

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Δρ. Άγγελος Σ. Μπουχουράς

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Υδροηλεκτρική Ενέργεια

- ΓΕΝΙΚΑ
- Το νερό αποτελεί φυσικό πόρο, η αξία του οποίου και η σπουδαιότητα συνεχώς αυξάνεται για όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, ενώ η διαθεσιμότητα του δεν είναι πάντα εξασφαλισμένη.
- Η διαχείριση του συνεπώς θα πρέπει να στοχεύει στην ορθολογιστική χρήση του με σκοπό την ικανοποίηση των αναγκών με τον βέλτιστο και πιο αποδοτικό τρόπο.
- Η Ελλάδα κατά το πλείστον ορεινή χώρα (πάνω από 80%), συγκεντρώνει τα περισσότερα βουνά της στο βορειοδυτικό της μέρος, το οποίο, ως επί το πλείστον, προσφέρεται για υδροηλεκτρική ανάπτυξη.
- Το ετήσιο θεωρητικό υδροδυναμικό της ανέρχεται σε περίπου: 80TWh
- Το οικονομικά εκμεταλλεύσιμο υδροδυναμικό φτάνει τις: 12TWh
- Μέχρι σήμερα έχει αναπτυχθεί περίπου το: 40%

Υδροηλεκτρική Ενέργεια

- ΙΣΤΟΡΙΚΟ
- Η ανάπτυξη του Υδροδυναμικού της Ελλάδας ουσιαστικά συμπίπτει με την ίδρυση της ΔΕΗ Δημόσιας Επιχείρησης Κοινής Ωφέλειας το 1950.
- Πριν από την ίδρυση της ΔΕΗ (1950), είχαν τεθεί σε λειτουργία πολύ μικρά Υδροηλεκτρικά Εργοστάσια την περίοδο 1927 – 1931 (Γλαύκος, Βέρμιο, Αγιά Χανίων, Αγ. Ιωάννης Σερρών), συνολικής εγκατεστημένης ισχύος περίπου 6MW.
- Την περίοδο 1950 – 1975 κατασκευάσθηκαν οκτώ (8) Μεγάλοι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (Άγρας, Λάδωνας, Λούρος, Ταυρωπός/Πλαστήρας, Κρεμαστά, Καστράκι, Εδεσσαίος και Πολύφυτο), συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 1.410MW. Μεταξύ αυτών συμπεριλαμβάνονται και οι τρεις (3) μεγαλύτεροι: Κρεμαστά, Καστράκι, Πολύφυτο.
- Την περίοδο 1976 – Σήμερα κατασκευάσθηκαν 8 μεγάλοι και 3 μικροί ΥΗΣ (Πουρνάρι I και II, Σφηκιά, Ασώματα, Στράτος I, Στράτος II, Πηγές Αώου, Θησαυρός, Πλατανόβρυση, Γκιώνα και Μακροχώρι), συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 1.630MW. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται και δύο αναστρέψιμοι Αντλητικοί Σταθμοί (Σφηκιά και Θησαυρός).

Υδροηλεκτρική Ενέργεια

- Η **συνολική εγκατεστημένη ισχύς** των Υδροηλεκτρικών Σταθμών της ΔΕΗ Α.Ε. ανέρχεται σε **3.060MW**. (16 μεγάλοι και 8 μικροί σταθμοί).
- Η συνολική **μέση** ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι περίπου 5000GWh.
- Οι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί σήμερα κατατάσσονται σε τέσσερα (4) κυρίως Συγκροτήματα, σε δύο Ανεξάρτητους ΥΗΣ και σε άλλους μικρούς.
- **Συγκρότημα Αχελώου:**
- (Κρεμαστά, Καστράκι, Στράτος I και II, Γκιώνα και Γλαύκος). Συνολικής Εγκατεστημένης Ισχύος 925,6MW.

Υδροηλεκτρική Ενέργεια

- **Συγκρότημα Αλιάκμονα:**

- (Πολύφυτο, Σφηκιά, Ασώματα, Μακροχώρι, Άγρας, Εδεσσαίος, Βέρμιο). Συνολικής Εγκατεστημένης Ισχύος 879,3MW.

- **Συγκρότημα Αράχθου:**

- (Πηγές Αώου, Πουρνάρι I, Πουρνάρι II, Λούρος). Συνολικής Εγκατεστημένης Ισχύος 553,9MW.

- **Συγκρότημα Νέστου:**

- (Θησαυρός, Πλατανόβρυση). Συνολικής Εγκατεστημένης Ισχύος 500MW.

Υδροηλεκτρική Ενέργεια

- Η Υδροηλεκτρική Ισχύς σήμερα των 3.060MW καλύπτει το **26%** της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος των Συμβατικών Σταθμών η οποία ανέρχεται σε 11.079MW.
- Η Μέση Ετήσια Υδροηλεκτρική Παραγωγή, ανάλογα με την υδραυλικότητα του έτους καλύπτει το 9÷10% της παραγωγής της ΔΕΗ.
- Ειδικά για το 2006, έτος υψηλής υδραυλικότητας, η Υδραυλική Παραγωγή ανήλθε σε 6.270Gwh δηλαδή κάλυψε το 13% της συνολικής παραγωγής της ΔΕΗ.
- *Η Σημερινή Οργάνωση της αρμόδιας Διεύθυνσης Εκμετάλλευσης των Υδροηλεκτρικών Σταθμών της ΔΕΗ Α.Ε. αποτελείται από τις κεντρικές Υπηρεσίες, τα τέσσερα Συγκροτήματα που προαναφέρθηκαν και τους δύο ανεξάρτητους ΥΗΣ.*

Υδροηλεκτρική Ενέργεια

- **ΑΧΕΛΩΟΣ**
- **ΥΗΣ ΚΡΕΜΑΣΤΩΝ:** Απέχει 60km από το Αγρίνιο, τέθηκε σε λειτουργία το 1965. Έχει μεγάλο χωμάτινο φράγμα, με μεγάλο ταμιευτήρα. Συνολική Ισχύς 437MW.
- **ΥΗΣ ΚΑΣΤΡΑΚΙΟΥ:** Μετά τα Κρεμαστά, τέθηκε σε λειτουργία το 1970, με χωμάτινο φράγμα. Συνολική Ισχύς 320MW.
- **ΥΗΣ ΣΤΡΑΤΟΥ I:** Μετά το Καστράκι, τέθηκε σε λειτουργία το 1988. Έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ 150MW.
- **ΥΗΣ ΣΤΡΑΤΟΥ II:** Μικρός ΥΗΣ, έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ 6,2MW.
- **Οι ΥΗΣ Αχελώου** είναι πολύ σημαντικοί για το Σύστημα Παραγωγής γιατί συμμετέχουν περίπου στο **35 - 40%** της Συνολικής Υδροηλεκτρικής Παραγωγής.

Υδροηλεκτρική Ενέργεια

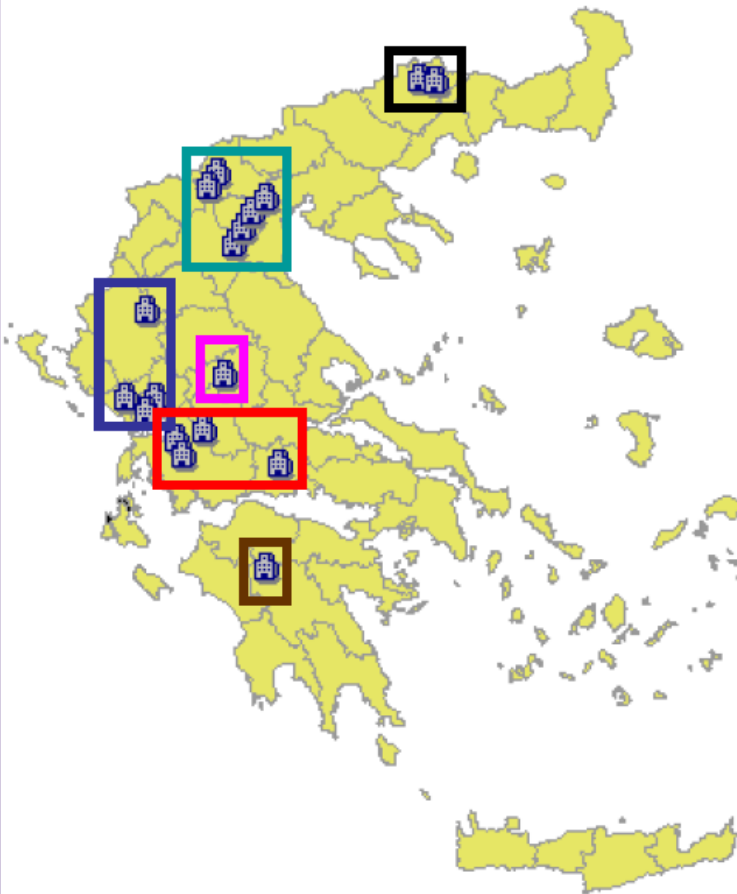
- **ΑΛΙΑΚΜΟΝΑΣ**

- **ΥΗΣ ΠΟΛΥΦΥΤΟΥ:** Κοντά στα Σέρβια Κοζάνης, τέθηκε σε λειτουργία το 1974. Έχει χωμάτινο φράγμα και ταμιευτήρα υπερετήσιας ρύθμισης. Έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ 360MW. Είναι ο κύριος ταμιευτήρας, που εξασφαλίζει νερό στην Μακεδονία.
- **ΥΗΣ ΣΦΗΚΙΑΣ:** Κατάντη του Πολυφύτου, 25km από την πόλη της Βέροιας, με χωμάτινο φράγμα τέθηκε σε λειτουργία το 1985. Έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ 315MW. Ο Σταθμός είναι αναστρέψιμος δηλαδή λειτουργεί και ως αντλητικός.
- **ΥΗΣ ΑΣΩΜΑΤΩΝ:** Κατάντη της Σφηκιάς τέθηκε σε λειτουργία το 1985 και έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ 108MW.
- **ΥΗΣ ΜΑΚΡΟΧΩΡΙΟΥ:** κατάντη του ΥΗΣ Ασωμάτων. Είναι μικρός Σταθμός ροής εγκατεστημένης στην διώρυγα απαγωγής των νερών από τα Ασώματα. Τέθηκε σε λειτουργία το 1992 και έχει εγκατεστημένη ισχύ 10,8MW.

Υδροηλεκτρική Ενέργεια

- **ΑΡΑΧΘΟΣ**
- • ΥΗΣ ΠΗΓΩΝ ΑΩΟΥ: Απέχει 45km από τα Ιωάννινα, **εκτρέπει μικρό μέρος των νερών του ποταμού Αώου προς τον Άραχθο**. Τέθηκε σε λειτουργία το 1990 και έχει εγκατεστημένη ισχύ 210MW.
- • ΥΗΣ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ I: Απέχει 4km από την πόλη της Άρτας στον ποταμό Άραχθο, τέθηκε σε λειτουργία το 1981. Διαθέτει χωμάτινο φράγμα και ταμιευτήρα υπερετήσιας ρύθμισης και έχει εγκατεστημένη ισχύ 300MW.
- • ΥΗΣ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ II: Ευρίσκεται αμέσως κατάντη του ΥΗΣ Πουρναρίου I επί του ποταμού Αράχθου. Τέθηκε σε λειτουργία το 2000 και έχει εγκατεστημένη ισχύ 31,5MW.

Υδροηλεκτρική Ενέργεια



- **Συγκρότημα Αχελώου** (Κρεμαστά, Καστράκι, Στράτος I & II, Γκιώνα, Γλαύκος)

Σύνολο 925,6 MW

- **Συγκρότημα Αλιάκμονα** (Πολύφυτο, Σφηκιά, Ανώματα, Μακροχώρι, Βέρμιο, Άγρας, Εδεσσαίος)

Σύνολο 879,3 MW

- **Συγκρότημα Αράχθου** (Πηγές Αώου, Πουρνάρι I & II, Λούρος)

Σύνολο 553,9 MW

- Συγκρότημα Νέστου (Θησαυρός, Πλατανόβρυση)

Σύνολο 500 MW

- **ΥΗΣ Ν. Πλαστήρα**: 129,9 MW

- **ΥΗΣ Λάδωνα**: 70 MW

- **Λοιποί Μικροί ΥΗΣ**: 1,3 MW

Σύνολο: 3.060 MW

Υδροηλεκτρική Ενέργεια

- Οι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί ως Εγκαταστάσεις Πολλαπλού σκοπού **παίζουν πολύ σοβαρό ρόλο στην Εθνική Οικονομία** και συμβάλλουν τα μέγιστα στην κοινωνική ζωή των περιοχών που βρίσκονται και λειτουργούν.
- **ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**
- Οι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί συμβάλλουν σε ποσοστό περισσότερο από 9% στην συνολική παραγωγή της ΔΕΗ Α.Ε. Η παραγόμενη ενέργεια είναι «**πράσινη – καθαρή**» δηλαδή δεν επιβαρύνει με εκπομπές και είναι **υψηλής ποιότητας** δηλαδή καλύπτει αιχμές φορτίου, έχει δε μεγάλη ευελιξία στην ένταξη της.
- **ΕΠΙΚΟΥΡΙΚΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ**
- Οι ΥΗΣ εξαιτίας των ειδικών τους χαρακτηριστικών παρέχουν επικουρικές υπηρεσίες στο Ηλεκτρικό Σύστημα δηλαδή εφεδρεία ισχύος, ρύθμιση συχνότητας, τάσης, κ.λ.π.
- **ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ**
- Οι κύριοι ταμιευτήρες των ποταμών με την αποθηκευτική τους ικανότητα δημιουργούν ανάσχεση των πλημμυρικών φαινομένων παρέχοντας την αντιπλημμυρική προστασία στις κατάντη των ΥΗΣ περιοχές.
- **ΑΡΔΕΥΣΕΙΣ**
- Από τους ταμιευτήρες των ΥΗΣ αρδεύονται περίπου 5.000.000 στρέμματα συμβάλλοντας έτσι στην γεωργική παραγωγή της χώρας.

