



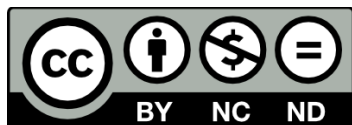
ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ενότητα 2: Υδροηλεκτρικοί σταθμοί

Χατζηαθανασίου Βασίλειος

Καδή Στυλιανή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

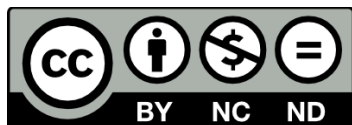
ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ





Υδροηλεκτρικοί σταθμοί



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Περιεχόμενα ενότητας

1. Υδροηλεκτρικοί σταθμοί
 1. Διάταξη
 2. Διαθέσιμη ισχύς
2. ΥΗΣ φυσικής ροής
3. ΥΗΣ ταμιευτήρα
4. Υδραντλητικοί σταθμοί
5. Τύποι υδροστροβίλων



Υδροηλεκτρική ενέργεια

- Δωρεάν από τη φύση αλλά σημαντικές δαπάνες και έργα για την εκμετάλλευσή της.
- Κριτήρια κατασκευής ΥΗΣ:
 - κόστος.
 - ενεργειακή πολιτική.
 - συνδυασμός με άλλες εργασίες κοινής ωφέλειας (π.χ. άρδευση).



Υδροηλεκτρικοί σταθμοί

- Στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς (ΥΗΣ), η κινητική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω ενός υδροστροβίλου που είναι κατευθείαν συνδεδεμένος με μια σύγχρονη γεννήτρια.
- Οι ΥΗΣ έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής σε σύγκριση με τους θερμικούς. Η παραγωγή τους εξαρτάται από τη διαθέσιμη ποσότητα του νερού, η οποία εκφράζεται με τον όρο *υδραυλικότητα*.



Πλεονεκτήματα

- χαμηλό κόστος λειτουργίας.
- γρήγορη ρύθμιση ισχύος.
- ανεξάντλητη πηγή.
- καθόλου εκπομπές ρυπαντών.



Μειονεκτήματα

- υψηλό κόστος κατασκευής.
- αλλοίωση περιβάλλοντος.
- υδραυλικότητα ασταθής.



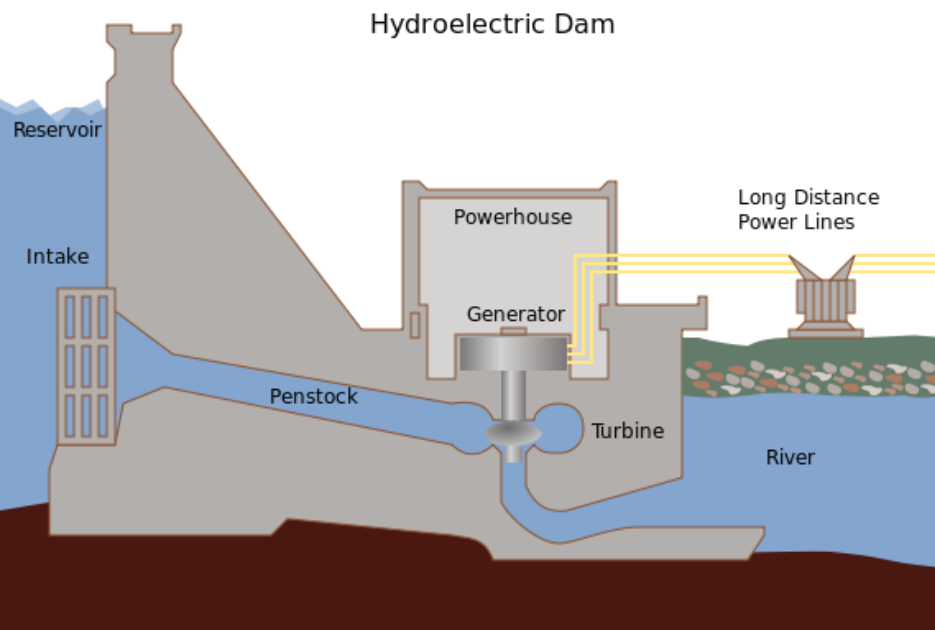
Μικρά υδροηλεκτρικά

- φιλικότητα προς το περιβάλλον.
- μικρές αποκεντρωμένες μονάδες.
- εκμετάλλευση απο τοπική αυτοδιοίκηση.



