

**Α.Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ**  
**ΤΡΟΧΟΥ PELTON.**  
**ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΡΗ & ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ.**  
**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.**  
**ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.**

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ:**

**ΑΝΑΡΓΥΡΟΣ ΒΙΛΛΙΩΤΗΣ**  
**ΦΑΝΗ ΙΝΤΑ**  
**ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΜΑΡΚΟΥΤΣΗΣ**

**ΕΠΟΠΤΕΥΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:**  
**ΑΝΘΟΥΛΑ Α. ΚΡΟΥΣΤΑΛΛΗ**

**ΠΑΤΡΑ - 2008**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	-3-
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄ - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	-5-
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	-6-
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup>	-8-
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΡΟΒΙΛΩΝ	-8-
1.2 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ	-12-
1.3 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ	-12-
1.4 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	-20-
1.5 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ	-20-
1.6 Ο ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΡΟΗΣ	-24-
1.7 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ	-27-
1.8 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ	-29-
1.9 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ	-35-
1.10 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΤΡΟΧΟΥ Pelton	-39-
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	-43-
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup>	-44-
2.1 ΓΕΝΙΚΑ	-44-
2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΤΡΟΧΟΥ PELTON	-45-
2.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	-50-
2.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ	-51-
2.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	-68-
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	-69-

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο την εμβάθυνση μας σ' ένα συγκεκριμένο αντικείμενο από αυτά που εμείς έχουμε διδαχθεί κατά τη διάρκεια της φοίτησής μας στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.

Έτσι στην εργασία αυτή που έχει τίτλο «Κατασκευή Πειραματικής Συσκευής Τροχού Pelton. Χαρακτηριστικά Μέρη & Λειτουργία του. Πειραματικές Μετρήσεις, Παραγωγή Ηλεκτρικού Ρεύματος», αναπτύσσονται αρχικά υπάρχουσες θεωρίες που περιγράφουν την αρχή λειτουργίας ενός Τροχού Pelton.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ανάπτυξη της ανθρωπότητας μετά τη βιομηχανική επανάσταση στηρίχθηκε στην κατασπατάληση των ενεργειακών και φυσικών πόρων με αποτέλεσμα την υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

Επίσης, το φαινόμενο του θερμοκηπίου που οδηγεί σε κλιματικές αλλαγές και η τρύπα του όζοντος είναι δύο σημαντικές επιπτώσεις που έχουν δημιουργηθεί εξαιτίας των αερίων καύσης του πετρελαίου και των ανθρακικών πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για την παραγωγή ενέργειας.

Δυστυχώς η επιλογή αυτού του μοντέλου ανάπτυξης στηρίχθηκε στην αφθονία των ενεργειακών και φυσικών πόρων με έλλειψη μέτρου. Τα αποτελέσματα της αλόγιστης ανάπτυξης καλούνται να τα αντιμετωπίσουν οι σημερινές και οι επόμενες γενιές.

Η στροφή προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ξεκίνησε ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του '70. Οι εφαρμογές της υδροηλεκτρικής ενέργειας έχουν αποκτήσει τεχνολογική ωριμότητα και οικονομική ανταγωνιστικότητα έχοντας καθιερωθεί στη διεθνή ενεργειακή αγορά.

Στην Ελλάδα εξαιτίας του ότι τα αποθέματα λιγνίτη δεν ανανεώνονται, έχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα στην παραγωγή ενέργειας από υδροηλεκτρικούς σταθμούς ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες περιοχές όπου η παραγωγή ενέργειας στηρίζεται στο πετρέλαιο.

Έτσι στην Πτυχιακή Εργασία θα παρουσιαστεί η Κατασκευή ενός μοντέλου Τροχού Pelton, από το οποίο θα παράγεται Ηλεκτρικό Ρεύμα. Μια τέτοια Κατασκευή, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο εργαστήριο «Βασικές Αρχές Στροβιλομηχανών», παρά το γεγονός ότι είναι μια σχετικά απλή κατασκευή, όμως μπορεί να βοηθήσει στην περαιτέρω κατανόηση των φοιτητών της λειτουργίας της, καθώς επίσης και στην αναγκαιότητα που υπάρχει στις μέρες μας, για εναλλακτικές πηγές ενέργειας.

Κλείνοντας, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε για τη βοήθεια του στην εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας, τον Κύριο ΚΑΤΣΙΓΙΑΝΝΗ τόσο για την φιλοξενία του στου χώρους του πλήρους εξοπλισμένου μηχανουργείου του το οποίο βρίσκεται στην Πάτρα όσο και για την πολύτιμη βοήθειά του για τη υλοποίηση της πειραματικής συσκευής του Τροχού Pelton.

Οι σπουδαστές

Ανάργυρος Βιλλιώτης

Έντα Φανή

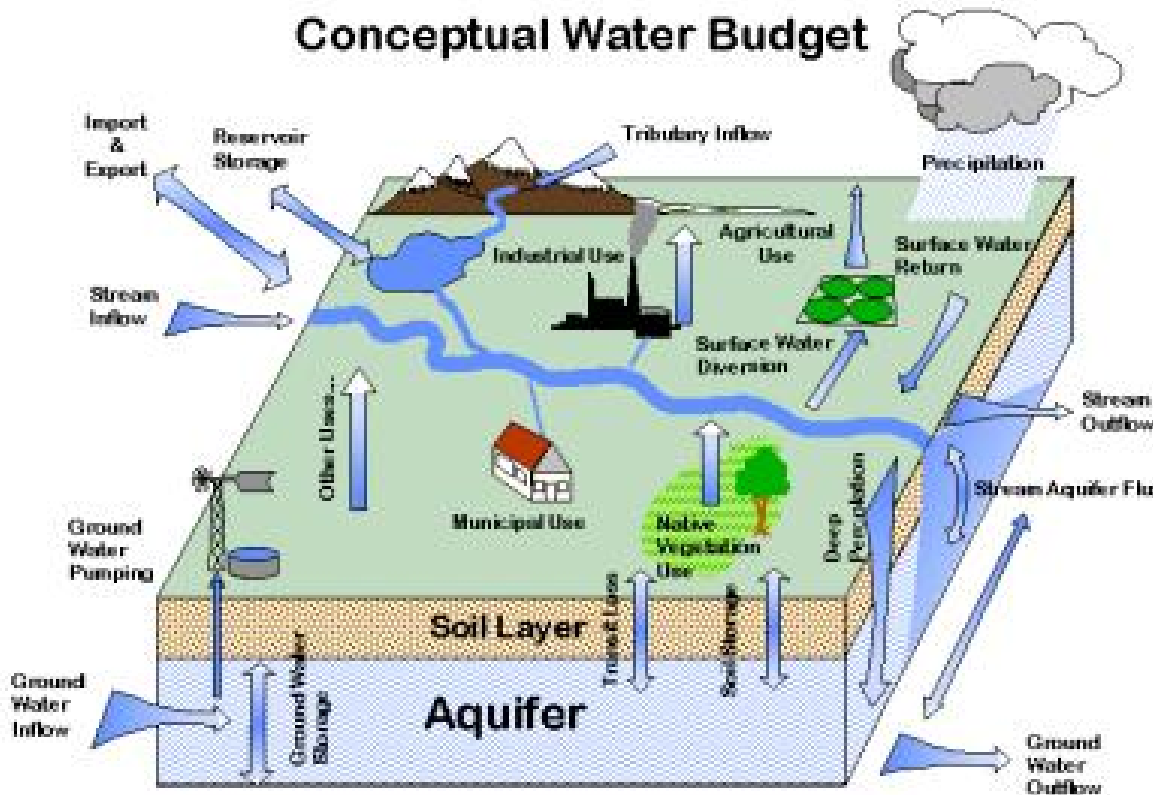
Παναγιώτης Μαρκούτσης

Π  
Α  
Ρ  
Α  
Ρ  
Τ  
Η  
Η  
Μ  
Α  
Α

**ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ  
ΜΕΡΟΣ**

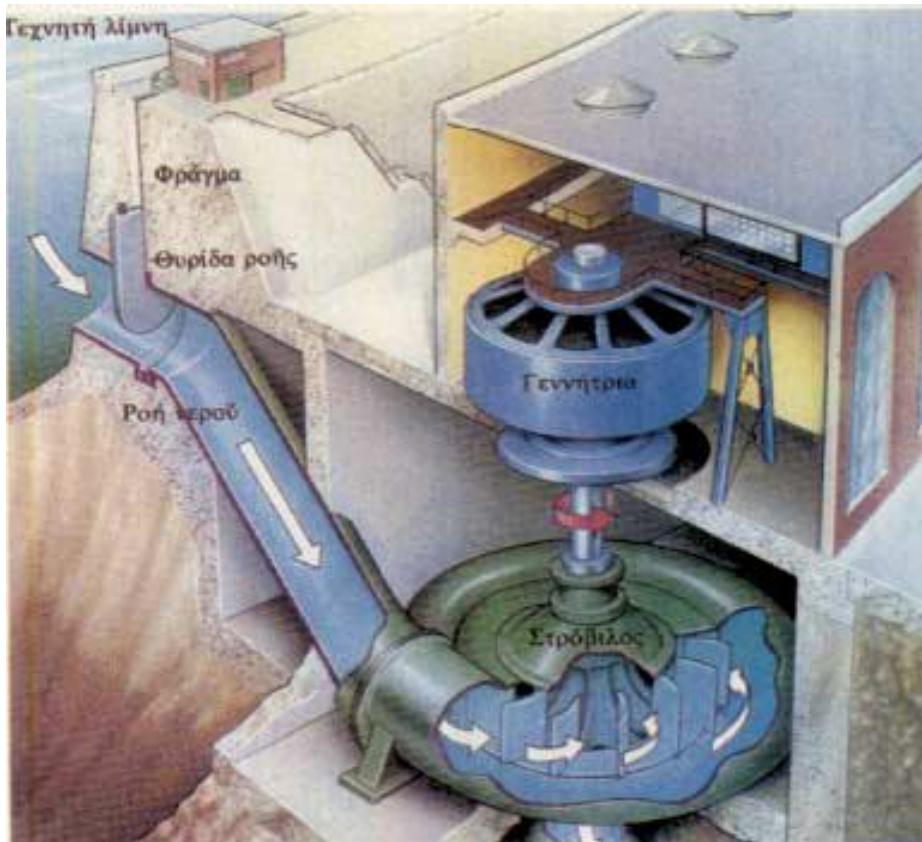
## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υδραυλική ενέργεια θεωρείται μιά από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς είναι η ηλιακή ενέργεια η οποία με την εξάτμιση του νερού, κινεί τον υδρολογικό κύκλο (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Οι διάφορες χρήσεις και το ισοζύγιο του νερού.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από την μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού σε κινητική και στην συνέχεια σε ηλεκτρισμό. Αυτό γίνεται: με την εκμετάλλευση της ροής του νερού σε υδάτινο αγωγό με φυσική κλίση, με αποθήκευση του νερού σε τεχνητή λίμνη ώστε να αυξηθεί το υδραυλικό ύψος, ή με ένα συνδυασμό των παραπάνω (Σχήμα 2). Απαιτείται συνεπώς ένα σημαντικό δυναμικό βαρυτικού ύψους και μιά ικανή ποσότητα ροής, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα υδροηλεκτρικής παραγωγής. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μιά απόδειξη ότι η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αναπτυχθεί κατά οικονομικό τρόπο σε μεγάλη κλίμακα. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι κατά κανόνα πίο οικονομική από την ηλεκτρική ενέργεια που έχει παραχθεί από καύση υδρογονανθράκων ή από πυρηνικά καύσιμα στους συμβατικούς θερμικούς σταθμούς.

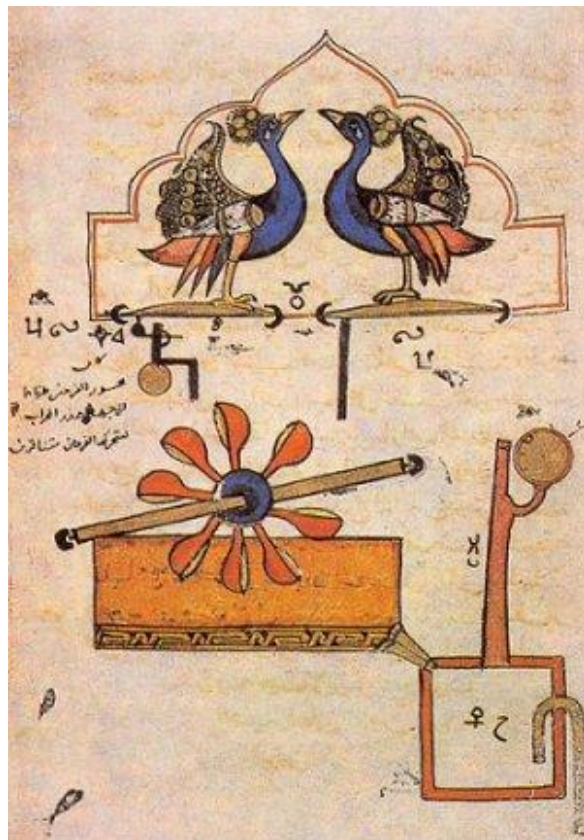


Σχήμα 2. Μιά τυπική διάταξη υδροηλεκτρικού έργου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### 1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

Ιστορικά, τα πρώτα έργα που αξιοποίησαν την κίνηση του νερού ήταν εκείνα με τους νεροτροχούς. Ήδη κατά τη ρωμαϊκή εποχή παράγονται άλευρα κλπ. με υδροκίνηση των μύλων, η οποία περιγράφεται από το Βιτρούβιο (Vitruv ή Vitruvius) τον 1<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. Στα τέλη της πρώτης χιλιετίας μ.Χ. κατασκευάστηκαν από Άραβες μελετητές υδροτροχοί με σκαφίδια για την κίνηση μηχανικών ρολογιών. Την ίδια εποχή έχει διαδοθεί η υδροκίνηση σε όλη την Ευρώπη και από το 12<sup>ο</sup> αιώνα αξιοποιούνται βελτιωμένες εκδοχές των υδροτροχών σε παραγωγικές διαδικασίες, όπως πριονιστήρια και φρέζες ξύλου κ.ά. Σ' αυτές τι μονάδες χρησιμοποιείται μάντας για τη μεταφορά της κίνησης. Ο μεγαλύτερος ευρωπαϊκός υδροτροχός των ύστερων χρόνων κατασκευάστηκε στη δεκαετία του 1740 στο Bad Nauheim της Γερμανίας και κινούσε τις αντλίες απορρόφησης υπόγειων υδάτων σε αλατορυχεία της περιοχής.



Από τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα αρχίζουν να κατασκευάζονται υδροστρόβιλοι, οι οποίοι είναι δυνατόν να αξιοποιήσουν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες νερού και μεγαλύτερες υψομετρικές διαφορές. Με την εισαγωγή για ευρεία χρήση του ηλεκτρισμού, δεν ήταν πια απαραίτητο να αξιοποιηθεί στον τόπο της υδατόπτωσης η παραγόμενη ενέργεια, αλλά μπορούσε να μεταφερθεί

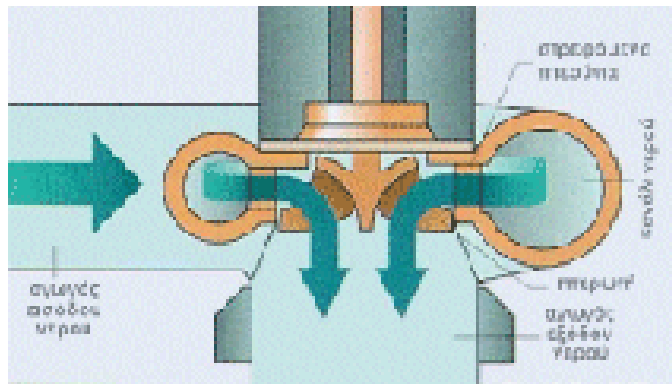


μέσω των εναέριων γραμμών στα σημεία κατανάλωσης, δηλαδή κοντά ή μέσα στις μεγάλες πόλεις.

Ο υδροστρόβιλος (τουρμπίνα) μετατρέπει την δυναμική και κινητική ενέργεια του νερού σε μηχανική ενέργεια (περιστροφή) και μεταδίδει αυτή την κίνηση, σπανιότερα σε μηχανές παραγωγής μέσω ιμάντα, αλλά συνηθέστερα σε ηλεκτρογεννήτρια περιστρεφόμενου δρομέα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με την πάροδο των δεκαετιών βελτιώθηκε η σχετική τεχνολογία σε τέτοιο βαθμό, ώστε στο τέλος του 20<sup>ου</sup> αιώνα κατασκευάζονται υδροστρόβιλοι με ισχείς, από περίπου 10 kW μέχρι αρκετές εκατοντάδες MW. Αυτοί οι υδροστρόβιλοι σχεδιάζονται με διαφορετικές τεχνικές λεπτομέρειες, ανάλογα με τις γεωγραφικές συνθήκες της περιοχής που θα εγκατασταθούν, αν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε μια ποτάμια μονάδα παραγωγής ή σε ένα σταθμό με μεγάλο ύψος πτώσης νερού κλπ. Οι μεγαλύτεροι υδροστρόβιλοι που έχουν κατασκευαστεί μέχρι το τέλος του 20<sup>ου</sup> αιώνα έχουν διάμετρο περί τα 11 μέτρα. Σημαντικό ρόλο στη λειτουργία ενός υδροστρόβιλου παίζει ο αυτόματος έλεγχος του αριθμού στροφών, λόγω της μεταβαλλόμενης ποσότητας διερχόμενου νερού και λόγω μεταβολών στην πλευρά του φορτίου (ανοικτό κύκλωμα, ονομαστική λειτουργία, βραχυκύκλωμα λόγω βλάβης κλπ.)

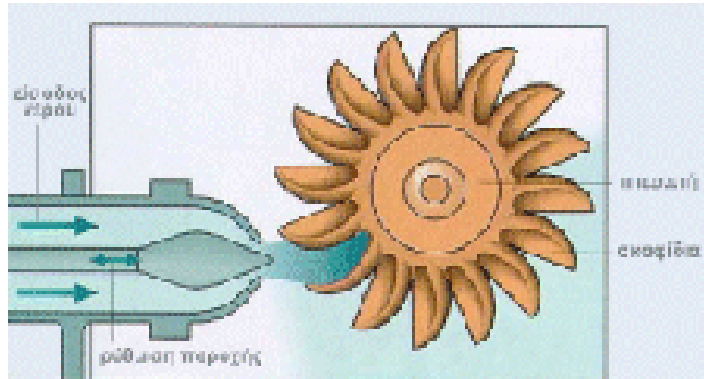
Αρχική μορφή υδροστροβίλων του 18<sup>ου</sup> και 19<sup>ου</sup> αιώνα ήταν υδροτροχοί με κατακόρυφο άξονα. Ο όρος τουρμπίνα (turbine) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από το Γάλλο μηχανικό Claude Burdin (Μπυρνταίν, 1790-1873) το έτος 1824. Το έτος 1833 κατέκτησε ο επίσης Γάλλος μηχανικός Benoit Fourneyron (Φουρνερόν, 1802-1867) ένα χρηματικό βραβείο που είχε προκηρύξει γαλλική εταιρία για την κατασκευή ενός αποδοτικού υδροστρόβιλου. Η θεωρητική περιγραφή της λειτουργίας αυτού του υδροστροβίλου διατυπώθηκε από τον Jean-Victor Poncelet (Πονσελέτ, 1788-1867) δύο χρόνια αργότερα. Ο υδροστρόβιλος του Φουρνερόν βελτιώθηκε αρκετές φορές, το 1837 από τον Γερμανό Karl Anton Henschel, το 1838 από τον Αμερικάνο Samuel B. Howd και από τον Άγγλο James Thomson.

Το έτος 1849 κατασκεύασε ο Αμερικάνος μηχανικός James B. Francis (Φράσις, 1815-1892) ένα νέο υδροστρόβιλο, ο οποίος έκτοτε φέρει αυτό το όνομα και αποτελεί το συνηθέστερο τύπο στροβίλου σε υδροηλεκτρικά έργα μεσαίου μεγέθους. Ο στρόβιλος Francis χρησιμοποιείται συνήθως για ύψος πτώσης νερού από 10 μέχρι 250 m και για διερχόμενες ποσότητες νερού από 0,2 μέχρι 20 m<sup>3</sup>/s, με ισχείς από 10 kW μέχρι 770 MW.



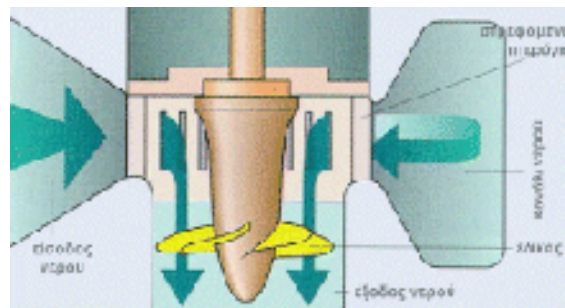
Αυτός ο στρόβιλος κινείται με την πίεση νερού στα πτερώγια της πτερωτής, το οποίο νερό διοχετεύεται σ' αυτά μέσω περιμετρικού κοχλιοειδούς καναλιού. Ένας σταθερός τροχός καθοδήγησης έχει τοποθετημένα πτερώγια που στρέφονται αντίθετα με την κατεύθυνση προσανατολισμού των σταθερών πτερωγών της πτερωτής και ρυθμίζουν έτσι τη γωνία πρόσπτωσης και την ταχύτητα του εισερχόμενου νερού και κατ' επέκταση ρυθμίζουν τον αριθμό στροφών και την ισχύ του στρόβιλου. Ο περιστρεφόμενος δρομέας του στρόβιλου είναι συνδεδεμένος απευθείας σε προέκταση του άξονα της γεννήτριας κι έτσι όλη η ροπή του στρόβιλου μεταφέρεται στη γεννήτρια.

Ο στρόβιλος Pelton κατασκευάστηκε το έτος 1879 από τον Αμερικάνο μηχανικό Lester Pelton (Πέλτον, 1829-1908). Σ' αυτό τον τύπο στρόβιλου οδηγείται το νερό σε ένα ή περισσότερα ακροφύσια, από τα οποία εκτοξεύεται το υγρό με μεγάλες ταχύτητες στα πτερώγια της πτερωτής. Αυτά τα πτερώγια είναι διαμορφωμένα σαν διδυμα δοχεία (σκαφίδια), ώστε το νερό να διαχωρίζεται στην αιχμηρή ακμή των δύο σκαφιδίων και να «γλύφει» την εσωτερική επιφάνειά τους, ακολουθώντας έτσι τοξοειδή διαδρομή και αποδίδοντας όλη την κινητική ενέργεια. Κάθε ακροφύσιο διοχετεύει περί τα  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  και ο αριθμός των ακροφυσίων εξαρτάται από τις διαθέσιμες ποσότητες νερού. Η παρεχόμενη ροή ρυθμίζεται με βελόνες στον αυλό του ακροφύσιου. Για μεγάλες ποσότητες νερού και πολλά ακροφύσια (μέχρι 6) τοποθετείται ο στρόβιλος κατακόρυφα.



Ο στρόβιλος Pelton χρησιμοποιείται σε μεγάλες υδροηλεκτρικές μονάδες, με μεγάλα ύψη και μικρές ποσότητες νερού. Για ένα ύψος πτώσης νερού περί τα 1.000 μέτρα η ταχύτητα εξόδου νερού στο ακροφύσιο φτάνει τα 500 km/h (139 m/s) και γι' αυτό η καταπόνηση των υλικών είναι τεράστια (σπηλαίωση του χάλυβα). Οι στρόβιλοι αυτού του τύπου λειτουργούν με μεγάλο αριθμό στροφών, περί τις 3.000 ανά λεπτό και έχουν βαθμό αποδόσεως μέχρι 90%. Το έτος 2000 κατασκευάστηκε μία υδροηλεκτρική μονάδα με τρεις στροβίλους Pelton των 5 ακροφυσίων, η οποία δέχεται νερά από ύψος 1.800 μέτρα και έχει ισχύ 400 MW. Μειονέκτημα αυτού του τύπου στροβίλων είναι η ταχεία διάβρωση των υλικών.