Υδροηλεκτρική Ενέργεια

- **ΥΔΡΕΥΣΗ**

- Οι πληθυσμοί πολλών πόλεων υδρεύονται από τους ταμιευτήρες των ΥΗΣ (π.χ. Θεσσαλονίκη, Καρδίτσα, Αγρίνιο, Άρτα κ.λ.π.).

- **ΝΑΥΤΑΘΛΗΤΙΣΜΟΣ**

- Πολλές περιοχές των λιμνών των ΥΗΣ χρησιμοποιούνται για ναυταθλητικές δραστηριότητες όπως θαλάσσιο σκι, κωπηλασία, καγιάκ κ.λ.π. (Λίμνη Στράτου, Λίμνη Πολυφύτου κ.λ.π.).

- **ΑΛΙΕΙΑ**

- Η αλιεία τόσο σε επαγγελματικό όσο και ερασιτεχνικό επίπεδο είναι μία από τις πολλές δραστηριότητες στους ταμιευτήρες των ΥΗΣ, οι οποίοι διαθέτουν καθαρό νερό και τους οποίους η ΔΕΗ Α.Ε. εμπλουτίζει με γόνο ψαριών.

- **ΑΝΑΨΥΧΗ**

- Οι όχθες των λιμνών είναι ιδανικές θέσεις για δημιουργία πόλων αναψυχής και τουρισμού. Χαρακτηριστικά παραδείγματα η λίμνη Πηγών Αώου, η πλαζ Λαμπερού στη Λίμνη Πλαστήρα κ.λ.π.

- **ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

- Γενικά οι ΥΗΣ αναβαθμίζουν το περιβάλλον τους με τη δημιουργία οικοσυστημάτων στην περιοχή των λιμνών και με τη διατήρηση εντός των κοιτών των ποταμών των οικολογικών παροχών για τη διατήρηση της ιχθυοπανίδας.

Υδροηλεκτρική Ενέργεια

- Όπως έχει προαναφερθεί οι ΥΗΣ συμβάλλουν σε σημαντικό ποσοστό στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του Συστήματος. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των Μονάδων Παραγωγής της ΔΕΗ Α.Ε. στο Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα σήμερα ανέρχεται σε **11.612 MW** από την οποία οι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί διαθέτουν τα **3.060 MW**, δηλαδή διαθέτουν το 26,5 % περίπου της συνολικής εγκατεστημένης ισχύς της ΔΕΗ Α.Ε.
- Η μέση ετήσια παραγωγή των ΥΗΣ καλύπτει περίπου το 9% της παραγόμενης ενέργειας από το Παραγωγικό δυναμικό της ΔΕΗ Α.Ε. Η ετήσια παραγωγή των ΥΗΣ εξαρτάται από την υδραυλικότητα του έτους. Με στοιχεία των τελευταίων έξι (6) ετών η ετήσια παραγωγή κυμαίνεται από 3.150 GWh έως 6.230 GWh δηλαδή η συμμετοχή τους συνέβαλλε από 6 % έως 13 %.
- Χαρακτηριστική είναι η Υδροηλεκτρική Παραγωγή κατά το έτος 2006, η οποία έφθασε τις 6.232GWh και κάλυψε το 13 % της Παραγωγής του Εθνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος.

Υδροηλεκτρική Ενέργεια

- Η ισχύς των ΥΗΣ είναι ευέλικτη και εντάσσεται γρήγορα στο Σύστημα. Η αναφερόμενη ιδιότητα καθιστά πολύτιμη τη συμβολή της στην κάλυψη αιχμών φορτίου (σε περιόδους αυξημένης ζήτησης), με την αντίστοιχη ενέργεια να αποτελεί ενέργεια υψηλής οικονομικής αξίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ένταξη μιας Υδροηλεκτρικής μονάδας στο Σύστημα απαιτεί μόλις λίγα λεπτά ώστε από ακινησία να παραλάβει το πλήρες της φορτίο.
- Έτσι οι Υδροηλεκτρικές μονάδες παρέχουν **εφεδρεία ισχύος** που αυξάνει την **αξιοπιστία του συστήματος**. Η ευελιξία τους, η ικανότητα τους δηλαδή σε γρήγορες αυξομειώσεις του φορτίου, τις καθιστά πολύ χρήσιμες στην παροχή **Επικουρικών Υπηρεσιών** δηλαδή στη συμβολή τους στη ρύθμιση των χαρακτηριστικών του Συστήματος (Συχνότητα, Τάση κλπ) δηλαδή στοιχεία που εξασφαλίζουν την ποιότητα της Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Υδροηλεκτρική Ενέργεια

- Η παραγόμενη ενέργεια είναι «πράσινη», ή καθαρή χωρίς ρύπους. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι μια μέση παραγωγή της τάξεως των **5.000 GWh** κατ' έτος από ΥΗΣ υποκαθιστά, εκπομπές ρύπων CO₂ που είναι της τάξης των **3 ÷ 8 εκατομμυρίων τόνων CO₂** κατ' έτος ανάλογα με τον τύπο του καυσίμου που υποκαθιστά (φυσικό αέριο ή λιγνίτη).
- Από αυτό προκύπτουν τα προφανή οικολογικά και περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση της Υδροηλεκτρικής Παραγωγής αλλά και τα οικονομικά οφέλη για την ΔΕΗ Α.Ε. και κατ' επέκταση της Εθνικής Οικονομίας από το εναλλακτικό σενάριο **αγοράς δικαιωμάτων ρύπων** των οποίων το κόστος είναι πολύ υψηλό. Τρέχουσες τιμές της αγοράς είναι της τάξης των 15€/ton, (τιμές από 8 έως 28€/ton), οπότε το κόστος αγοράς ισοδύναμων δικαιωμάτων κυμαίνεται από 45 έως 100 εκ. €ανά έτος.

Υδροηλεκτρική Ενέργεια

- Ορισμένοι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί της ΔΕΗ Α.Ε. όπως ο ΥΗΣ Σφηκιάς και ο ΥΗΣ Θησαυρού λειτουργούν και ως αναστρέψιμοι – αντλητικοί Σταθμοί.
- Με τη λειτουργία αυτή αποθηκεύουν νερό στους άνω ταμιευτήρες με άντληση κατά τις ώρες χαμηλού φορτίου χρησιμοποιώντας ενέργεια χαμηλού κόστους και την αποδίδουν σε ώρες αιχμής συμβάλλοντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών της ημερήσιας καμπύλης φορτίου με αποτέλεσμα αφ' ενός τη δυνατότητα κάλυψης αυξημένων ενεργειακών αναγκών τις συγκεκριμένες ώρες, αφ' ετέρου και την μείωση του κόστους παραγωγής (βελτιστοποίηση ενεργειακού ισοζυγίου).
- Εάν δεν υπήρχαν οι ΥΗΣ με τα παραπάνω χαρακτηριστικά το Εθνικό Σύστημα θα απαιτούσε υποκατάσταση της αντίστοιχης ισχύος με ευέλικτη παραγωγή (αεροστροβίλους κλπ –), υψηλού κόστους και Περιβαλλοντική Επιβάρυνσης

Πολλαπλή χρήση Υδροηλεκτρικών Έργων

ΤΟ ΣΗΜΕΡΙΝΟ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΟ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΔΕΗ ΥΠΕΡΒΑΙΝΕΙ ΤΑ 12.7 GW ΣΕ ΙΣΧΥ

ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΗΛΙΚΙΑ (ΕΤΗ)
--------------------------------	--------------------------------

Διασυνδεδεμένο Σύστημα

Υ/Η ενέργεια	3.017	28
Λιγνίτης	5.288	25
Πετρέλαιο	750	36
Φυσικό Αέριο	1.966	14
Σύνολο	11.021	

Νησιά

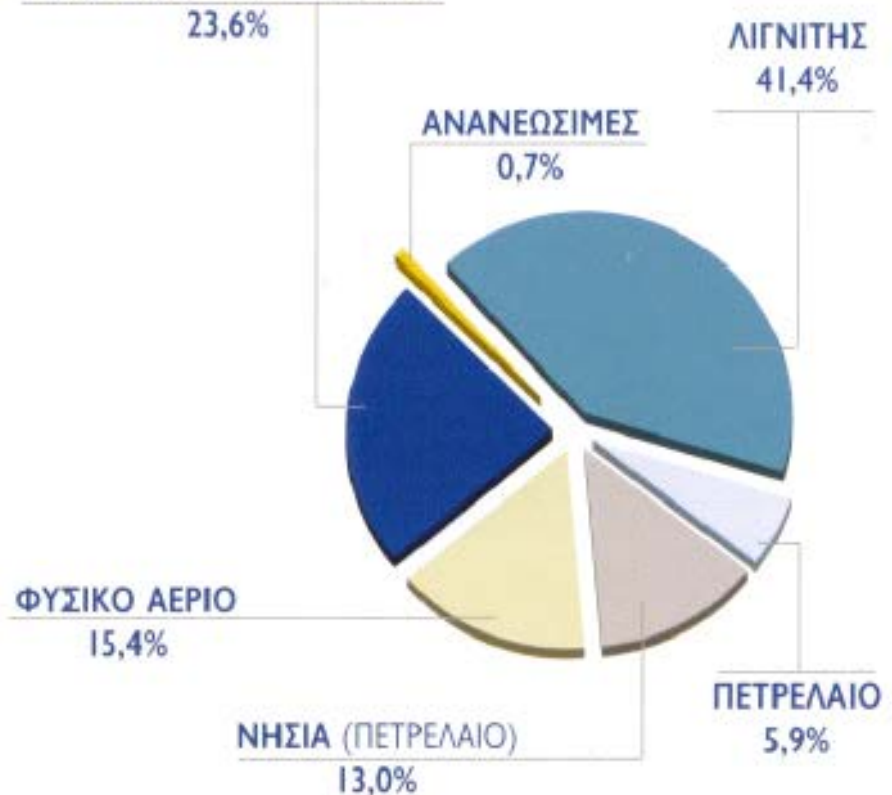
Κρήτη	770	15
Ρόδος	234	14
Μικρά Νησιά	650	36
Σύνολο	1.654	

Ανανεώσιμες

Σύνολο	91
---------------	-----------

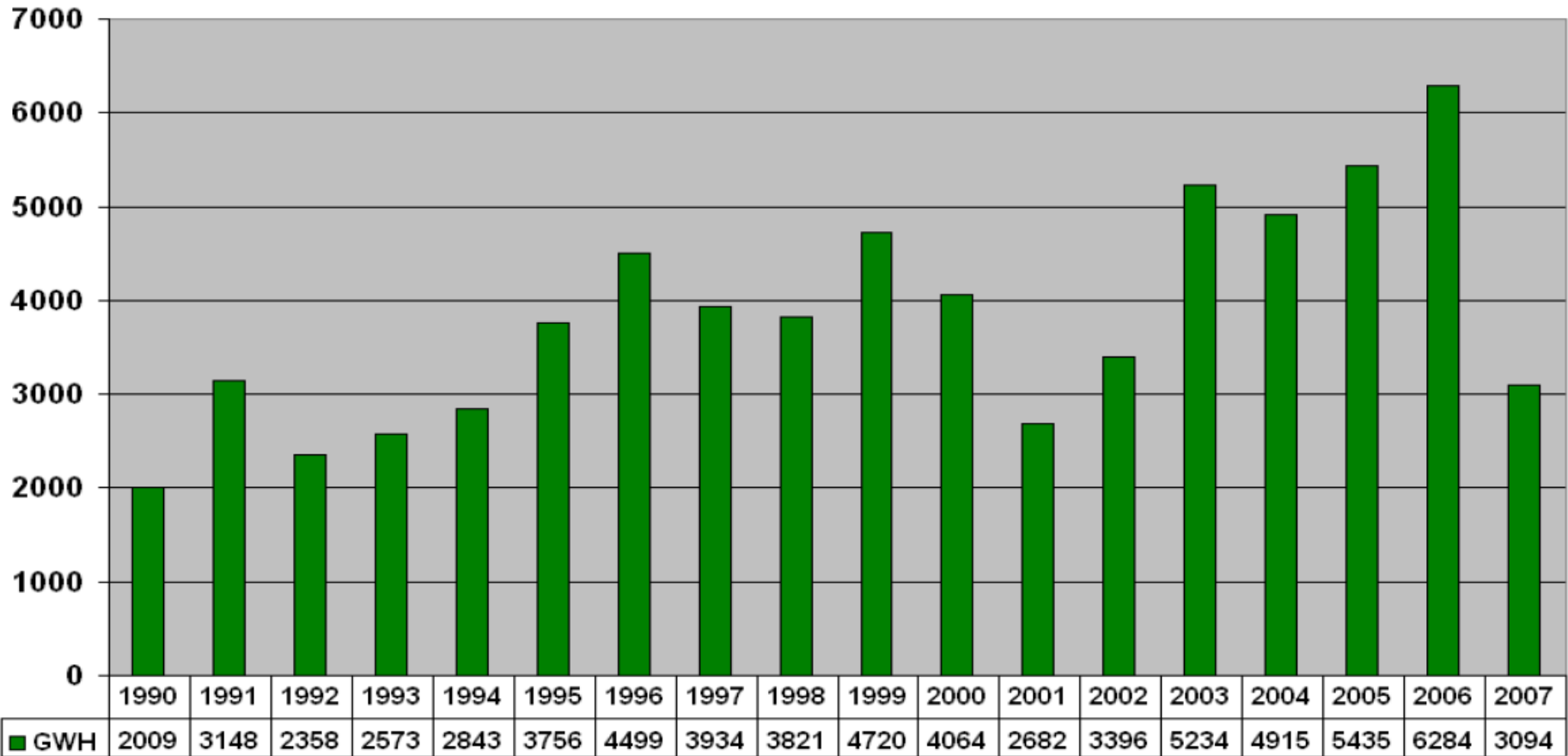
Εγκατεστημένη ισχύς ανά τύπο καυσίμου

ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ



Πολλαπλή χρήση Υδροηλεκτρικών Έργων

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ (GWH)



