηί ηρχ πεξί ηα $9.0 kW$.

Δθσξκνγή 1.1. Ζ ζεσξεηηθήήύρχο πνπ δγλαηηηα ιεθεί κε παξνρή $Q = 1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ θαη ρν πηρξοσ $H = 1.0 \text{ m}$ είλαη 9807.0 W ή 9.807 kW . Ζ ήύρχο πνπ ιακβάλεηηα απφ έλα πδξνζηξφβη ν πνπ ιεηηπξεί κε ηα αθφινπζα ραξαηεξηζηηθά

$$n = 0.8, \quad \zeta = 1000.0 \text{ kg/s}, \quad g = 9.807 \text{ m/s}^2, \quad Q = 12.0 \text{ m}^3/\text{s} \quad \theta\alpha\eta H = 2.5 \text{ m}$$

είλαη, $H = n \zeta g Q H_n \text{ (W)}$

$$H = 0.8 \times 1000.0 \times 9.807 \times 12.0 \times 2.5 = 235368.0 \text{ W} = 235.4 \text{ kW} = 2.35 \text{ MW}$$

1.2 Ιζηνξηθό

Ζ ζπλεθξνζά ηεο πδξαπληθή ήύρχο ζεηά αλάπηηε ηεο αλζξσπνγεηαο είλαη πλζαξηηθή απφ ηα ηά. Ζ ρξήζε ηεο ήύρχο είηε γηα ηελ θίλεζε κη σλ είηε γηα ηελ άληεξε ρδαηνο πξνο θαη ηέξεηα αγξψλ αλαθέξεηηα ήδε θαηά ηηπο θηαζζηηηχο ρξφλπο αλ θαη πάξνπλ αλαθνξέο γηα ηελ ρξήζε θαη ηε αθφκε παηηηξνρρφλπο. Σε πνιιά ζεκαηηα Διελθνρρψξνπ θάπνηεσπαζαδνζηηαθέο, αηιιά θαη ζγγξνλεο εγθαηαζηάζεο κηθξψλ πδξνδπλακηθψλ έξγσλ αμηνπνηνχ ηελ ελέξγεηα ηηρ δαηνο γηα ηελ παξαγνγή κεηαηηηηξά έξγνπ αηιιά θηζίσο γηα ηελ παξαγνγή ειεθξηηηηξά ξεκαηηο. Οη πνιχ πεηνί βαζκνί απνδφξεο ησλ πδξνζηξνβί σλ, πνπ κεηηθό θνξέο πεξξβαίλνπλ θαηηην 90.0% θαηε πνιχ κεγάιε δηάθεηα δσήο ησλ πδξνδπλακηκψλ έξγσλ, πνπ κπνξεί λα πεξξβαίλεη θαηηηα 100% έηε, απηηε νχλ δνν ραξαηεξηζηηηηχο δειηηεο γηα ηελ ελέξγεηαηη απηηε εζκαηηηηεηα θαη ηελ ηεηην γηηήζηεηεηα.

Οη κΤΖΣ είλαη εγθαηαζηάζεο παξαγνγήο ειεθξηηηηξά ελέξγεηαο. Σηελ Δπξώπε θαηηηελ Βφξεην-Ακεξηηήζηα ηείε ηηπο 19^{th} αηηωλα θαηηηηε αξέο ηηπο 20^{th} αηηωλα

αλαπιηρξεθε έλαο ζεα αληηθοααηξόφο κηθξψλ ζηαζκψλ πδξνζηξνβί σλ. Σα πηλ πνιιά απφ απηά είραλ ηηπνζεηεξεί θνιηά ζηα θέιηα θαηαλαηψρεο οειεθξηθίηρ ειεξγείαο θαη είραλ σο επί ηηλ πειίζηηλ ζρεδηάζηει γηα κεκλσκέιε ηεηηπξία. Μεγία α δηάζπιδεδεκέλα δίθηπα κεαθνξάο ειεθξηθίηρ ειεξγείαο θαηά ηελ αλσηέξσο ρξνιηθή δηάζηεα δελ πηήξαλ. Οη κηθξνί πδξνζηξνβηνη είραλ αλαπιηρξεί γηα λα εθκειαιεπηηχ ηηο πδξαπιηθώ ζπλζήθεο ησλ επί κέξηνπ πεξηνρνλ. Σα θχξηα ρααηεξηζηηθά ηνπ φηηλ πξσην δεκηηέγηζε θαλ ήηαλ

- Υακειή νηηθήαπφδνζε ηεηηπξίαο θνιηά ζηα κέηηηρ δπλαή απφδνζε ηζρνο.
- Τρε ηφ ζπληειεξή θνιηήνπ, δει. ηεηηπξία θνιηά ζηα κέηηηρ δπλαή απφδνζε ηζρνο.
- Τρε ηή πηήξηεηα ησλ επηκέηηπν κεαλεκάησλ κε κέγία εχξε ηεηηπξίαο ζηελ πξνθαξνζηεξεία πεξηνρή ηεηηπξίαο ησλ
- Απαηηηχλαλ δηάζηηο παξνπζία πξνζπηηηχ.
- Οη κηθξνί πδξνζηξνβηνη ήηαλ εθνδηακέλνη κε ζπζκεηηέο ηεηηπξίαο.

2. Πιεν λεθηήκαηα θαηκεηωλεθηήκαηα ης λ κηθέώλ πδξνε ιεθηξίθώλ ζηαζκώλ

2.1 Διξαγςγηθά

Ζ πδξνε ιεθηξίθθ ελεξγεηα δχλαμ ηα εμαζθα ιίξηε ιεθηξίφ ζε πνιυ ρακειό ηηκώ. Ζ πνζσηεηα ηνπ ιεθηξίφκνυ πνπ παξάγεηαη είιαη αλά γε ηνπ θαζαξνυ ρνπ ο πημζεο ο θαη ηεο παξνρήο ηνπ ρδαινο ηελ νπνία εθηεηα ιεηεηα ν πδξνζηξοβη νο. Οη πδξαπι ηθά, κεραληθά θαη νη ιεθηξίθά απμιεηεο κεηωλεπλ ηελ ζεοξεηηή παξαγςγή ελεξγείαο. Ζ παγθόσμην ηθαμπεηα ηεο πδξνελεξγεηηθή παξαγςγήο κε κηθξνυ θαη κεγάλ νπν ζηαζκνυο είιαη 675000.0 MW θαη αληξίηηε πξνο 2.3 ηξίεθαηηκκόζηα kWh ιεθηξίφκνυ θαη έηη. Σν πνζνζηε απηο ηξόπιακεί πξνο 3.6 δηξεθαηηκκόζηα βαξεί ηα πεηξειαίηα.

Σηο αλαπηξίζ νκέλαο ρηαο, νη κηθξνί πδξνζηξοβη νη ζπλήζο ο θαη ζε πάδνληα ζε κεγάλ αξημό δπλάκελ ηα πνκπεο ρνπ ιεθηξίθ ελεξγεηαζε απθαθίεο πεξηνέο. Ζ ιεηεπξία θαηε ζπλήξεζε ηνπ δχλαμ ηα γίλεηεπθιςο απηο ηνπ εληνπν θαη ηνπ κε θαη ηε εηε εηαίεπζε. Με ηελ ηξοπν απηο εθαηηηάδεο ρηα επεξηφκελα ζε πεξηνέο γεηηηάδνπζεο πξνο πνηακνυο δχλαμ ηα ρεξίηηκνπ ηξνπ ηα πδξνε ιεθηξίθά έξγα ηα ηελ παξαγςγή ιεθηξίθ ελεξγείαο.

- Ζ ηπνπννίεζε ηηπ ειεθηξνθεραλν νγηθνχ εμνπ ηξνκν αηηά θαη ησλ έξγσλ Πνι ηηπθνχ Μεραληθνχ δηαθνιη ριεη ηελ παξαγσγή ηα θαη ηελ εγθαηάξηαζή ησλ.
- Μεγάινο αξηθόφο απηηλ δχλαμηνηα ηηπνπννίεζε ίπνι εζίνλ λειππαξφφηησλ πδξαπνιηθώ θαηαζθεπώ φπσο, πδξεχζεσλ, αξδεχζεσλ αηηά θαη κεγάινο πδξνελεθηξνκν κνλάδσλ, γεγλφφ ην νπνίν δηαθνιη ριεη ηελ παξαγσγή θαη κεηαηνμά ηεο ειεξγεηαο ιφγσ γεηνμάξεσο πξνο ελπάξεσλ ηα δέηηα θαη πνδνκέο.
- Δπηξέπεη αμνηνμίεο ηεξνμώ ζπζκίζεο πνπ επηξέπνπλ εγθπέφηεηα πρεηήσ πηφφηηνο, ελ ζπγθίζεο πξνο ηηοάηεο πεγέο ειεξγεηαο, φπσο π.ρ. ε Αηηηεθή παξαγσγή ειεξγεηαο, φπνπ εκθαλίδνμ ηαπξφ κέινο δηαθνμίεο.
- Η φηε εγθαηάξηαζε ησλ κηθξψλ πδξνξξνβίωλ έρεη κεγάινο ρξφλν ηθαλνπνηεηήρ ιεηηπξγίαο. Σν ζρεηηφ θξάμκα αηηά θαη ηα έξγα ειέγνπ ηεο ζήο ζα ιεηηπξγνχ ηθαλνπνηεηήσο επί κίαλ εθαηηεηαία ή θαη πεξηζξφεξν.
- Ψξήζε πνιηαπνκν κνλάδσλ δχλαμηνηα ζρεδηάζεί ηα πξφζεηε παξαγσγή ειεθηξνκν κνλάδσλ φπσο.
- Δίηαη ζπκπξσθηξν πεγέ ειεξγεηαο ηα ηηοαπνκαθξνκέινο εηηπ θέιηπν πεξηνξέο θαη απηεινχ ηελ βάζε ηα ηειπεξαηξέσο αλάηημ.
- Ο πεξηνβίωλ ρξν, ζε πεξίπηζεο πάζεμσο κηξνχ ηακηεηήα πνπ ηξνθνδνηεί κε ρδξ ηελ πδξαπνιηθή ζεξνβνκεραλή, δχλαμηνηα ρεξν-κπνμίε θαη σο ρξνο αλαζπρήο.
- Απποθαζαπποηα κηκηεηήαο δχλαμηνηα ρεξνκπνμίεσο αλάζρεε πν εκκξηηκν θακηνο θαηειέγνπ ηεο δηαξέμσο ησλ εδαψλ.