Ο στρόβιλος Kaplan αποτελεί μια βελτιωμένη εκδοχή του στροβίλου Francis και κατασκευάστηκε το έτος 1913 από το Γερμανό μηχανικό Viktor Kaplan (Καπλάν, 1876-1934). Η πτερωτή αυτού του στροβίλου που τοποθετείται συνήθως κατακόρυφα, μοιάζει με έλικα πλοίου, της οποίας τα πτερύγια μπορούν να περιστραφούν κι έτσι επιτυγχάνεται η ρύθμιση της αποδοτικότερης λειτουργίας του. Αυτός ο στρόβιλος είναι κατάλληλος για μικρές υδροηλεκτρικές μονάδες, μικρά ύψη πτώσης και μικρές ποσότητες διελεύσεως νερού.



## 1.2 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

Η ελάχιστη και η μέγιστη παροχή, καθώς και το εύρος ύψους λειτουργίας καθορίζουν το επίπεδο της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί σε μιά τοποθεσία. Η απόδοση της ενεργειακής μετατροπής των μονάδων στροβίλου-γεννήτριας είναι συνήθως 80-85%. Οι υδροστρόβιλοι ταξινομούνται είτε σύμφωνα με την κατεύθυνση της ροής του νερού στα πτερύγια σε: αξονικούς, ακτινικούς, ή συνδυασμένης ροής, είτε σε: αντίδρασης, πρόσπτωσης, συνδυασμού αντίδρασης-πρόσπτωσης.

Στους υδροστροβίλους πρόσπτωσης το ρευστό προσπίπτει στον υδροστρόβιλο και τον εξαναγκάζει σε περιστροφή, ενώ οι υδροστρόβιλοι αντίδρασης είναι ενσωματωμένοι μέσα στην ροή και εκμεταλλεύονται την πτώση πίεσης του ρευστού μεταξύ εισόδου και εξόδου από τον υδροστρόβιλο. Οι υδροστρόβιλοι αντίδρασης έχουν το πλεονέκτημα ότι η λειτουργία τους μπορεί να αντιστραφεί, και να λειτουργήσουν ως αντλίες μεταφέροντες το νερό σε υψηλότερη στάθμη, εξασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο ενεργειακή αποθήκευση.

## 1.3 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

Ως αποτέλεσμα της βαθμιαίας εξέλιξης των υδραυλικών τροχών έχουμε σήμερα τους *υδροστροβίλους* ή υδραυλικούς στροβίλους. Γενικά ένας υδροστρόβιλος αποτελείται από ένα πτερυγιοφόρο τροχό τοποθετημένο καταλλήλως μέσα σε κέλυφος με αγωγό προσαγωγής και απαγωγής. Η εν λόγω διάταξη τοποθετείται σε κατάλληλη θέση της υδατόπτωσης που είναι προς εκμετάλλευση. Το νερό που πέφτει εισαγόμενο με πίεση μέσα στον υδροστρόβιλο προσκρούει πάνω στα πτερύγια και προκαλεί την κίνηση τού. Οι υδροστρόβιλοι αποτελούν την τελειότερη μορφή υδροκινητήρων, και κατέχουν τελείως ιδιαίτερη θέση όχι μόνον μεταξύ των άλλων στροβίλων (ατμοστροβίλων, κ.τ.λ.), αλλά μεταξύ και των ίδιων των κινητηρίων μηχανών. Έτσι, συγκρινόμενοι με τους υδραυλικούς τροχούς υπερέχουν απολύτως.



Σήμερα η χρησιμοποίηση τους στις υδροδυναμικές εγκαταστάσεις είναι γενική. Χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της υδραυλικής ενεργείας, την οποία μας δίνει η υψομετρική διαφορά μιας υδάτινης πτώσης, σε μηχανικό έργο το οποίο στη συνέχεια με τη βοήθεια των δυναμοηλεκτρικών μηχανών μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Εξαιτίας των υδροστροβίλων η υδραυλική ενέργεια έπαψε να έχει μόνο τοπική σημασία για την οικονομία ενός τόπου. Ήδη, με την ευρεία μετατροπή της μηχανική ενεργείας σε ηλεκτρική έγινε δυνατή η μεταφορά και η εκμετάλλευση της παραγόμενης ενεργείας από υδατοπτώσεις μακριά από αυτές. Σήμερα, υπάρχουν σε χρήση διάφοροι τύποι υδροστροβίλων:

*A. Από άποψη καθοδήγησης του νερού, σε :*

- α) Αξονικούς
- β) Ακτινωτούς και
- γ) Μικτούς

*B. Από άποψη δυναμικής ενεργείας τους, σε :*

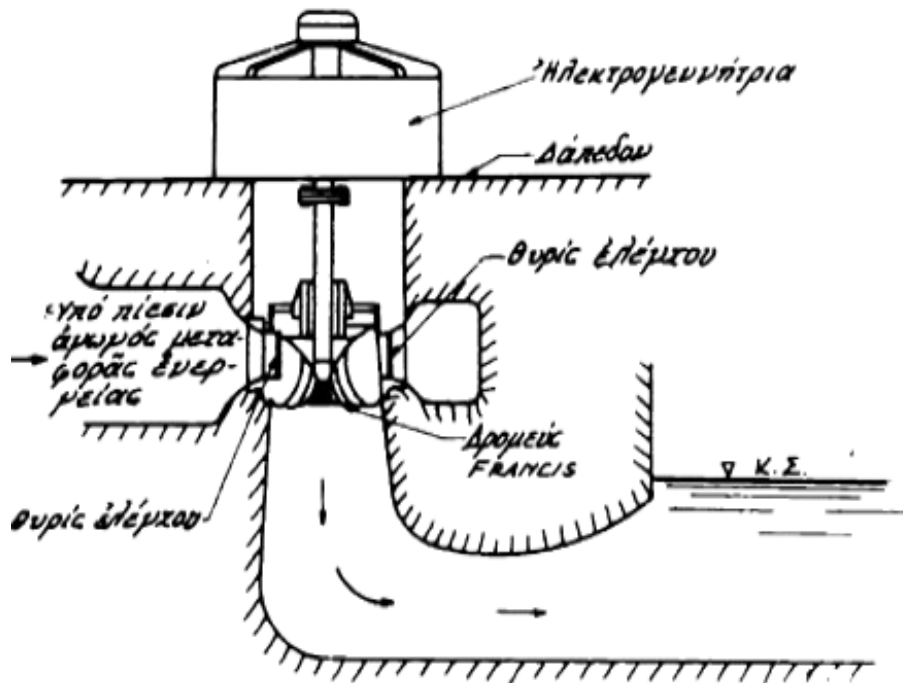
- α) Υδροστροβίλους δράσεως, ώσεως είτε ελεύθερης ακτίνας ή εκτοξεύσεως
- β) » αντιδράσεως, υπερπίεσεως ή αντώσεως και,
- γ) » μικτούς.

*Γ. Από άποψη πίεσεως, σε:*

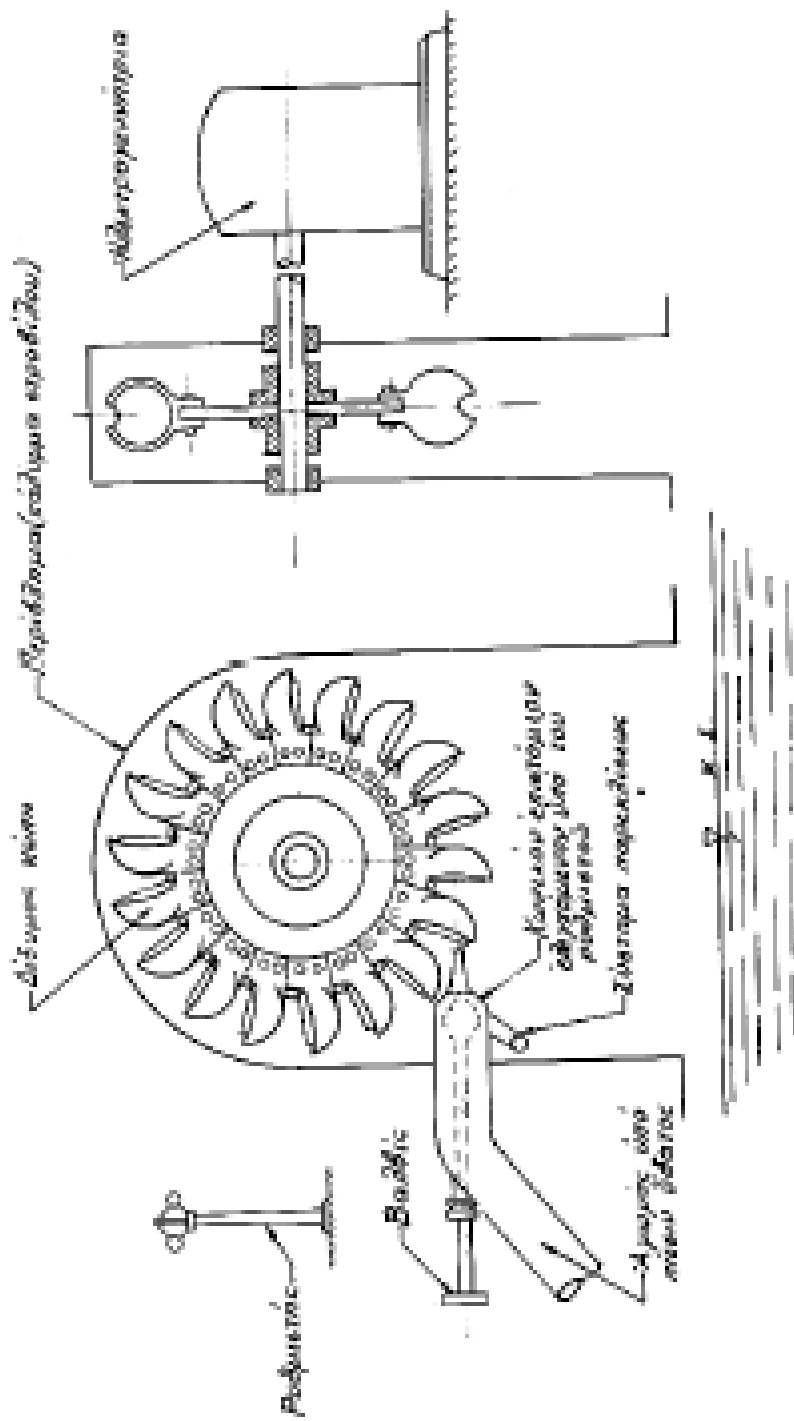
- α) Υδροστροβίλους υψηλής πίεσεως
- β) » μέσης πίεσεως και
- γ) » χαμηλής πίεσεως.

Η θέση του άξονα των υδροστροβίλων (οριζόντιος-κατακόρυφος), η εξωτερική διαμόρφωση του (εξωτερικό περίβλημα-βυθισμένος στο νερό) όσο και ο τρόπος ζεύξεως τους με την ηλεκτρογεννήτρια, δηλαδή εάν αυτή είναι u954 κατ' ευθείαν ή μέσω μεταδόσεως κινήσεως, αποτελούν κυρίους παράγοντες με τη βοήθεια των οποίων χαρακτηρίζεται η μορφή και η διάταξη ενός υδροστροβίλου.

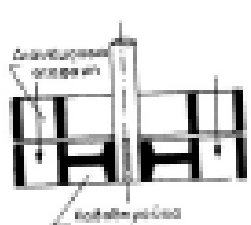
Στο σχήμα 1 δίνεται κατακόρυφη τομή τυπικής σύγχρονης υδροηλεκτρικής μονάδας (υδροστρόβιλος-ηλεκτρογεννήτρια), με κατακόρυφο άξονα. Κατά την διάταξη αυτή η υπ' όψιν μονάδα, εκτός των άλλων προτερημάτων της, καταλαμβάνει, συγκριτικά με τους υδροστροβίλους με οριζόντιο άξονα, μικρότερο χώρο δαπέδου στο σταθμό παραγωγής υδροηλεκτρικής ενεργείας. Αντίθετα, οι υδροστρόβιλοι με οριζόντιο άξονα (Σχ. 2) θεωρούνται ότι αποτελούν εγκαταστάσεις πιο πρακτικές.



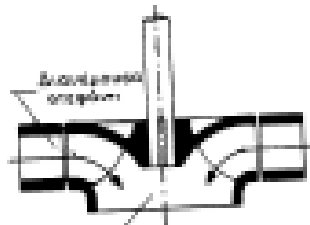
Σχήμα 1



Σχήμα 2



Σχήμα 3



Σχήμα 4

Γενικά, ένας υδροστρόβιλος, είτε είναι «ολόκλειστος» όπως είναι ο τύπος Francis, οι ελικοστρόβιλοι και ο τύπος Kaplan, είτε «τμηματόκλειστος» όπως ο τύπος Pelton, κυρίως αποτελείται από τη διάταξη προσαγωγής και από ένα δρομέα ή στρεφόμενο τροχό. Αυτός αποτελείται από δύο ομόκεντρες στεφάνες, μια σταθερή και μια κινητή. Η δεύτερη στεφάνη στρέφεται μαζί με τον άξονα του κινητήρα, ο οποίος είναι κατακόρυφος, σπανιότερα δε οριζόντιος ή κεκλιμένος. Οι στεφάνες αυτές φέρουν σειρά δοχείων, τα οποία καλούνται κώπες, καμπύλης ή σωληνοειδούς μορφής για καταμερισμό του νερού και για να αποκτήσει το νερό την πιο συμφέρουσα ταχύτητα κατά την κυκλοφορία του στον υδροστρόβιλο με σκοπό την αύξηση της απόδοσης του κινητήρα. Η σταθερή στεφάνη καλείται *διανέμουσα*, καθοδηγούσα ή απλώς στεφάνη διανομής. Αυτό, γιατί με αυτή καταμερίζεται το εισερχόμενο στον στρόβιλο νερό που καθοδηγείται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να εισέρχεται με μια εφαπτομενική ταχύτητα μέσα στα δοχεία της κινητή στεφάνης που βρίσκεται κάτω από τη σταθερή. Η κινητή στεφάνη καλείται *δρομέας* ή απλώς δέκτης. Η δεύτερη αυτή στεφάνη δέχεται την ενέργεια του νερού, το οποίο και αλλάζει κατεύθυνση ροής μέσα σ' αυτήν. Η διανέμουσα στεφάνη φέρει κώπες με κλίση ρυθμίσιμη, με τη βοήθεια των οποίων μετατρέπεται η πτώση σε ταχύτητα. Ως προς τον τρόπο κυκλοφορίας του νερού μέσα στον στροβίλο είπαμε ήδη ότι τους διακρίνομε σε αξονικούς, ακτινωτούς και μικτούς. Ένας στρόβιλος καλείται αξονικός (Σχ. 3) όταν το νερό οδηγείται κατά τέτοιο τρόπον στην κινητή στεφάνη, ώστε η κυκλοφορία του να γίνεται με κατεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα του κινητήρα. Εάν όμως η προσαγωγή του νερού δεν γίνεται παράλληλα με τον άξονα, αλλά κατά διεύθυνση ακτινωτή, δηλαδή κάθετη προς αυτόν, τότε ο υδροστρόβιλος καλείται *ακτινωτός* (Σχ. 4). Στους υδροστροβίλους του τύπου αυτού η απαγωγή του νερού από την κινητή στεφάνη γίνεται κατά οποιαδήποτε κατεύθυνση. Ειδικότερα στην περίπτωση αυτή των ακτινωτών στροβίλων διακρίνομε δυο τύπους, τον κεντρομόλο και τον φυγοκεντρικό. Όταν τα υγρά μόρια του νερού κατά την εντός του κινητήρα κυκλοφορία κατευθύνονται προς τον άξονα, ο στρόβιλος καλείται κεντρομόλος, ενώ, όταν αυτά απομακρύνονται, φυγοκεντρικός.

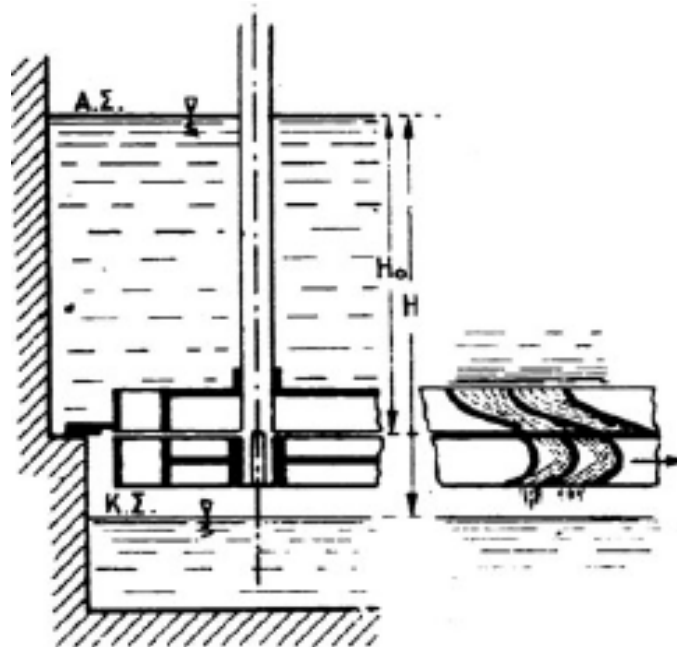
Τέλος, ένας υδροστρόβιλος καλείται *μικτός*, όταν η κυκλοφορία του νερού μέσα στον κινητήρα γίνεται εν μέρει παράλληλα προς τον άξονα του και εν μέρει κάθετα. Είναι η περίπτωση, κατά την οποία στις κώπες της οδηγήτριας στεφάνης δίνεται μορφή συνθέτης καμπύλης και μάλιστα ελικοειδούς.

Ως προς τον τρόπο δράσης του νερού επί της εσωτερικής στεφάνης, δηλαδή του δρομέα, έχει ήδη αναφερθεί ότι οι υδροστρόβιλοι διακρίνονται σε υδροστρόβιλους δράσεως και αντιδράσεως. Ένας υδροστρόβιλος καλείται δράσεως (Σχ. 5) όταν η εσωτερική στεφάνη κινείται λόγω πλήξεως, την οποία υφίσταται από το νερό. Στην περίπτωση αυτή το νερό δρα επί της στεφάνης με την κινητική του ενεργεία. Στους υδροστροβίλους του τύπου αυτού η θλιπτική ενέργεια του προσρέοντος νερού μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε κινητική. Αντίθετα όταν το νερό δρα με πίεση λόγω του φορτίου του, τότε ο

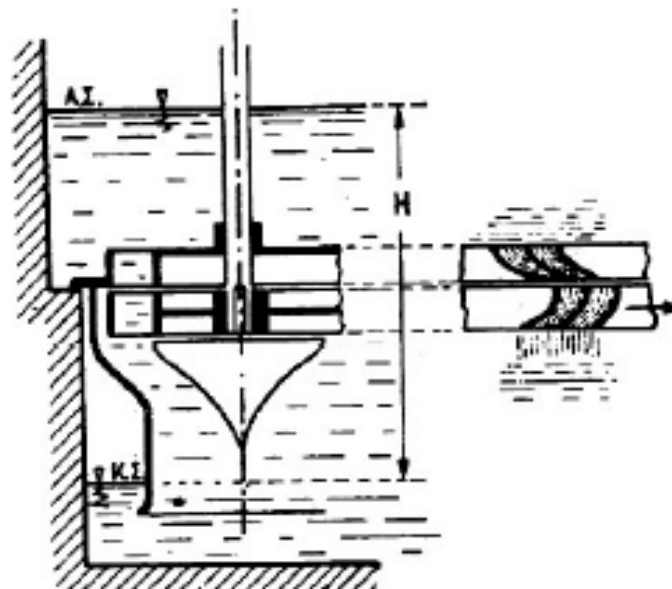


υδροκινητήρας καλείται αντιδράσεως (Σχ. 6). Σ' αυτούς, η σταθερή διανέμουσα στεφάνη μετατρέπει μερικώς την πτώση σε ταχύτητα.

Καμιά φορά γίνεται διάκριση των στροβίλων και από άποψη τρόπου καταμερισμού του νερού. Στην περίπτωση αυτή έχουμε στροβίλους μερικής ή ολικής προσβολής. Ένας υδροστρόβιλος είναι μερικής προσβολής όταν η κυκλοφορία προς την εσωτερική στεφάνη γίνεται μερικώς, λόγω του ότι η διανέμουσα στεφάνη καταμερίζει την κυκλοφορία σε ένα μικρό τμήμα της περιφέρειάς της. Στην αντίθετη περίπτωση, ο στρόβιλος καλείται ολικής προσβολής.



Σχήμα 5



Σχήμα 6

Στους στροβίλους αντιδράσεως ή υπερπίεσεως γίνεται πλήρης εκμετάλλευση της πτώσεως  $H$  (Σχ. 6). Κατά την κίνηση του νερού μέσα στον χώρο που σχηματίζεται από τις κόπες του τροχού λαμβάνει χωρά επιτάχυνση, λόγω της υφισταμένης υπερπίεσης. Το εξερχόμενο δε νερό προκαλεί, με μορφή εφαπτομενικής δύναμης, μια αντίδραση. Σ' αυτούς, ένα μόνο μέρος της θλιπτικής ενεργείας μετατρέπεται σε ενέργεια κινητική στην διανέμουσα στεφάνη. Οι τροχοί υπερπίεσεως έχουν ως εξωτερικό χαρακτηριστικό γνώρισμα εκτός των άλλων και το ότι η στεφάνη βρίσκεται κατά κανόνα σε σύνδεση με την κάτω στάθμη του νερού, μέσω της καλούμενης χοάνης απορροφήσεως ή, κατ' άλλους, αναρροφήσεως. Η χοάνη αυτή έχει πολλαπλό προορισμό. Επιτρέπει την τοποθέτηση του στροβίλου σε σημαντικό ύψος (περίπου μέχρι 6,00 m) άνω της κατωτάτης υγρής στάθμης, χωρίς να έχουμε απώλεια μέρους της πτώσεως  $H$ . Όταν η χοάνη είναι μεγάλη, επιτρέπει την ελάττωση της απώλειας εκροής, όπως και στην περίπτωση πτώσεως της κατώτατης στάθμης επιτρέπει την εκμετάλλευση της αυξανουσας πτώσεως  $H$ . Οι στροβίλοι του τύπου αυτού χρησιμοποιούνται για μικρά ή μεσαία ύψη πτώσεως, δηλαδή κάτω των 100 m. Σήμερα όμως οι στροβίλοι αντιδράσεως χρησιμοποιούνται και για μεγαλύτερα ύψη.

Αντίθετα, στους υδροστροβίλους δράσεως ή ελεύθερης ακτίνας ως κύριο εξωτερικό γνώρισμα έχουμε το γεγονός ότι η κινητή στεφάνη δε βρίσκεται σε επαφή με την κατώτατη στάθμη του νερού, καθώς δεν υπάρχει αναρροφητική χοάνη. Το όλο σύστημα αναρτάται ελευθέρως. Έτσι έχουμε εκμετάλλευση μόνο του ύψους  $H_0$  (Σχ. 5). Το υπόλοιπο ύψος  $H-H_0$  χάνεται. Γι' αυτό και ο τύπος αυτός των υδροστροβίλων προτιμάται σε περίπτωση ύπαρξης μεγάλων υψών πτώσης, δηλαδή πάνω από 100m (μέχρι περίπου 1700 m) οπότε το εν λόγω χαμένο ύψος  $H-H_0$  δεν έχει μεγάλη σημασία καθώς αποτελεί μικρό ποσοστό του συνολικού ύψους. Στους υδροστροβίλους του τύπου αυτού πάνω και κάτω της κινητής στεφάνης υπάρχει η ίδια πίεση, δηλαδή η ατμοσφαιρική. Όταν το νερό εισέλθει μέσα στην κινητή στεφάνη, οπότε έχει μόνο κινητική ενέργεια, δρα στα πτερύγια της, μετασχηματίζοντάς την σε εφαπτομενική δύναμη.