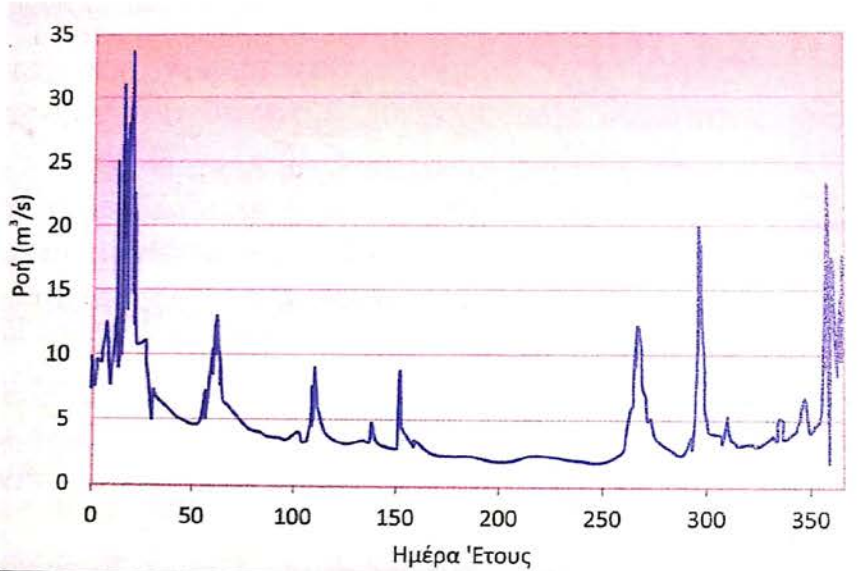
Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί

- Γενικά τα υδροηλεκτρικά έργα θεωρούνται ότι ανήκουν στις ΑΠΕ λόγω μη έκλυσης ρύπων στην ατμόσφαιρα
- Οι μεγάλοι ΥΣ δεν θεωρούνται ΑΠΕ (απαιτούν εκτεταμένες παρεμβάσεις → αλλοίωση του περιβάλλοντος)
- Ακόμη και έτσι όμως με σωστό σχεδιασμό και σεβασμό στο περιβάλλον μπορεί να έχουν θετικές συνέπειες στην ευρύτερη περιοχή
- Οι ΥΣ που κατασκευάζονται πάνω σε ποτάμια (χωρίς ταμιευτήρα) εκτρέπουν το κύριο ρεύμα του ποταμού διαμέσου ενός αγωγού προς τον υδροστρόβιλο που βρίσκεται σε χαμηλότερο υψόμετρο
- Αυτοί με ταμιευτήρα κατακρατούν την ποσότητα του ύδατος (μειώνεται σημαντικά η παροχή νερού κατόπιν του έργου) – η παροχή στον υδροστρόβιλο είναι < από τη διαθέσιμη κατά ένα ποσό που ονομάζεται Οικολογική παροχή

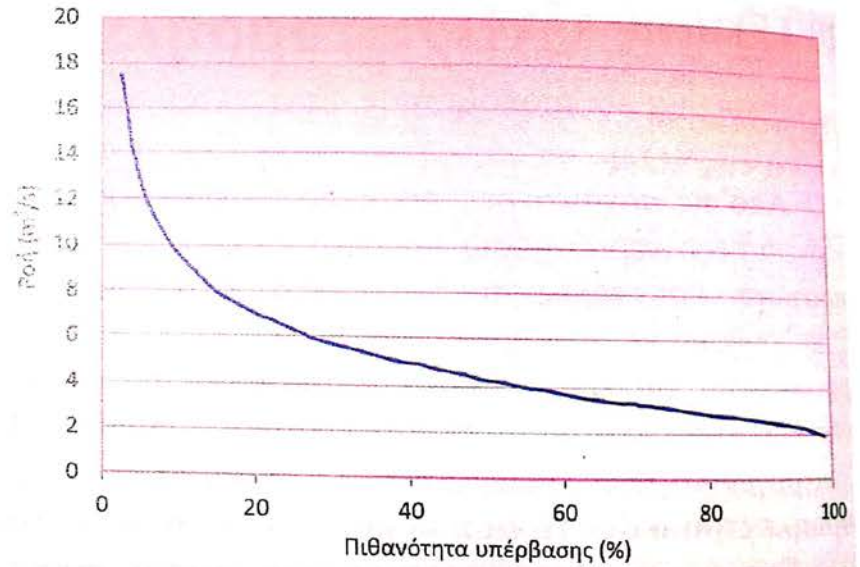
Υδάτινο δυναμικό

- Η μελέτη του υδατικού δυναμικού αποτελεί το πρώτο και βασικό στάδιο για την εκμετάλλευση του
- Κατηγοριοποιείται σε: θεωρητικό, διαθέσιμο, τεχνολογικό και οικονομικά εκμεταλλεύσιμο
- **Η εκμετάλλευση του** (για παραγωγή ισχύος) γίνεται όπου υπάρχει παροχή νερού με **σημαντική μηχανική ενέργεια** (κινητική ή δυναμική)
- Για εκτίμηση παραγόμενης ενέργειας πρέπει να υπάρχει η χρονοσειρά των δεδομένων μέσης ροής για μεγάλο χρονικό διάστημα
- Με χρήση υδρολογικών μοντέλων ή μετρήσεων είναι δυνατόν να παραχθούν αντιπροσωπευτικές χρονοσειρές της μέσης ημερήσια ροής σε συγκεκριμένο σημείο

Υδάτινο δυναμικό



A



B

A) Παράδειγμα ετήσιου υδρογραφήματος ποταμού B) Παράδειγμα καμπύλης διάρκειας παροχής

Υδρολογικός κύκλος

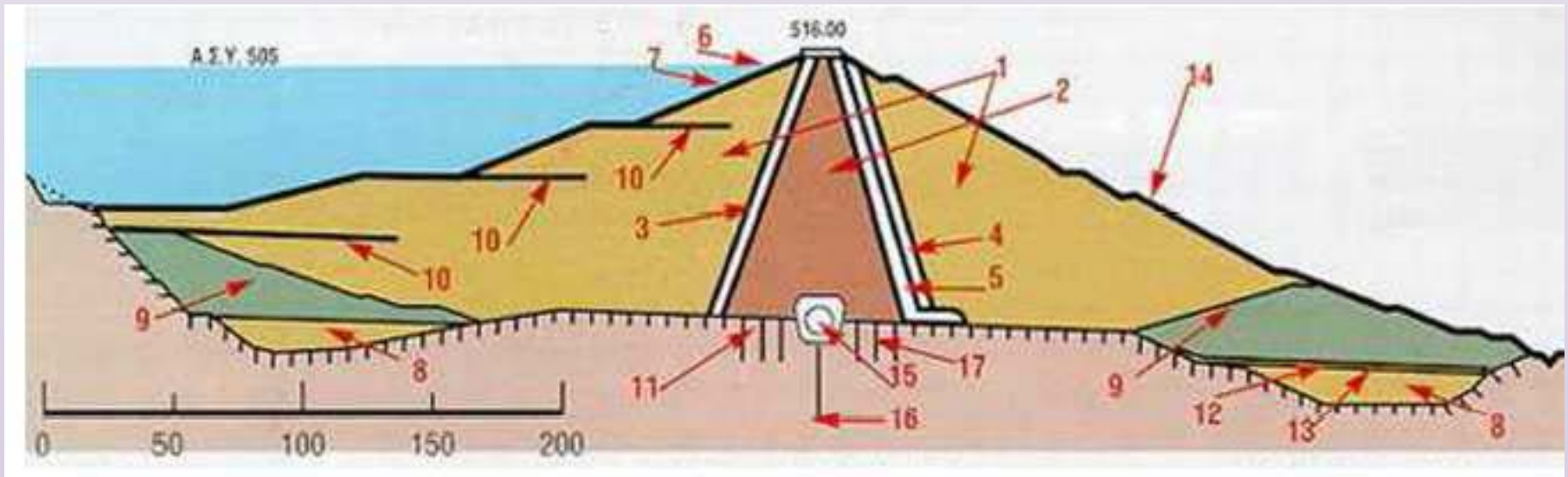
- Ο υδρολογικός κύκλος και το ανάγλυφο της περιοχής μπορούν να δημιουργήσουν κατάλληλες συνθήκες για την εκμετάλλευση της κινητικής και δυναμικής ενέργειας του ύδατος



Υδροηλεκτρικά Συστήματα

- **Ονομάζονται τα υδροδυναμικά συστήματα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια εκμεταλλευόμενα τη μηχανική (κινητική και δυναμική) ενέργεια του νερού. Σε ένα τυπικό υδροηλεκτρικό εργοστάσιο η διάρκεια κατασκευής είναι μεγάλη (της τάξεως των 3-8 ετών)**
- **Φράγμα ή υδατοφράκτης**
- Το φράγμα κατασκευάζεται σε κατάλληλο σημείο της κοίτης του ποταμού που επιλέγεται σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια:
 - ✓ ευκολία κατασκευής: μικρό ύψος και πλάτος, ευκολία θεμελίωσης,
 - ✓ δημιουργία μεγάλης χωρητικότητας ταμιευτήρα σε υδατοστεγές υπέδαφος
 - ✓ σχηματισμός μεγάλης υδραυλικής πτώσης,
 - ✓ κόστος: προσβασιμότητα, ευρύτερο οδικό δίκτυο περιοχής,
 - ✓ μικρό μήκος αγωγού προσαγωγής και της σήραγγας εκτροπής του ποταμού κατά την κατασκευή

Υδροηλεκτρικά Συστήματα

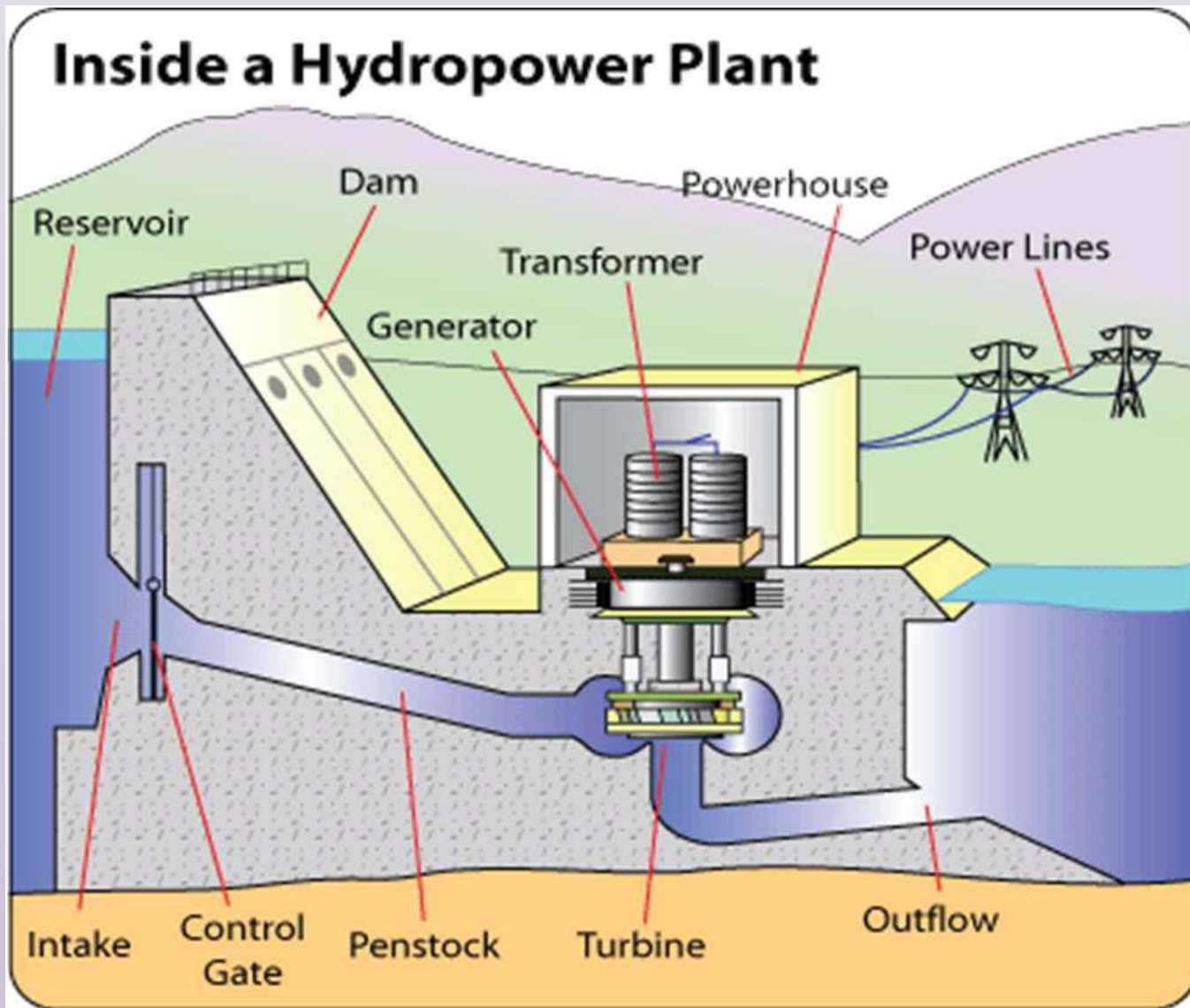


Εγκάρσια διατομή χωμάτινου φράγματος Αγ. Δημήτριος, Αιτωλοακαρνανία: 1. Σώμα φράγματος από αμμοχάλικα, 2. Πυρήνας φράγματος από αδιαπέραστο υλικό, 3. Ζώνη συναρμογής ανάντη, 4. Ζώνη συναρμογής κατόντη, 5. Φίλτρο πυρήνα, 6. Επένδυση με λίθους (πάχος 1m), 7. Υπόβαση λιθοριπτής από επιλεγμένο υλικό (πάχος 0.6m), 8. Υφιστάμενο αμμοχάλικο, 9. Επίχωμα από προϊόντα βραχωδών εκσκαφών, 10. Στραγγιστήριο από χαλίκια, 11. Επιφάνεια έδρασης πυρήνα, 12. Φίλτρο στραγγιστηρίου κοίτης (πάχος 0.5m), 13. Στραγγιστήριο κοίτης (πάχος 2m), 14. Προστασία πρανούς κατόντη, 15. Κουρτίνα τσιμεντενέσεων, 16. Τσιμεντενέσεις τάπητος