- Δίλαη δπλαρή ε ζπγθέληξζε θαη θαηηπηηε απνκάθεπλζε δηαθφξσλ απνβι ήησλ.
- Γπλαληη λαξζεξηκπνηεζνλ γηα άδεπζε θαη απζηεξάγγηε.
- Σείνο, πεξηνξίδεηαη κεηαηξία θεξηκπλ πψλ θαηάιηε ηηπ ηακηεπηήξα. Σνρνην ζα απνβεί αξγνφξεο επ' σθειεία ηεο πεξηβαίλνχο ρεο ρεξίδαο.

2.3 Μεηελεθηήκαηα

Πηελ ησλ πηνβιηηεκάσλ πιάξνπλ θαη κεηελεθηήκαηα κεξηθά απφ ηα πνία δύνληαη παζαθάσ,

- Ζ θαηαζεπέ ελφο κΤΖΣ απαηθεί κεγάιε ζξεηηθν δηάθεηα ζπνγνήο πδξν γηηηθλ θαη γεσιηηψλ ζηηηέσλ. Ζ εθφρεζε ειεθξν-κεηαλλν γηηηθλ θαη νηηνλκνηεηηηψλ κειεηηθλ θαηαηα αβάιηε κεγάι νηηηκά ησλ φησλ εμφδσλ ηηπ έξγνπ.
- Απαηθείαη ηθαλή ρεκαηηδφθεζε, δηφηη ην θφζηνο θαηαζεπέο ηηπο είιαη κεγάι ν.
- Έξεη παζαηεξεζε ίφηη νηηη κηθξνί πδξνζηεξνβν ηείιαη δπλαηφλ λα επεξεάζνπλ αξηεηηθά ην πεξηβαίλν νηηνλκνηεηηεκά απηηλ π.ρ. θίιηεζε ηέχσλ αηηηεξέσο πξνο ηελ ξνή ηηπ ρδαηνο, κεηαβνιή κηθξνθίκαηνο θά.
- Σηε πεξίπησζε απνκαθεπζκέλνπ ζηαζκνχ, ην δέηηπν κεηαηξίαό ειεξγείαό δπλαηφ λα επξίζεηαη θαηάι ηηπ ρεξνπ εγθαηαζηάζεσο νπφηε απμάλνληαη ηα θφζηε ζπλδέζεσο θαη κεηαηξίαό ηηπ ειεθξνζηεξνχ ξεηεκάηνο.
- Ζ λνκνζεζία πεξί αδεηηνδνηήζεσο,
 - α) ηεο εγθαηαζηάζεσο,
 - β) ηεο ηεηηηεξίαό θαη

γ) ηρο θνζηνν νγήζεο ο ηρο ηηκίο ηρο παξαγκέλεο kWh ησλ κηθξψλ
πδξνζ ηξνβί σλ,

πνι άθην απηει νχλ αλαζρεηηθο παξάγνλ ηρο γηα ηελ εθκεράι επζε
ηρο ππ' φς ε πδξα πη ηθίρ ζέζεοο.

3. Οηπδζνζ ηζόβηηη

3.1 Δγθαηαζήάζεηοκηθζ νύ κέζ νπ θαηκεγάι νπ ύς νπο πηώζ ες ο

Οη πδζνζη ζφβη ηη απνηει νχλ ηηπο πην ζπγξέφλπο θαη βειηηζηέλπο ηηπο πδζαπην ηηβλ κεραλνλ κε ηηπο νπνίνο επηπυράιειαηε κεηαξζνπή ηεο δπλακηθή θαη θαηακηθή ειεξγεία ηη ζέλνπο χδαηνο ζε κεραληθή ελεξγεηαδή ηεο ζπηήο ζηξέζ εςο, (Νηηι άνη, 1971 κ.Υ., Μαζήκαηα πδζνδπλακηβλ έγγσλ, Σεχρνο Β). Κηζηηηθαηηηλφξαζαηε ζηζηηθφ σλ ησλ πδζνζηζνβί σλ απνηει εί ηη ηηλνυκελν ηεηέκα επί ηηπ νπνίπ εδξάδεηηε ε ζεηξά ησλ πηεξπγίσλ ή πηεξυγυζε, ν νλκαδφκελο δζνκέαο Σν ζχζηεκα πζνζ αγυγήο θαη απαγυγήο ηηπ χδαηνο παζνζηηάδεη δεηνζέο ζηηπο δεηφφζηπο ηηπο πδζνζηζνβί σλ. Κηηλφ φκοο ραζαηε ζηζηηθφ απνηει εί ε ηπαζμε ελφο κεραληζκν απηηά ηηπ ζηζκίζεο ηεο ζηήο ηηπ χδαηνο πζνο ηηλ πδζνζη ζφβη ν. Ζ θαηεγνξηηηέζε ησλ πδζνζηζνβί σλ γίιειαη (Σούι εο, 1995 κ.Υ., "Τδζαπιο ηθά ζηζνβη ηεραλαί Σφκνο Α! Τδζνζη ζφβη ηη") σο,

- αλαη φγοο ηηπ εάλ αη ηάδεηε πίεζε ηηπ χδαηνο ελφο ηεο ζεηξάο ησλ πηεξπγίσλ ή φρηθαη
- αλαη φγοο πζνο ηελ εηηηήηα ηεηα ή αη ηεο πζνο νλκαδφκελο ηηλ εηηηθφ

$$\alpha \zeta \eta \zeta \kappa \zeta \eta \zeta \nu \theta \psi \lambda \quad n_s = \frac{N I^{1/2}}{H_n^{5/4}} \quad \text{φππ} \quad N \text{ (rev/min)} \quad \varepsilon \quad \text{πεξηζηζνθηή ηηπ}$$

δζνκέοο ηαηεηα, H (kW) ε ηζρφο θαη Z_n (m) ηη θαζαζφ ηνζηηπ ππ ρεζηκνηηεί ν πδζνζη ζφβη νο.

Ζ ιεηηηξγία ησλ πδξνζηξνβί σλ επηηηξάιεηαη δηαθέξνπ δρνλ ζεθείηηξδψο δηαθνξεηηψλ κεραληζκψλ ζνχο. Σπκθψιζο πξνο ηλλ πξψηνλ, ε δπλακηθή ειεξγεηα κεηαξξέπεηα ηεμνί ήξνπ ζε θηεηηθήεηηροαγσγηα πηη εθηημεηηδξέζειε χδαιηο κε πξε ιή ηαρηηεηα επί ηρο επηθαείαο ησλ ηηεξπγίσλ πηη βξίζηνλ ηαη ζηελ πεξηθέξεηα ηηη δξνκέζο. Οη πδξνζηξνβηε νη νη ιεηηηξγηλ ηρο κε απηη ηλλ κεραληζκψ νλκνδνλ ηαη πδξνζηξνβηε νη δξάζεζο. Σηηλ δεηηξεξν κεραληζκψ, ε ζηαηηθή πξέζειε ηηη χδαιηο ειεξγεί απ' επξείαο επί ηρο επηθαείαο ησλ ηηεξπγίσλ θαη είλαη δηαξψο κεηαβαι φκελε δηά κέρζο ησλ ηηεξπγίσλ ηηη δξνκέζο θαη νλκνδνλ ηαη πδξνζηξνβηε νη αηηηδξάζεζο.

Σν κεηαηηξεξν κέρνο ηρο έξεπιαο θαη ηρο αλαπημεζο ησλ κνλάδσλ πδξνζηξνβί σλ αηηνά κεγάεο κνλάδεο παξααγσγήο ειεξγεηαο. Ζ αλάπηηηε ησλ κηθξψλ πδξνζηξνβί σλ δελ πηηνβνεζήζειε θε φπζο απηη ζα ήηηελ ελ πηη ινίο αλακελφκελν, εθ ηρο πξνφδνπ ησλ κεγά σλ πδξνζηξνβηηηηηλ κνλάδσλ, (Fritz, 1984 κ.Υ., "Small and mini hydropower stations"). Σαη απηηεί εζκα, ε βει ηίζζειε ηρο ιεηηηξγίαο ησλ κηκψλ πδξνζηξνβί σλ πξέξεζειε, (Σοσίεο, 1984 κ.Υ., "Μηθξά Τδξνδπλακηθά Έξγα"). Σηη ηην έηηεγθαθαζαζά νη ηνλκηηηο φηηηπο. Σν κηκξψ ησλ κέρεξνο θάλεη ηηο κνλάδεο απηρο νη ηηφηεξν ηηηνλκηηηο πξφξθηνξο. Πάξα ηαηηα, ε αλάθεη παξααγσγήο ειεξγεηαο θαη ζπλεπαθην νχζο ε αμμεζειε ηρο ηηηήο ηρο kWh δηαξψο νδήγεζειε ηελ αγνά ζε άλζειε. Οη πξφδννη ηηηη απηηκαηη είεγρν θαη ηρο ηερνι νγίαο ησλ κηκξντεμεξαζηηψλ νδήγεζαλ ζηελ πη ήζειε απηηκαηηπνίεζειε ηρο ιεηηηξγίαο ησλ εγθαηαζηάζεσλ. Οη κεηαβι έο, χςνπο, θνζηήνπ θαη αί σλ παξακέρεξσ ιεηηηξγίαο δηαλαηη πη ένλ λα θαηαξξάθ νληαη κέρζο ησλ αηηηηηξήξσλ θαη επηκέρζο λα είεγρεηαη ε φηε ιεηηηξγία ηηη κηκξνχ πδξνζηξνβί νη πξέζειε ε απφδνζειε ηηη λα είλαηε βεί ηηηηε δπλακή κε ηηηθηαηηχζο θαηαζηάζεηο.