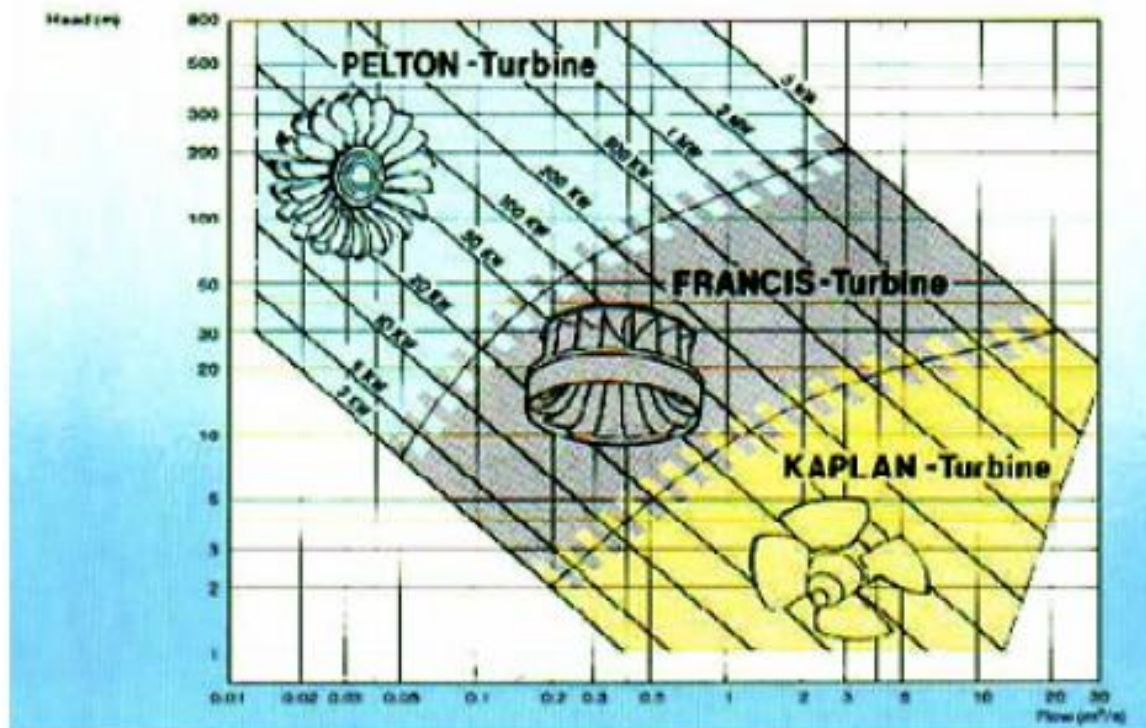
Όταν κάποιος αριθμός υδροστροβίλων είναι τοποθετημένος κατά τρόπο ώστε να διαρρέονται οι υδροστροβίλοι από το νερό παράλληλα, τότε έχουμε την περίπτωση των **πολλαπλών υδροστροβίλων**.

Από άποψη απόδοσης των υδροστροβίλων, επιτυγχάνονται σήμερα πολύ καλά αποτελέσματα.

Η απόδοση τους είναι δυνατόν να φθάσει μέχρι το 90%. Η δε αποκτώμενη ισχύς είναι δυνατό να μεταδοθεί απ' ευθείας ή με μιάντες στον άξονα εγκατεστημένων επί τόπου διαφόρων μηχανημάτων ή ακόμη, μέσω γεννητριών, να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια η οποία μεταφέρεται με τις γραμμές υψηλής τάσης σε μεγάλες αποστάσεις. Δηλαδή οι κατασκευαζόμενοι σήμερα υδροστροβίλοι ανταποκρίνονται πλήρως προς τις απαιτήσεις της σύγχρονης τεχνικής, εφόσον μάλιστα για κάθε πτώση νερού η παροχή είναι εκμεταλλεύσιμη με υψηλό βαθμό απόδοσης.

Υπάρχουν βασικά 3 τύποι υδροστροβίλων. Ο Pelton, Francis και Kaplan.

Το παρακάτω διαγραμμα χρειάζεται για την επιλογή υδροστροβίλου.



## 1.4 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ

Οι υδροστρόβιλοι πρόσπτωσης είναι οι παλαιότεροι τύποι υδραυλικών μηχανών που χρησιμοποιούνται για την μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανικό έργο. Είναι επίσης και οι απλούστεροι, από πλευράς σχεδιασμού, ευκολίας συντήρησης και ελέγχου. Χρησιμοποιούνται κατά βάση σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς με μεγάλα υδραυλικά ύψη και χαμηλές παροχές. Καθώς έχουν χαμηλή ειδική ταχύτητα ροής, ο σχεδιασμός τους δεν απαιτεί ιδιαίτερη πολυπλοκότητα και βαρεία κατασκευή. Αν προκύψει ανάγκη όμως, είναι δυνατόν να αυξηθεί η ειδική ταχύτητα ροής με την προσθήκη περισσοτέρων ακροφυσίων. Παράλληλα επειδή λειτουργούν σε ατμοσφαιρική πίεση δεν απαιτείται ιδιαίτερος σχεδιασμός όσον αφορά την συναρμογή και ερμητικότητα του κελύφους.

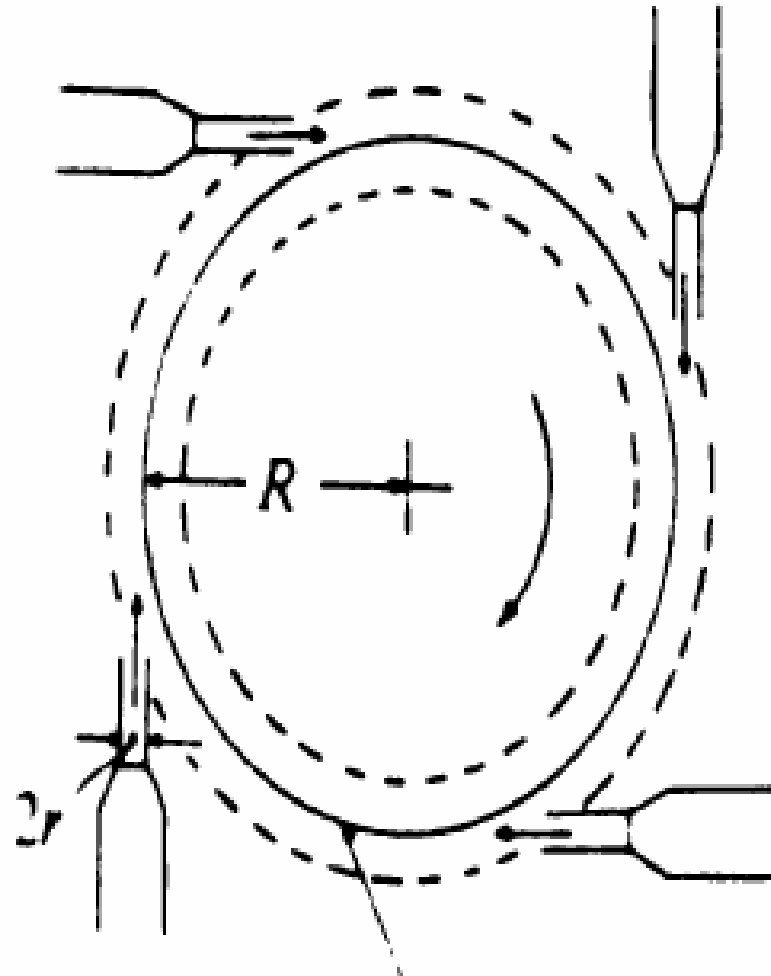
Σαν συνέπεια αυτών και άλλων πλεονεκτημάτων οι υδροστρόβιλοι πρόσπτωσης είναι από τις πλέον ευρέως διαδεδομένες μηχανές για μικρά υδροηλεκτρικά έργα.

## 1.5 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ

Ο υδροστρόβιλος πρόσπτωσης εκμεταλλεύεται το συνολικά διαθέσιμο ύψος του νερού, δηλαδή την κινητική ενέργεια ενός ή περισσοτέρων δεσμών νερού (jets) για να στρέψει τον δρομέα (Σχήμα 9). Η ροή του νερού λαμβάνει χώρα με μία ελεύθερη επιφάνεια σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, το οποίο συνεπάγεται ότι η διαθέσιμη ενέργεια εξάγεται από την ροή σε ατμοσφαιρική πίεση. Δεν υπάρχει μεταβολή της πίεσης κατά μήκος των πτερυγίων και η ροή στον δρομέα αλλάζει μόνο διεύθυνση, καθώς το μέγεθος της σχετικής ταχύτητας παραμένει το ίδιο. Το έργο εκτελείται στον δρομέα από το ρευστό λόγω της μεταβολής της γωνιακής ορμής και της κίνησης των πτερυγίων.

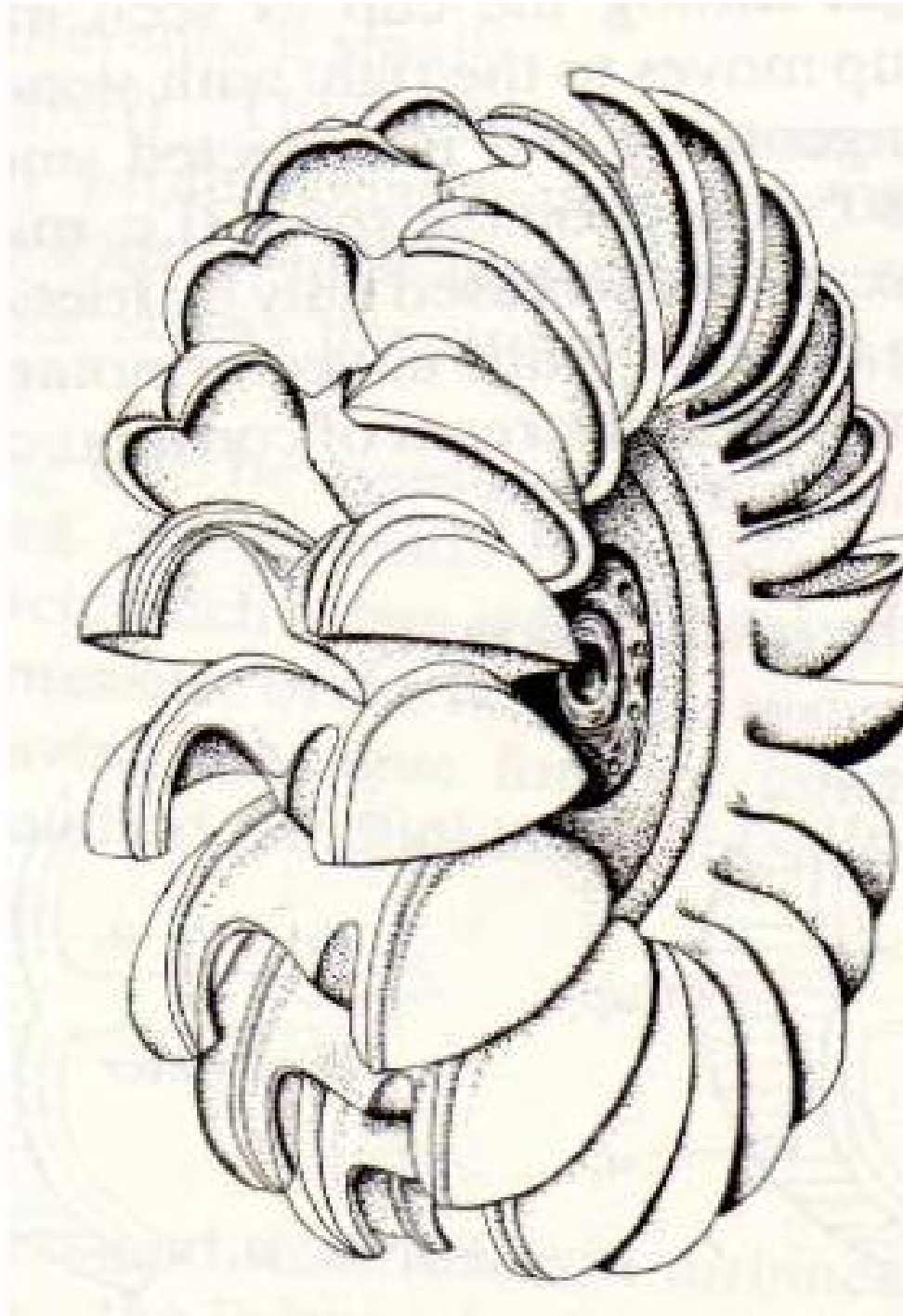
Οι δύο σημαντικότεροι τύποι υδροστρόβιλων πρόσπτωσης που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι:

- ο δρομέας Pelton (Σχήμα 10)
- ο υδροστρόβιλος εγκάρσιας ροής (Σχήμα 11)



Mean bucket  
circle diameter

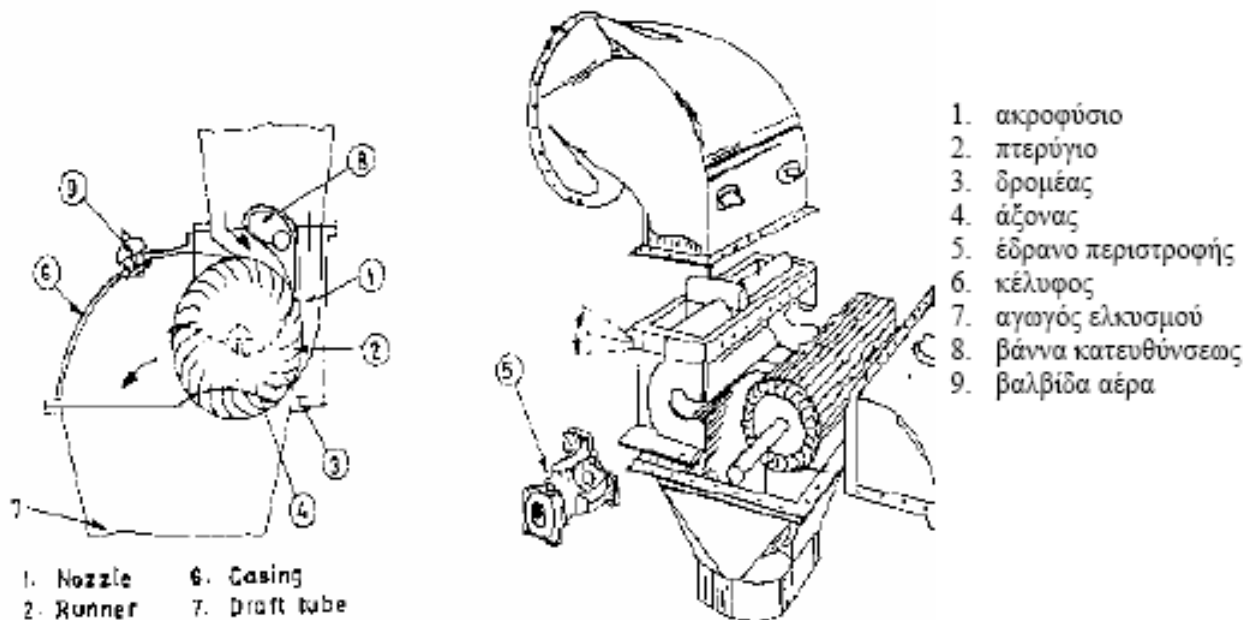
Σχήμα 9. Υδροστρόβιλος πρόσπτωσης με 4 ακροφύσια.



Σχήμα 10. Τροχός Pelton με ενσωματωμένους κάδους στον δρομέα.

Τα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τους άλλους υδροστροβίλους πρόπτωσης είναι:

- είναι οι πλέον απλές μηχανές όσον αφορά την κατασκευή, την λειτουργία και την συντήρηση.
- έχουν γενικά καλή απόδοση φορτίου και είναι σε θέση να ανταπεξέλθουν σε σημαντικές μεταβολές ροής που συνήθως συμβαίνουν σε μικρά υδροηλεκτρικά έργα.
- για περιπτώσεις μεγάλου υδραυλικού ύψους ο τροχός Pelton είναι ο πλέον αποδοτικός από τους υδροστροβίλους πρόπτωσης και, για δεδομένο ύψος και ισχύ, καλύπτει το μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών (2-200 m) ανάμεσα στους διάφορους τύπους διαθέσιμων υδροστροβίλων ενώ συγχρόνως προσφέρει ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης.
- απαιτούν μικρό χώρο εγκατάστασης.



Σχήμα 11. Υδροστρόβιλος εγκάρσιας ροής.

## 1.6 Ο ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΡΟΗΣ

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 11, αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα:

**Ακροφύσιο.** Είναι αναγκαίο εξάρτημα κάθε υδροστροβίλου πρόσπτωσης. Γιά τον υδροστρόβιλο εγκάρσιας ροής έχει ορθογώνιο σχήμα, το πλάτος του οποίου ταιριάζει με το πλάτος του δρομέα. Η βασική του λειτουργία είναι να μετατρέψει το συνολικό διαθέσιμο ύψος σε κινητική ενέργεια και ταυτόχρονα να οδηγήσει το νερό στα πτερύγια υπό την γωνία σχεδιασμού.

Τοποθετείται στην έξοδο του κύριου αγωγού του συστήματος και η έξοδος του προσαρμόζεται πολύ κοντά στην εξωτερική περιφέρεια του δρομέα του στροβίλου.

**Δρομέας.** Ο δρομέας είναι το κεντρικό στέλεχος του όλου συστήματος και είναι υπεύθυνος γιά την μετατροπή της ενέργειας του νερού σε μηχανική ενέργεια. Ο σχεδιασμός του είναι πολύ κρίσιμος γιά την επίτευξη καλής λειτουργίας του στροβίλου. Έχει σχήμα βαρελοειδές και αποτελείται από πτερύγια, τροχό και άξονα. Ευρίσκεται αμέσως μετά την έξοδο του ακροφυσίου. Τα κύρια εξαρτήματα του είναι τα πτερύγια, ο άξονας και τα έδρανα περιστροφής.

**Πτερύγια.** Τοποθετούνται στην περιφέρεια του τροχού και η λειτουργία τους είναι να μεταβάλλουν με ομαλό τρόπο την κατεύθυνση της εισερχόμενης από το ακροφύσιο ροής.

**Άξονας.** Ο άξονας του δρομέα μεταφέρει την ροπή που δημιουργείται στην ηλεκτρική γεννήτρια. Ο σωστός σχεδιασμός του επιτρέπει στο ρεύμα του νερού να περάσει στον δεύτερο στάδιο χωρίς εμπόδια.

**Έδρανα περιστροφής.** Συγκρατούν τον άξονα στην θέση του και ταυτόχρονα μειώνουν την αντίσταση περιστροφής μειώνοντας και τις αξονικές δυνάμεις που αναπτύσσονται επάνω σε αυτόν.

**Κέλυφος.** Εμποδίζει το νερό να εκτινάσσεται και το οδηγεί στον αγωγό διέλευσης. Μιά περαιτέρω λειτουργία του είναι η δημιουργία συνθηκών σχεδόν κενού γιά την εγκατάσταση του αγωγού διέλευσης.

**Αγωγός διέλευσης.** Χρησιμοποιείται γιά την ανάκτηση ενός μεγάλου ποσοστού της ενέργειας που παραμένει στην ροή του νερού μετά την διέλευση του από τον δρομέα.

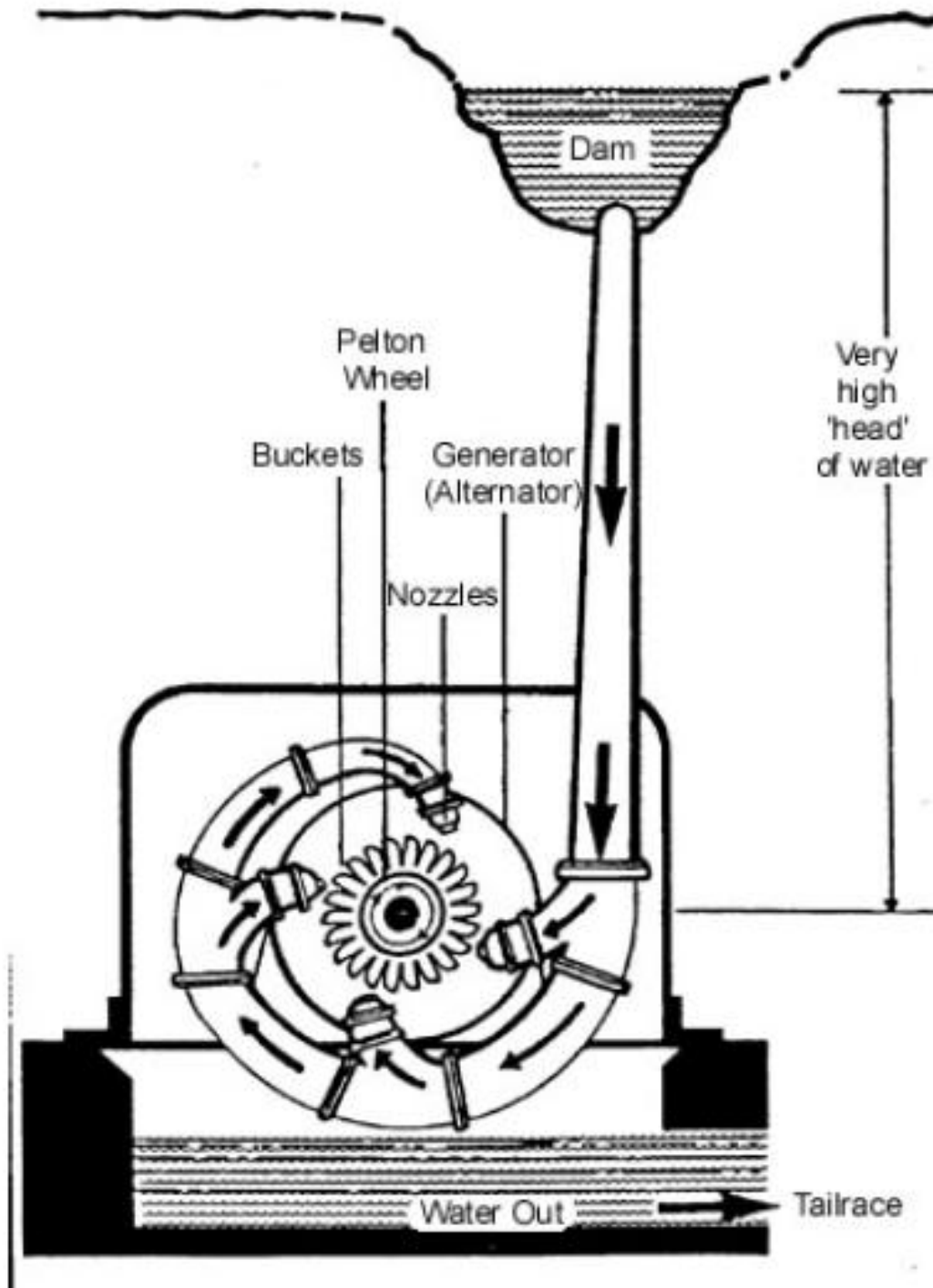
**Βάννα κατευθύνσεως.** Οδηγεί την απαιτούμενη ποσότητα ροής στον δρομέα. Ελέγχεται, είτε χειροκίνητα, είτε αυτόματα με οδηγό. Επιτυγχάνει την



μείωση της επιφάνειας διατομής κατά μήκος της ροής και η ροή υπόκειται σε μία διαρκή επιτάχυνση σε ένα μεγάλο εύρος ανοιγμάτων. Τοποθετείται στο ακροφύσιο.