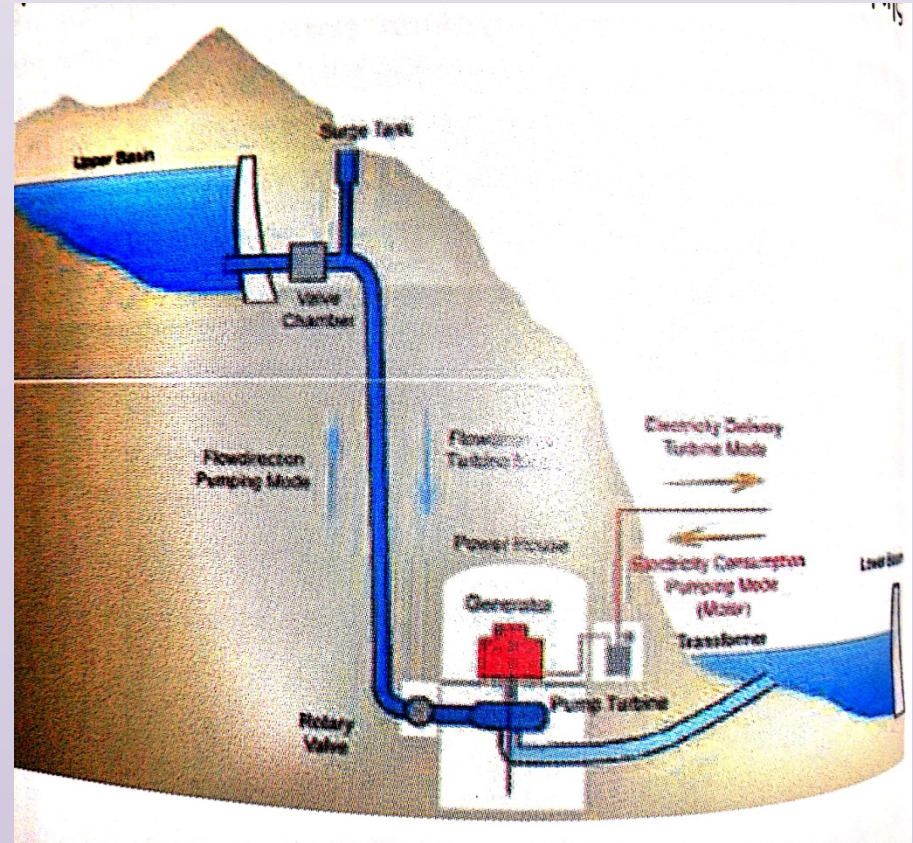
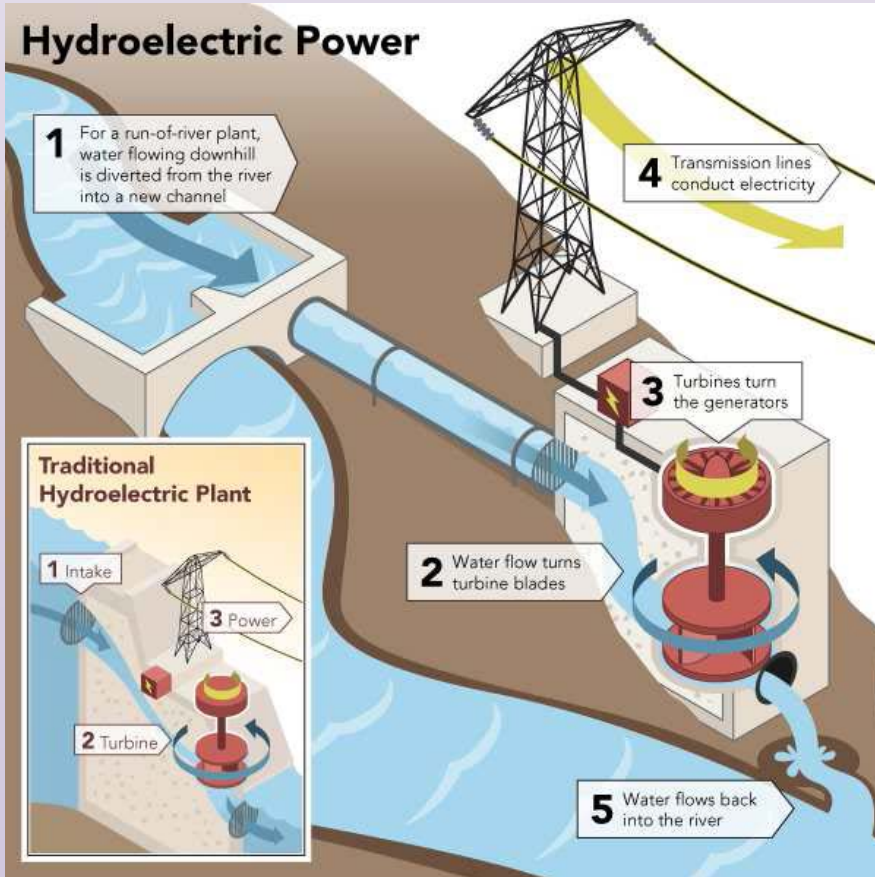
Υδροηλεκτρικά Συστήματα

- ΥΗΣ
- Περιλαμβάνονται κτιριακές εγκαταστάσεις, οι υδροστρόβιλοι, οι ηλεκτρογεννήτριες, οι Μ/Σ, τα συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης και ο λοιπός εξοπλισμός
- Η θέση του ΥΗΣ επιλέγεται με οικονομοτεχνικά κριτήρια
- Μπορεί να εγκατασταθεί στη βάση του φράγματος (υπέργεια) ή υπόγεια ή σε κάποιο άλλο δόκιμο σημείο

Υδροηλεκτρικά Συστήματα



Υδροηλεκτρικά Συστήματα



[Hydroelectric plant](#)

Υδροηλεκτρικά Συστήματα

- **ΥΗΣ**
- Περιλαμβάνονται κτιριακές εγκαταστάσεις, οι υδροστρόβιλοι, οι ηλεκτρογεννήτριες, οι Μ/Σ, τα συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης και ο λοιπός εξοπλισμός
- Η θέση του ΥΗΣ επιλέγεται με οικονομοτεχνικά κριτήρια
- Μπορεί να εγκατασταθεί στη βάση του φράγματος (υπέργεια) ή υπόγεια ή σε κάποιο άλλο δόκιμο σημείο
- **Υδροληψία:** το σημείο όπου το νερό εισέρχεται στον αγωγό προσαγωγή
- **Υπερχειλιστής:** Η διάταξη από όπου εξέρχεται το νερό που πλεονάζει (διέξοδος εκτόνωσης του νερού σε περίπτωση εξαιρετικής ανύψωσης της στάθμης)

Υδροηλεκτρικά Συστήματα

- **Σήραγγα εκτροπής:** διανοίγεται για τη διοχέτευση της φυσικής παροχής του ποταμού (για να γίνει απρόσκοπτα η κατασκευή του φράγματος) – επιπλέον δικλείδα ασφαλείας εκτόνωσης πλημμυρικών φαινομένων
- **Εκκενωτής πυθμένα:** ο αγωγός με τον οποίο εκκενώνεται ο ταμιευτήρας σε περίπτωση ανάγκης ή συντήρησης
- **Σήραγγα ή/και κλειστός αγωγός προσαγωγής του νερού από το φράγμα στους υδροστροβίλους:** ο αγωγός προσαγωγής είναι χαλύβδινος – όταν είναι μεγάλου μήκους προτιμάται να είναι μονός και να τροφοδοτεί ταυτόχρονα όλους τους υδροστροβίλους του ΥΗΣ
- **Πύργος ανάπαλσης:** κατασκευάζονται για προστασία των αγωγών από υπερπιέσεις-υποπιέσεις.
- **Σήραγγα ή/και αγωγός απαγωγής:** μέσω αυτών οδηγείται το νερό και πάλι πίσω στην κατάντη φυσική κοίτη του ποταμού

Υδροηλεκτρικά Συστήματα

- **Θυροφράγματα και βάνες:** για τις ανάγκες κατασκευής και συντήρησης του έργου τοποθετούνται θυροφράγματα και βάννες διακοπής ανάντη και κατόντη των υδροστροβίλων
- **Ταμιευτήρας:** σκοπός η αποθήκευση νερού κατά τη διάρκεια υψηλής βροχόπτωσης και τήξης του χιονιού στα βουνά – **αύξηση στάθμης οδηγεί σε αύξηση ωφέλιμου ύψους αλλά και επιφάνειας**

Υδροηλεκτρικά Συστήματα

- Η διαθέσιμη ποσότητα νερού μια χρονική στιγμή σε σχέση με την προηγούμενη στιγμή είναι:

$$Y_{t+1} = Y_t + I_t + B_t + R_t - ET_t - W_t - X_t - N_t$$

- όπου Y είναι η υπάρχουσα ποσότητα νερού του ταμιευτήρα, I η κύρια εισροή από τα ποτάμια, B η βροχόπτωση πάνω στον ταμιευτήρα, R η τοπική εισροή από το πρανές της λεκάνης του ταμιευτήρα, ET η ποσότητα του νερού που εξατμίζεται, W η ποσότητα νερού που καλύπτει δευτερεύουσες χρήσεις, X η ποσότητα του νερού προς τον στρόβιλο, και N οι απώλειες που δεν μπορούν να ελεγχθούν. Η σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού ή προσομοίωσης

Υδροηλεκτρικά Συστήματα

- Γενικά, τα έργα πολιτικού μηχανικού που περιλαμβάνουν το φράγμα, η υδροληψία, τα συστήματα προσαγωγής και απαγωγής του νερού, τα κτιριακά του ΥΗΣ και το οδικό δίκτυο πρόσβασης αποτελούν το $\approx 60\%$ του συνολικού κόστους.
- Τα έργα ηλεκτρολόγου/μηχανολόγου δηλαδή υδροστρόβιλοι, ηλεκτρογεννήτριες, μετασχηματιστές, όργανα ελέγχου/παρακολούθησης, γερανογέφυρες, κ.λπ., αποτελούν το $\approx 30\%$ του συνολικού κόστους.
- Το υπόλοιπο $\approx 10\%$ του συνολικού κόστους είναι το κόστος των οικονομοτεχνικών μελετών

Υδροηλεκτρικά Συστήματα

- Με βάση την ονομαστική παραγόμενη ισχύ τα υδροηλεκτρικά συστήματα ταξινομούνται σε:
- Μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς με ονομαστική ισχύ $>15\text{MW}$
- Μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς με ονομαστική ισχύ $1\text{MW} - 15\text{MW}$
- Πολύ μικρούς (mini) υδροηλεκτρικούς σταθμούς με ονομαστική ισχύ $<0.1\text{MW}$
- Τα μικρά και τα mini υδροηλεκτρικά συστήματα κατασκευάζονται συνήθως επάνω σε μικρά ποτάμια και υδάτινα ρεύματα με μικρά φράγματα που έχουν ρόλο κυρίως ρυθμιστικό και λιγότερο για τη δημιουργία ταμιευτήρα και για αποθήκευση νερού.
- Από τη σκοπιά της ενεργειακής και της τιμολογιακής πολιτικής μόνο οι **δύο τελευταίες κατηγορίες συμπεριλαμβάνονται στις ΑΠΕ** με ότι αυτό συνεπάγεται για τις διαδικασίες αδειοδότησης, τιμολόγησης αλλά και ένταξης της παραγόμενης ενέργειας στις σχετικές λίστες ΑΠΕ.