3.1.1 Δγθαηαζαζάζε ηοκηθξνύ ύςπν πηώζεο

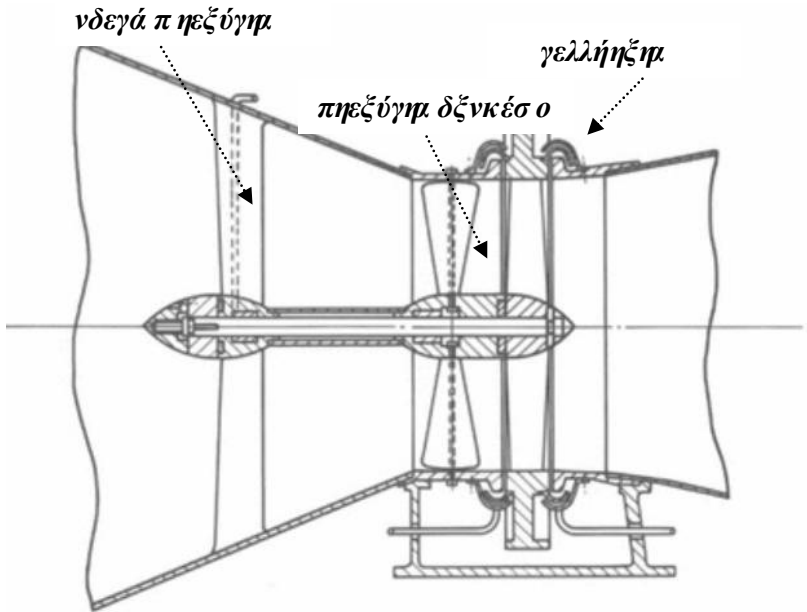
Γηα ηην εγθαηαζαζάζεηο κηθξνχ ρξνπν πηπξζεο $Z < 2.0$ έσο 20.0 m ρεξεη-
κπνηηαζηαηηθήο πδξνζηαηηθήο αμνηηθήο ζνύπν πνπ κνηάδνπλ κε ηελ πηπξζεή-
πνπ νίπ. Ο άμνηαο πδξνζηαηηθήο εηιαηηθήο ηνπνζηαηηθήο. Οηπν έλλ γλσζηέο
κνύαδεο πδξνζηαηηθή σλ αμνηηθήο ζνύπν εηιαη:

Τδξνξ ηξόβηνηο straight-flow. Κατά ηελ ζρεκαηηθή ηαπηνλ ην ρδσξ ζέεηδηά ηνπ
δξνκέσο ν νπνίνο εηιαη δηαζέηεκε έλν εηηρο επζέσο αγγνχ Σρήκα 3.1. Ζ
γελλήηεηα ηνπ πδξνξ ηξνβνί νπ εηιαη ηνπνζηαηηθή επί ηρο πδξοηαηηθήο ηνπ
δξνκέσο. Γελ απαηηεία ηάμνηαο κνηάδεο ειεξγεηα, αηηά ε γελλήηεηα πξέπεη
λα εηιαη κνύαδε απφ ηελ ρνύπν ζνύπν.

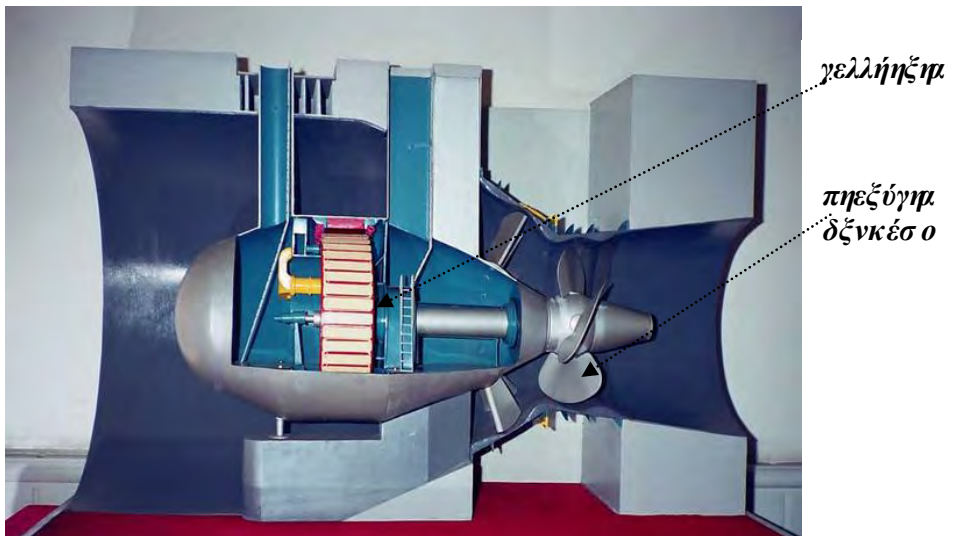
Τδξνξ ηξόβηνηο bulb. Η γελλήηεηα εηιαη ηνπνζηαηηθή ζην εκπξνζνπνηηθήο
ηνπ δξνκέσο θαη πδξοηαηηθήο κνηάδεο ηαπνηηθήο ζνύπν πνπ κνηάδνπλ κε ηελ
3.2. Ο φηνο κεραηηθήο εηιαη ηνπνζηαηηθήο εηηρο ηνπ ρνύπν ζνύπν. Με ηελ
θαηαζεπέ απή επηηαηηθή ηαπνηηθήο πδξοηαηηθήο ηαπνηηθήο ζνύπν.

Τδξνξ ηξόβηνηο tube. Ζ γελλήηεηα εηιαη ηνπνζηαηηθή έλν θαη επί ηνπ
άμνηαο ηνπ δξνκέσο ηνπ πδξνζηαηηθή νπ. Ζ ζεγαλπνίεζε εηιαη απνζηαηηθήο θαη
πνπ ηρο ηνπ πδξνξ ηξνβνί νπ ηνπ straight-flow, Σρήκα 3.3.

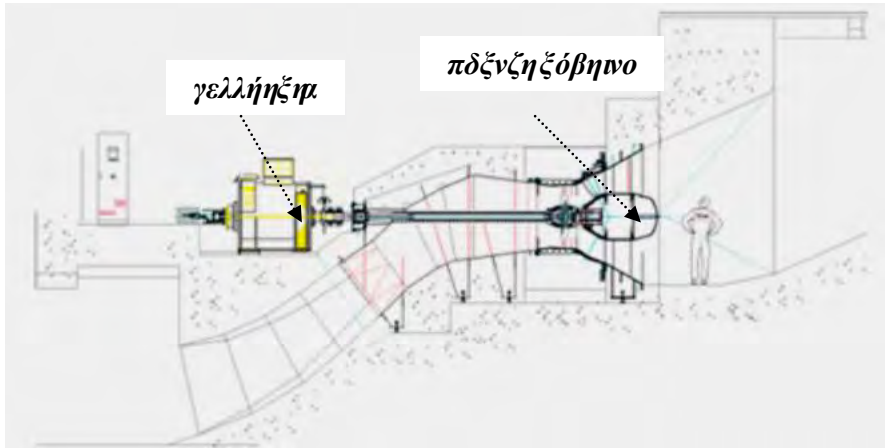
Κνησηή πδξνζηαηηθή Αξνηηθή. Ζ έηηα ηνπ Αξνηηθήο ρεξεηκ-
πνηηθή ππο θηίζε θαη κεραηή εδξάδεηα ζε εηηρο ηνπ θαη ην άλσ ηηθή
θηηλξ. Ζ κεραηή ρεξεηκπνηηθή γηα ην κηθξό πηπξζεο, Σρήκα 3.4.



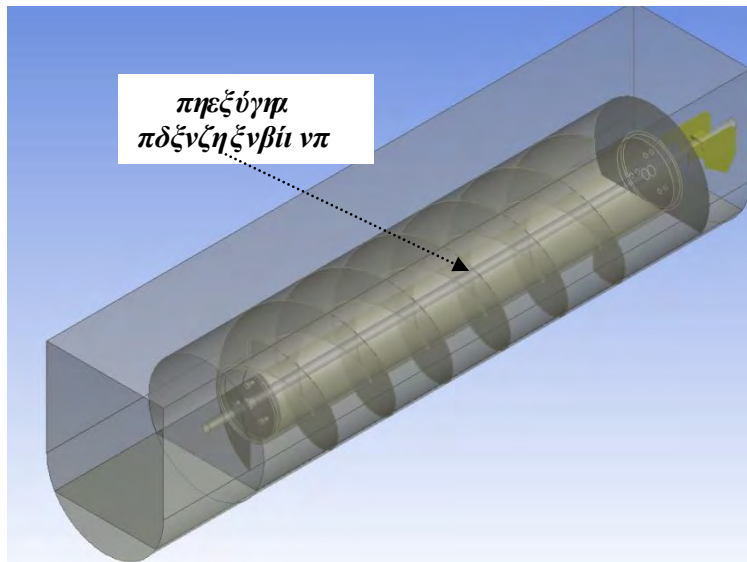
Σρήκα 3.1 Τδξνζηξόβη νο straight-flow ζε ζρεκαηικό bulb. Υακειό ύςνο π ηώζεο ο $Z < 2.0$ έο ο 20.0 m.



Σρήκα 3.2 Τδξνζηξόβη νο Kaplan ζε ζρεκαηικό bulb. Η γελλήηξμ κέζα ζ ηνλ ρώξο ηξόβηο. Υακειό ύςνο π ηώζεο ο $Z < 2.0$ έο ο 20.0 m.