**Βαλβίδα αέρα.** Αέρας που τροφοδοτείται με βαλβίδα που λειτουργεί με πλωτήρα ή ελατήριο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της στάθμης του νερού μέσα στο κέλυφος του στροβίλου.

Όταν ο υδροστρόβιλος περιστρέφεται, ο αέρας μέσα στο κέλυφος παρασύρεται έξω έτσι ώστε να αναπτυχθεί κενό και μία στήλη αναρρόφησης ανέρχεται μέσα στον αγωγό διέλευσης

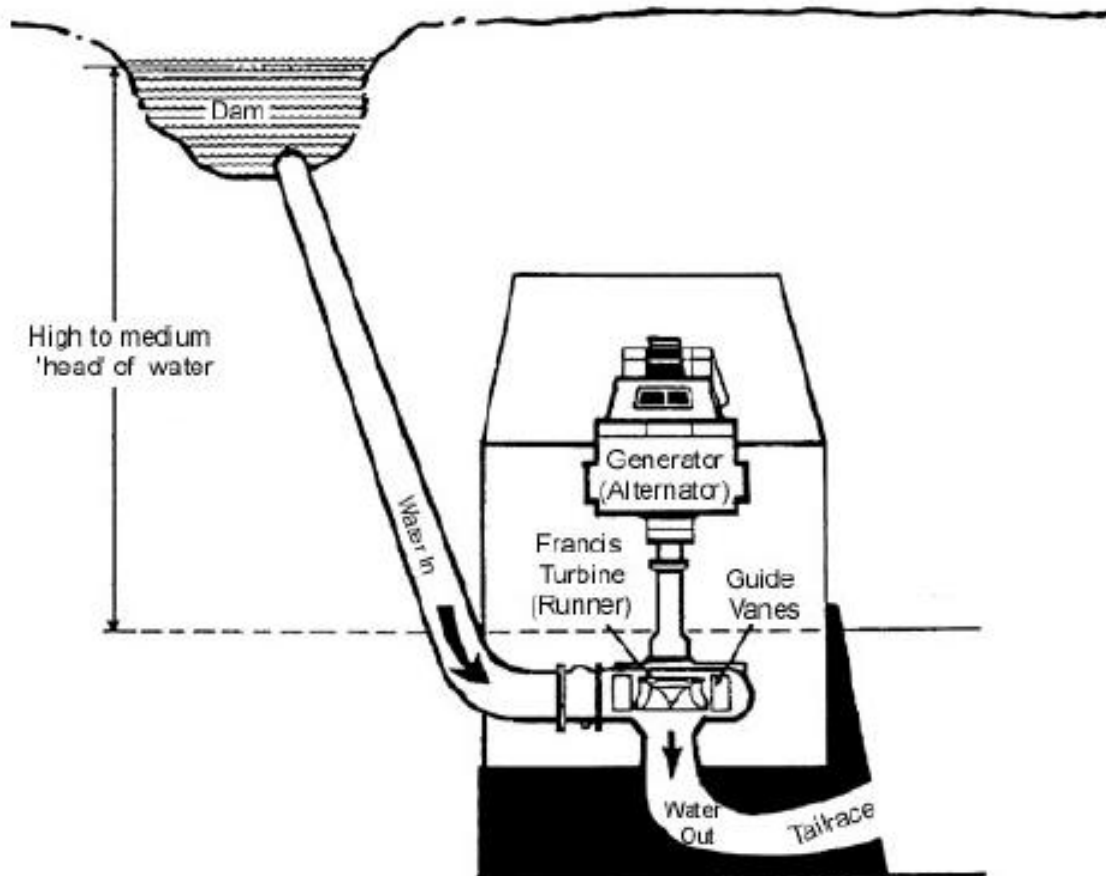


Σχήμα 12. Σχηματική διάταξη υδραυλικού τροχού τύπου Pelton.

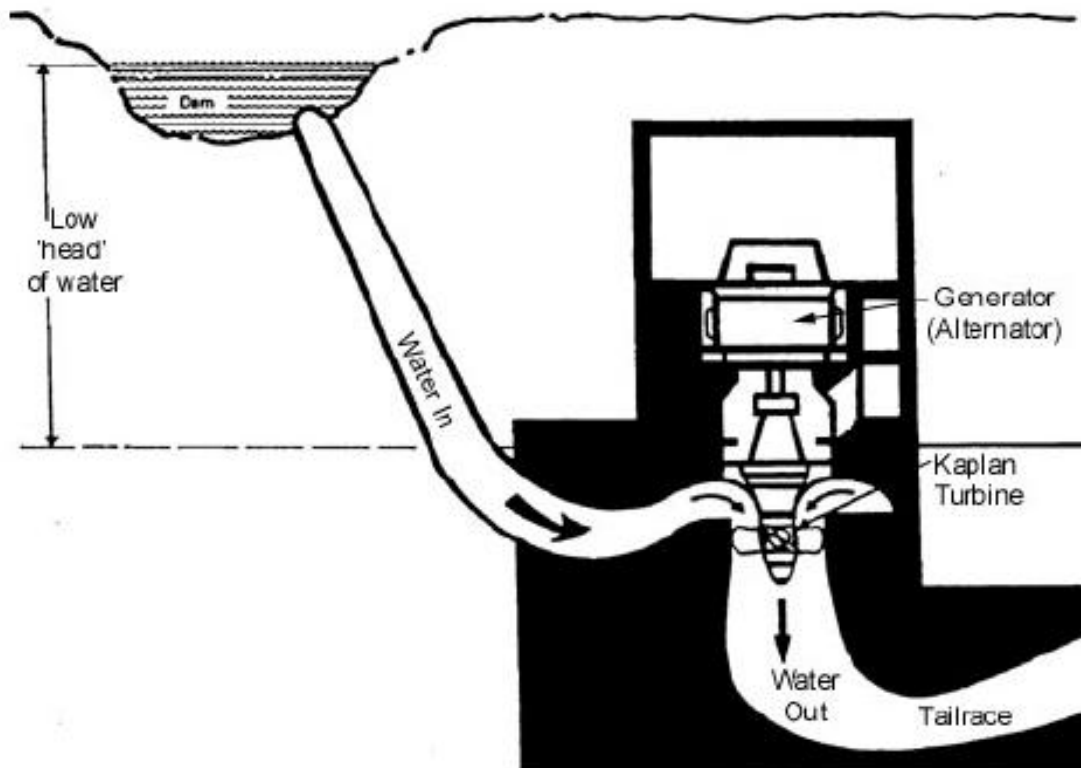
## 1.7 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ

Οι υδροστρόβιλοι αντίδρασης στηρίζονται σε ένα διαφορετικό σχεδιασμό, όπου το ρεύμα του νερού περνάει συνεχώς μέσα από ολόκληρη την περιφέρεια του υδροστρόβιλου, και εξέρχεται αξονικά. Με τον τρόπο αυτό το ρευστό παρέχει μία σταθερή ώθηση στον δρομέα, αντίθετα με τους υδροστρόβιλους πρόσπτωσης όπου υπάρχει μία σειρά από διαδοχικές κρούσεις επάνω στους κάδους του τροχού. Οι πλέον σημαντικοί τύποι υδροστρόβιλων αντίδρασης είναι οι: Francis και Kaplan (οριζοντίου και κατακόρυφου άξονα).

Οι υδροστρόβιλοι αντίδρασης μπορούν να εκμεταλλευθούν μία μεγαλύτερη παροχή, αλλά παρουσιάζουν προβλήματα με τις μεγάλες αυξομειώσεις της πίεσης του ρευστού το οποίο προκαλεί ζημιές στα πτερύγια. Ταυτόχρονα η απόδοση τους μειώνεται σημαντικά όταν υπάρχει μείωση της ροής, και χρειάζεται πιά πολύπλοκος μηχανισμός για αλλαγές της διεύθυνσης των πτερυγίων, ώστε η ροή να είναι πάντα κάθετη σε αυτά.



Σχήμα 13. Υδροηλεκτρικό έργο με υδροστρόβιλο τύπου Francis.

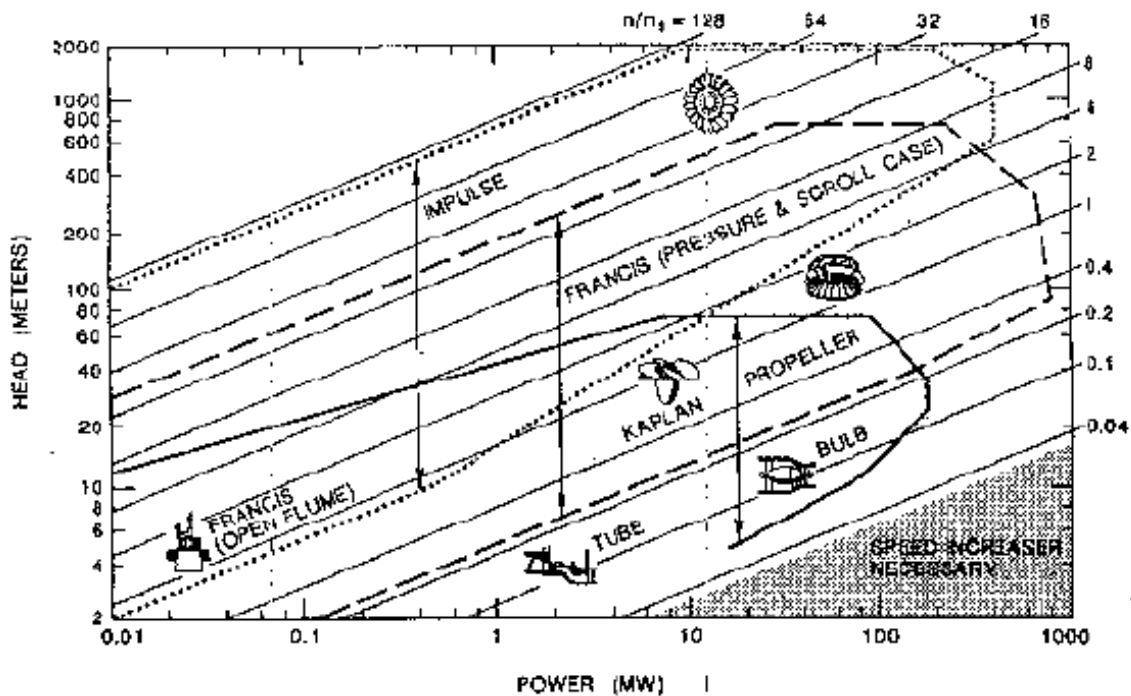


Σχήμα 14. Υδροηλεκτρικό έργο με υδροστρόβιλο τύπου Kaplan.

## 1.8 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

Ανάλογα με τις διαφορετικές συνθήκες σε ένα μέρος, όπως αυτές προσδιορίζονται από το διαθέσιμο ύψος και από την παροχή, επιλέγεται και ένας διαφορετικός τύπος υδροστροβίλου.

Το Σχήμα 15 προσφέρει ένα χρήσιμο οδηγό για την αρχική επιλογή του πλέον κατάλληλου υδροστροβίλου.

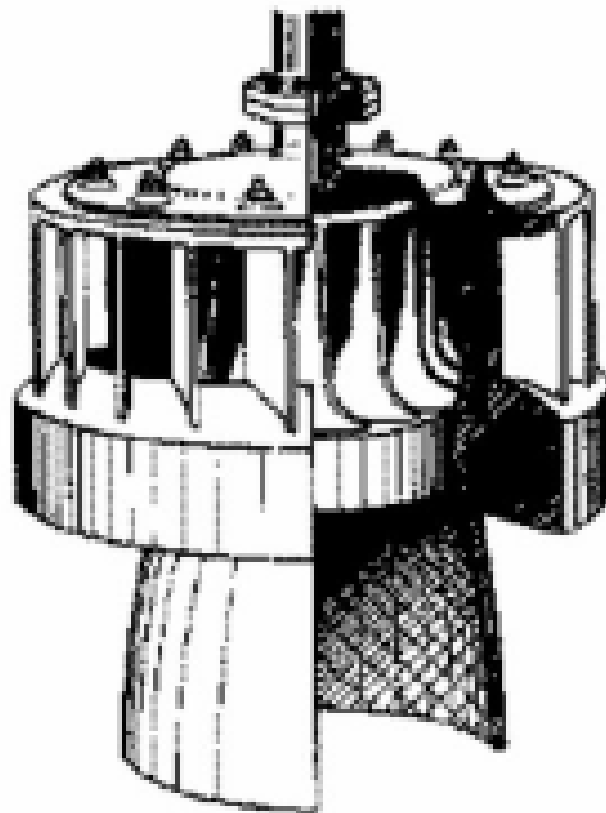


Σχήμα 15. Διάγραμμα επιλογής υδροστροβίλου βάσει της ισχύος και του διαθέσιμου ύψους.

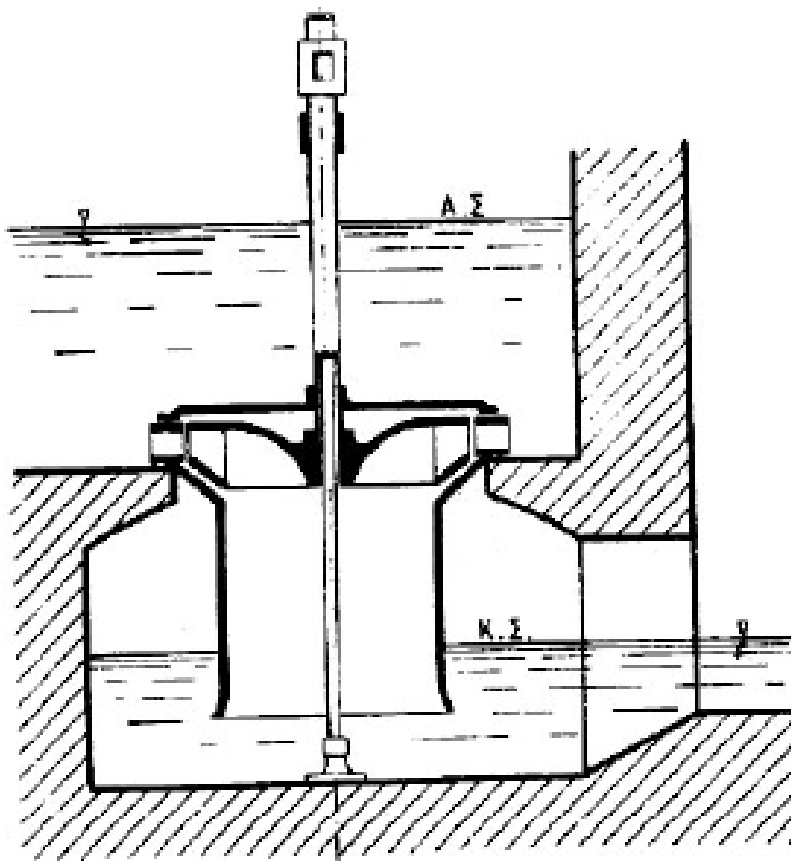
## Υδροστρόβιλος Francis

Ο υδροστρόβιλος Francis (Σχ. 7) είναι ακτινωτός στρόβιλος υπερπίεσεως ολικής προσβολής. Αποτελεί τον κύριο αντιπροσωπευτικό τύπο υδροστροβίλου μέσης πίεσεως, χρησιμοποιούμενος για μεγάλες παροχές νερού.

Στους υδροστροβίλους αυτούς, ο άξονας για μικρά ύψη πτώσεως (συνήθως μέχρι 2,0 m.) είναι κατακόρυφος. Για μεγαλύτερα ύψη, ανάλογα με τη διάταξη των προς κίνηση μηχανημάτων και των ισχυουσών τοπικών συνθηκών, ο άξονας είναι δυνατόν να είναι οριζόντιος ή κατακόρυφος, διάταξη που προτιμάται γιατί παρουσιάζει καλύτερο βαθμό απόδοσης. Εξωτερικά φέρει στεφάνη ενώ εσωτερικά τροχό επί του οποίου ενεργεί η πτώση του νερού. Το νερό καθώς εισέρχεται στον τροχό κατά τη διεύθυνση της ακτίνας αλλάζει στη συνέχεια διεύθυνση και εξέρχεται κατά τον άξονα του, διαφεύγοντας στην αναρροφητική χοάνη που βρίσκεται μετά τον τροχό. Τέλος, το νερό εγκαταλείπει τον στρόβιλο αφού πρώτον αποθέσει ολόκληρη σχεδόν την ενέργεια του.

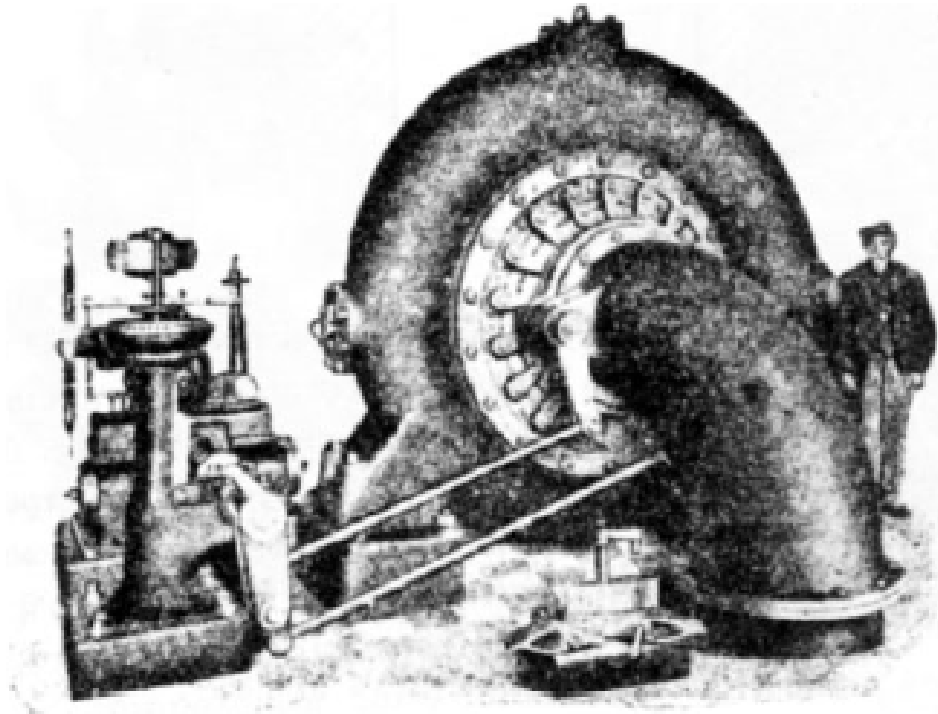


Ο στρόβιλος Francis έδωσε μέχρι σήμερα εξαιρετικά αποτελέσματα λόγω των προτερημάτων τα όποια συγκεντρώνει. Με βεβαιότητα μπορεί να λεχθεί ότι υπερέχει των άλλων στρόβιλων. Είναι εύστροφος και ελαφρός. Φέρει χοάνη αναρροφήσεως η οποία μπορεί να προσαρμοσθεί εύκολα, ενώ συγχρόνως επιτρέπει οριζόντια ή κατακόρυφη διάταξη του άξονα του στρόβιλου και την τοποθέτησή του κοντά στις ηλεκτροπαραγωγικές μηχανές και μέσα στο μηχανοστάσιο. Το σχήμα της χοάνης αυτής μπορεί να είναι κυλινδρικό ή κωνικό. Στην εικόνα 8 φαίνεται υδροστρόβιλος Francis σε λειτουργία.



Σχήμα 7

Η απόδοση του στροβίλου Francis είναι πολύ ικανοποιητική. Όταν είναι τελείως γεμάτη με νερό μπορεί να φθάνει την τιμή 86-87%, ενώ με τη μίση ποσότητα νερού, την τιμή 80% . Γενικά, οι υδροστροβίλοι Francis θεωρούνται ως μηχανές χαμηλής ή μέσης πίεσης, χρησιμοποιούμενοι για μεγάλες υδατοπαροχές για ύψη πτώσεων το πολύ 150 m, με συνήθη τιμή 100 m.



Σχήμα 8



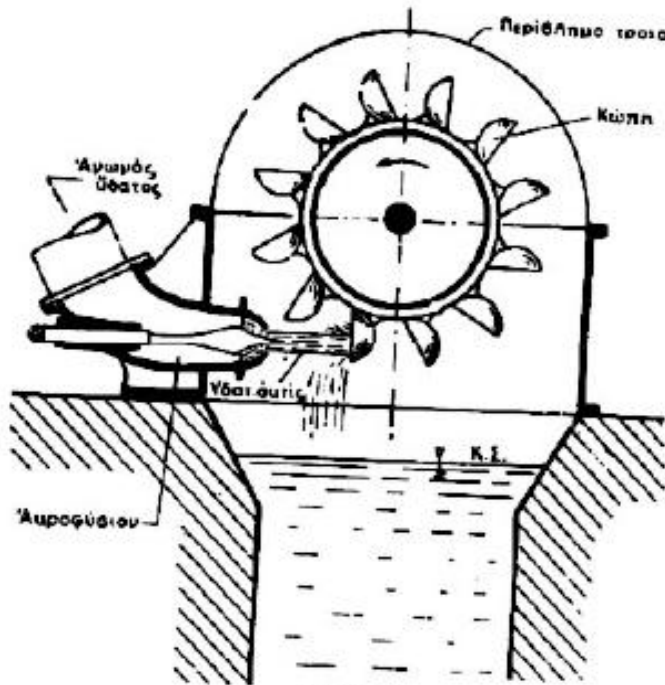
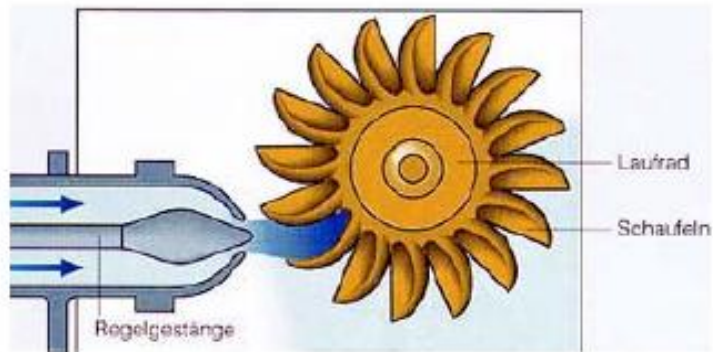
## Τροχός Pelton

Ο τροχός Pelton (Σχ. 9) είναι αξονικός, υδροστροβίλος ελεύθερης ακτίνας. Χρησιμοποιείται, κατά προτίμηση πάντων των άλλων, εκεί όπου λόγω μεγάλου ύψους πτώσεως, δηλαδή άνω των 150 περίπου μέτρων, δεν είναι δυνατόν να γίνει χρήση υδροστροβίλου Francis. Ο υδροστροβίλος Pelton είναι κατάλληλος για εκμετάλλευση υδατοπτώσεων μεγάλου ύψους. Γι' αυτό συνήθως προτείνεται για ορεινές περιοχές όπου η μεγάλη υψομετρική διαφορά αντισταθμίζεται από τη μικρή παροχή ύδατος. Στην περίπτωση αυτή ο άξονας του υδροστροβίλου είναι δυνατόν να είναι κατακόρυφος ή οριζόντιος. Ο στροβίλος Pelton δεν πρέπει να τοποθετείται βυθισμένος στο νερό. Ο τροχός του στροβίλου είναι κλειστός μέσα σε περίβλημα, όπως φαίνεται στις εικόνες. Συνήθως, στο κάτω μέρος ο τροχός Pelton καταλήγει σε ανοικτό σωλήνα του οποίου το άκρο εμβαπτίζεται στο νερό, δηλαδή μέσα στον καλούμενο αγωγό φυγής. Ο τροχός φέρει δίδυμες κώπες περιφερειακά, όπως φαίνεται στις εικόνες. Εδώ οι κώπες αποτελούνται από δυο κοίλες επιφάνειες, όπως διακρίνεται στις εικόνες, που ενώνονται με μία αιχμή. Αρχικά είχε δοθεί σε αυτές σχήμα κυλινδρικό, τα τελευταία όμως χρόνια προτιμήθηκε το ελλειψοειδές.