Υδροηλεκτρικά Συστήματα

- Με βάση το ωφέλιμο ύψους υδατόπτωσης σε:
 - μικρού ύψους με ωφέλιμο ύψος $H_u < 30\text{m}$,
 - μέσου ύψους με ωφέλιμο ύψος $30\text{m} < H_u < 150\text{m}$, και
 - μεγάλου ύψους με ωφέλιμο ύψος $H_u > 150\text{m}$.
- Επίσης, κατηγοριοποιούνται με βάση την ύπαρξη του ταμιευτήρα σε:
 - συστήματα με ταμιευτήρα,
 - συστήματα με μικρό ταμιευτήρα για εξισορρόπηση, και
 - συστήματα χωρίς ταμιευτήρα.

Υδροηλεκτρικά Συστήματα

- Πλεονεκτήματα υδροηλεκτρικών συστήματα σε σχέση με τις άλλες μονάδες παραγωγής ενέργειας:
 1. Ενεργειακά μπορούν σε ελάχιστο χρόνο να αποδώσουν τη μέγιστη ονομαστική ισχύ τους, λειτουργώντας έτσι ως συστήματα κάλυψης φορτίου αιχμής.
 2. Παρέχουν ισχύ σταθερά και χωρίς διακυμάνσεις.
 3. Ο βαθμός απόδοσης της μετατροπής της ενέργειας είναι από τους μεγαλύτερους σε ενεργειακά συστήματα ΑΠΕ, αλλά και σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα.
 4. Σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες ΑΠΕ είναι πολύ αξιόπιστα.

Υδροηλεκτρικά Συστήματα

- Οικονομικά:
- έχουν σχετικά μεγάλο κόστος εγκατάστασης,
- έχουν πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας (20 εργαζόμενοι για σταθμό ισχύος της τάξης των 300MW) και συντήρησης (προγραμματισμένη συντήρηση κάθε 5,000h),
- έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (50-60 χρόνια για μεγάλα και μεσαία, 25-35 για μικρά) - συμβολή τους στην τοπική ανάπτυξη της περιοχής («παράπλευρα» έργα υποδομής όπως διάνοιξη δρόμων, κατασκευή γεφυρών κ.λπ.).

Υδροηλεκτρικά Συστήματα

- **Μειονεκτήματα των υδροηλεκτρικών συστημάτων :**
- Υπάρχει σημαντική διακύμανση της ποσότητας νερού μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου και κατ' επέκταση **εποχιακή διακύμανση και της παραγόμενης ισχύος**, ιδιαίτερα στους ΥΗΣ χωρίς ταμιευτήρα.
- Περιορισμένη ειδική ενεργειακή πυκνότητα του νερού (kW/kg νερού) γεγονός που επιβάλλει μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας και αποθήκευσης νερού (π.χ. φράγματα, υδαταγωγοί, κ.λπ.) και απαιτεί **μεγάλο αρχικό κεφάλαιο επένδυσης**.
- **Πολλαπλά τεχνικά προβλήματα κατασκευής** (έργα πολιτικού μηχανικού: στεγανότητα φραγμάτων, εκτροπές ποταμών κ.λπ., έργα ηλεκτρολόγου/μηχανολόγου μηχανικού: διασύνδεση με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο κ.λπ.),
- **Μεγάλος χρόνος κατασκευής** που ανάλογα με το μέγεθος και τις απαραίτητες παρεμβάσεις μπορεί να είναι από 3 έως και 8 έτη.
- **Αλλαγή χρήσης Γης** στην περίπτωση κατασκευής μεγάλων φραγμάτων με αποτέλεσμα τη μετεγκατάσταση κοινωνικών / επαγγελματικών δραστηριοτήτων και την κοινωνική δυσαρέσκεια.

Βασικά Στοιχεία Υδραυλικής

- Η ροή εκφράζεται ως ο λόγος του όγκου ανά μονάδα χρόνου ($Q = \frac{V}{t}$) συνεπώς η ισχύς θα ισούται με $Power = P \cdot Q$
- Η μηχανική ισχύς είναι προϊόν της ροπής T και της ταχύτητας N (περιστροφής) του άξονα ενώ η υδραυλική ισχύς είναι προϊόν της πίεσης P και της ροής Q
- Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται για την πίεση είναι συνήθως lb/in^2 ή psi , ενώ για τη ροή GPM.
- Για να εκφράσουμε την υδραυλική ισχύ σε μονάδες $lb_f f t/min$, οι ακόλουθες μετατροπές είναι απαραίτητες:

$$P_{hyd} = P \cdot Q \cdot (231/12) \quad \text{όπου} \quad \left\{ \begin{array}{l} P_{hyd} = \text{υδραυλικη ισχύς σε } (lb_f f t/min) \\ P = \text{πιεση σε } (psi) \\ Q = \text{ροη σε } (GPM) \end{array} \right\}$$

Βασικά Στοιχεία Υδραυλικής

- Η υδραυλική ισχύς σε μονάδες **hp** είναι: $P_{hyd} = \frac{P \cdot Q \cdot (231/12)}{33000} = \frac{P \cdot Q}{1714}$
- Για παράδειγμα αν μία αντλία παραδίδει ρευστό με ροή 5 GPM σε πίεση 2000 psi τότε ποια είναι η ονομαστική ισχύς της αντλίας;
- Με βάση τον παραπάνω τύπο θα έχουμε:

$$P_{hyd} = \frac{2000 \cdot 5}{1714} = 5.8 \text{ hp}$$

Βασικά Στοιχεία Υδραυλικής

- Ανάλυση λειτουργίας υδραυλικού κινητήρα (περιστρεφόμενου επενεργητή):
- Θεωρούμε ότι η ροή ενός ρευστού ο οποίος έχει εκτόπισμα V_m παραδίδεται σε ένα υδραυλικό κινητήρα
- Σημείωση: το εκτόπισμα ενός υδραυλικού κινητήρα ορίζεται ως ο όγκος του ρευστού που απαιτείται για να παραχθεί μία πλήρης περιστροφή ($i \text{ n}^3 / r \text{ ev}$)
- Όταν ροή Q παραδίδεται σε ένα υδραυλικό κινητήρα, αυτός περιστρέφεται με ταχύτητα $N \text{ rpm} \rightarrow N = Q / V_m$, όπου:

$$\left\{ \begin{array}{l} N = \text{περιστροφική ταχύτητα σε (rpm)} \\ Q = \text{ροή σε (i n}^3 / \text{min)} \\ V_m = \text{εκτόπισμα σε (i n}^3 / r \text{ ev)} \end{array} \right\}$$

- Ορίζουμε τη μηχανική ισχύ του κινητήρα ως: $P_{mech} = \frac{2\pi TN}{33000}$, όπου:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{mech} = \text{μηχανική ισχύς σε (hp)} \\ T = \text{ροπή σε (lb}_f \text{ft)} \\ N = \text{περιστροφική ταχύτητα σε (rpm)} \end{array} \right\}$$

Βασικά Στοιχεία Υδραυλικής

Ροή ρευστού σε αγωγό

- Ιξώδες (Viscosity):
- Το ιξώδες ενός ρευστού είναι ένα μέτρο της αντίστασης του στη ροή. Π.χ. ένα παχύρευστο υγρό έχει μεγαλύτερο ιξώδες και συνεπώς μεγαλύτερη αντίσταση στη ροή
- Μετρείται από το ρυθμό με τον οποίο το ρευστό αντιστέκεται στην παραμόρφωση του λόγω εφαρμογής πίεσης-δύναμης
- Εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση
- Αύξηση $T \rightarrow$ ελάττωση ιξώδους
- Ονομαστικό ιξώδες είναι αυτό σε θερμοκρασία 50°C

Μεγάλο ιξώδες σημαίνει:

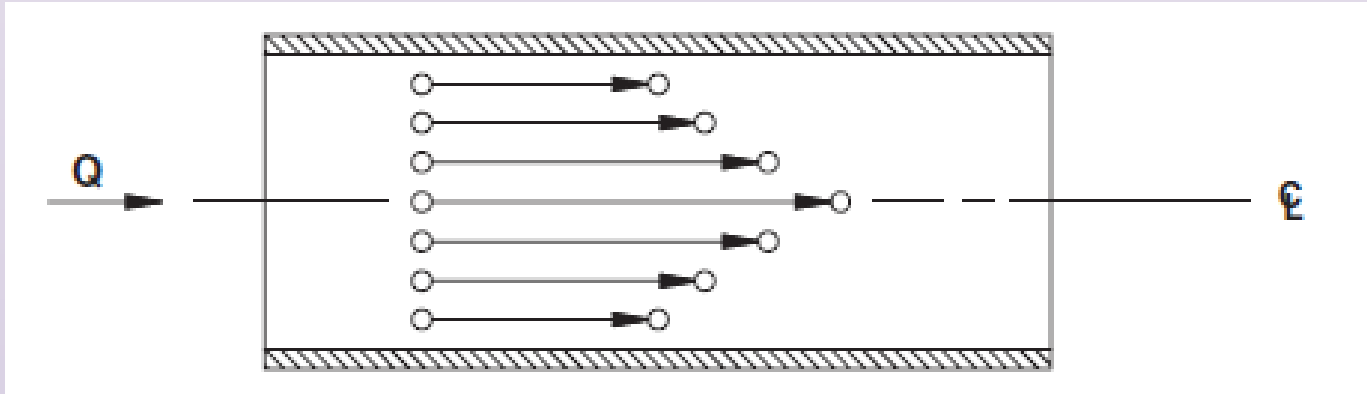
- ✓ Μεγάλη αντίσταση στη ροή
- ✓ Αύξηση απωλειών ισχύος λόγω τριβών
- ✓ Αυξημένη πτώση πίεσης στις γραμμές και στις βαλβίδες
- ✓ Αυξημένη θερμοκρασία λόγω τριβών

Μικρό ιξώδες οδηγεί:

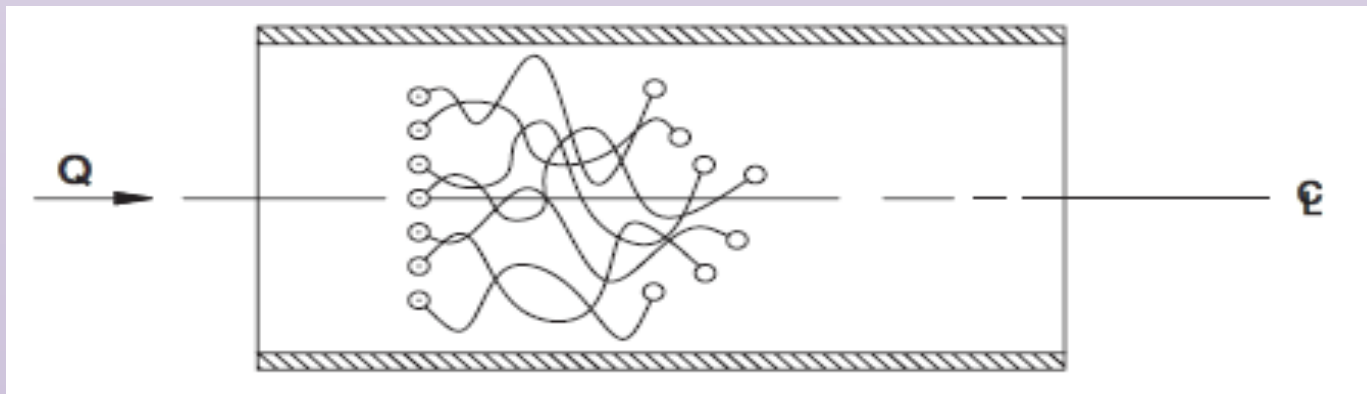
- ✓ Αυξημένες απώλειες λόγω διαρροών από σφραγίσματα
- ✓ Αυξημένη καταπόνηση και σκισίματα κινούμενων μερών

Βασικά Στοιχεία Υδραυλικής

- Στρωτή ροή



- Τυρβώδης ροή



Βασικά Στοιχεία Υδραυλικής

- Αριθμός Reynolds
- Τα βασικά χαρακτηριστικά της ροής ενός ρευστού σε ένα κύκλωμα είναι οι δυνάμεις που αναπτύσσονται εξαιτίας της αδράνειας και του ιξώδους
- Ο Osborn Reynolds καθόρισε μέσω πειραμάτων τη μετάβαση μεταξύ *στρωτής* και *τυρβώδους* ροής
- Ο αριθμός Reynolds ορίζει πως η στρωτή ροή είναι συνάρτηση ενός “καθαρού”

αριθμού που ορίζεται ως εξής: $N_R = \frac{vD\rho}{\mu}$ όπου:

- v = ταχύτητα ρευστού
- D = εσωτερική διάμετρος αγωγού
- ρ = πυκνότητα μάζας ρευστού
- μ = δυναμικό ιξώδες

- Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται η εξίσωση: $N_R = \frac{7740vD}{\nu}$
 - v = ταχύτητα ρευστού (ft/s)
 - D = εσωτερική διάμετρος αγωγού (in)
 - ν = κινηματικό ιξώδες (cS)

Βασικά Στοιχεία Υδραυλικής

- Κανόνες προσδιορισμού είδους ροής:
 1. Αν η τιμή του αριθμού $N_R < 2000$, τότε η ροή είναι στρωτή
 2. Αν η τιμή του αριθμού $N_R > 2000$, τότε η ροή είναι τυρβώδης
 3. Το εύρος τιμών για τον αριθμό Reynolds $2000 < N_R < 4000$ αποτελεί περιοχή μετάβασης μεταξύ στρωτής και τυρβώδους ροής