Σρήκα 3.3 Τδξνζηξόβηνο Kaplan ζε ζρεκαηικό tube. Η γελλήηξημ εθθός ηπ ρώξνπ ζήο. Υακειό ύςνο π ηώζεσ ο Z < 2.0 έσο 20.0 m.



Σρήκα 3.4 Πηξόγμ πδξνζηξνβί νπ ηόπνπ Αξρηήδνπο. Πνί ρακειό ύςνο π ηώζεσ ο Z < 10.0 m. ("Σνύεο, θ.ά. 2016 κ.Υ, Υπνγμνηή αλάπζε Αξρηήδεηπ πδξνζηξνβί νπ").

Σχεηηθά κε ηελ επί κέξνπο ζρεδηάκφο ησλ, νη αμνιηθήο ξνήο πδξνζηξφβη νη είλαη πξνξάζκφο ζε νη πξνο ηελ παξνρή ηνπ ρδαινο ή σο πξνο ηην αλάγθεο ηνπ θνξέηνπ ηνπ ζπζήκακαο πνπ εμπεξεθεί. Γηαβίβιηα ηα θάησξη είδε:

Αμνιηθήο ξνήο πδξνζηξφβίνο κε ζηαζεξά ηα νδεγά αηά θαη ηα ηεξέξνγμ ηνπ δξνκέο. Οη γσλίεο ησλ αλσηέξσ ηεξέπγισλ θαξνξίδνληαη γηα ηελ πξνο εθθεραί επζε παξνρή ηνπ πδαηνξέεμακαο. Σε κηθερά θνξήα, ε απφδνζε ηεηεπξέγιο είλαη κε-ηθαλπνηεηθή θαη ν ηεπνο απηφο ηνπ πδξνξέξνβίνο π αληαπνθξέηεηαη πδξνξέεμακαο εηεηεηθήο κνλάδεο εθνηαξκέλεο κε κηθεξφακνηεηήα ή γηα ηελ πεξέηεζε πνπ πάξρνπλ ηίελ ηνπ ελφο πδξνζηξφβη νη ή ηείνο γηα ηελ πεξέηεζε πνπ λαη κελ δελ πάξρεη ακνηεηήαο αηί' φκσο ε ξνή πξνο ηελ πδξνζηξφβη ν δπλαηά εηεγξεί αξθνχλσο ηθαλπνηεηθψο ζηνλ αλάγθεο ηνπ πδξνζηξφβίνο π ρξν.

Αμνιηθήο ξνήο πδξνζηξφβίνο κε κεθαβαηόκ ελα ηα νδεγά αηά ζηαζεξά ηα ηεξέξνγμ ηνπ δξνκέο. Ζ ηακβαλκέλε ηέξσο δπλαηά εηεγξεί ζε πεξηνξέηεκέλε θηίκαθα σο ζπλαξέεηε ηνπ ρρνπο ηνπ ρδαινο ή ηνπ θνξέηνπ ηνπ ζπζήκακαο. Ο ζρεδηάκφο απηφο πξνξέεηε ηή απφδνζε ζε νξέηεκέλα ζε κεία ηεηεπξέγιο ηα δηαξέμακαο θνξέηνπ-παξνρή.

Αμνιηθήο ξνήο πδξνζηξφβίνο κε ζηαζεξά ηα νδεγά αηά κεθαβαηόκ ελα ηα ηεξέξνγμ ηνπ δξνκέο, ηύπνπ Kaplan. Ο ζρεδηάκφο νχνο είλαη παξφκνηο ηεο ηεηεπξέγιο ηεο αλσηέξσ πεξηεπξέεσο.

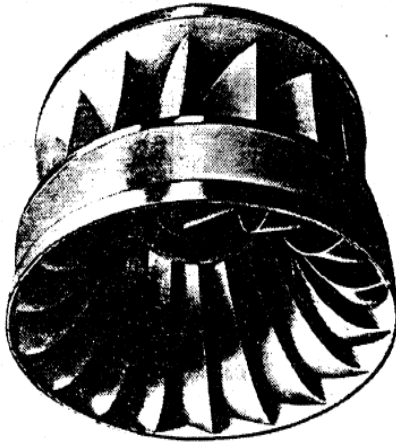
Αμνιηθήο ξνήο πδξνζηξφβίνο κε κεθαβαηόκ ελα ηα νδεγά αηά θαη ηα ηεξέξνγμ ηνπ δξνκέο ηύπνπ Kaplan. Οη γσλίεο ησλ ηεξέπγισλ πξνξάζκφο αμνιηθήο

πξνο ηηνηδηάξξεο απαηήζεηο γηα παξνρή θαη θνξέηε. Γπλακ λα ηε ζεί πε ηή απφδνζε ηε ηηπξέηαο ζε κεγάιε θηκαθα ηε ηηπξέηαο.

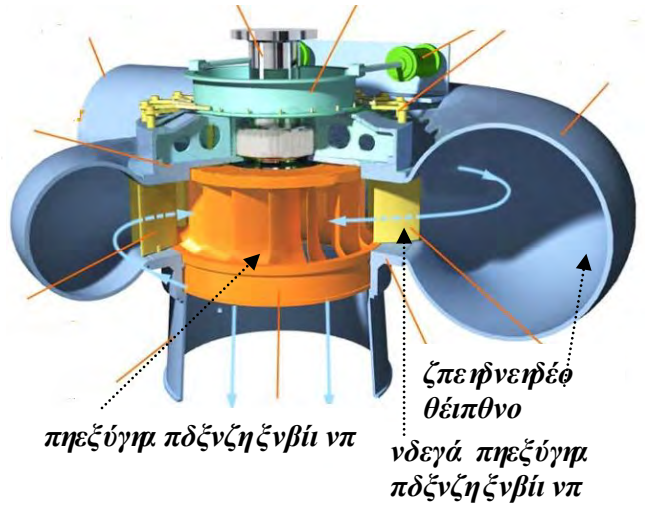
Ο θνξηηόο πδξνζηξόβηνο ηηπ Αξξηθήδπ. Ο πδξνζηξόβηνο απηο κεηαξέπεη ηελ ελέξγεηα ηηπ ζέκλην ρδαην ζε κεραληθή ελέξγεηα, πφζπ λζήθεο ζπλεξγν ζήο θαη ζαξέζεο πεξηζξέηηο ηηπ ηηλξέο, κε ηελ βνήζεηα ηηπ πεξηζξέηηο θεκεηα θνξηηόο δξνκέο. Δίηα ηεθαξέηεο ζε πδαηνξέεηαο πη ρακείλ ραξν πηπξέο οαηά κε ζρεηηά ηεθννηεηή παξνρή. Οη κεραλέο απηέο είηα ηεηλπ άμνλα.

3.1.2 Δγθαηαζήαζε ηοκέζπ ύςπ πηάζεο

Οη πδξνζηξόβηνη κηηηήζν, ηηπ Francis είηα ηηπ έλλ ελδεδεηκέληα ηηπ εγθαηαζήαζεο κέζπ ραηπ ο πηπξέο $Z < 20.0$ έοο 150.0 m. Ο άμνλαο πεξηζξέηηο είηα δπλακ λα είηα είηε νξηζέηεο είηε θαηαθξέηεο. Σα νδεγά πεξέηεα άηα κεραηα ηεθα θαη έηη επηγξάηεηαο κεγάιε θηκαθα ηε ηηπξέηαο κε ζρεηηκό πεην ραηπν απνδξέο ο ηε ηηπξέηαο. Δπεηδή φκο ε αλαηηξέηεο πεξηζξέηηο ηηπ ηεκαηεηα ηηπ δξνκέο είηα δπλακ λα είηα κηηηή απαηήηε, ο επη ηηπ είηε, αμείε ηεο ηηπ απηή. Υαηηεξέηεο ηηπ δξνκέο πδξνζηξόβηνη ηηπ Francis θαίηεηαο ζε ηο Σρήκα 3.5.



δξνκέαο



πλεξόγρμ. πδξνζηξνβί νπ

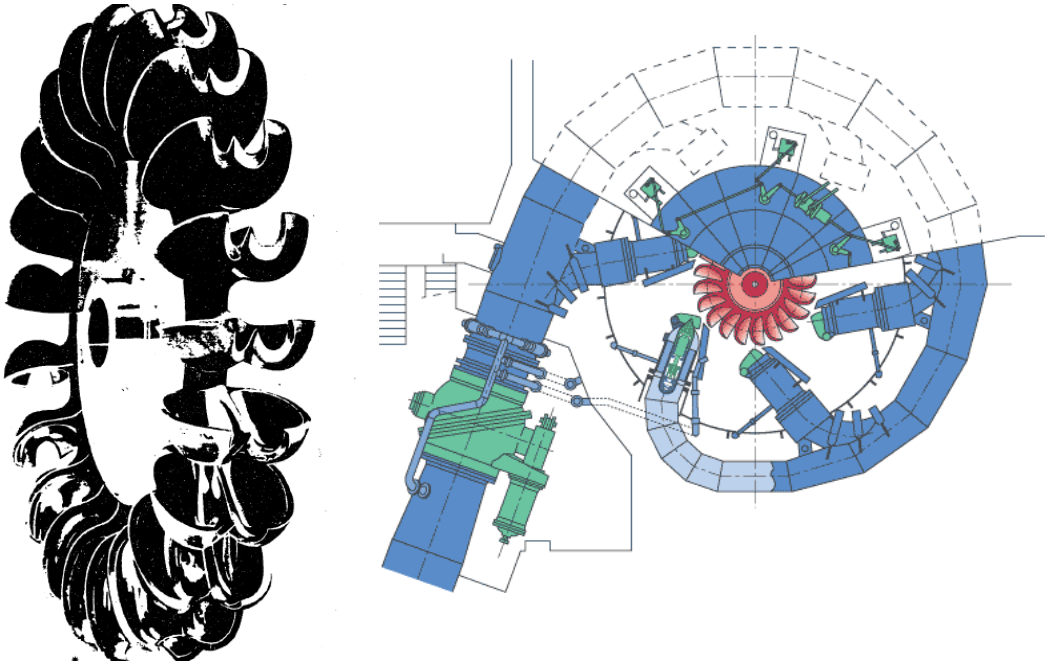
ζεπηννεηδέο
θείπθνο

νδεγά πλεξόγρμ.
πδξνζηξνβί νπ

Σρήκα 3.5 Γξνκέαο πδξνζηξνβί νπ κηθρήο ξνή Francis, (Massey, 1970 κ.Υ., *Mechanics of fluids*). Μέξν ύςνο πηώξεο ο, $Z < 20.0$ έσο 150.0 m. <https://lomritob.com>