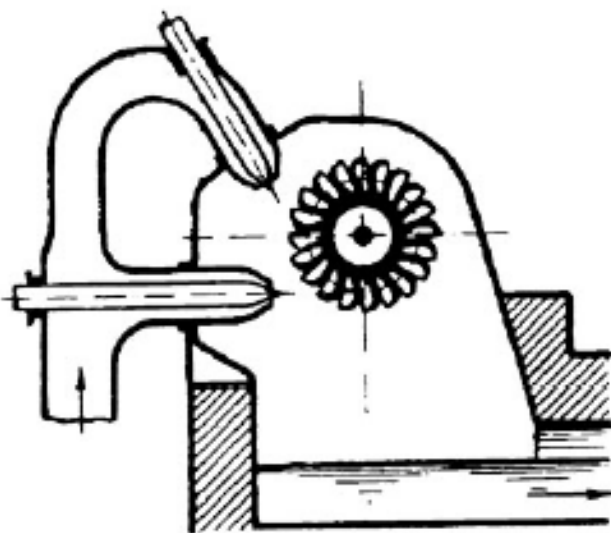
Για την εκτόξευση του νερού πάνω στις κώπες του τροχού γίνεται χρήση ενός μέχρι τεσσάρων ακροφυσίων (Σχ. 10), διατεταγμένων συμμετρικά ως προς την περιφέρεια του τροχού, με διεύθυνση εκτόξευσης εφαπτομενική ως προς τον δρομέα. Εκεί η ενέργεια πτώσεως μετατρέπεται σε ενέργεια πίεσης στον σωλήνα, αυτή με τη σειρά της σε ενέργεια ταχύτητας στο ακροφύσιο και τέλος σε μηχανικό έργο στον τροχό.

Η απόδοση των τροχών Pelton, όταν η ταχύτητα περιστροφής τους είναι ίση με το μισό της ταχύτητας της υδάτινης ακτίνας, γίνεται μέγιστη.

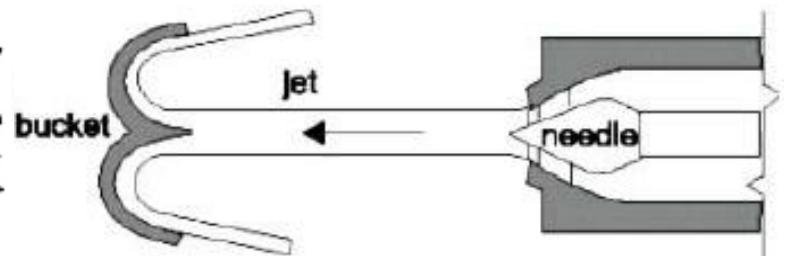
Γενικά, αυτή κυμαίνεται μεταξύ των ορίων 80 μέχρι το πολύ 90%.



Σχήμα 9

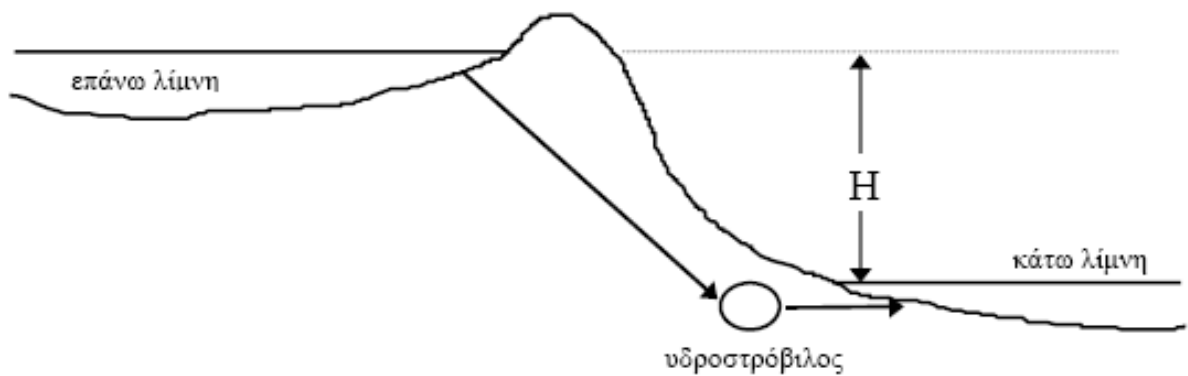


Σχήμα 10



## 1.9 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

Οι βασικές αρχές λειτουργίας ενός υδροηλεκτρικού έργου φαίνονται στο Σχήμα 5. Το νερό, που βρίσκεται σε ένα υψηλό επίπεδο, πέφτει από ένα ύψος  $H$ , και η δυναμική του ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική με την περιστροφή του στροβίλου. Ο περιστρεφόμενος άξονας οδηγεί την ηλεκτρική ενέργεια, η οποία παράγει ηλεκτρισμό.



Σχήμα 5. Τυπική διάταξη υδροηλεκτρικού έργου με δύο λίμνες.

Η ισχύς την οποία διαθέτει μιά μάζα νερού που ρέει από ένα ύψος είναι:

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H$$

Όπου:

$P$  : ισχύς, [ kg m<sup>2</sup> s<sup>-3</sup>]

$\rho$  : πυκνότητα νερού, [ kg m<sup>-3</sup>]

$Q$  : παροχή όγκου του νερού, [m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>]

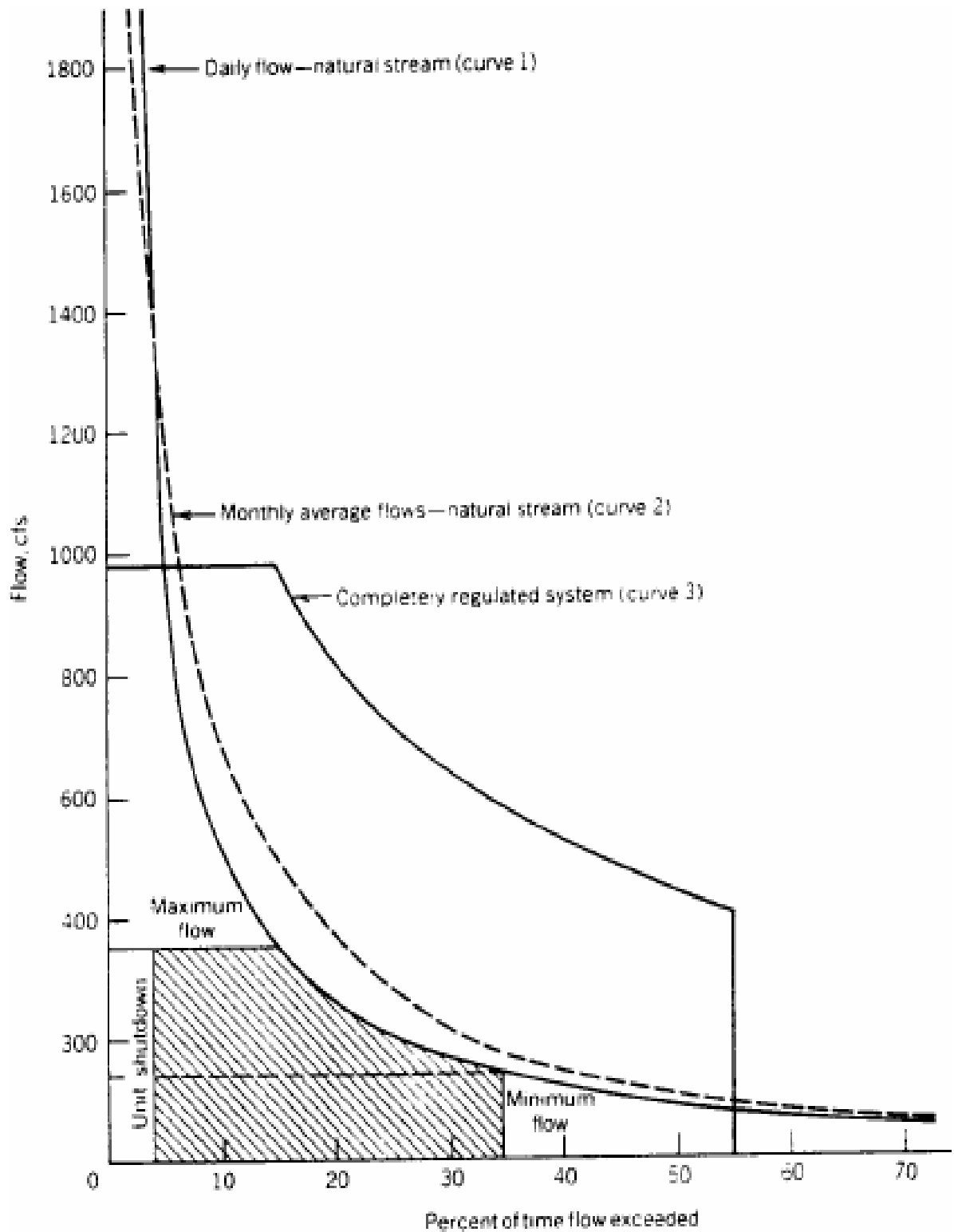
$g$  : επιτάχυνση της βαρύτητας, [m s<sup>-2</sup>]

$H$  : η υψομετρική διαφορά, [m]

Από την βασική αυτή σχέση προκύπτει ότι για να υπάρχει μιά σταθερή ισχύς απαιτείται η παροχή του νερού να είναι σταθερή, και αυτό συνεπάγεται την ύπαρξη ή κατασκευή ενός φράγματος και την ύπαρξη μιά αναγκαίας στάθμης βροχόπτωσης, συνήθως όχι μικρότερης από 400 mm το χρόνο. Με

προσεγγιστικά δεδομένα (ακρίβεια 50%) μπορεί να γίνει μιά πρώτη εκτίμηση, αλλά για μιά πλήρη μελέτη απαιτούνται κλιματολογικά στοιχεία για μιά χρονική περίοδο ορισμένων χρόνων, καθώς τα μετεωρολογικά φαινόμενα είναι στοχαστικά.

Στο Σχήμα 6 φαίνονται τυπικές καμπύλες διάρκειας ροής. Ο άξονας των  $\psi$  δείχνει την ροή, ενώ στον άξονα των  $\chi$  είναι το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο μιά ροή είναι μεγαλύτερη ή ίση από την συγκεκριμένη ποσότητα ροής. Οι καμπύλες αυτές επιτρέπουν να εκτιμηθεί η διαθεσιμότητα της παροχής με τον χρόνο και στην συνέχεια η ισχύς και η παραγόμενη ενέργεια.



Σχήμα 6. Τυπικές καμπύλες διάρκειας ροής.

Για το υπολογισμό της υψομετρικής διαφοράς  $H$ , χρησιμοποιούνται τριγωνομετρικές μέθοδοι, ενώ για τον υπολογισμό της παροχής όγκου  $Q$ , που είναι πίο δύσκολος, απαιτείται ο υπολογισμός τόσο της ταχύτητας  $u$ , όσο και της επιφανείας  $A$ , σύμφωνα με την σχέση:

$$Q = u \times \vec{n} \times dA \quad : \text{ μέση ταχύτητα x επιφάνεια ροής}$$

όπου:

- $Q$  : παροχή όγκου [  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  ]
- $u$  : ταχύτητα [  $\text{m s}^{-1}$  ]
- $\vec{n}$  : κάθετο διάνυσμα στην επιφάνεια ροής [ ]
- $dA$  : στοιχειώδης επιφάνεια ροής [  $\text{m}^2$  ]

## 1.10 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΤΡΟΧΟΥ Pelton

Αν η ταχύτητα του νερού κατά την έξοδο από το ακροφύσιο είναι  $u$  και η σταθερή ταχύτητα μετατοπίσεως του κάδου  $u_{\text{κάδου}}$ , τότε η δύναμη που αναπτύσσεται  $F$  (Σχήμα 13) υπολογίζεται:

$$F = 2 \times r \times Q \times (u - u_{\text{κάδου}}) \times \vec{X}$$

όπου  $Q$  είναι η συνολική παροχή,  $\rho$  η πυκνότητα του νερού, και  $\vec{X}$  το μοναδιαίο διάνυσμα του άξονα αναφοράς. ( Η σχέση προκύπτει με εφαρμογή του νόμου μεταβολής της ορμής του ρευστού).

Η ισχύς που αναπτύσσεται από την εφαρμογή αυτής της δυνάμεως επάνω στον κινούμενο κάδο είναι:

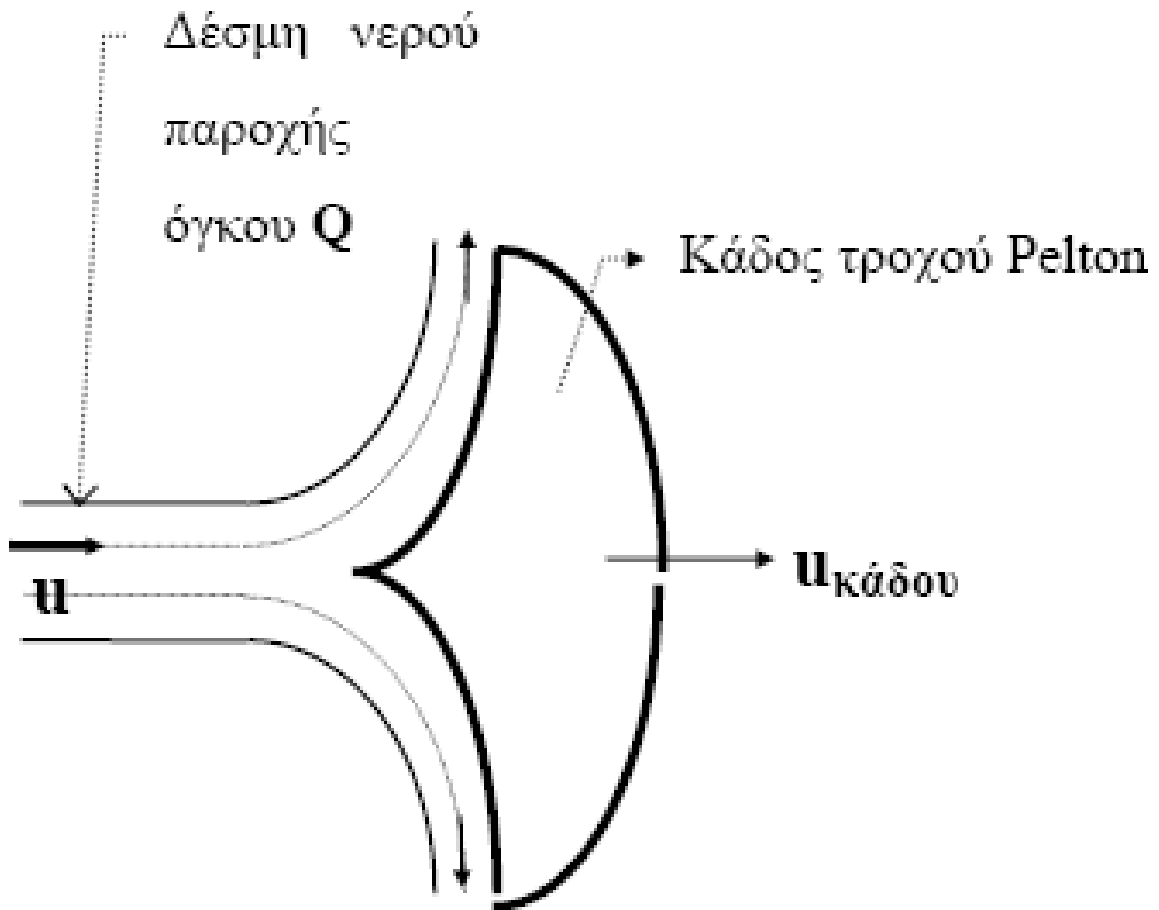
$$P = F \times u_{\text{κάδου}} = 2 \times r \times Q \times (u - u_{\text{κάδου}}) \times u_{\text{κάδου}}$$

Η μέγιστη ισχύς θα ισχύει όταν:

$$u_{\text{κάδου}} = \frac{1}{2} u$$

είναι δε

$$P_{\text{max}} = \frac{1}{2} \times r \times Q \times u^2$$



Σχήμα 13. Ταχύτητες νερού σε ακροφύσιο και κάδο σε ακίνητο σύστημα αξόνων.

Η ισχύς αυτή είναι θεωρητική, ο βαθμός απόδοσης του τροχού Pelton είναι συνήθως της τάξεως  $\eta = 0.5$  έως  $0.9$ .

Αν το διαθέσιμο ύψος είναι  $H$ , τότε η ταχύτητα του νερού υπολογίζεται σύμφωνα με την αρχή του Bernoulli:

$$u = \sqrt{2gH}$$

όπου  $\mathbf{g}$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας.



Καθώς δε η συνολική παροχή διοχετεύεται μέσα από  $n$  ακροφύσια, έκαστον με διατομή  $a$ , η συνολική παροχή θα είναι:

$$Q = n \cdot a \cdot u$$

Λαμβάνοντας υπόψη τον βαθμό απόδοσης  $\eta$ , η διαθέσιμη ισχύς από τον τροχό θα είναι:

$$\begin{aligned} P_o &= n \times P \\ &= n \frac{1}{2} \times r \times Q \times u^2 \\ &= \frac{1}{2} \times r \times Q \times n \times a \times (2 \times g \times H)^{3/2} \end{aligned}$$

$\eta$  ο βαθμός απόδοσης  
 $\rho$  η πυκνότητα  
 $n$  ο αριθμός των ακροφυσίων  
 $a$  η επιφάνεια της διατομής του ακροφυσίου  
 $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας

Η η υψομετρική διαφορά του νερού.

Στην περίπτωση που ο τροχός Pelton έχει ακτίνα  $R$  και στρέφεται με γωνιακή ταχύτητα  $\omega$ , τότε η ισχύς  $P$  θα είναι:

$$\begin{aligned} P &= F \times R \times u_{kadou} \\ &= F \times R \times w \end{aligned}$$

έτσι θα έχουμε:

$$R = \frac{1}{2} \sqrt{2 \times g \times H} \times w^{-1}$$

Η διατομή των ακροφυσίων είναι κυκλική με ακτίνα  $r_{ακρ}$  συνεπώς

$$r_{ακρ}^2 = \frac{P_o}{n \times r \times h \times p \times (g \times H)^{3/2} \times \sqrt{2}} \quad \text{αφού } \alpha = \pi r_{ακρ}^2$$

έτσι έχουμε:

$$\frac{r_{ακρ}}{R} = 0.68(h \times n)^{-1/2} \times SN$$

τελικά προκύπτει:

$$SN = \frac{P_o^{1/2} \times w}{r^{1/2} \times (g \times H)^{5/4}}$$

Η παραπάνω σχέση συνδέει το σχήμα του τροχού Pelton (μέσω των  $r_{ακρ}$ ,  $R$ ,  $n$ ) και την παράμετρο  $SN$  που χαρακτηρίζει τις συνθήκες λειτουργίας και επομένως την μηχανική απόδοση κάτω από αυτές τις συνθήκες.

**Π  
Α  
Ρ  
Α  
Ρ  
Τ  
Η  
Η  
Μ  
Α  
Β**

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ  
ΜΕΡΟΣ**

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>**

### **2.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή μιας κατασκευής πειραματικής συσκευής ενός Τροχού Pelton. Η προσπάθεια που έγινε είχε σαν απότερω σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ολοκλήρωση της πειραματικής συσκευής του Τροχού Pelton, επιτεύχθηκε από την συναρμολόγηση επιμέρους κομματιών.

Τα κομμάτια τα οποία κατασκευάστηκαν το κάθε ένα ξεχωριστά, σχεδιάστηκαν αρχικά, με χρήση του προγράμματος AutoCad και κατόπιν επισκεφτήκαμε εξειδικευμένο μηχανουργείο.

Η γεννήτρια που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ήταν ένα δυναμό ποδηλάτου ισχύος 3Watt.

## 2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΤΡΟΧΟΥ PELTON

Ο Τροχός Pelton κατασκευάστηκε σε εξειδικευμένο μηχανουργείο υπό την επίβλεψη Μηχανολόγου Μηχανικού.

Για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τόννος γενικών κατεργασιών, φρεζοδράπανο και στατικός επιτραπέζιος δρέπανος.

Ο Τροχός Pelton κατασκευάστηκε εξολοκλήρου από αλουμίνιο ειδικού κράματος αεροναυτικής προδιαγραφών PECHINEY IS 5400. Με περιεκτικότητα σε Χαλκό 1.5 %, Μαγνήσιο 2.5 % και Ψευδάργυρο 5.8 %.

Οι Μηχανικές Ιδιότητες του εν λόγω κράματος προσδιορίζονται ως εξής.

Όριο Θραύσης 580 MPa , Όριο Ελαστικότητας 510 MPa και Σκληρότητα κατά BRINELL 180.

Οι Φυσικές Ιδιότητες του κράματος αναφέρονται ως εξής. Ειδικό Βάρος 2.81 Kg/dm<sup>3</sup> και Θερμική Αγωγιμότητα 134 W/mC.

Η άτρακτος που συνδέει τον Τροχό Pelton με την γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος κατασκευάστηκε από αλουμίνιο τύπου AW – 7075 με Όριο Θραύσης 550 MPa και Όριο Ελαστικότητας 500 MPa .