Βασικά Στοιχεία Υδραυλικής

- Εξίσωση του Darcy:
- Η τριβή είναι η βασική αιτία απωλειών ενέργειας κατά τη ροή του ρευστού στις σωληνώσεις
- Η υδραυλική ισχύς στην είσοδο ενός αγωγού δίνεται από την εξίσωση:
 $P_{hyd1} = P_1 Q_1$ όπου P_1, Q_1 είναι η πίεση και η ροή εισόδου
- Αντίστοιχα θα έχουμε: $P_{hyd2} = P_2 Q_2$
- Εφόσον λόγω τριβής έχουμε απώλειες ενέργειας, και δεχόμενοι πως οι αγωγοί δεν παρουσιάζουν διαρροή ($Q_1=Q_2$), θα πρέπει $P_2 < P_1$
- Τελικά η τριβή προκαλεί πτώση πίεσης κατά μήκος του αγωγού

Βασικά Στοιχεία Υδραυλικής

- Η πτώση πίεσης πολλές φορές αναφέρεται και ως *head loss*
- Ο όρος *head* στην υδραυλική συνδέει την ενέργεια του ρευστού με το ύψος μια στήλης με το ίδιο υγρό και την ίδια ενέργεια
- Οι απώλειες “ισχύος” (*head loss*) έχουν μονάδα μέτρησης το μήκος (ft) και υπολογίζονται με βάση την εξίσωση του Darcy:

$$h_L = f \cdot \left(\frac{L}{D} \right) \cdot \left(\frac{v^2}{2g} \right) \text{ όπου,}$$

- ✓ h_L =απώλειες (**ft**)
- ✓ f =συντελεστής τριβής (αδιάστατο νούμερο – καθαρός αριθμός)
- ✓ D =εσωτερική διάμετρος αγωγού (**ft**)
- ✓ L =μήκος αγωγού (**ft**)
- ✓ v =μέση ταχύτητα ρευστού (**ft/s**)
- ✓ g =επιτάχυνση της βαρύτητας (**ft/s²**)

Βασικά Στοιχεία Υδραυλικής

- Ο συντελεστής τριβής για τη στρωτή ροή υπολογίζεται από τη σχέση:

$$f = \frac{64}{N_R}$$

- Αντικαθιστώντας την τιμή αυτή στην εξίσωση του Darcy προκύπτει η εξής διατύπωση:

$$h_L = \frac{64}{N_R} \cdot \left(\frac{L}{D} \right) \cdot \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad \rightarrow \text{γνωστή ως } \mathbf{Hagen - Poiseuille}$$

Σημείωση: η παραπάνω εξίσωση είναι έγκυρη μόνο για την περίπτωση της στρωτής ροής

Βασικά Στοιχεία Υδραυλικής

- Έτσι τελικά η εξίσωση για την πτώση πίεσης γίνεται:

$$\Delta P = \frac{128 \cdot (\rho \cdot \nu) \cdot L \cdot Q}{\pi D^4}$$

- Η ογκομετρική ροή δίδεται από τη σχέση $Q = Av$ με $A \rightarrow$ επιφάνεια και $v \rightarrow$ ταχύτητα

- Για αγωγό με εσωτερική διάμετρο D προκύπτει τελικά: $Q = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot v}{4}$

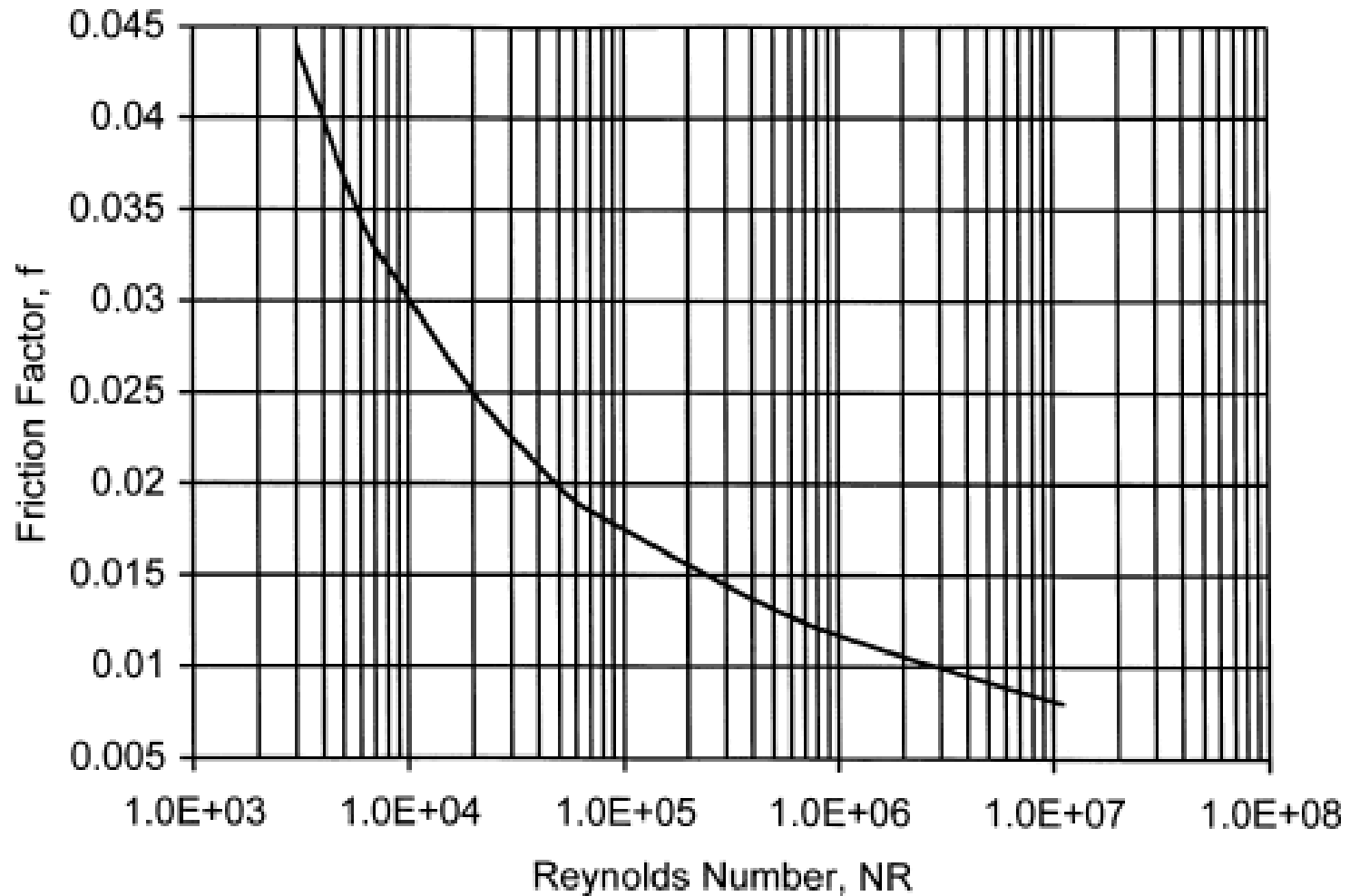
- Έτσι έχουμε τελικά: $\Delta P = \frac{64 \cdot \nu \cdot \rho \cdot L \cdot v}{2 \cdot D^2}$

- Ο αριθμός Reynolds N_R μπορεί να γραφεί και ως συνάρτηση του κινηματικού ιξώδους

$$N_R = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

- Τελικά έχουμε: $\Delta P = \frac{64}{2} \cdot \left[\frac{v \cdot D}{N_R} \right] \cdot \rho \cdot \frac{L}{D^2} \cdot v = \frac{64}{N_R} \cdot \left[\frac{L}{D} \right] \cdot \left(\frac{\rho \cdot v^2}{2} \right)$

Βασικά Στοιχεία Υδραυλικής

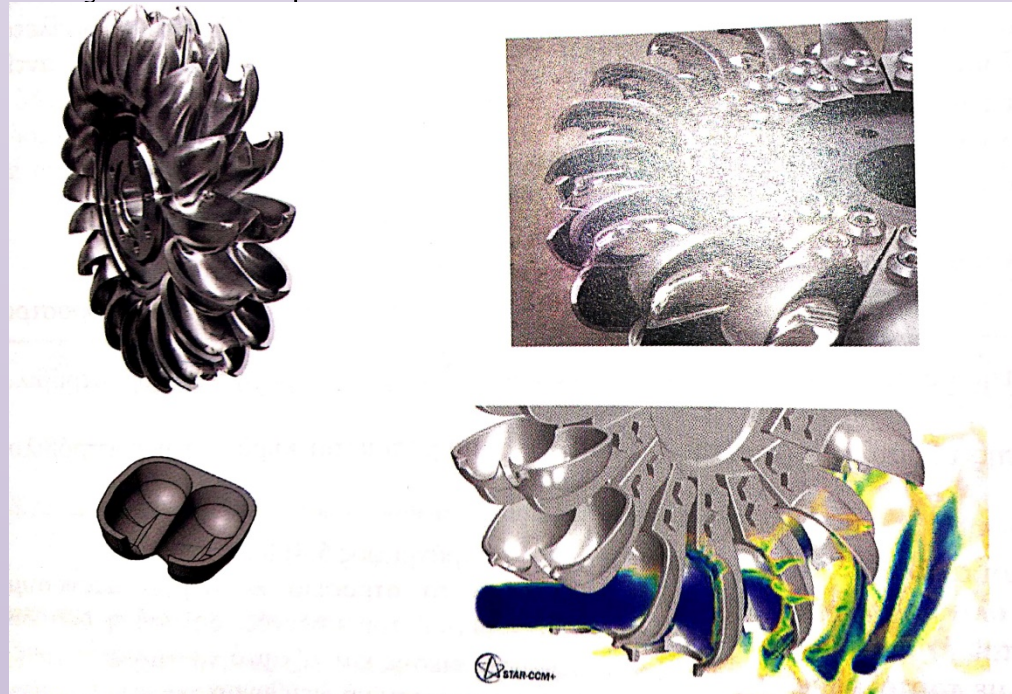


Βασικά Στοιχεία Υδραυλικής

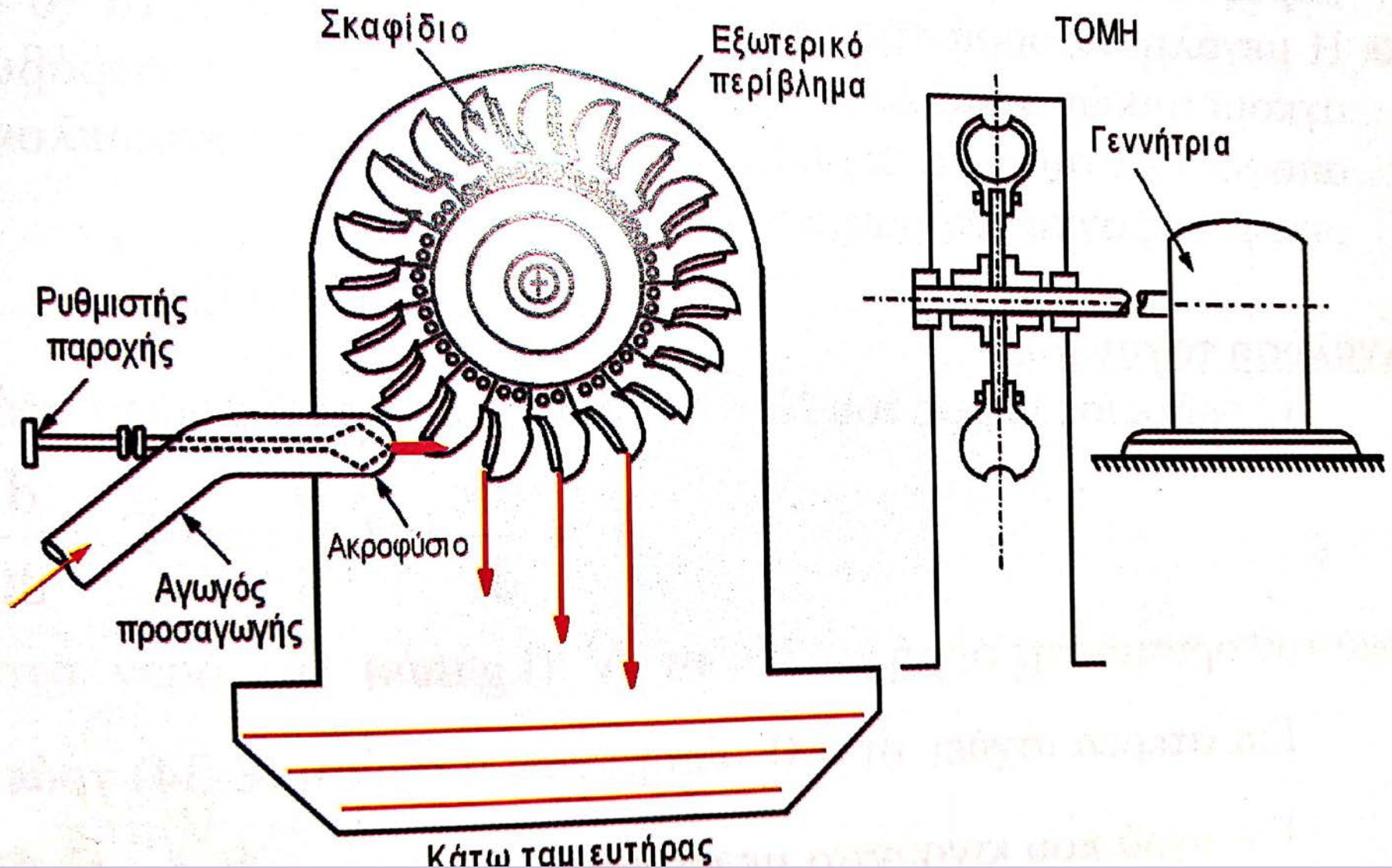
- Οι συνολικές απώλειες περιλαμβάνουν τρία είδη απωλειών:
- Υδραυλικές. Υδραυλικές απώλειες τριβής κατά μήκος των γραμμών ροής από τη διατομή εισόδου (e) μέχρι την διατομή εξόδου (a) και υδραυλικές απώλειες κρούσεως που οφείλονται στη διαφορά της γωνίας πρόσπτωσης της ροής στα περύγια του στροφείου σε σχέση με την αντίστοιχη γωνία των περυγίων.
- Ογκομετρικές. Οφείλονται στις απώλειες παροχής διακένου. Οι ΥΣ δράσεως δεν παρουσιάζουν ογκομετρικές απώλειες λόγω της ισοθλιπτικής λειτουργίας του στροφείου τους.
- Μηχανικές. Διακρίνονται στις απώλειες των εδράνων και τις απώλειες στρεφομένου δίσκου.