3.1.3 Δγθαθαξήάζεηο κεγάληπ ύςν πηώξεο ο

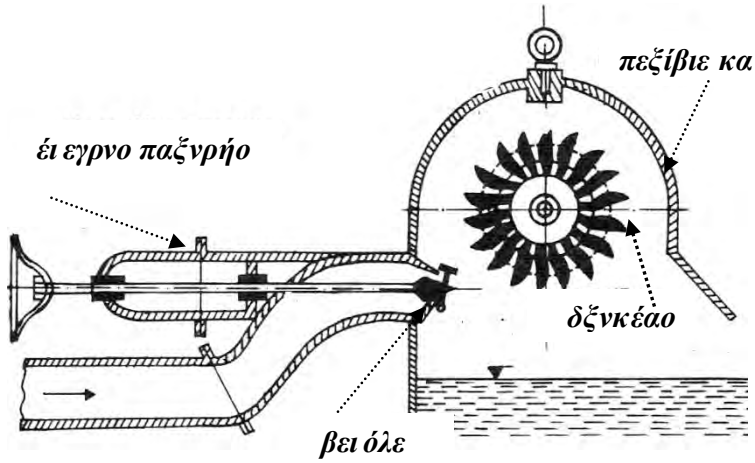
Οη εγθαθαξήάζεηο απηέο ζπλήξσο είλαη εθνδηακέλεο κε ηα κηθρήα θαη ηηο ρξν πηώξεο ο $Z > 150.0$ m. Σηελ ζπληξηπθηθή απηήλ πην ηηο είν είλαη ηα πηλ Pelton, Σρήκα 3.6, θαη ηα ηαηαηα επθφηο λα αλαίβνπλ ηα κέγηζα ηωλ εκθαηηθώλ θνξνξήο.



Σρήκα 3.6 Γξνκέαο θαηπδξνζνξνβίυ νο Pelton, (Massey 1970 κ.Υ., Mechanics of fluids). Τζε ιό ύςνο π ηώζεο ο Z > 150.0 m. www.tridentes.com

3.2 Αλαη πηηηθήπεξνξνζαθή πδξνζξνξνβίυ σλ δξάζεο ο θαη αληηδρζέο ο

Όπσο αλαθερξεζε θαηζηελ εηζαγγή ηπ παξφιην ζπγγζάκκαηο, ην θχζηλ θαη θηιφξαζαθξέξν ηηθφφηο λ ησλ πδξνζξνξνβίυ σλ είλαη ην κηλχκα ηηκή αηπ ην εθδνηάέειν κε ζεξνφ πρεξγνίο ή πρεξγνίε, δεηαδ ή ν δξνκέαο. Ο αξηφκφο ησλ πρεξγνίσλ ηπ δξνκέοο εμαξήιαη ηπ είδνπο ηπ πδξνζξνξνβίυ νπ θαίπν θαη απφ ην κεδζνπο απηηχ. Σν ζχζηεκα πδξνγνίνο θαη απαγνίνο ηπ χδαηνο δεη είλαη ην ίδην γηα ηνπο ηπ λ ησλ πδξνζξνξνβίυ σλ. Ωζ ηφ ζπ παξνπζιήαδει θάπηνα θηηλά ραζακρεξηζηηθά γλσζίζεα. Ζ χπαξκε κεραληζμχ ει έγρπ ηρο παξγρρο βνεζά ζηνλ εί εγρπ ηρο πνζφηεηαο ππ εηζέρεηα ηξνο ηλ δξνκέα. Ο



Σρήκα 3.7 Τδξνζηξόβη νο δξάζεο ο ήρηνπ Pelton.

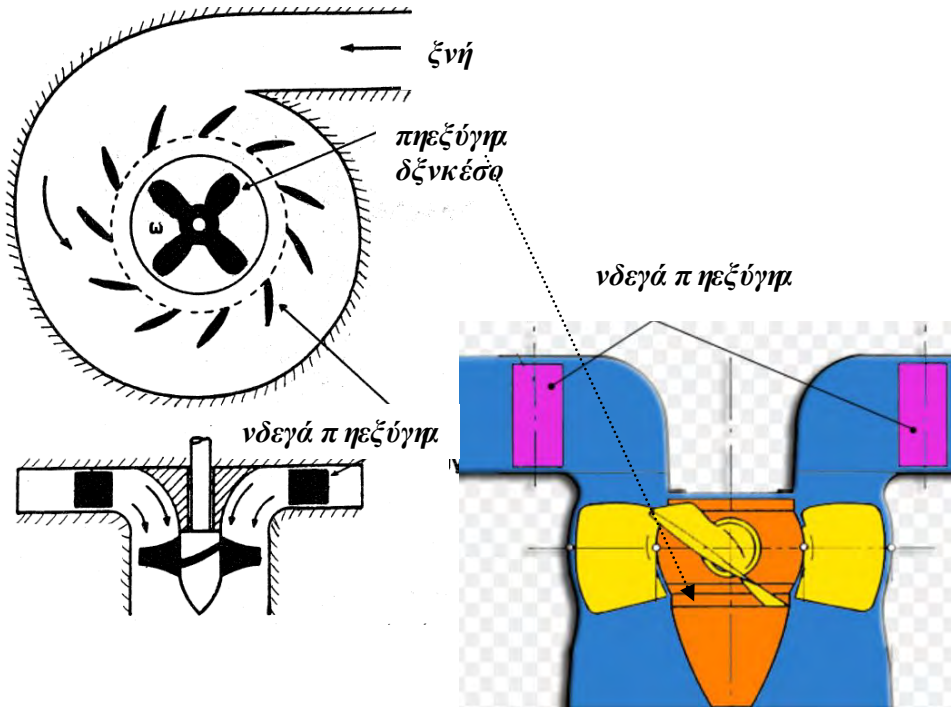
Με ραλξκόο ει έγρνο παξνρή επί ηνύηπ κεξεζπλξείο.

Με ηελ κεραθίεζε ηεο βειφλεο κεραβάνηεη ηε δηαηηθή ηεο παξνρήο θαη ε δηάθεξνο ηεο δέξκεο θαη επηκέλσο ε παξνρή. Η δηαήξεζε ζπκπαγχο εθζνήο χδαηνο εΐλαη εκ αληηθρσπαζάγνλ ην γηα ηελ ηεηηπξία ηηπ πδξνξήξνβί νπ. Σηελ πεξίπησζε φπνηπ πάξξεη ηαρεία απφξξεη ηηπ θνξήηηπ, γίλεηαι εηηξή ηεο δέξκεο κέζσο εκπνδίνπ ηηπ επζίζθεηηαι ακέζσο κερά ηε δηαηηθή εκφδνη ηηπ αθζνθπζίνπ. Έηζη ε δέξκε χδαηνο δελ πξνξπίηεη ην έλλ ζην λ δξνκέα θαη επηκέλσο ε παξνρή κεηηεηαι κε ηε εγρφκελν ξπζκφ ψζηε ε πίεζε, η φγσ ηηπ θαηηκέλνη ηηπ πδξαπνίηηπ ηη ήγκαηνο, λα κελ πεξεβαΐλεη ηηο επηξέεζεο ηηηκώ, Σρήκα 3.7. Ο άμνλαο ηηπ δξνκέσο εΐλαη δπλαηφ λα εΐλαη νξηζθλν ή θαηαθφξσηηο, φκσο πξνηηθά ηε θαηαθφξσηε δηάηαμε ψζηε φηα αθζνχζηα λα βξίζθνληαι ζην ίδην νξηζφλ ην επίπεδν. Ζ δηάθεξνο ηηπ δξνκέσο εΐλαη ηεο ήμαεο ηηπ $12 D$ κέξξη $18 D$, φπνηπ D εΐλαη ηε δηάθεξνο ηεο δέξκεο ηηπ χδαηνο θαη εμαηήηηαι απφ ηηπ ηήξνο θαη ηελ δηάηαμε ησλ ζθαθηδίολ. Σν ηήξνο απηηπλ θπαΐλεηαι κεηαμ 20 θαη 22 .