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν επιλέχθηκαν από κατάλληλους πίνακες όπως φαίνεται παρακάτω:

Η

**Arenal** s.a.

ΑΝΩΝΥΜΟΣ ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ

ΣΕ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΗΝ

**PECHINEY  
RHENALU**

ΣΑΣ ΠΡΟΣΚΑΛΟΥΝ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ ΤΟΥ

**FORTAL**

**ALUMOLD**

**ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ**

Η ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΛΥΣΗ

**ΑΝΤΑΓΩΝΙΖΕΤΑΙ** δυναμικά τον ΧΑΛΥΒΑ

ΦΥΛΛΑ - ΠΛΑΚΕΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ		
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	ALUMOLD 1	FORTAL HR
ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ RESHINEY	IS 5614	IS 5400
ΜΟΡΦΗ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ	ΠΛΑΚΕΣ	ΦΥΛΛΑ
<b>ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ</b> Σειρά Κράματος	7000	7000
Χαλκός Cu	1,6	1,5
Μαγνήσιο Mg	2,4	2,5
Ψευδάργυρος Zn	6,0	5,8
<b>ΠΑΧΗ</b>	από 25 mm έως 305 mm	από 8 mm έως 20 mm
<b>ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ</b>		
ΟΡΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ Rm (MPa)	580	580
ΟΡΙΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Rp0.2 (MPa)	530	510
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ - BRINELL HB	185	180
<b>ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ</b>		
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,82	2,81
ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (W/m C)	153	134
<b>ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	ΔΕΝ ΣΥΝΙΣΤΑΤΑΙ	
ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ - ΜΟΝΤΑΡΙΣΜΑ	ΚΑΛΗ	
ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ - ΕΠΙΣΚΕΥΗ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	
ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ - ΚΟΠΗ ΡΙΝΙΣΜΑΤΩΝ	ΑΡΙΣΤΗ	
ΣΚΛΗΡΗ ΑΝΟΔΙΩΣΗ		
<b>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ</b>	ΚΑΛΟΥΠΙΑ INJECTION ΚΑΛΟΥΠΙΑ ΦΥΣΗΤΑ ΚΑΛΟΥΠΙΑ THERMOFORMING ΜΗΤΡΕΣ ΓΕΝΙΚΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	
<b>ΔΙΑΡΚΕΣ ΣΤΟΚ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ</b>	1000 X 2000 1250 X 2500 1500 X 3000	

## Η ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ ΓΙΑ ΜΗΤΡΕΣ - ΚΑΛΟΥΠΙΑ ΓΙΑΤΙ ΑΝ ΕΙΣΑΙ

### ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΤΗΣ

- ΜΕΙΩΝΕΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
- ΠΡΟΣΦΕΡΕΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΕΥΕΛΕΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ
- ΑΥΞΑΝΕΙ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ

### ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

- ΜΕΙΩΝΕΙ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΕΝΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ
- ΜΕΙΩΝΕΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ
- ΑΥΞΑΝΕΙ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ

## ΖΗΤΗΣΤΕ ΤΗΝ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΕΠΙΘΥΜΕΙΤΕ



## ΑΛΟΥΜΙΝΙΑ

ΡΑΒΔΟΙ ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΙ ΓΕΜΑΤΟΙ  
TOOL MASTER  
ΡΑΒΔΟΙ ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΙ ΓΕΜΑΤΟΙ & ΔΑΤΡΗΤΟΙ  
ΕΥΡΩΠΗΣ  
ΠΛΑΚΕΣ ΧΟΝΔΡΕΣ ΕΙΣΙΡΕΣ ΓΙΑ ΜΗΤΡΕΣ  
ΚΑΛΟΥΠΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΦΥΛΛΑ ΕΠΙΓΕΔΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝΗΣ - ΦΑΛΑΣΣΗΣ  
ΦΥΛΛΑ ΑΥΛΑΚΩΤΑ - ΦΥΛΛΑ DAMPER  
ΣΩΛΗΝΕΣ - ΛΑΜΕΣ - ΓΩΝΙΕΣ - ΤΑΞ - ΓΒ

Πλεονεκτήματα του **ALUMOLD** είναι:

- Η υψηλή του κατεργασιμότητα, που μειώνει το κόστος και τον χρόνο κατεργασίας
- η υψηλή του θερμική αγωγιμότητα, που αυξάνει την παραγωγικότητα του καλούπιου
- οι μηχανικές ιδιότητες του αλουμινίου, που ανταποκρίνονται εξαιρετικά στις έντονες τάσεις και πιέσεις με αποτέλεσμα να υπάρχει καλύτερη πιστότητα διαστάσεων κατά την διάρκεια της κατεργασίας
- το αλουμίνιο είναι ελαφρύ, γεγονός που συμβάθει στην ακόμα μεγαλύτερη μείωση του κόστους
- η πολύ καλή αντοχή στην διάβρωση

Το **FORTAL** είναι κατάλληλο για επιφανειακή κατεργασία.

Μπορεί να δεχτεί σκληρή ανοδείωση 0,03 - 0,1 mm, σκληροχρωμίσωση ή επικάλυψη με NICKEL για αύξηση της σκληρότητας και της αντοχής στον καιρό και την διάβρωση (διάρκεια παραμονής στον αέρα και τη θάλασσα)

Το υλικό ΔΕΝ δέχεται επί πλέον θερμική κατεργασία γιατί έχει υποστεί εσωτερική αποβολή τάσεων και πλήρη θερμική κατεργασία.

Λόγω υψηλών αντοχών και της ειδικής πυκνότητας που έχει σαν υλικό (ειδικό κράμα αεροναυτικής) αντέχει σε υψηλά φορτία

$$\text{Θερμική εκτόνωση: } LT_1 = LTo[1 + \alpha(T_1 - To)]$$

όπου  $LT_1$  = Μήκος στην θερμοκρασία  $T_1$

$LTo$  = Μήκος στην θερμοκρασία αναφοράς  $To$

συνήθως  $20^\circ C$

$\alpha$  = Συντελεστής διαστολής που για το FORTAL HR είναι  $23,7 \times 10^{-6} / ^\circ C$

Δηλαδή μια πλάκα μήκους 1 μέτρου σε θερμοκρασία  $20^\circ C$ ,

θα παρουσιάσει επιμήκυνση ίση με:

$$L65^\circ = 111 + 23,7 \times 10^{-6} (65 - 20) \quad m = 1,0010665$$

δηλαδή επιμήκυνση 1,0665 mm



## ΑΝΤΑΓΩΝΙΖΟΝΤΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΤΟΝ ΧΑΛΥΒΑ

### ΑΥΑΝΙ

### ΨΥΤΙΣΗ ΠΑΡΩΝ

### Aluminium Brass

### Condenser Tubes

'YORCALBRO' COPPER NICKEL



**Arenal** s.a.

ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ  
ΠΡΟΗΓΜΕΝΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

**PECHINEY  
RHENALU**



Γρήγορη  
Κατεργασία

Μικρότερη  
φθορά  
εργαλείων

Μείωση του  
κύκλου  
παραγωγής

**ΚΡΑΜΑ 7075**

**ALUMOLD®**

Για περισσότερη Αποδοτικότητα  
Παραγωγικότητα  
και Κερδοφορία

**ΣΤΡΟΓΓΥΛΟ - ΜΑΣΙΦ**



ΑΠΟ Ø 14 - 350 mm

Το Alumold είναι μια οικογένεια κραμμάτων (αλουμινίου) με υψηλές μηχανικές ιδιότητες. Χαρακτηρίζονται από την αντοχή τους στην διάβρωση, την ευκολία συγκόλλησης (laser), την λαμπερή επιφάνεια τους και την ευκολία χάραξης. Η εξαιρετική θερμική αγωγιμότητα των κραμμάτων Alumold μειώνει τον κύκλο παραγωγής από 20% έως 50%.

Καλύτερη  
ποιότητα  
τελικού  
προϊόντος

[info@arenal.gr](mailto:info@arenal.gr)  
[www.arenal.gr](http://www.arenal.gr)

Πολυδύκου 42 & Ασκληπιού 20 • 185 45 ΠΕΙΡΑΙΑΣ  
Πωλήσεις: Τηλ.: 210 4222872 • Fax: 210 4173864

**ΚΡΑΜΑ 7075 T6 - 7075 T6 - 7075 T6 - 7075 T6 - 7075 T6 - 7075 T6 - 7075 T6**



## Hochfeste Aluminium - Stangen Extruded alu - bars

● EN AW-7075  
(AlZnMgCu 1.5)  
**Rundstangen**  
gezogen / gepresst / gegossen und  
abgedreht - nach DIN EN 573-3,  
754-1 bis - 3 gezogen, 755-1 bis -3 gepresst

Durchmesser in mm	Gewicht pro lfdm in Kg
8	0,14
10	0,22
15	0,50
18	0,72
20	0,89
25	1,40
30	2,01
35	2,74
40	3,58
45	4,53
50	5,59
55	6,77
60	8,05
70	10,96
75	12,58
80	14,32
85	16,16
90	18,12
95	20,19
100	22,37
110	27,07
120	32,22
130	37,81
140	43,85
150	50,34
160	57,27
170	64,66
180	72,49
190	80,76
200	89,49
210	98,60
220	108,28
230	118,35
240	128,87
250	139,83
260	151,24
270	163,10
275	169,18
280	175,40
300	201,35
320	299,09
350	274,06
400	357,96

# ΣΤΡΟΓΓΥΛΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ 7075 - T6

από  $\varnothing$  13 - 350

## ALUMOLD - Stangen / ALUMOLD - bars

● ALUMOLD AM 1-500

**Rundstangen**  
ALUMOLD - Stangen in AM 1-500 Können in Werksmengen mit  
Lieferzeit angefertigt werden.

Abmessung in mm	Rm (MPa)	Rp 0.2 (MPa)	A (%)	Rm (MPa)	Rp 0.2 (MPa)	A (%)
25 < D < 120	550	500	8,5	580	540	12
121 < D < 200	530	480	8	560	520	11

Mindestwerte Typische Werkswerte

(Werte bei 1/4 der Dicke gemessen)

Τα μέρη με τα οποία έγινε η συναρμολόγηση είναι :

- 1) Σκαφίδια
- 2) Άτρακτος
- 3) Τροχός – Δίσκος
- 4) Κύρια Βάση
- 5) Ακροφύσιο
- 6) Δευτερεύουσα Βάση
- 7) Ένσφαιρος τριβέας – Ρουλεμάν
- 8) Γεννήτρια Παραγωγής Ηλεκτρικού Ρεύματος (3Watt)
- 9) Λαμπτήρες (6Volts)
- 10) Καλώδια ( για την συνδεσμολογία Γεννήτριας – Λαμπτήρων )

### **2.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ**

**Σκαφίδια :** Αρχικά δημιουργήθηκαν ορθογώνια παραλληλόγραμμα πλακίδια πάχους 10mm δώδεκα το σύνολο τα οποία στη συνέχεια με την χρήση φρεζοδράπανου διαμορφώθηκε το κοίλο τμήμα τους. Μετά το πέρας της κατεργασίας αυτής οι μικροατέλειες διορθώθηκαν με λίμα στο χέρι.

**Άτρακτος :** Οι τελικές διαστάσεις της ατράκτου επιτεύχθηκαν με την χρήση τόρνου γενικών κατεργασιών.

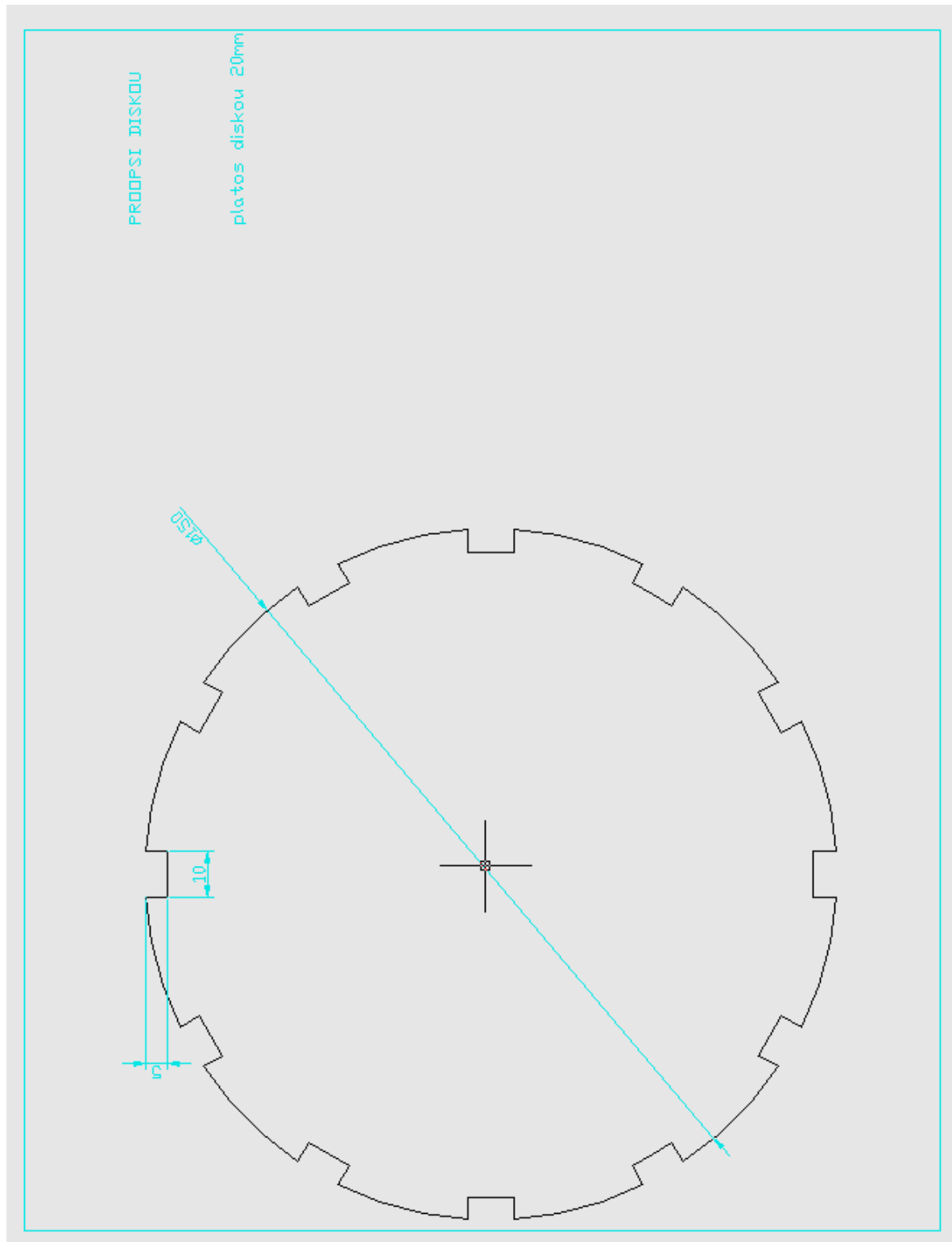
**Τροχός – Δίσκος :** Η τελική διάμετρος του επιτεύχθηκε με την χρήση τόρνου γενικών κατεργασιών και οι εγκοπές στην περίμετρο του κατασκευάστηκαν με την χρήση φρέζας.

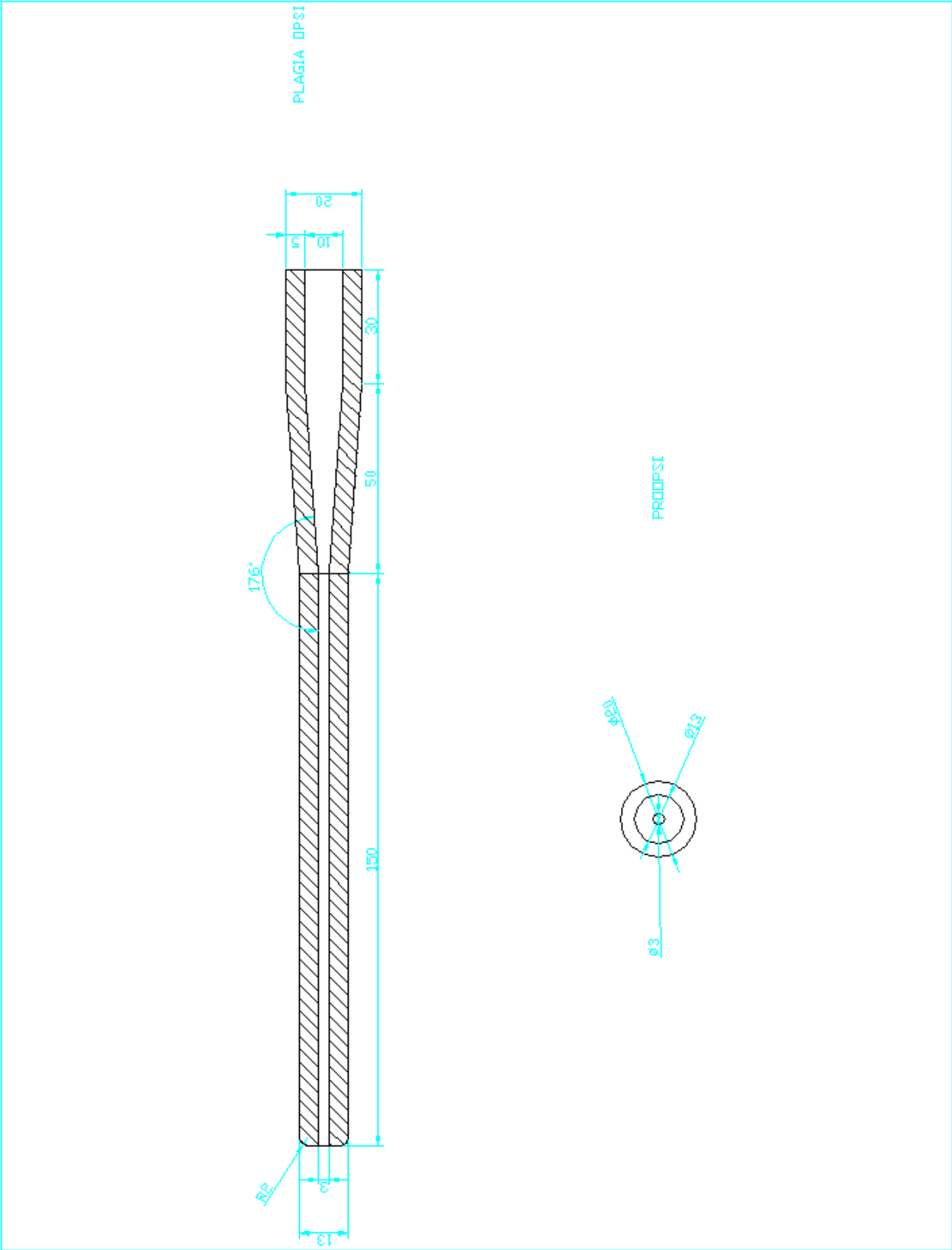
**Κύρια Βάση :** Είναι κατασκευασμένη από ξεχωριστά κομμάτια τα οποία συγκολλήθηκαν μεταξύ τους. Το έδρανο του ένσφαιρου τριβέα κατασκευάστηκε στον τόρνο. Η οπή στην δεξιά πλευρά της βάσης έγινε σε στατικό δρόπανο.

**Ακροφύσιο :** Κατασκευάστηκε στον τόρνο από μασίφ δοκό αλουμινίου. Η οπή στο μέσον του ακροφυσίου έγινε και αυτή στον τόρνο.

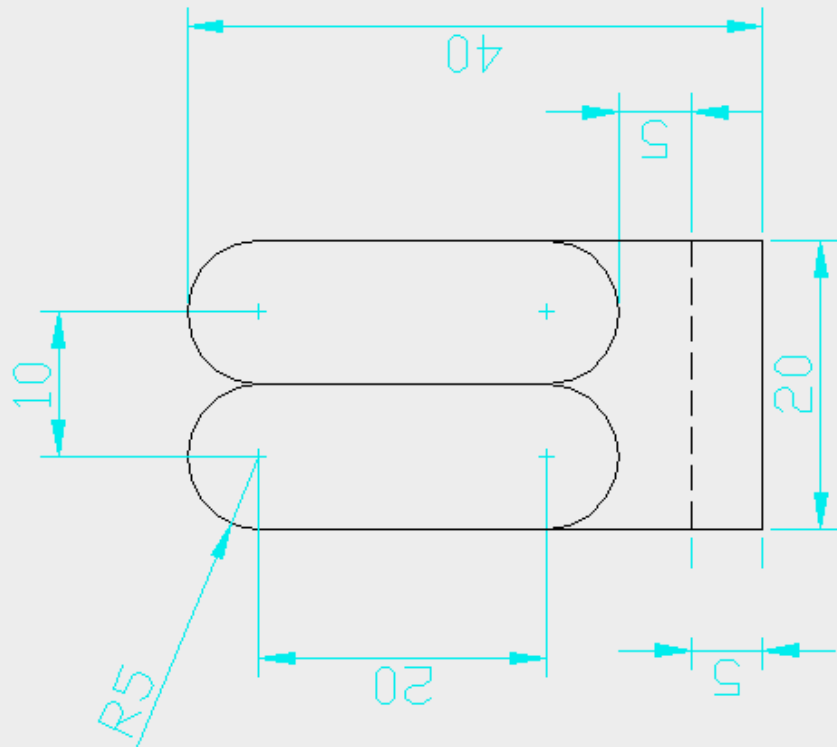
## 2.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ

Τα σκαριφήματα της πειραματικής συσκευής του Τροχού Pelton σχεδιάστηκαν με την χρήση του προγράμματος AutoCad 2000LT, τα κατασκευαστικά σχέδια των οποίων φαίνονται παρακάτω:

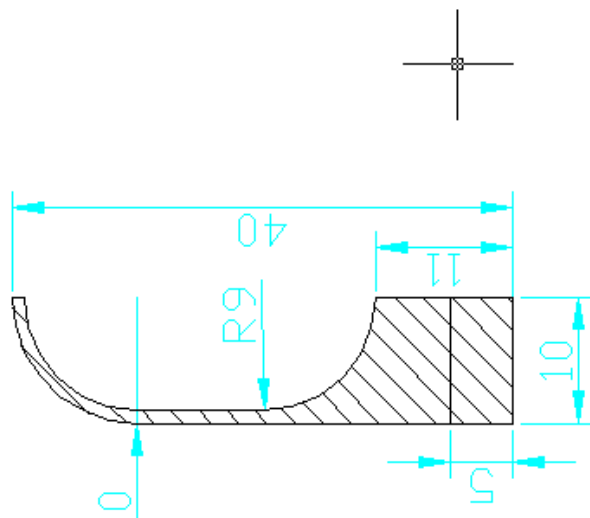




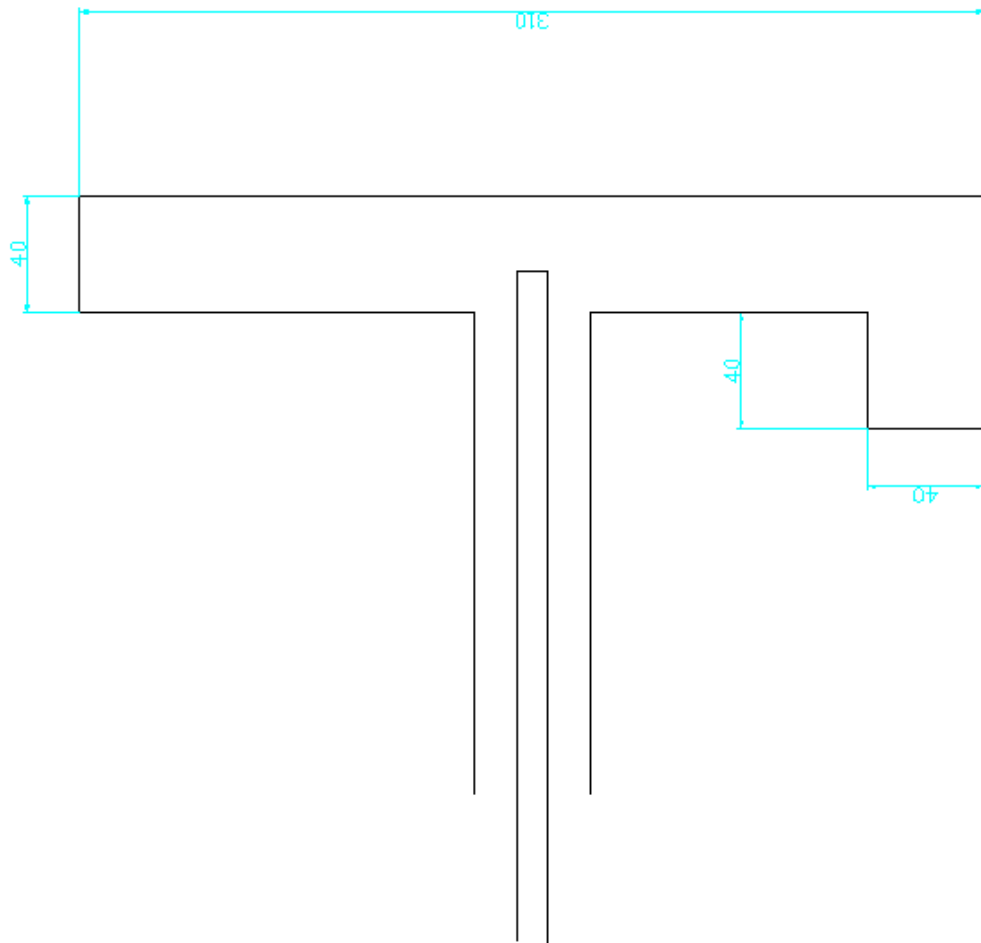
# PROORSI SKAFIDIU



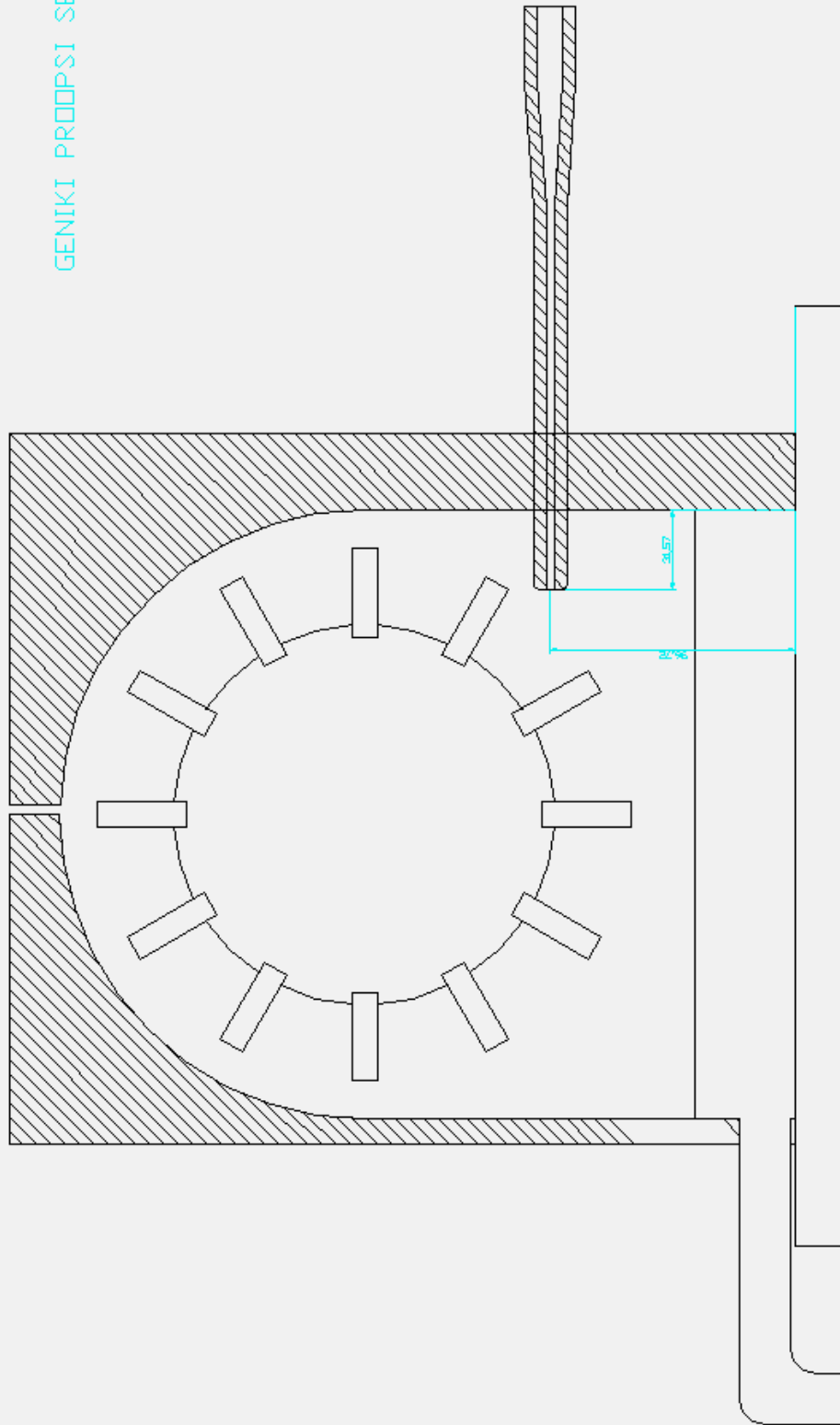
PLAGIA DPSI SKAFIDIDU SE TOMI



GENIKI PLAGIA DPSI KIRIAS BASIS

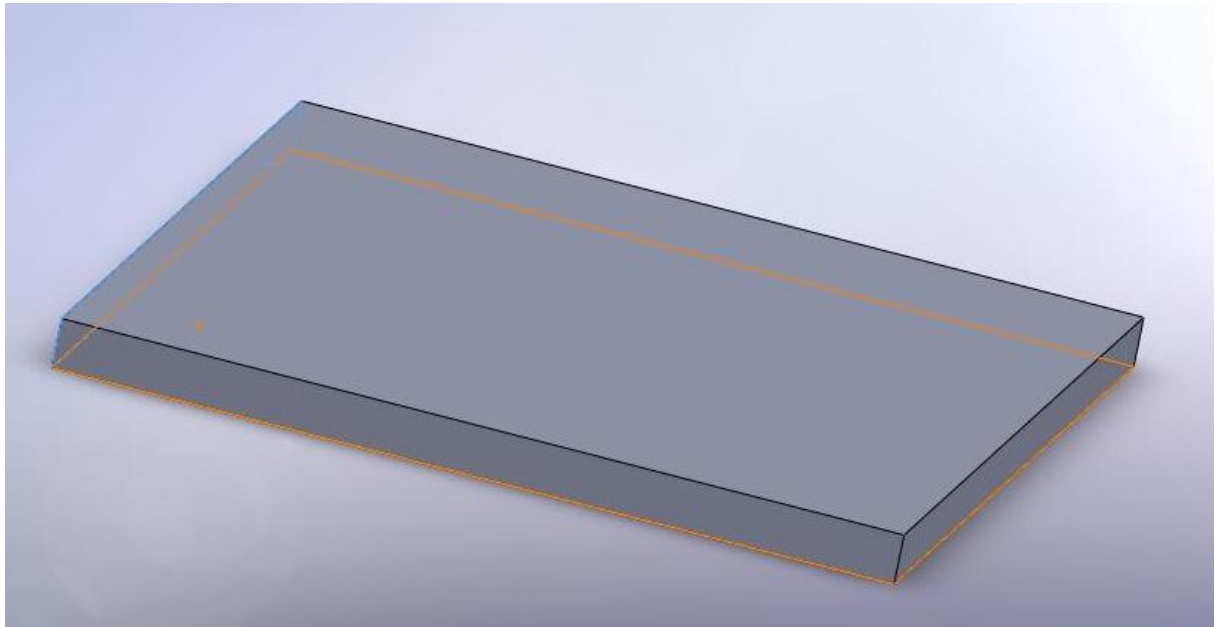


GENIKI PROOPSI SE TOMI

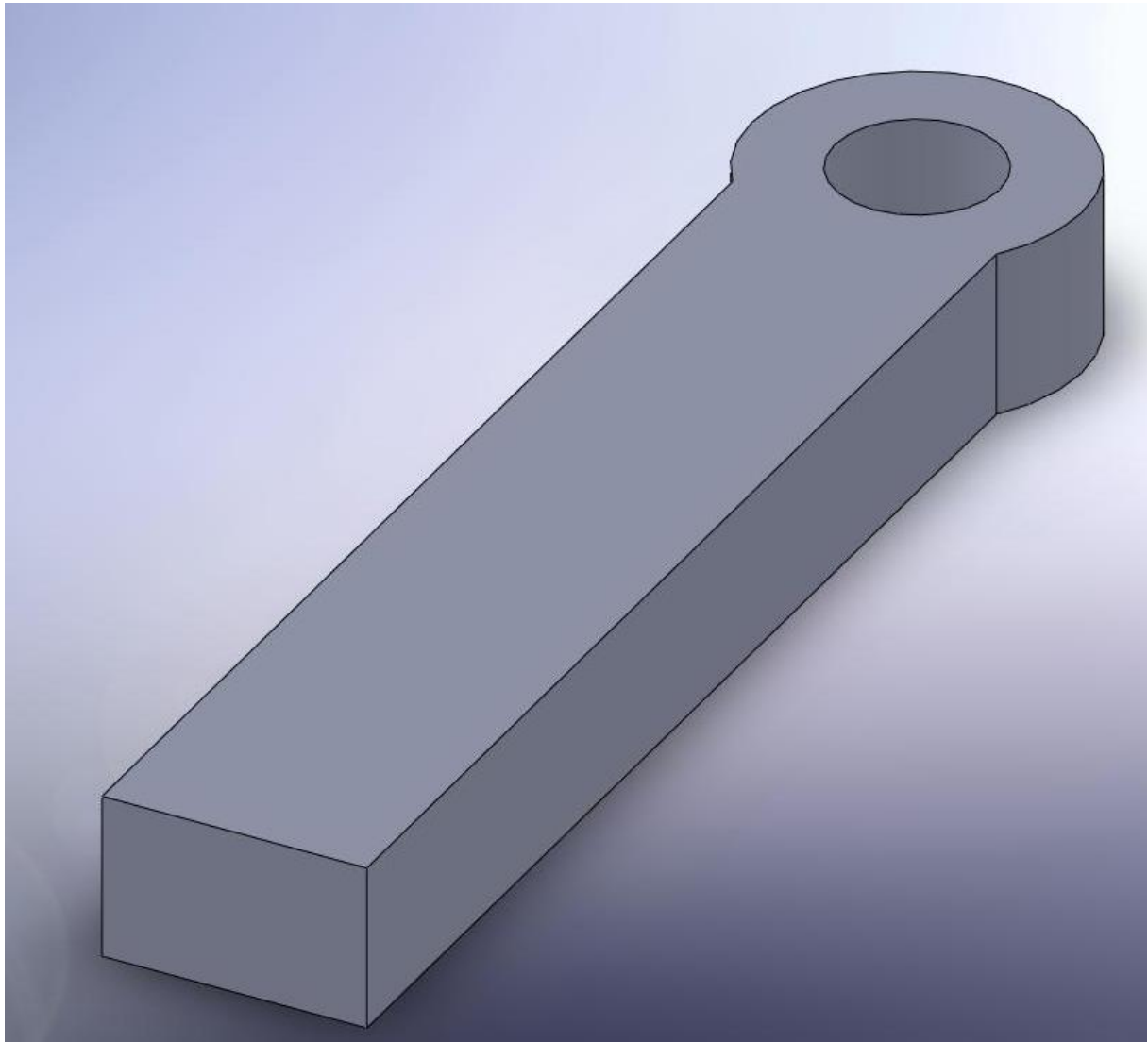




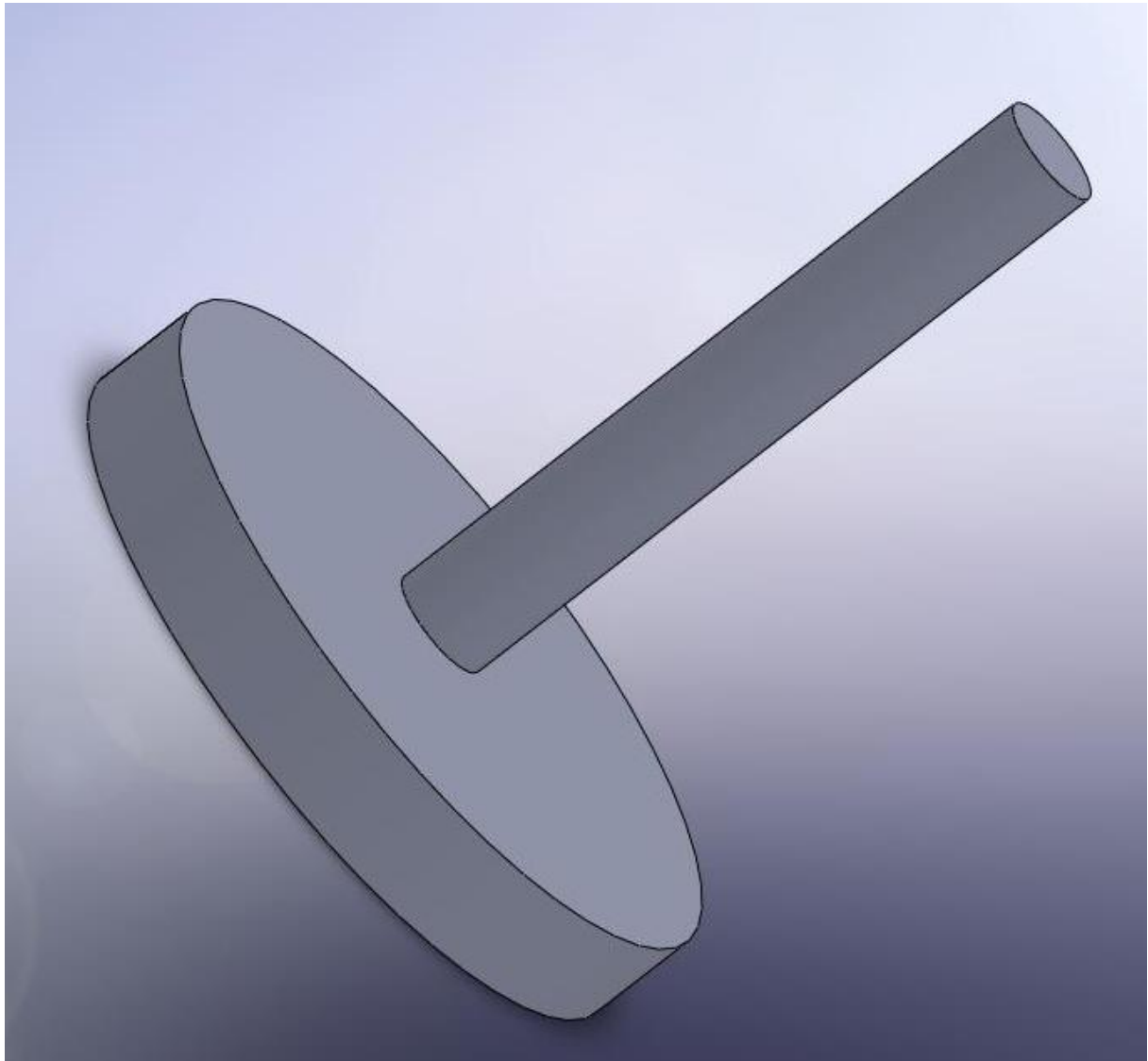
Επίσης χρησιμοποιώντας το σχεδιαστικό πρόγραμμα SolidWorks έγινε μια προσπάθεια τρισδιάστατης απεικόνισης της συσκευής. Παρακάτω παρατίθενται κάποιες απλές εικόνες:



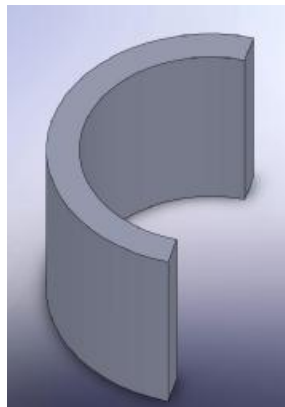
βάση



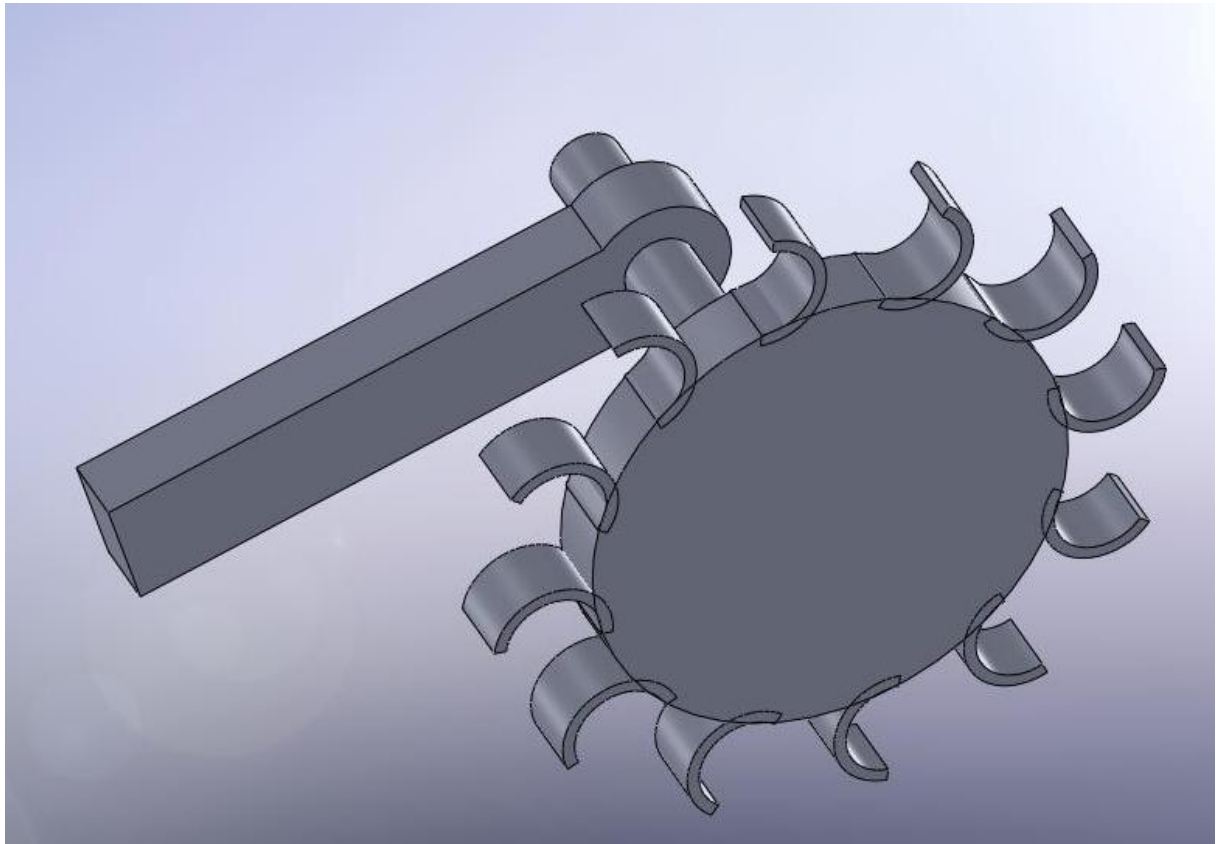
στήριξη εδράνου



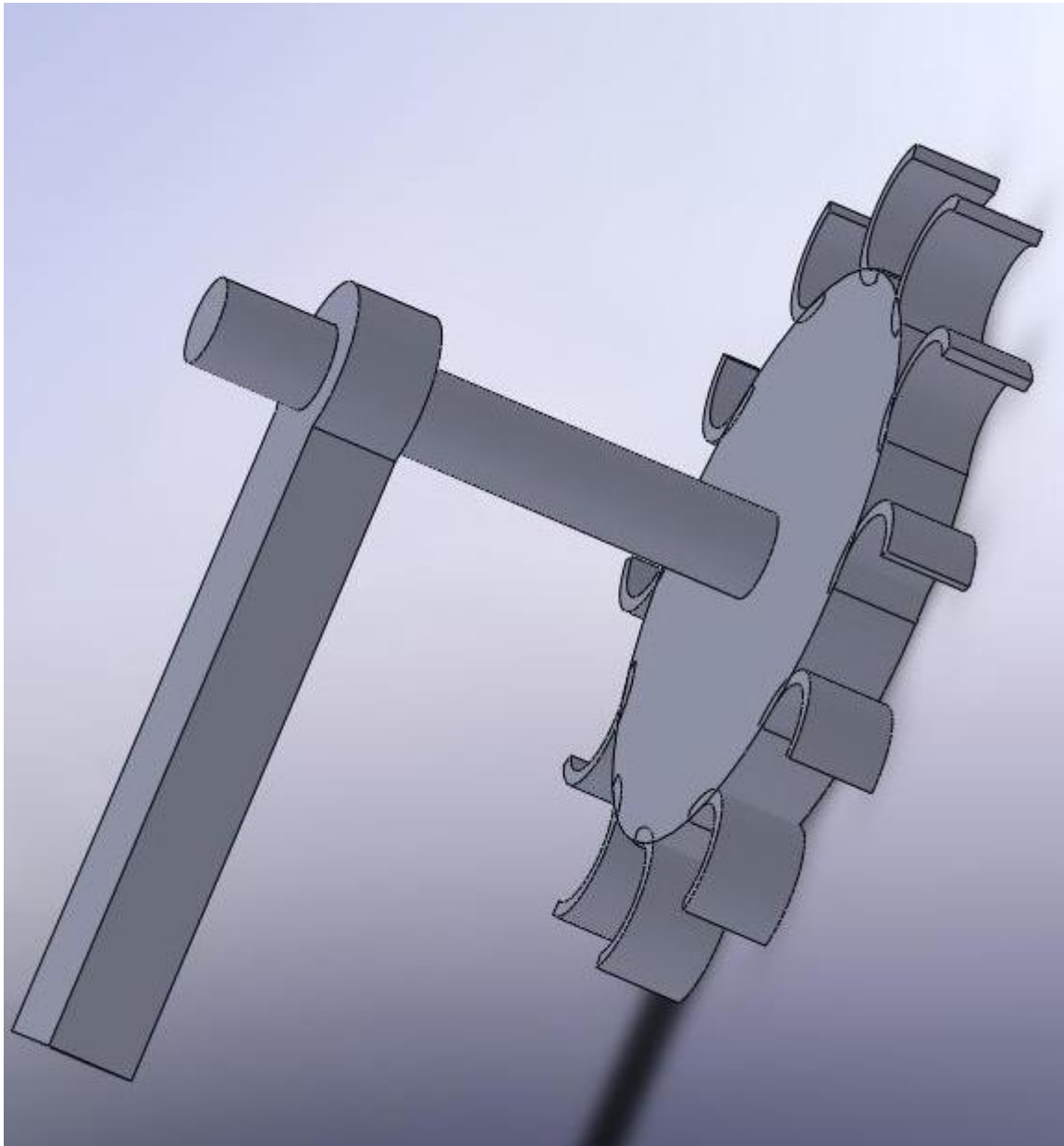
Δίσκος & Άξονας



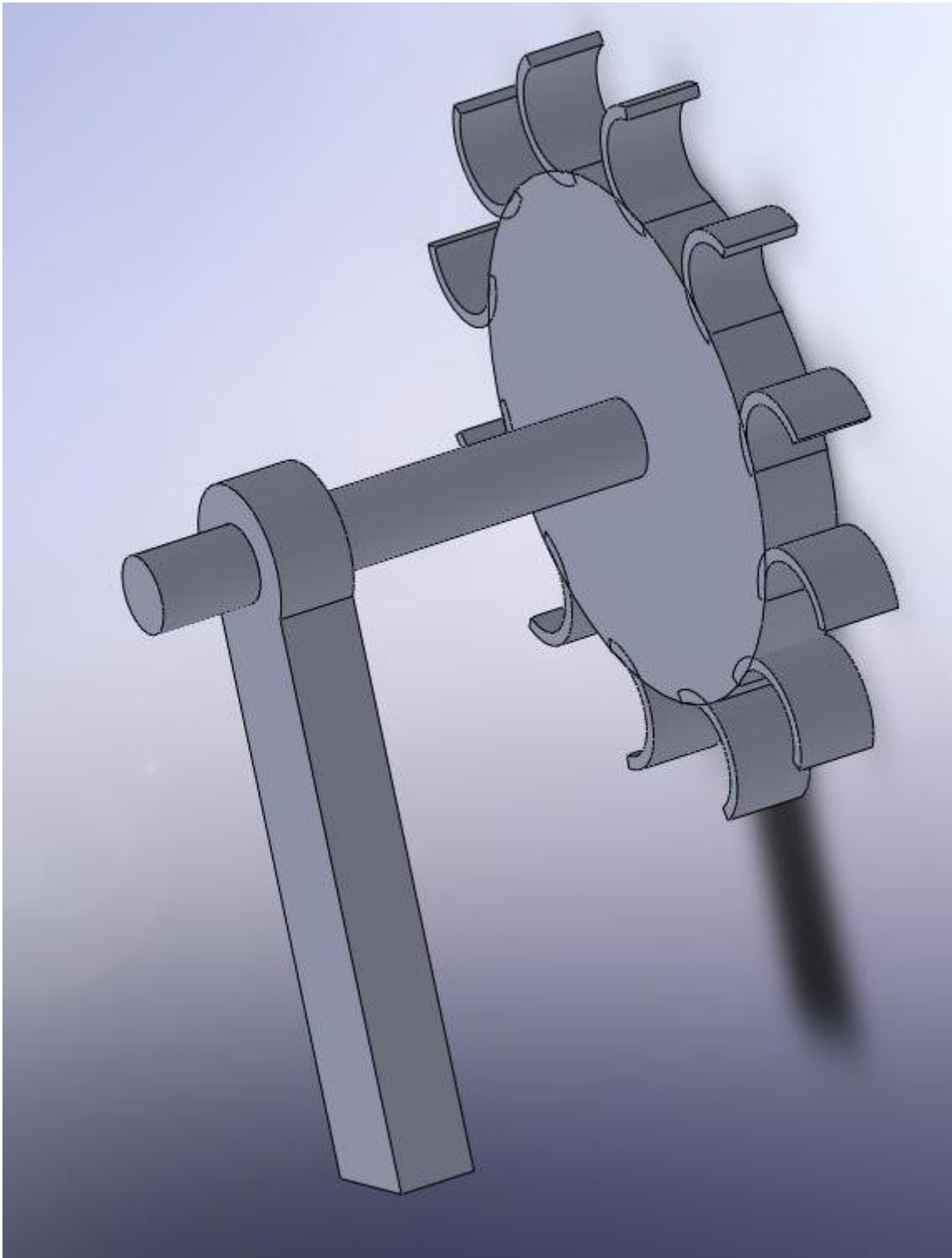
απλουστευμένη μορφή σκαφιδίου



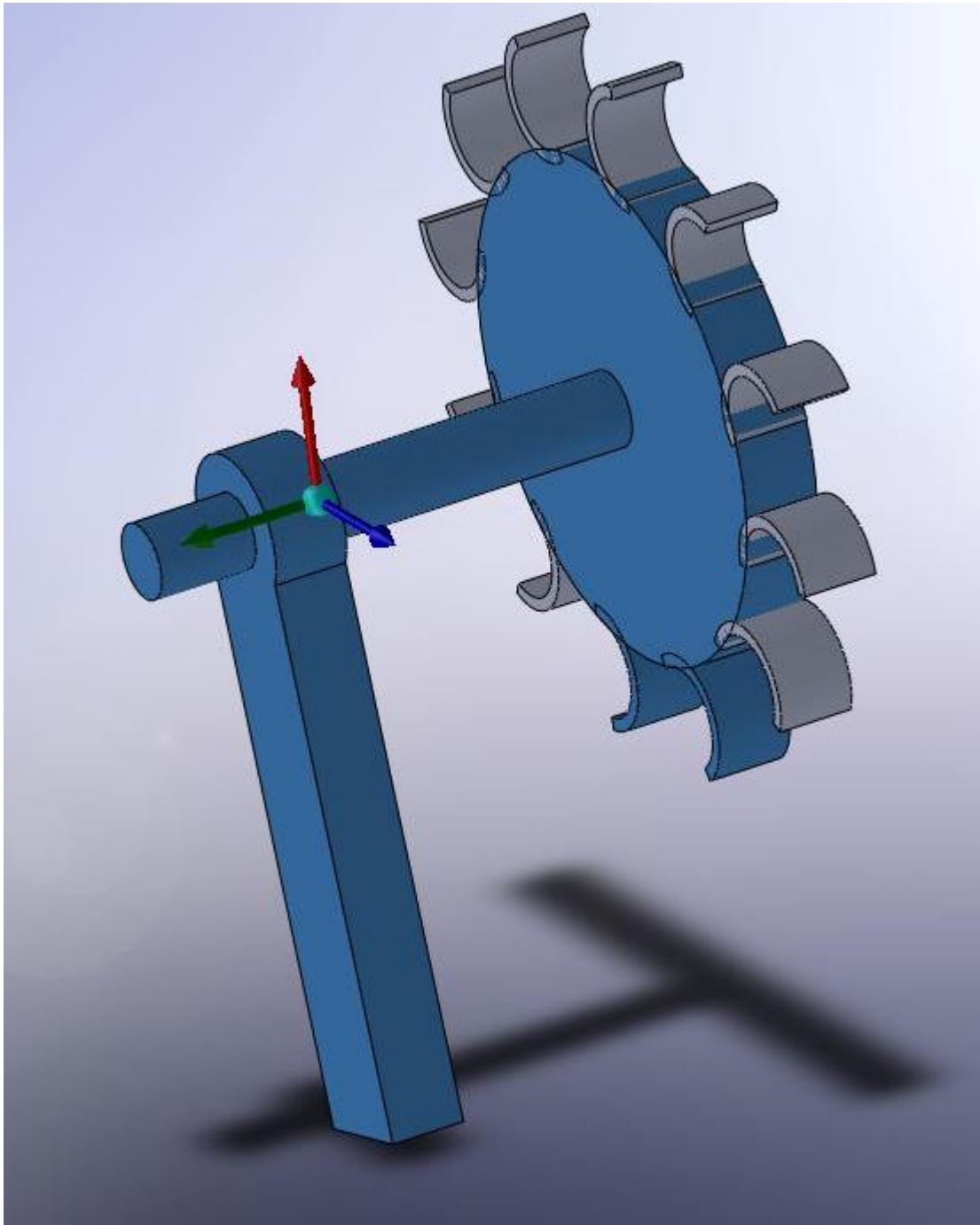
συναρμολόγηση κομματιών δίσκου, άξονα, σκαφιδίων και βάσης στήριξης



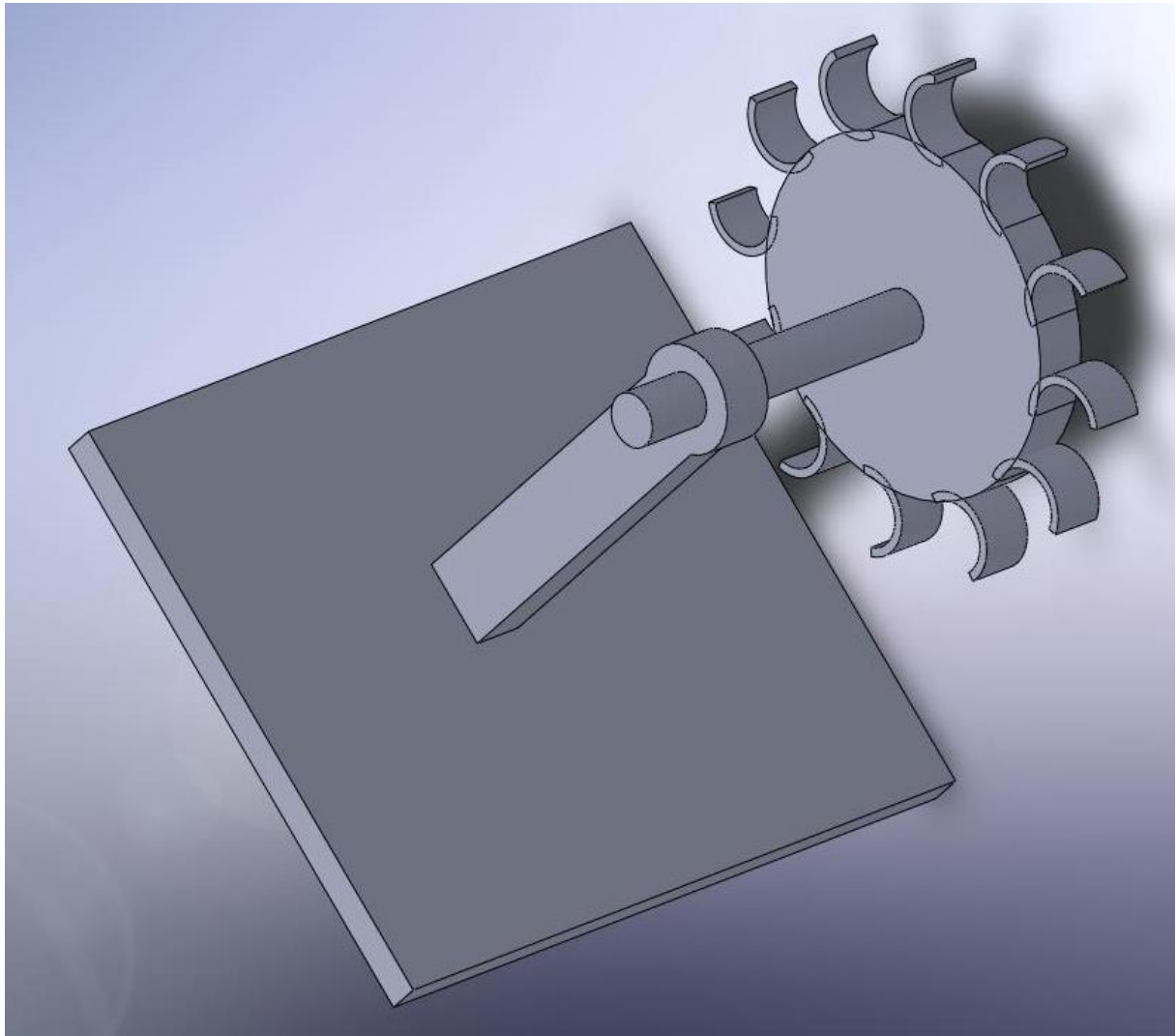
συναρμολόγηση κομματιών δίσκου, άξονα, σκαφιδίων και βάσης στήριξης



συναρμολόγηση κομματιών δίσκου, άξονα, σκαφιδίων και βάσης στήριξης

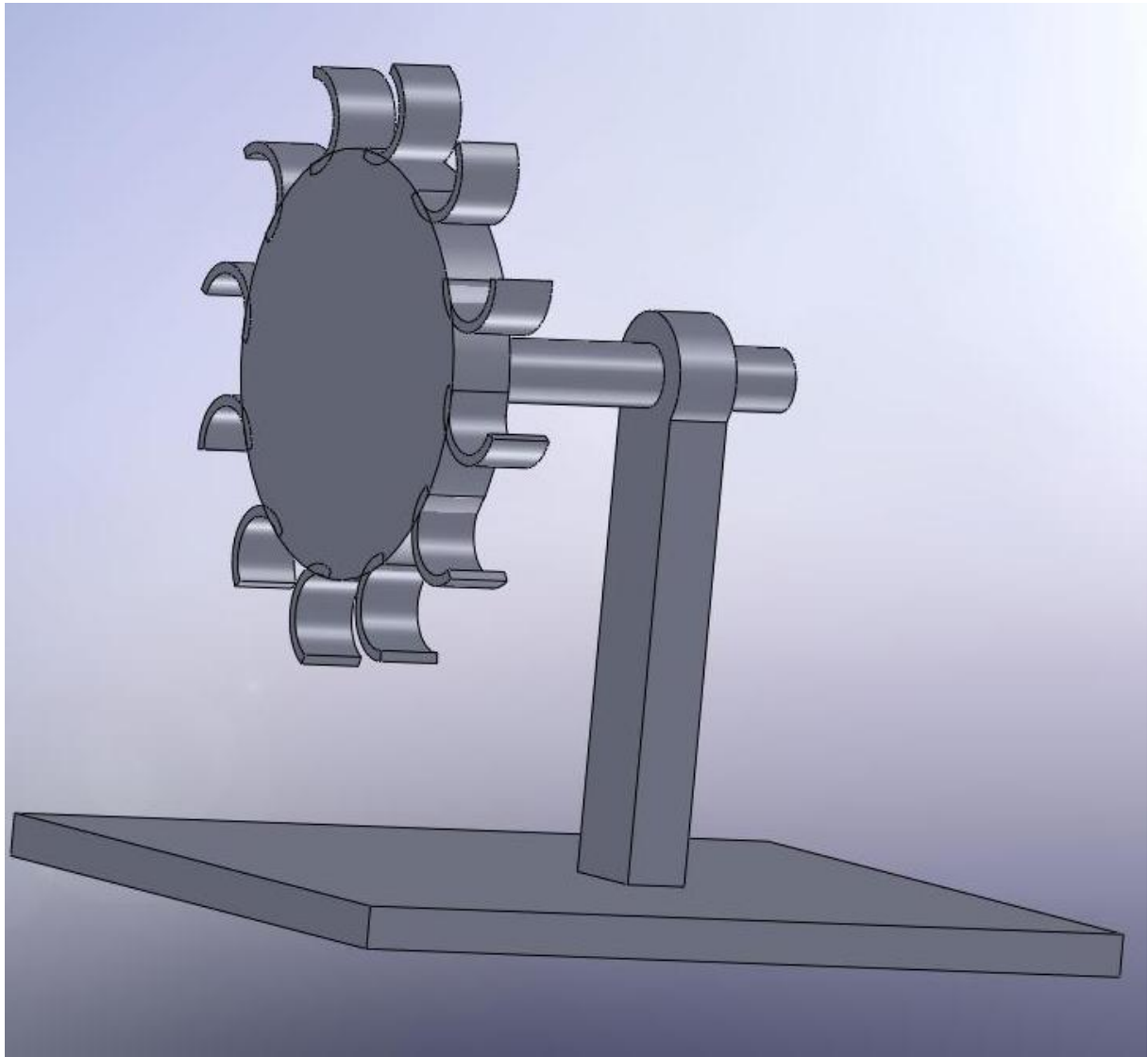


συναρμολόγηση κομματιών δίσκου, άξονα, σκαφιδίων και βάσης στήριξης

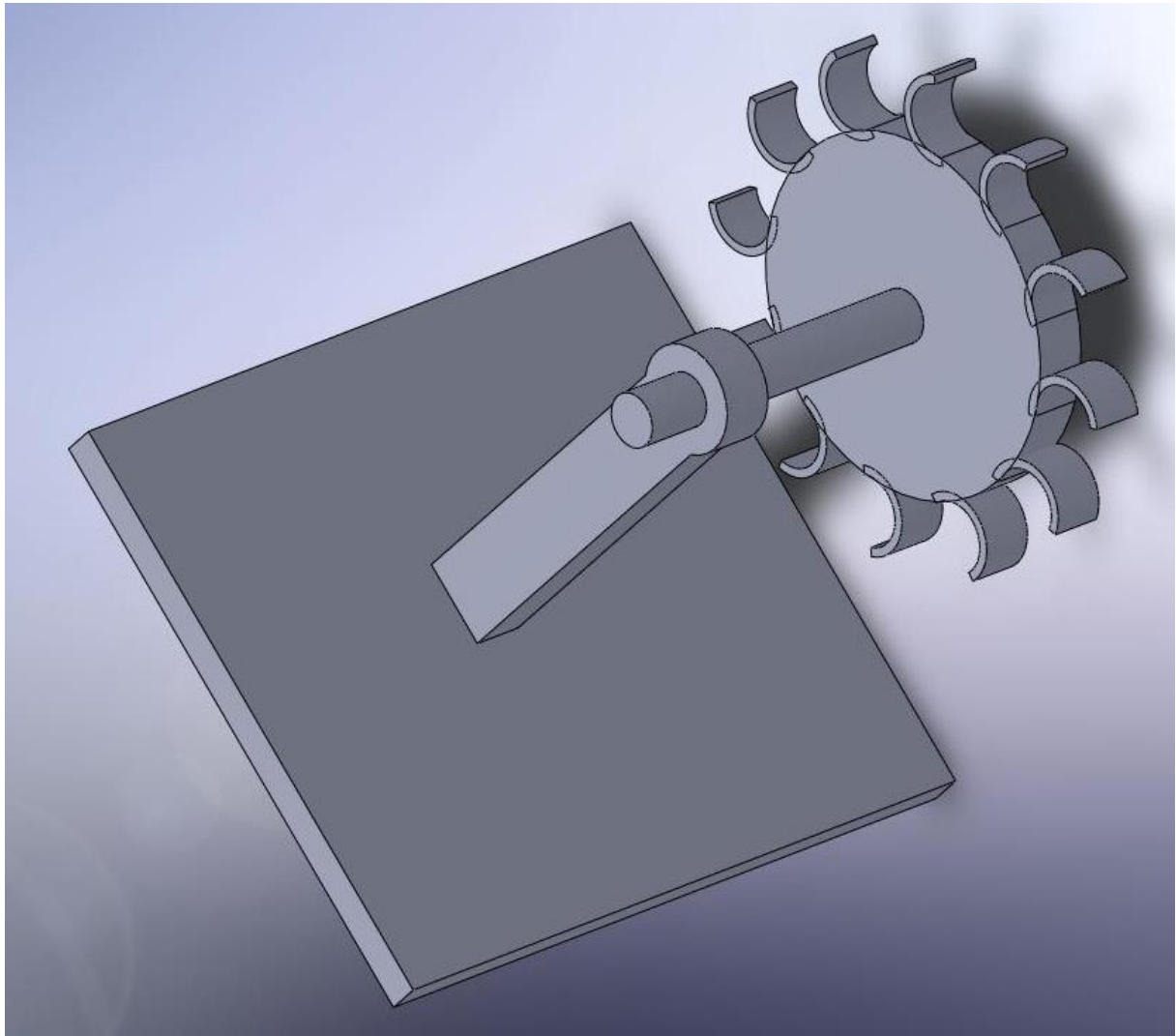


πλήρη απεικόνιση σκαριφήματος

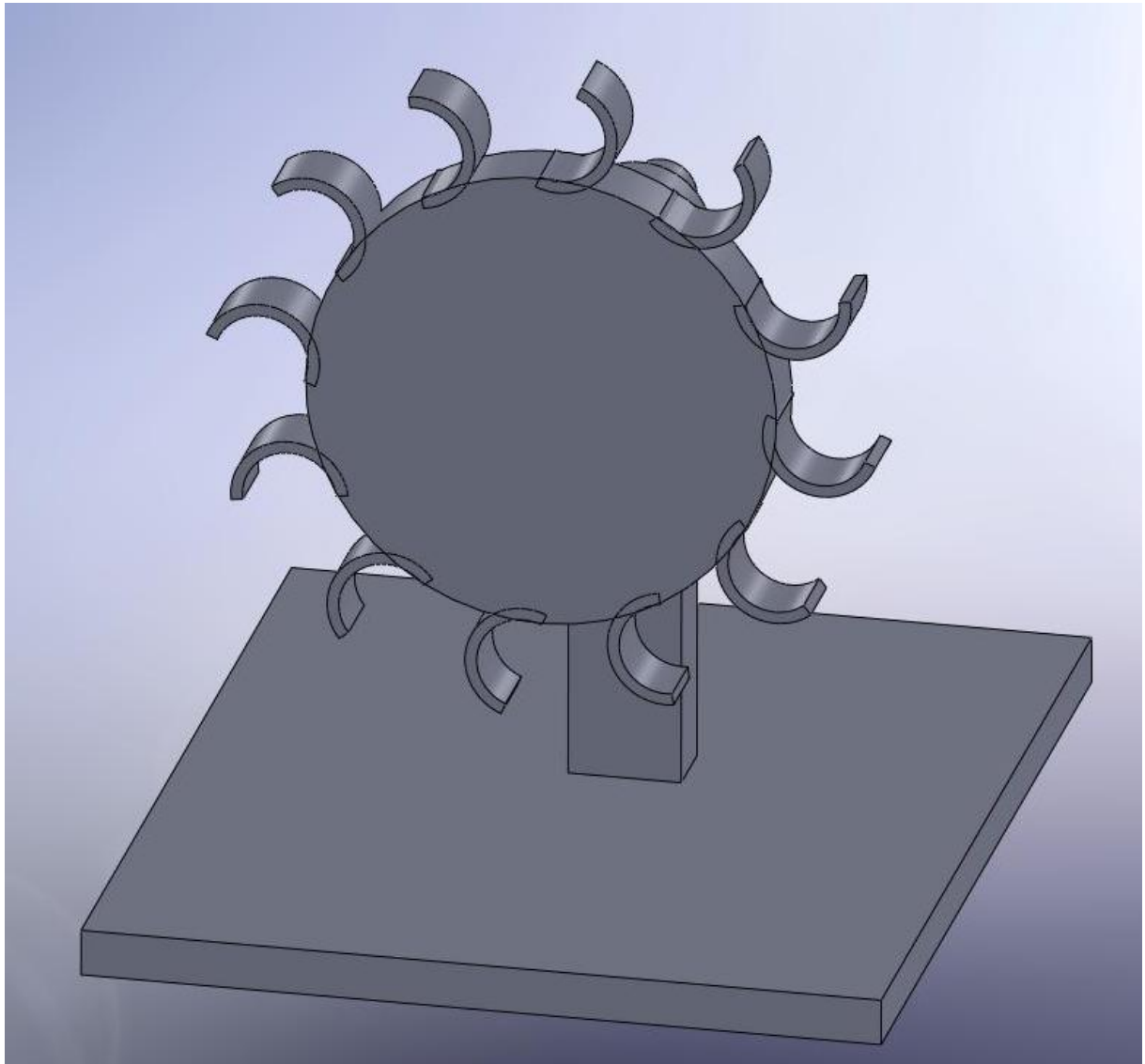




πλήρη απεικόνιση σκαριφήματος



πλήρη απεικόνιση σκαριφήματος



πλήρη απεικόνιση σκαριφήματος

## 2.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η πειραματική συσκευή του τροχού Pelton λειτούργησε με βάση της εργαστηριακές συνθήκες που προσφέρει το Εργαστήριο της Υδραυλικής Του Τμήματος Μηχανολογίας.

Τις συνθήκες παροχής νερού τις επιτυγχάνουμε με αντλία του εργαστηρίου.

Με βάση τις στροφές του Τροχού Pelton παρατηρήσαμε χρησιμοποιώντας ένα στροφόμετρο ότι με ελάχιστες στροφές δημιουργήθηκε ηλεκτρικό ρεύμα. Αναφέρουμε ξανά ότι το δυναμό που χρησιμοποιήθηκε ήταν ποδηλάτου, με μόλις μέγιστη ισχύ 3 Watt και τάση ρεύματος 6Volts. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να απαιτείται μικρός αριθμός στροφών για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Στην περίπτωση όπου οι στροφές ήταν υπερβολικές τότε παρατηρήθηκε καταστροφή (κάψιμο) των λαμπτήρων και του δυναμό.

Παρακάτω φαίνεται ένας πίνακας όπου αναγράφεται ο αριθμός των στροφών του Τροχού Pelton και αν υπήρξε παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

RPM	ΛΑΜΠΤΗΡΑΣ
100	ON
200	ON
300	ON
400	ON
500	ON
600	ON
700	ON
800	OFF

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Renewable Energy Resources, J.Twidell and A.Weir, E.&F.N.Spon, 1986.

Renewable Energies: Sources, Conversion and Application, P.D.Dunn, Peter Peregrinus Ltd, 1986.

Renewable Energy-Sources for Fuels and Electricity, T.B.Johansson, H.Kelly, A.Reddy, R.Williams, Island Press, 1993.

«Ρευστοδυναμικές Μηχανές & Εγκαταστάσεις Ι», Δ.Παπανίκας, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις.

«Ρευστοδυναμικές Μηχανές & Εγκαταστάσεις ΙΙ», Δ.Παπανίκας, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις.

«Μηχανική Ρευστών Ι», Ν.Νανούσης Τ.Ε.Ι. Πάτρων

«Μηχανική Ρευστών ΙΙ», Ν.Νανούσης Τ.Ε.Ι. Πάτρων

«Βασικές Αρχές Στροβιλομηχανών», Ν.Νανούσης Τ.Ε.Ι. Πάτρων

[www.energotech.gr](http://www.energotech.gr)

[www.hydroenergy.gr](http://www.hydroenergy.gr)

[www.arenal.gr](http://www.arenal.gr)