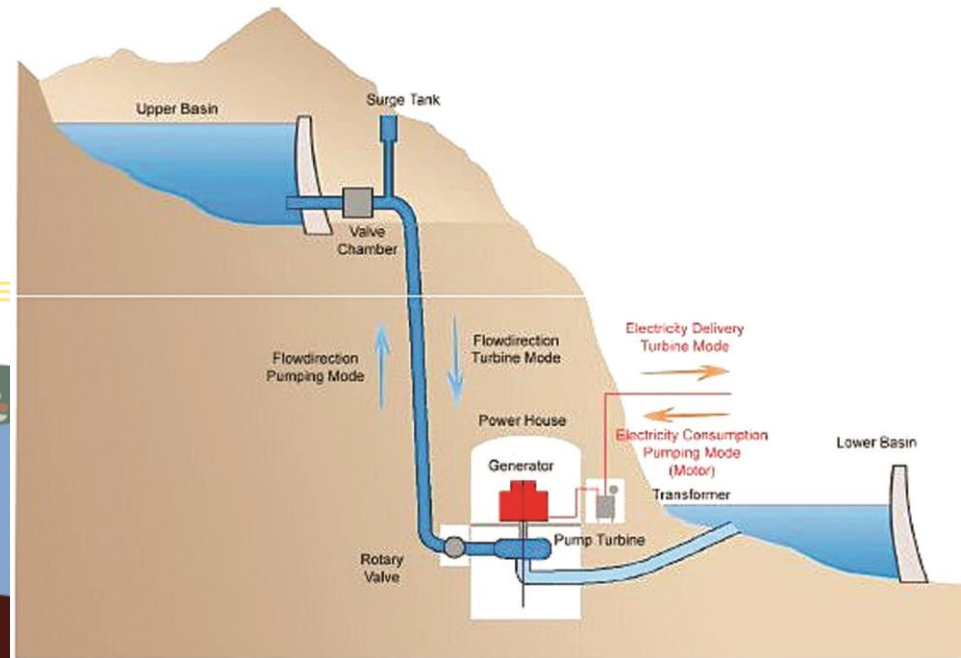
ΥΗΣ – Σχηματική διάταξη

Συμβατικός



Εικόνα 1: Συμβατικός ΥΗΣ

Υδραντλητικός



Εικόνα 2: Υδραντλητικός ΥΗΣ



Διαθέσιμη υδραυλική ισχύς

$$P' = 9.8 \cdot Q \cdot h$$

όπου:

- P' : η διαθέσιμη υδραυλική ισχύς [kW]
- Q : η παροχή του νερού [m^3/s]
- h : ύψος πτώσης [m]



Ισχύς ΥΗΣ

$$P = 9.8 \cdot Q \cdot (h - h'_f) \cdot \eta \text{ kW}$$

- όπου:

h'_f : οι ισοδύναμες υδραυλικές απώλειες

η : ο βαθμός απόδοσης του ΥΗΣ

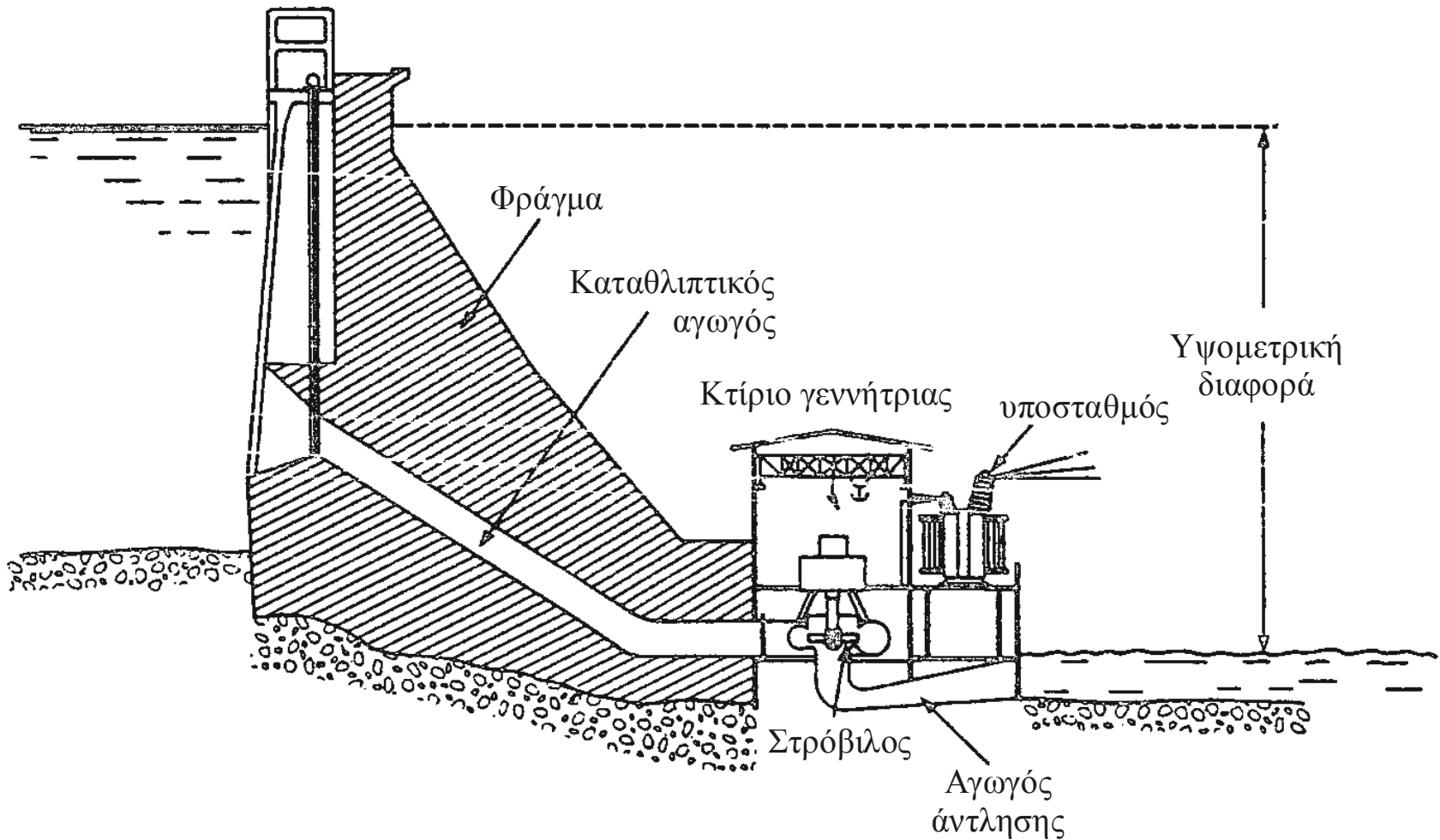


Συγκρότηση ΥΗΣ

- Ένας ΥΗΣ αποτελείται από:
 - το φράγμα.
 - τον ταμιευτήρα.
 - τους υδραγωγούς, τους καταθλιπτικούς σωλήνες και το σπειροειδές περίβλημα.
 - το κτίριο ισχύος.
 - τον αγωγό άντλησης και το κανάλι διαφυγής.



Σχηματικό διάγραμμα ΥΗΣ



Φράγμα



Εικόνα 3: Φράγμα ΔΕΗ



Μέγεθος ΥΗΣ

- Εξαρτάται από:
 - τη διαθέσιμη ποσότητα ύδατος και το ρυθμό παροχής της.
 - την «ευαισθησία» του κόστους της εγκαταστημένης ισχύος στη μεταβολή της ισχύος του σταθμού.



Τύποι ΥΗΣ

- Οι ΥΗΣ διακρίνονται:
 - ανάλογα με το ύψος πτώσης του νερού, σε σταθμούς:
 - χαμηλής πίεσης (<30 m).
 - μέσης πίεσης (30-300 m).
 - υψηλής πίεσης (>300m).
 - ανάλογα με τη διαδικασία παραγωγής ισχύος, σε σταθμούς:
 - φυσικής ροής.
 - δεξαμενής.
 - υδραντλητικούς.