κέζσ εμσρεξηθνχ κεραληζκνχ. Σκοπο ησλ ξπζκηζήθηωλ πρεξηγίσλ είλαη ε εχζκηζε ηεο παξνρήο ηνπ χδαην αλαηφοο κε ηελ απαηηηκελε ήρσ θαη κε θαξνζηηζκέλ αξηζκν ζηξνψλ. Με ηελ πεξηζηήνηε ησλ ξπζκηζήθηωλ πρεξηγίσλ, εθηεο απφ ηελ κεραβν ή ηεο απφηπεο θηίξεο, επηπγξάιεηαηε κεραβν ή ηνπ δεθελπ αλάκεζα ζηα πρεξηγηα κε απηήεζκα ηελ κεραβν ή ηεο παξνρήο θαη επνκέλσο ηεο ήρσνο εμφδνπ ηνπ πδξνζηηξνβίπν. Ζ ζηεθάλε δεηαδή ησλ ξπζκηζήθηωλ πρεξηγίσλ απηεηεί ην φξγαλν εχζκηζεο ηνπ ζεθείπ ηεηπξέγιο ηνπ πδξνζηηξνβίπν. Όηωλ ηα πρεξηγηα εθάηηηληαη κεραμ ηνπο, ε δεηηκή δεα εχξεοο ηνπ χδαην κεδεηδεηαη θαη επηπγξάιεηαη ε παρζε ηεηπξέγιο ηεο κνλάδαο. Σν πηήζν ησλ ξπζκηζήθηωλ πρεξηγίσλ είλαη πάληηε δεγφ γηα λα επηπγξάιεηαη ζπκκεξία ζηε ζηεθάλε θαη ζηνλ κεραληζκν πεξηζηήνηε ησλ πρεξηγίσλ. Ζ ξπζκηζήθηε ζηεθάλε κεηαηειήηαη κέζσ πδξαπηηηνχ κεραληζκν. Ο κεραληζκφο απηεο ειεξγνπνηείηαη απηεκαηα απφ ηνλ ξπζκηζή ηαρηεηνο φηωλ ην θνζηήν ηνπ πδξνζηηξνβίπν κεραβίπνηα αλάγνα κε ηε δεηηζε είεθ ηξηηνχ θνζηήνπ ζην δεηηπν. Ο δεηκέαο απηεηεί ην ηαχην ηεηκα ηνπ πδξνζηηξνβίπν. Σν ηαχην ραηηεξηζηηθφ απηηχ είλαη ε χπαμε θαηάηεηα δεκνξφσκέσλ πρεξηγίσλ κννηφκνζε θαηακεκέσλ πεξί ηνλ άκνλά ηνπ. Αλάγνα κε ηε κνξθή ηνπ δεηκέοο θαηηελ ηξνηάπνπ αηνπνζεί ην λεξφ θαηά ηε δεηεπε ηνπ δεα κέζνπ απηηχ, νη πδξνζηηξνβηνηα ηηηδάζεο δεηηξίπνληαη ζηηε εμήο θαηεγνξίεο,

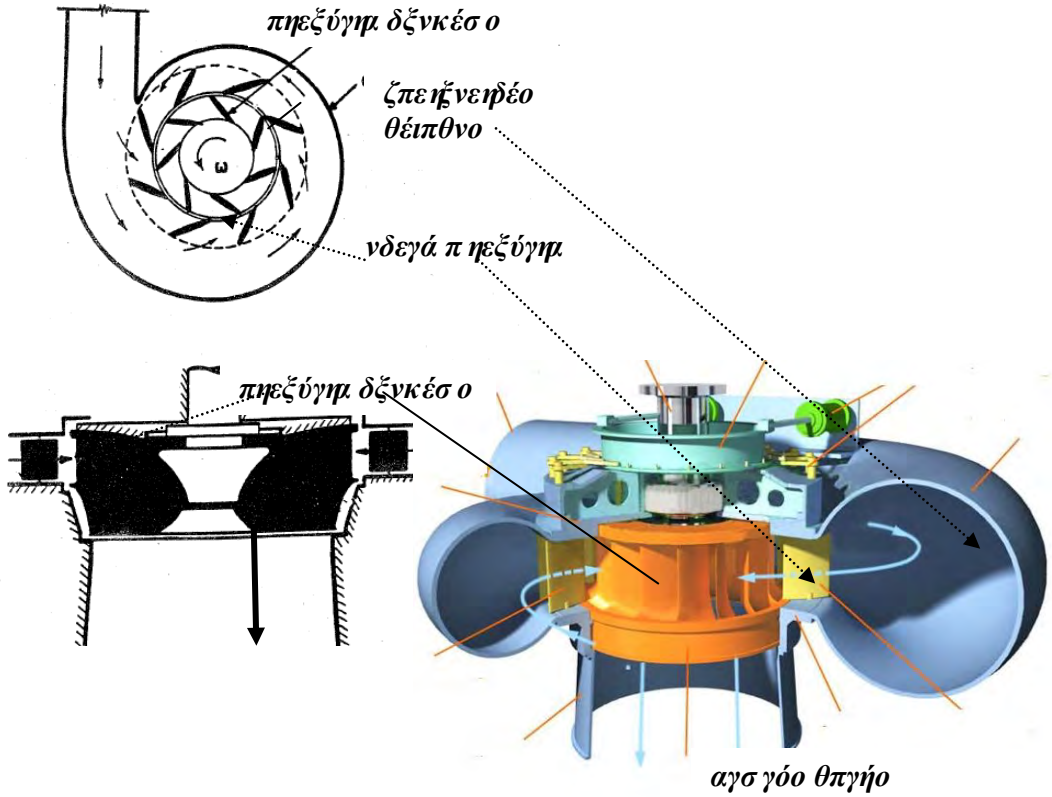
- Τδξνζηηξνβηνηα κννηηθφ ζηηε κε ζηαζεζά πρεξηγηα ηαηνπ είηθαθαηε εχζκηζε κεηα πρεξηγηα ηαηνπ Kaplan, Σηηκα 3.8.
- Τδξνζηηξνβηνηα κηηθφ ζηηε ηαηνπ Francis, Σηηκα 3.9.

Kaplan. Αξηεηά ζεηά ζηελ πξνηεζε ησλ θαηαθεπαζηηψλ βξίζεηαη ν πδξνζηηξνβηνο ηαηνπ Kaplan. Δίλαη κννηηθφ ζηηε θαηαθεξζ ηεηπξέγιο ζπκκεξίο



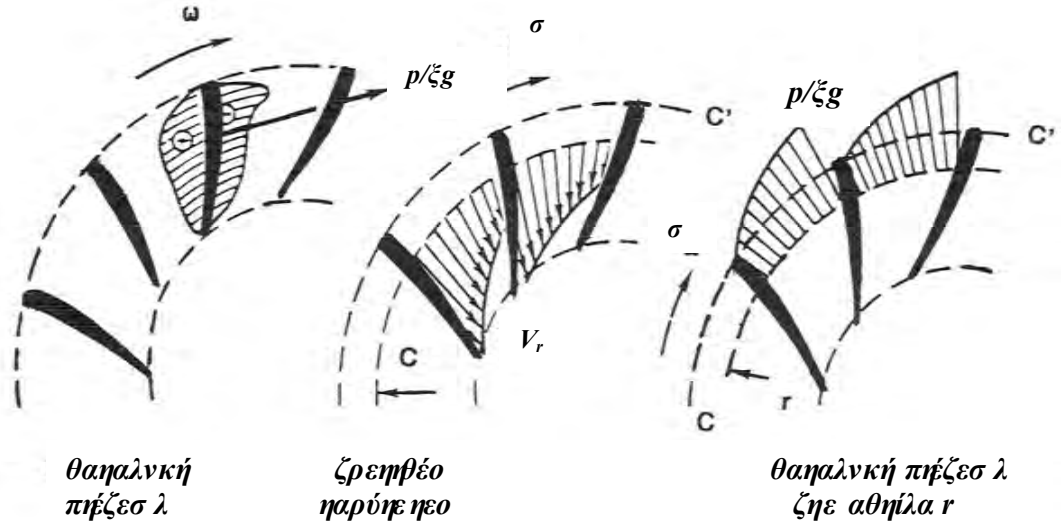
Σρήκα 3.8 Τδξνζηξόβη νο αληρδξάζεσο ο ηύπηη Καρλαν. <https://www.helciel.com>

Francis. Ο ηύπηνο πδξνζηξνβί νπ αληρδξάζεσο πηη έρεη επηθεθρήζεη είλαη ην ηύπηνο Francis, Σρήκα 3.9. Δίλαη αθηηακνξφξν ξνθί κε ξπζκηθφ κεηάηαζνδε γεηηθά πρεξχηα θαη πεξηακβάλει δξνκέα κε ζηαζεξά πρεχγηα. Ο δξνκέαο θαηαζέη πάδειηη είπε εμ αξήο νη φξσκ νο είπε θαθά ηεκήκαηα ηα νπία ζπλαζκν νγνχληαη. Σν πύξνο ηνλ πρεξγίσι είλαη πεξηηηρ, ψζηε λα απνθεξεί ν θίλδρνο ζπλαηηζκνχ ηφσο ηνπ αλαγθαζηηθά άξηηηηαξηζκνχ ηνλ ξπζκηζήθηα πρεξγίσι.



Σρήκα 3.9 Τδξνζηξόβη νο αλμφξάζεσ ο ήπνπ Francis. <https://lomritob.com>

Ζ θααλκκή ησλ ζηαηηθψλ πηέξεσλ θαη ζρεηηκψλ ηαπηηήσλ ξνήσ γγξσ απφ πδξνζηξόβη ν αθηηλθφ ξνή δείλεηαη ζηο Σρήκα 3.10.



Σρήκα 3.10 Καθαλκή πξζεσ λ $p/\xi g$ θαηζρεηθώλ ηαρη-
ήηησ λ V_r ξνήο γύζε από πδξνζηξόβηησ αθηηήθθξο ξνήο.