Ταξινόμηση Υδροστρόβιλων

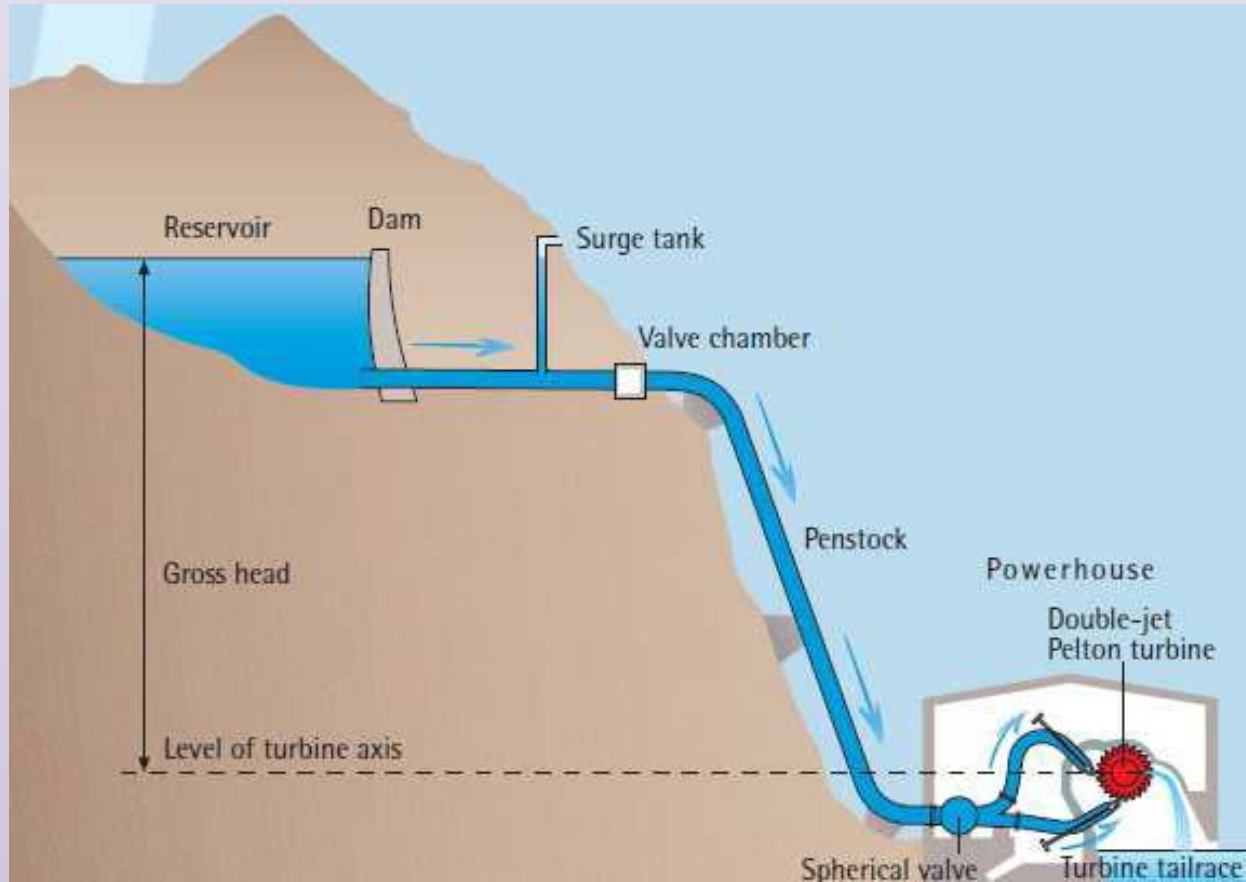
- Ανάλογα του τρόπου παραλαβής της ενέργειας του νερού:
- Υδροστρόβιλους δράσης ή ισοθλιπτικός (τύπου Pelton). Η διαθέσιμη (κυρίως δυναμική) ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε κινητική υπό ατμοσφαιρική πίεση, με τη βοήθεια του ακροφυσίου εξόδου του αγωγού προσαγωγής. Η υδάτινη δέσμη του νερού που κατέχει πλέον μόνο κινητική ενέργεια προσκρούει πάνω στα σκαφίδια χωρίς να τα γεμίζει εντελώς και βγαίνει από αυτά με καινούργια διεύθυνση, αφού κατά τη ροή του πάνω σε κάθε πτερύγιο ακολουθεί τη διαμόρφωση της επιφάνειας του σκαφιδίου



Ταξινόμηση Υδροστρόβιλων



Ταξινόμηση Υδροστροβίλων



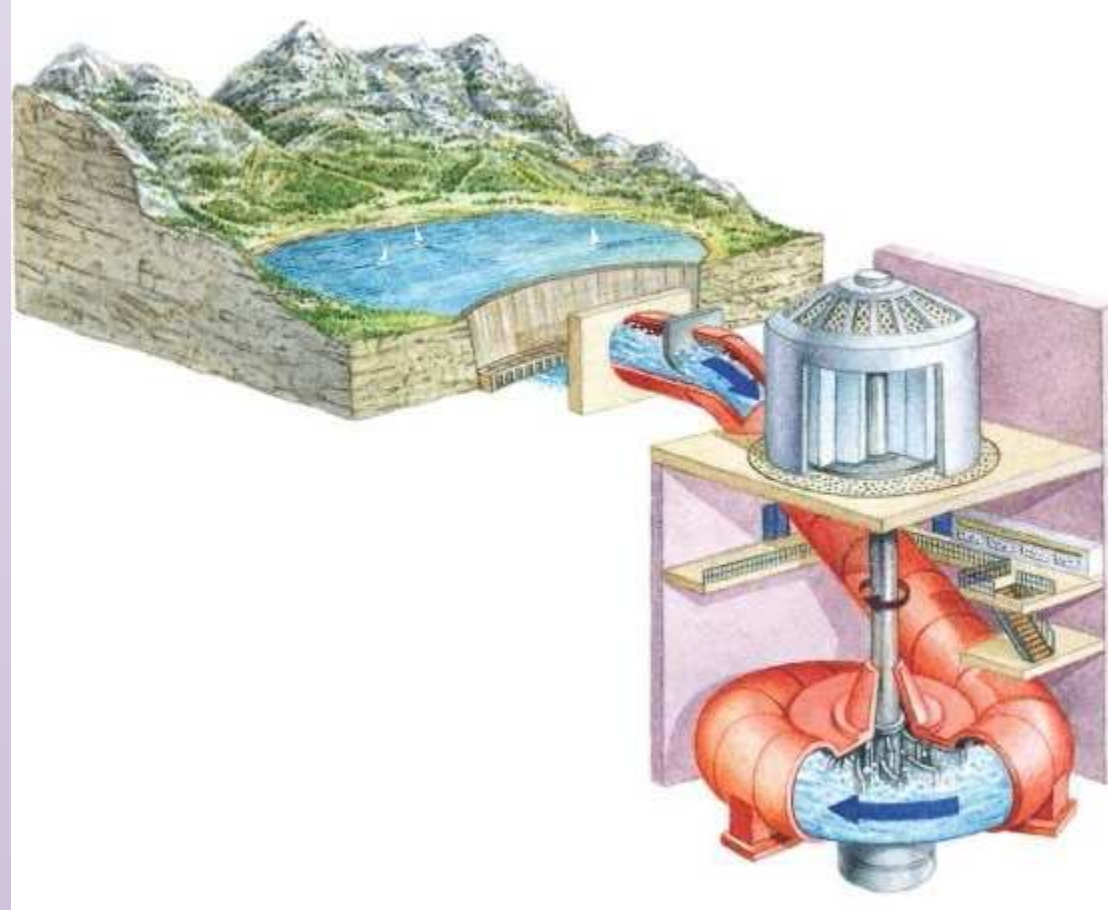
- ΥΗΣ με υδροστρόβιλο Pelton οριζόντιου άξονα που τροφοδοτείται από 2 ακροφύσια
- [Pelton video 1](#)
- [Pelton video](#)

Ταξινόμηση Υδροστρόβιλων

- Υδροστρόβιλους αντίδρασης (τύπου Kaplan, Francis): το νερό κατέχει κυρίως δυναμική ενέργεια. Μέρος της δυναμικής ενέργειας μετατρέπεται σε κινητική όταν περάσει μέσα από τα οδηγιά πτερύγια στο εσωτερικό σώμα του κελύφους όπου μέρος της διαθέσιμης πίεσης μετατρέπεται σε ταχύτητα και στη συνέχεια πέφτει πάνω στα πτερύγια του στροφείου.
- Στο είδος αυτό των υδροστρόβιλων μέρος μόνο της δυναμικής του ενέργειας του νερό μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια, ενώ το υπόλοιπο παραμένει σαν δυναμική (υπό τη μορφή πίεσης).
- Στους υδροστρόβιλους αντίδρασης η παραγωγή ισχύος οφείλεται κυρίως στη δυναμική ενέργεια και λιγότερο στην κινητική ενέργεια που διαθέτει το νερό σε αντίθεση με τους υδροστρόβιλους δράσης που εκμεταλλεύονται τη μοναδική ενέργεια που διαθέτει το νερό λίγο πριν την πρόσπτωσή του στον υδροστρόβιλο και αυτή είναι η κινητική.

Ταξινόμηση Υδροστρόβιλων

- Υδροστρόβιλος αντίδρασης τύπου **Francis**



Ταξινόμηση Υδροστρόβιλων

- Ο υδροστρόβιλος Francis είναι στρόβιλος μικτής ροής με ακτινική εισαγωγή και αξονική έξοδο
- Το νερό εισέρχεται στη σπείρα ακτινικά και στη συνέχεια αποδίδει την ενέργεια του στα καμπύλα πτερύγια και εξέρχεται αξονικά



- Στην είσοδο του νερού από το κέλυφος του στροφείου υπάρχουν **οδηγά πτερύγια** για την οδήγηση της ροής, ενώ υπάρχουν και **στρεφόμενα/ρυθμιζόμενα πτερύγια** τα οποία βελτιστοποιούν τις γωνίες εισόδου ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της ροής

[Francis](#)

Ταξινόμηση Υδροστρόβιλων

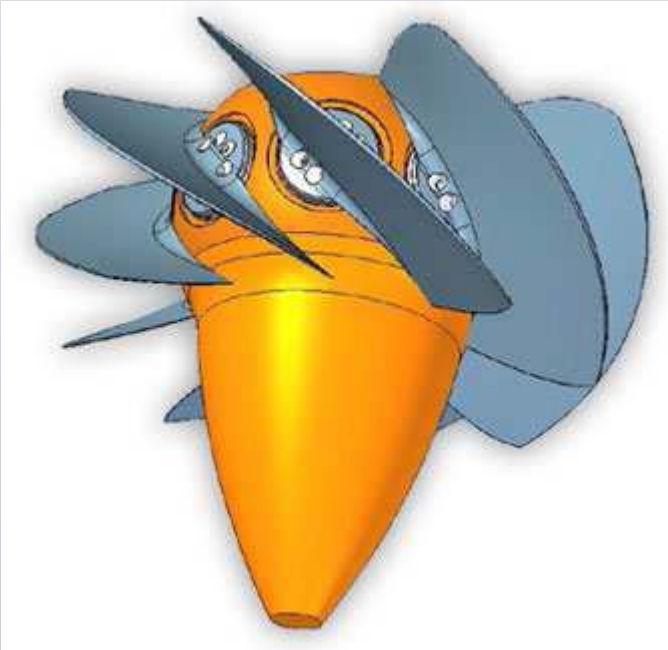
- Ο υδροστρόβιλος είναι όλος βυθισμένος στο νερό και καταλαμβάνει λίγο χώρο, ενώ μπορεί να περιστρέφεται σε υψηλές στροφές/λεπτό
- **Το σπειροειδές κέλυφος** επιτρέπει την ομοιόμορφη κατανομή της ροής στον υδροστρόβιλο αφού καθώς προχωράει στο νερό μέσα στο κέλυφος ένα μέρος εισέρχεται μέσα στον υδροστρόβιλο με αποτέλεσμα στη συνέχεια να πρέπει να μειώνεται αντίστοιχα η διάμετρος του σπειροειδούς κελύφους για τη διατήρηση σταθερής ροής
- **Η περιστροφή των ρυθμιστικών πτερυγίων**, εκτός από τη μεταβολή της κλίσης της απόλυτης ταχύτητας, **επιτυγχάνει τη μεταβολή του διακένου μεταξύ δύο διαδοχικών πτερυγίων**, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της παροχής και άρα της ισχύος εξόδου του υδροστροβίλου, για σταθερή ταχύτητα περιστροφής και διαθέσιμη υδραυλική πτώση

Ταξινόμηση Υδροστροβίλων

- Τελικά το νερό πέφτει πάνω στα πτερύγια του στροφείου, όπου σταδιακά μεταβάλλει την πορεία από ακτινική σε αξονική
- Κατά την πορεία του νερού μέσα από τα πτερύγια του στροφείου, η **εφαπτομενική συνιστώσα της ταχύτητας μειώνεται**, αυξανόμενης της αξονικής με ταυτόχρονη μείωση του στροβιλισμού
- Ο αριθμός των πτερυγίων του στροφείου Francis επιλέγεται περιττός (συνήθως 11, 13, 15) έτσι ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος συντονισμού και ταλαντώσεων λόγω του αναγκαστικά άρτιου πλήθους των ρυθμιστικών πτερυγίων.