Σταθμοί φυσικής ροής

- Στους σταθμούς αυτούς γίνεται χρήση της υδραυλικής ενέργειας της φυσικής ροής του ποταμού.
- Σε μια τυπική εγκατάσταση, απαιτείται ένας μικρός υδραγωγός τροφοδότησης για να οδηγήσει το νερό στο(ους) στρόβιλο(ους) χρησιμοποιώντας τη φυσική ροή του ποταμού, με μικρή ή καμία αλλαγή του καναλιού του ποταμού και μικρή κατακράτηση νερού ενώ δεν απαιτείται ταμιευτήρας.
- Συνήθως χρησιμοποιούνται στρόβιλοι χαμηλής ταχύτητας τύπου Kaplan ή Francis με ρυθμιζόμενα πτερύγια για την καλύτερη εκμετάλλευση των διακυμάνσεων στις ροές.
- Οι στρόβιλοι σχεδιάζονται για να διαχειρίζονται μεγάλες ποσότητες νερού σε χαμηλές πιέσεις.



ΥΗΣ φυσικής ροής



Εικόνα 4: ΥΗΣ φυσικής ροής

Σταθμοί δεξαμενής (ταμιευτήρα)

- Οι περισσότεροι ΥΗΣ που υπάρχουν στην Ελλάδα είναι σταθμοί ταμιευτήρα.
- Οι ταμιευτήρες κατασκευάζονται προφανώς σε περιοχές που ευνοούνται από την μορφολογία του εδάφους.
- Το τυπικό εύρος χωρητικότητας των ταμιευτήρων είναι $1-10 \text{ km}^3$.
- Ο σταθμός δεν είναι κατ' ανάγκη κοντά στο φράγμα, αλλά στη θέση εκείνη στην οποία έχουμε την μέγιστη δυνατή υψομετρική διαφορά.
- Το νερό από το κάτω μέρος του ταμιευτήρα μεταφέρεται με σωλήνες (καταθλιπτικοί σωλήνες) στον ΥΗΣ. Υπάρχουν συνήθως δύο αποφρακτικά όργανα. Ένα στο φράγμα, στο σημείο που το νερό μπαίνει στους σωλήνες και το οποίο χρησιμοποιείται για να σταματήσουμε τη ροή του νερού προκειμένου να εκτελεσθούν εργασίες συντήρησης ή επισκευές στους καταθλιπτικούς σωλήνες. Το άλλο είναι στο τέλος των καταθλιπτικών σωλήνων και χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να διακόψουμε τη ροή στο(ους) στρόβιλο(ους).
- Χρησιμοποιούνται στρόβιλοι Francis μέσης ταχύτητας ή Pelton υψηλής ταχύτητας.
- Στους ΥΗΣ αυτούς υπάρχει και ένας ταμιευτήρας *απόσβεσης ή ηρέμισης* για να αποσβένει τα κρουστικά κύματα που προκύπτουν στις απότομες αλλαγές ισχύος.