3. 3 Κνρηηή ηόο πδξνζηξόβηηω Αξηηηήδνπο

Ο θνρηηήηεο πδξνζηξόβηηω ηηπ Αξηηηήδνπο είλαη εθαξκνζηκό ζε πδαληξ-
ξεκακα κε πνιύ ρακειή ρνσηήηεσ ο Z από 1.0 έσο 10.0 m αιηά κε ζρεηηθά
ηθαλπνηεηηθή παξνρή Q από 0.1 έσο 10.0 m³/s. Βέβαηα ε παξαγνγή ελέρν δελ
κνξεί, ππνηηαζηέζεσ κέγηθτεο ζπλζήθεο ξνήο, λα πεξβεί ηα 0.5 MW. Οη
κεραλέο απηέο είλαη ηεθνλνγία άμνλα από 22.0° έσο 36.0° θαηθέξνπλ θνρηηήηεο
πξεξγίξεο. Παξνζηηάδνληαη ηελεθηήκαηα φπσο ρακειά έμνδα έξγνλ Πνιύ
ηηηνχ Μεραληκνχ ρακειή θνρηηήηεο ηεθνλνγία, θαηζά πεξίνδν ελεξγηκν ηέξνο
θαηεγώ ε απδνζε εηηηηξία. Αθφε θαηε 30.0 % κηθξήξε παξνρή ηεο
παξνρήο ζρεδίακνχ ε απδνζε n δελ πέηεη ηάηη ηηπ 74.0 %. Δηηηένλ, ε
ζπλήξεζε είλαη απή, πάξεηεηηεο ηεο πξεξβαζε ζηελ κεραλή, δελ ρεηηδνληαη
ζράζεο ζπνιύ αθαζάξηησ θαη απμάλεηαη ε νμνφλζε θαη ε πνηεηε ηηπ

χδαπνο. Στα κεηνλθηήκακα θαπαγζάθνληαη, ε ζρεηηθά κεγάλε παξνρή χδαπνο γηα ηε ηεηεπζία, ε κεηαβνιή ηεο ηεηεπζηαο ηδξάπην ηθνχθν ζήνηε ηνπ επηθξέηεη ε ηξο παξαγνγή ελεξγηάο ηζρπνο θαηεξακενίε πεξηζζώηε ηηθή ηαξρθεηα ηνπ απνηηθί ηνπ ηαπηα-ζαζηή πεξηζζώηε ηηθή ηαξρθεηα.

3.3.1 Πεξηζζώηε επθαηάζεζε σο ηδξνζηξνβίηε ηύπνπ Αξρηθήδνπο

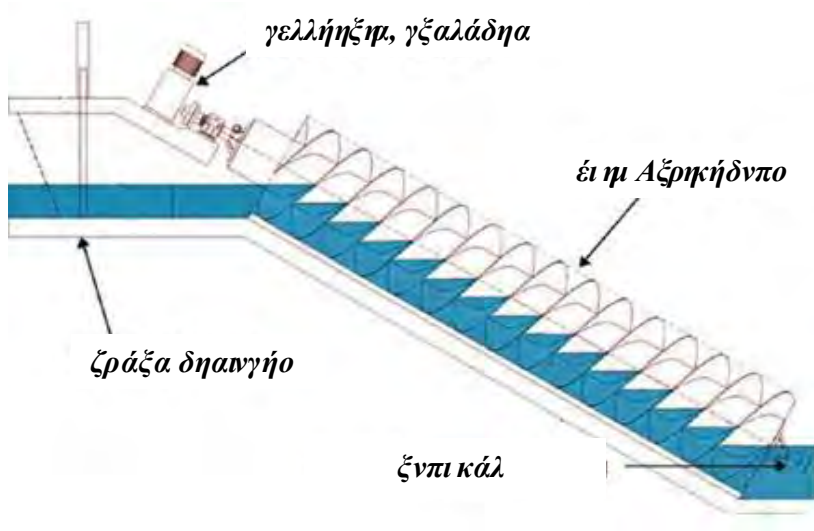
Ο ηδξνζηξνβή ηνπ Αξρηκήδε είλαη ηε ηδξνζηξνβή ελεξγηάο. Σπππθή επθαηάζεζε δεξλεηεηεηα Σρήκα 3.11 θαη 3.12. Λαμβάλεηαη εηδηθή κεία γηα δύν ζαξξηηα πξνο ηα αλάηε.



Σρήκα 3.11 Σπππθή επθαηάζεζε ηδξνζηξνβίηε ηύπνπ Αξρηθήδνπο.

<https://www.youtube.com/watch?v=1Nm0aaCZ4iY>

Ζ είηθαηε ηδξνζηξνβίηε πεξηζζώηε επθαηεηε εκεηεηε ηεξεηε ηζρπνπ νπνίε εδξάδεηαη ζε ζεξέεα κέζε. Σν άλσ θαηά ηε κέζε ηεπ άκελλο πεξηζζώηε ηο πεξηηεείνληα ηεξο ζηα κάλ ηα νπνία εδξάδνληα ηεηε ηεθαηεηε.



Σρήκα 3.12 Πεξίγξαθή ηηπηθήο δηημάμσσ ο πδξνζηξνβί νη ήύνπν Αξρηκήδνπο.

<https://www.engineering.com/Education/EducationArticles/ArticleID/6532/Eureka-Moment-for-North-American-Hydro-Generation.aspx>

3.3.2 Ιξρύο, απόδνζε ηε ηηηξέγιο θαη ρύλνο απνξβέξε σ ο θεθα ινπ

Σα βαζηηθά δεδνκέλα πνπ απαηηηηληα γηα ηελ θαξνζηηζκν ηξν ηύρην ηξο ππφ εθκεά ιεπζε ζέξεσο είλαη, ε παξνρή ηηη ξένηηνο χδαηνο θαη ηηη δηάξέηηκν πδξαπληθό θηηήν. Δίλαη αλαγθαίλ λα είλαη γσζηηέο νη θίκαθεο ηπλ κεγίηησλ θαη ειαρίηησλ παξνρπλ ηηη παξαθηηέλπ πδαηηξέηηκαηνο. Πηηη αλαπηηηθά νη παξάγνιηηρο βάζεη ησλ νπνίσλ επηέγεηηη ε ζέξε εγθαηαζηάξεσο είλαη νη αθηνπζηη:

Παξορή ηηη πηηακνύ. είλαη αλαγθαίλ λα πάζξεη ηη ηέξο κει έηε παξορή ηηη πηηακνχ. Οη επηηηηθέο δηηηηκάλζεηηο είλαη έλαο άι ινο παξάγνιηηρο πηη ζα πξέπεη νπσζδή πηηηε λα ιεθζεί ππφξε. Μία πξψηηε εηηήκεζε ηηη ειεξγεηαθη δπλαηηηηηη

ηρο πξνο εθκερά ι επζε ζέξεσο ζα ήηαλ λα ρξεζηκνπνεθεί ε κέζε παξνρή ηηπ πδαηηξέο καινο, φπσο αηξε πξνθπηεηαφ πάξνπζεο κεηήξεηο, εάλ βεβαίσο πάξνπλ ηέηηεο κεηήξεηο. Στε πεξίηηζε αηξε ε εθθίεζε ηηπ δπλακηνχ ζα ήηαλ κηθξφθε ηηπ πξαγαγεηημο δπλακέλπ λα παξαρθεί. Σνχην δε δηφηη ην κέγεζν ηρο πδξνζηξνβηηηήο κλάδνο ζπλήζο ο ππν νγίδεηαη γηααξνέο κεγαι π- ηέξολ ηολ ηηκψλ ηρο κέζεο παξνρή. Γηα λα ππν νγίηζε ε δηάξεηε πξνο εθκερά ι επζε π αξνρή, πδξαπην ηήρ ζέξεσο, πάξνπλ 3 ηξφπνη,

α) κέζο ηρο κεηέξε ίζεο θακπν εο δηαθέηαο ηολ παξνρψλ,

β) κέζο ήδε δηάξεηεο ηηκψλ παξνρή, νπφηε ε παξαγνκέε ελέξγεηα ππν νγίδεηαη θαί επζείαλ θαη

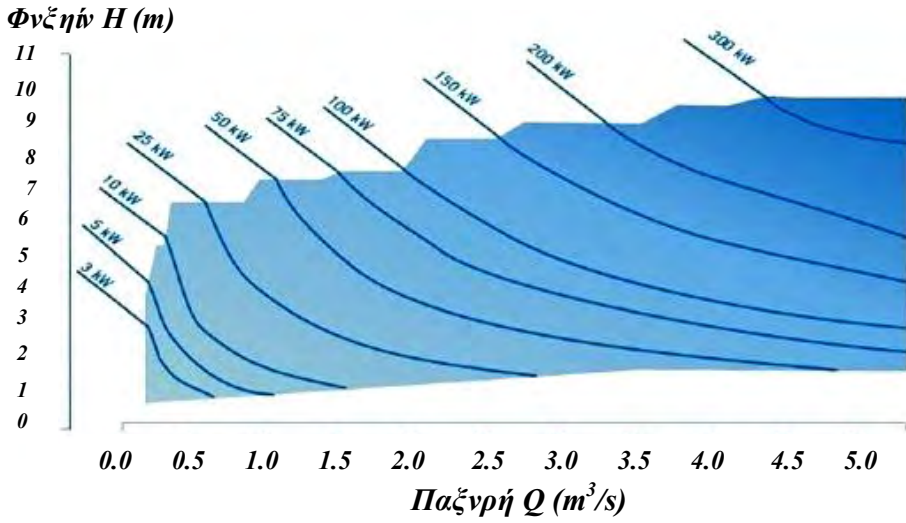
γ) κέζο ζ ηηραξ ηηκψλ εθηηκίεολ απφ ηελ εθάλε απνξξήο. "

Ύςνο πηάξεο α. Σν χςνο πηψζεο ο εμαξηήηαη απφ ηε γεοκεηρία ηηπ ρψξνπ εγθαηαζηάξεο ηηπ πδξνε εθηξέηηοχ έξγνπ.

Δθηηέζε ηρο δημζεξ ίκνπ ηξόνο. Δάλ Q (m^3/s) είλαη ε παξορή, H_n (m) ην θαζαξφ χςνο πηψζεο ο, ξ (kg/m^3) ε πηθλφηεηα ηηπ χδαηνο, g (m/s^2) ε επηθέηξε ηρο βαχρηεηαο, n ε νη ηή απφδνζε ηηπ ζηξνβί νπ θαη ηρο γελλήηεηαο, ηηρε ε ι ακβαλφκεε ηξρχο I (W) απφ ηελ πδξνζηξφβη ν είλαη, $H = n \xi g Q H_n$ (W).