Ταξινόμηση Υδροστρόβιλων

- Υδροστρόβιλος αντίδρασης τύπου **Kaplan**
- Μοιάζει εμφανισιακά με προπέλα ενώ έχει και παρόμοια λειτουργία



- Είναι ένας υδροστρόβιλος καθαρά αξονικής ροής

Ταξινόμηση Υδροστροβίλων

- Είναι κατάλληλοι για την αξιοποίηση μικρών υδραυλικών πτώσεων, όπου οι δυνάμεις είναι μικρότερες, με σκοπό τη μείωση των υδραυλικών απωλειών τριβής και του κόστους της μηχανής
- Τα περύγια του στροφείου είναι από 3 έως 8 και υπάρχει η δυνατότητα περιστροφής των περυγίων γύρω από τον εαυτό τους, ακόμα και όταν το στροφείο βρίσκεται σε κίνηση

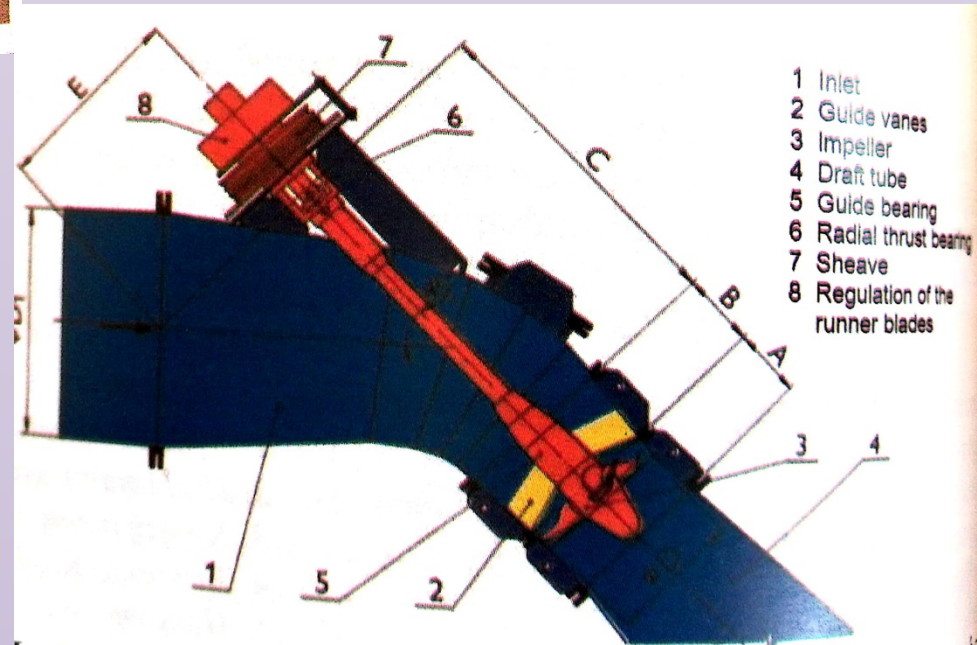
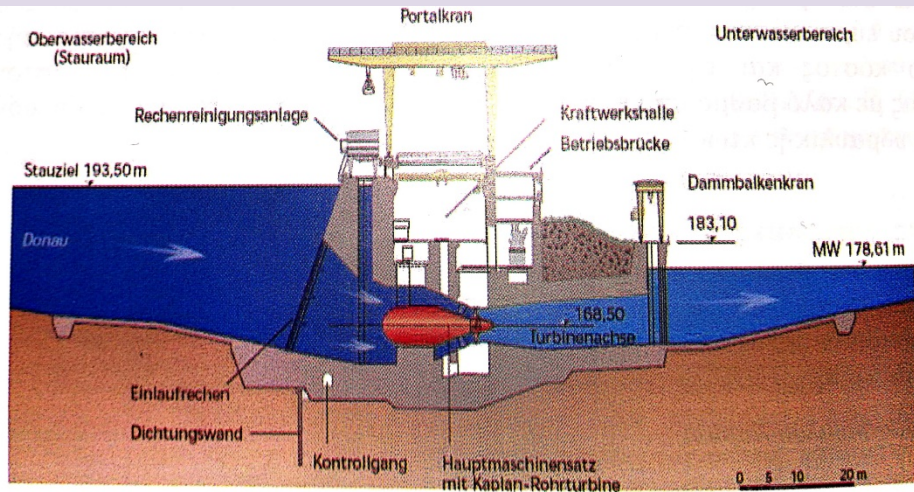
[Kaplan 1](#)

[Kaplan 2](#)

- Ο υδροστροβίλος Kaplan περιστρέφεται με πολύ μεγάλο ειδικό αριθμό στροφών, πράγμα που τον κάνει αποδοτικό για μεγάλες παροχές νερού, με μέσα έως μικρά ύψη πτώσεως κάτω των 80 m

Ταξινόμηση Υδροστρόβιλων

- Για μικρές τιμές υδραυλικής πτώσης (<10 m) αντί της κλασσικής διαμόρφωσης αξονικής ροής συναντώνται 2 παραλλαγές, ο βολβοειδής και ο σωληνωτός



Σύγκριση Τύπων Υδροστροβίλων

Σύγκριση Τύπων Υδροστροβίλων

- 1. Υδροστροβίλος **Pelton** (δράσης):
 - Κατάλληλος για πολύ υψηλές τιμές της υδραυλικής πτώσης ($H > 300$).
 - Ισχύς μέχρι 400MW.
 - Άριστη προσαρμογή σε λειτουργία με μεταβαλλόμενη παροχή
 - Κακή προσαρμογή σε λειτουργία με μεταβαλλόμενη υδραυλική πτώση H .
 - .
- 2. Υδροστροβίλος **Francis** (αντίδρασης):
 - Κατάλληλος για μεσαίες τιμές της υδραυλικής πτώσης ($H = 150$ με $750\text{m}\Sigma\Upsilon$).
 - Ισχύς μέχρι 400MW.
 - Αργόστροφος (χαμηλός ειδικός αριθμός στροφών) .
 - Καλή προσαρμογή σε λειτουργία υπό μεταβαλλόμενη παροχή
 - Μέτρια προσαρμογή σε λειτουργία με μεταβαλλόμενη υδραυλική πτώση H .
- 3. Υδροστροβίλος **Kaplan** (αντίδρασης):
 - Κατάλληλος για μεσαίες **και μικρές τιμές** της υδραυλικής πτώσης ($H = 20-150\text{m}\Sigma\Upsilon$) .
 - Ισχύς μέχρι 800MW.
 - Πολύστροφος (υψηλός ειδικός αριθμός στροφών).
 - Μέτρια προσαρμογή σε λειτουργία με μεταβαλλόμενη παροχή
 - Σχετικά καλή προσαρμογή σε λειτουργία με μεταβαλλόμενη υδραυλική πτώση H

[Σύγκριση τύπων υδροστροβίλων](#)

Σχεδιασμός, Επιλογή Τύπου, και Αριθμού Υδροστρόβιλων

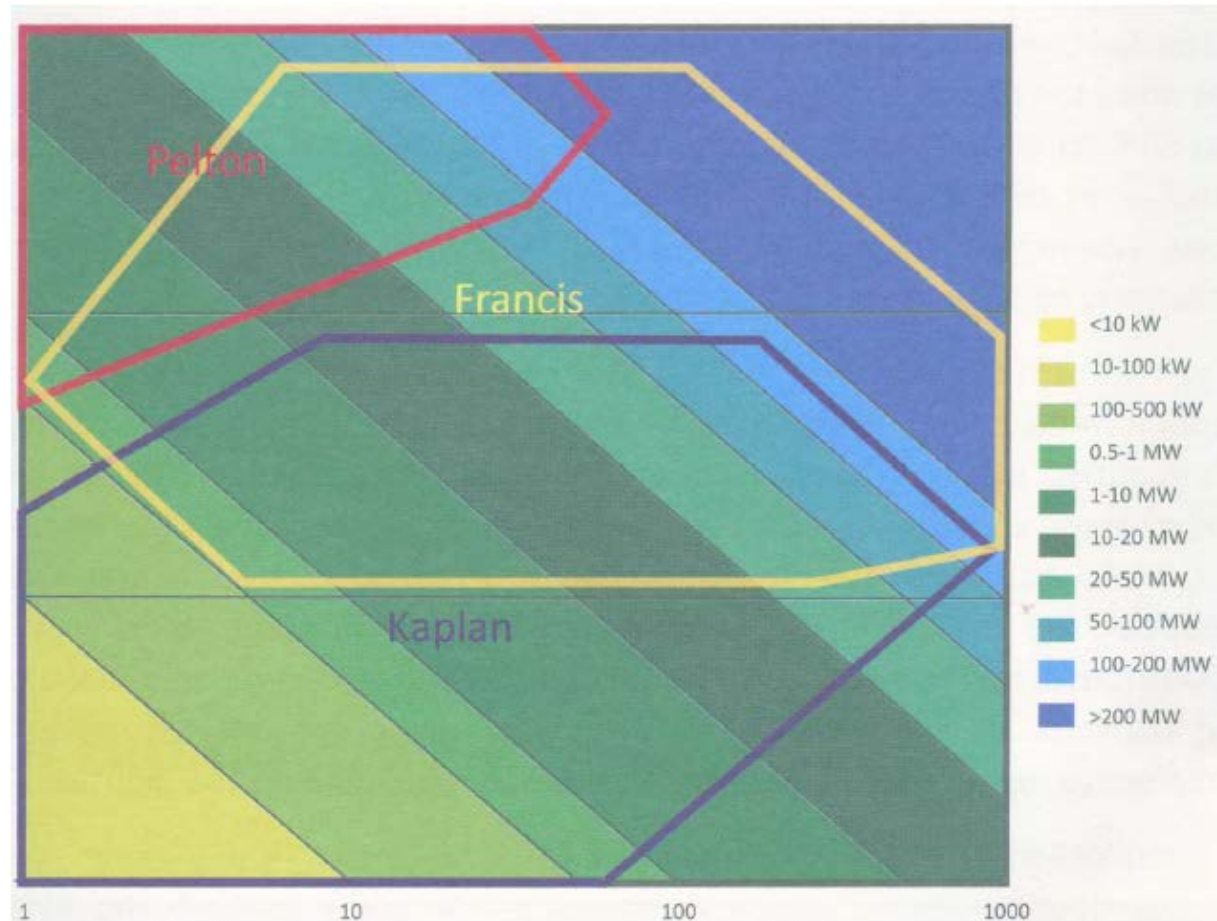
- Η ύπαρξη ταμιευτήρα επιτρέπει: λειτουργία του υδροστρόβιλου κοντά στις σχεδιαστικές του παραμέτρους με αποτέλεσμα μεγάλο και σταθερό βαθμό απόδοσης
- Εκμετάλλευση όλης της ετήσιας παροχής (με ικανό ταμιευτήρα) χωρίς να υπερδιαστασιοποιηθεί το σύστημα του υδροστρόβιλου-προσαγωγής, ενώ μπορεί να γίνει και ρύθμιση της παραγόμενης ενέργειας ανάλογα με τις ανάγκες
- Το κόστος της κατασκευής του φράγματος και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις το καθιστούν εφικτό σε μεγάλα έργα που εξυπηρετούν πολλαπλούς σκοπούς και εντάσσονται σε γενικούς ενεργειακούς και υδροδοτικούς σχεδιασμούς.

Ταξινόμηση Υδροστρόβιλων

- Όταν δεν υπάρχει ταμιευτήρας:
- το ρεύμα του νερού διέρχεται κατευθείαν μέσα από το υδροστρόβιλο. Επειδή η παροχή δεν είναι ελεγχόμενη, ο βαθμός απόδοσης του υδροστρόβιλου αλλάζει με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγόμενης ενέργειας.
- **σε περιπτώσεις έντονης ροής** ένα κομμάτι της παροχής παρακάμπτεται στο βαθμό που ξεπερνά το τεχνικό- ονομαστικό μέγιστο του υδροστρόβιλου, ενώ αντίστοιχα όταν η παροχή είναι πολύ μικρή ο υδροστρόβιλος δεν μπορεί να λειτουργήσει.
- ο υδροστρόβιλος δεν μπορεί να γίνει πολύ μεγάλος γιατί θα είναι πολύ ακριβός και γιατί όταν λειτουργεί σε χαμηλή παροχή θα μειώνεται πολύ η απόδοση. Τα πλεονεκτήματα της λύσης του ταμιευτήρα είναι σημαντικά αλλά το κόστος της κατασκευής του φράγματος και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις το καθιστούν εφικτό σε μεγάλα έργα που εξυπηρετούν πολλαπλούς σκοπούς

Ταξινόμηση Υδροστροβίλων

Ύψος (m)



Εύρος λειτουργίας της κάθε τεχνολογίας ως προς την παροχή και το ύψος