ΥΗΣ ταμιευτήρα



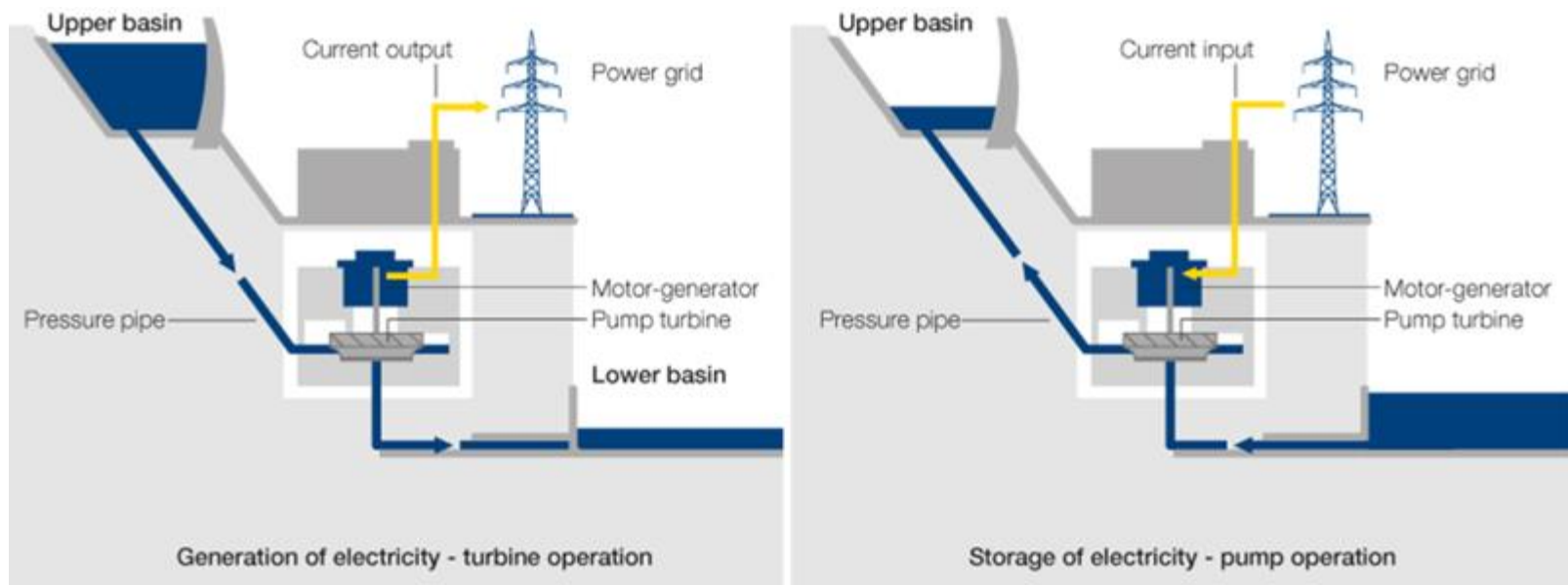
Εικόνα 5: ΥΗΣ Καστρακίου με ταμιευτήρα

Υδραντλητικοί σταθμοί (1/4)

- Αποτελούνται από δύο ταμιευτήρες, τον *ταμιευτήρα άνω* και τον *ταμιευτήρα κάτω στάθμης (ανάντι και κατάντι λίμνη)*, την *αντλία*, το *στρόβιλο* και τη *γεννήτρια*.
- Συνήθως ο στρόβιλος και η αντλία είναι ενσωματωμένοι σε μια υδρομηχανή, τον *αντλιοστρόβιλο*, ο οποίος ανάλογα με τη φορά περιστροφής του αντλεί νερό ή κινείται από το νερό.



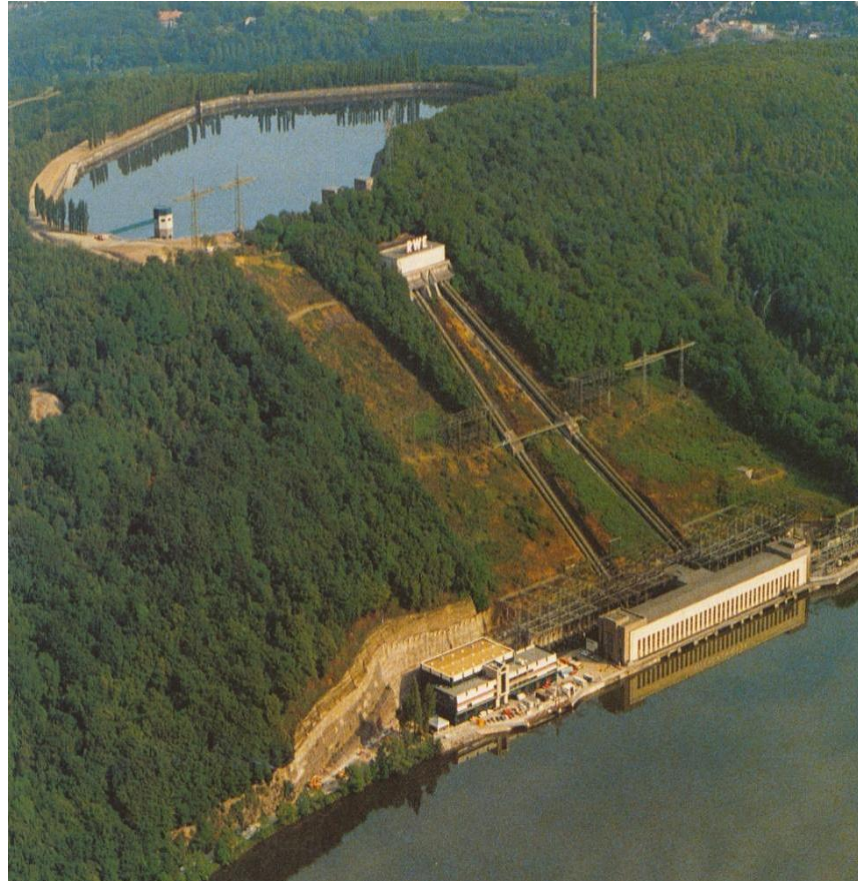
Υδραντλητικοί σταθμοί (2/4)