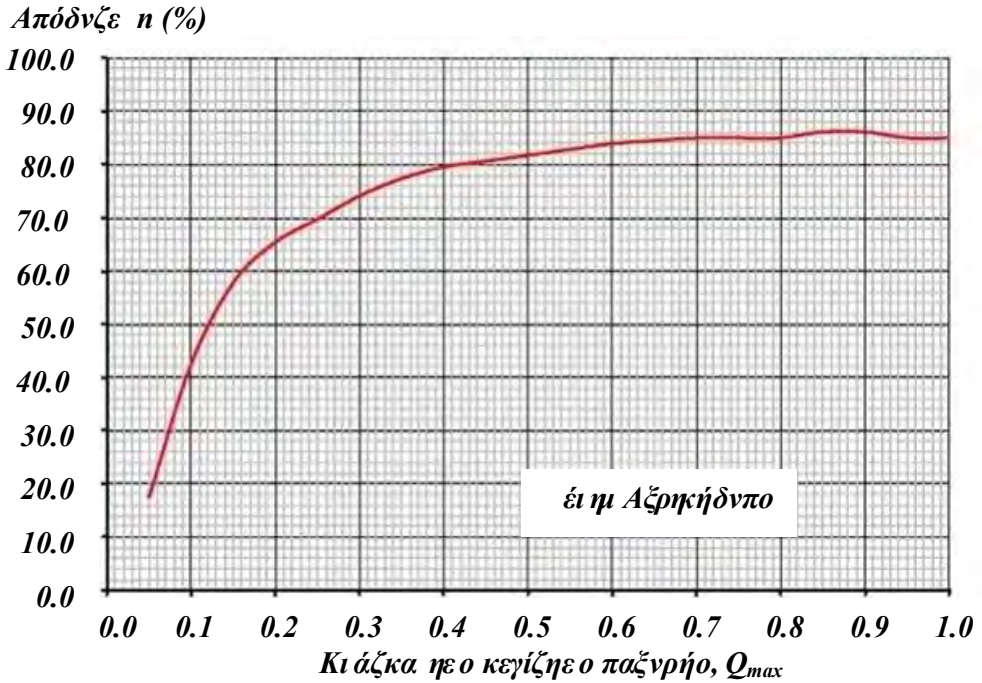
Σην Σρήκα 3.13 δείηεηαη ην θνξνπ ή χςνο πηψζεο Z (m) οο ζπλαξέζε ηρο παξορή Q (m^3/s) θαη ε ι ακβαλφκεε ηξρχο I (kW) εθ ηηπ ζπλαξέζε ηολ αλσηέξο. Έλα ραηαηεξέηηο γλψξηζκα ηηπ πδξνζηξνβί νπ ηηπ Αξηηεηήο είλαη ηε απφδνζε εηηπξέηαο n (%) απηηχ παξακέηεηαο ηηπ $n \sim 70.0$ % αηρε θαη γηα ην 30.0 % ηρο κεγίηεο παξορή. Σην Σρήκα 3.14 δείηεηαη ην

απφδνζε n (%) κε ηελ παξνρή εθθξάζζεηζα σο θη άζκα ηεο κεγίς ηεο απηήο ηηθή Q_{max} .



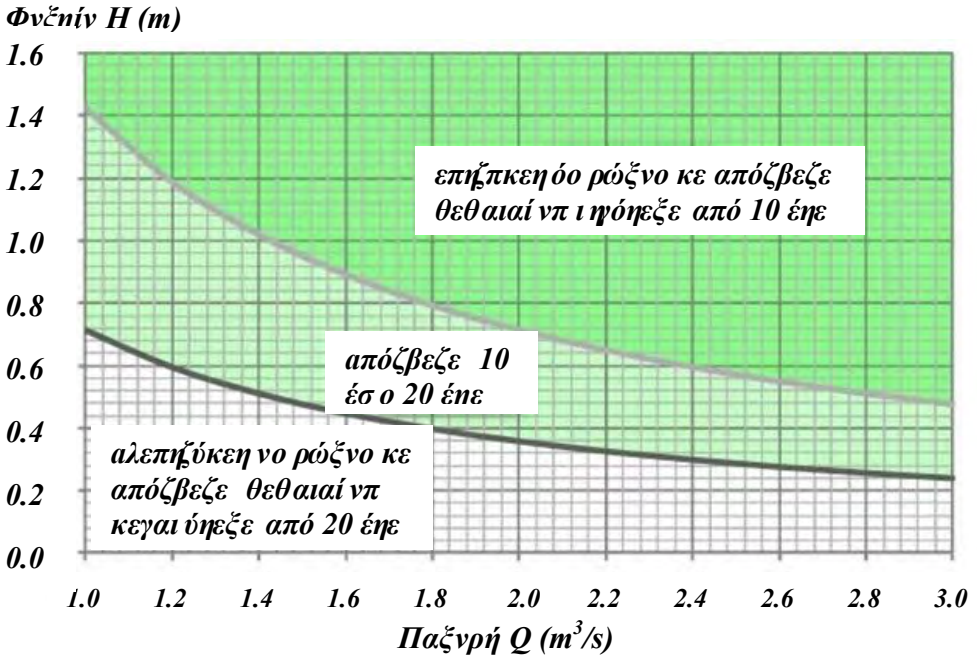
Σρήκα 3.13. Ζ ήξξο H (kW) έη ηθν Αξρηθήδνπο είλαη αλάην γνο ηεο παξνρήο Q (m^3/s) θαη ην θνξήν H (m).

Σην Σρήκα 3.15 δείρλεηαη απφρβεζε θεθαιαίνο κερά απφ, 10 έηε, 10 έσο 20 έηε θαη κεγάλε απφ 20 έηε σο ζπλαξέζε ην θνξήν $H = 1.6$ m θαη ηεο παξνρήο, απφ $Q = 1.0$ έσο 3.0 m^3/s , γηα πδξνζηξνβην ηεπν Αξρηθήδνπο, <http://www.hallidayshydropower.com/qa/>. Δίλαη πξνθαέο φη ηεο αλφξεο παξνρήο πνηαδήπνηε ηηθή ρξνπν πηλξεο κεγάλε απφ 1.6 m ε απφρβεζε είλαη κεθφρβε απφ 10 έηε γηα ηελ ίθαθα ηεο παξνρνλ.



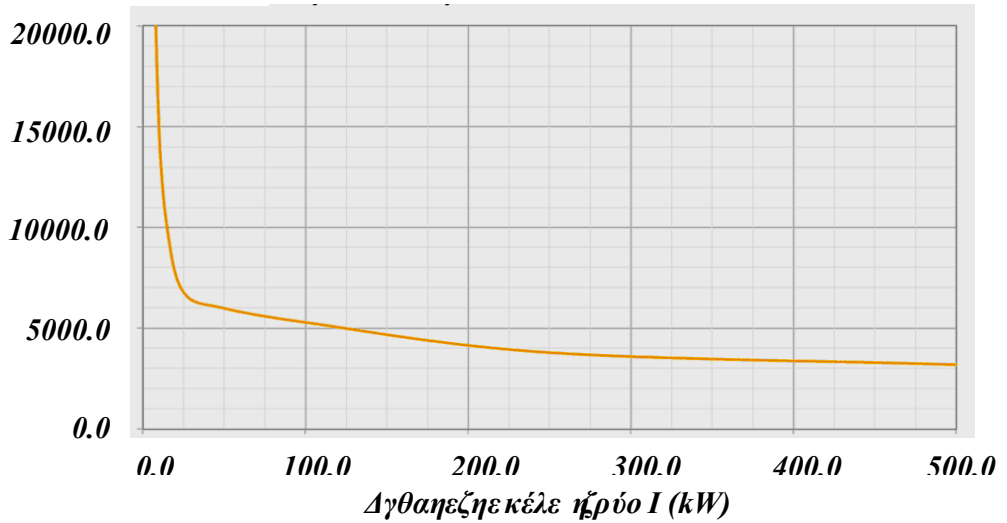
Σρήκα 3.14. Απόδνζε ιεηηνπξγίαο n (%) ηε ο είηθνο Αξρηκήδνπο
 κε ηελ παξνρή εθθξάξζε είζα σο θη άζκα ηε ο κερίζηε ο απήο ηηθήο Q_{max} .

Σεί νο, κηα εθθίκεζε εμφδσλ εγθαηαζηάζεσο κηθξήρ πδξνξ ηξνβηη ηήρ κνλάδνο, Σρήκα 3.16, δείρλνληαη ηα αλακελφκελα έμνδα, Σηεξί ίλεο/ kW Αγγίηαο, ηεο επηηξείαο Renewables First ζηελ δηαζπλζε: <https://www.renewablesfirst.co.uk/>. Μία ζηεξί ίλα ηξνβηηη κη 1.08 Δπξώ, Μάηηνο 2017 κ.Χ.



Σρήκα 3.15. Απόζβεζε θεθαία νπ κεγά από 10 έηε, 10 έσο 20 έηε θαη κεγαι ύηεζε από 20 έηε σο ζπλαζήζε ηηπ θνζήνπ Z (m) θαη ηε ο παζνρήο Q (m^3/s) γηη πδξνζηξόβη ν ηύπνπ Αζξηκήδνπο.

Σηεξί ίλεο /(*kW*)



Σρήκα 3.16. Έμνδα εγθαηαζηάζεσ, Σηεξί ίλεο/ kW , πδξνζηεξνβη ηθόο κνλάδνο Αξξηκήδνπο ζε ζπλάξηεζε κε ηελ εγθαηαζηε κέλε ήξύο $H(kW)$. Μία Σηεξί ίλα Αγγί ίαο ήγνδπλακεί κε 1.08 Δπξώ, Μάηηνο2017 κ.Υ.