Εικόνα 6: Διάγραμμα υδραντλητικού σταθμού



Υδραντλητικοί σταθμοί (3/4)



Εικόνα 7: Υδραντλητικός σταθμός



Υδραντλητικοί σταθμοί (4/4)

- Μεγάλες ποσότητες ενέργειας μπορούν να αποθηκευθούν μόνο με μηχανικό τρόπο και αυτός είναι ο λόγος της μεγάλης ανάπτυξης των υδραντλητικών σταθμών.
- Στα συστήματα αυτά, χρησιμοποιείται η περίσσεια φθηνή ηλεκτρική ενέργεια σε περιόδους χαμηλής ζήτησης (π.χ. τη νύχτα, οπότε η γεννήτρια λειτουργεί σα σύγχρονος κινητήρας που κινεί το στρόβιλο σαν μια τεράστια αντλία) για την άντληση νερού από την κατάντι στην ανάντι λίμνη.
- Στις αιχμές ζήτησης του φορτίου ο σταθμός λειτουργεί σα συμβατικός ΥΗΣ παρέχοντας ηλεκτρική ενέργεια καθώς το νερό ρέει αντίστροφα, από την ανάντι στην κατάντι λίμνη. Τότε παίρνουμε πίσω την αποθηκευμένη ενέργεια.



Παράδειγμα (1/2)

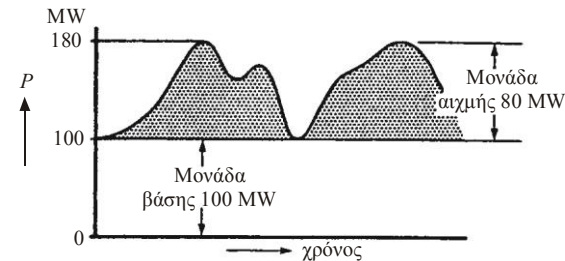
- Η ημερήσια ζήτηση φορτίου κυμαίνεται μεταξύ 100 και 160 MW. Πως μπορεί να καλυφθεί;



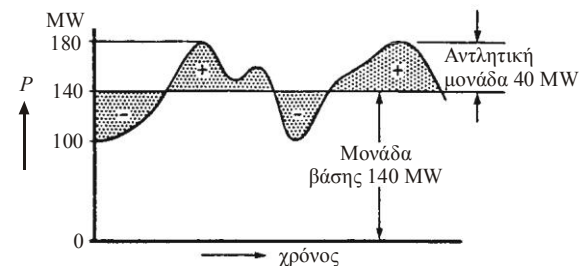
Παράδειγμα (2/2)

- Δύο λύσεις:

- Μονάδα βάσης 100 MW – μονάδα αιχμής 80 MW (π.χ αεριοστροβιλικός).



- Μονάδα βάσης 140 MW – μονάδα αιχμής 40 MW (υδραντλητικός).



Παράδειγμα (3/3)

- Τα πλεονεκτήματα της δεύτερης λύσης είναι:
 - Ο σταθμός βάσης είναι μεγαλύτερος και άρα αποδοτικότερος.
 - Ο σταθμός αιχμής είναι μικρότερος οπότε κοστίζει λιγότερο.



Υδραντλητικοί σταθμοί (1/3)

- Η ισχύς των υδραντλητικών σταθμών κυμαίνεται μεταξύ 50 MW και 500 MW.
- Υδραντλητικοί σταθμοί στην Ελλάδα:
 - Σφηκιάς (στον Αλιάκμονα, ισχύος 315 MW).
 - Θησαυρού και Πλατανόβρυσης (στο Νέστο, ισχύος 300 MW και 100 MW αντίστοιχα).



Υδραντλητικοί σταθμοί (2/3)

- Οι σύγχρονες εγκαταστάσεις έχουν την ικανότητα της γρήγορης απόκρισης σε απαιτήσεις παροχής ισχύος αιχμής, αντίστροφης περιστροφής κλπ.
- Ο στρόβιλος είναι δυνατό να τεθεί σε λειτουργία -από στάση- μέσα σε 90 sec και σε πλήρη ισχύ σε 120 sec, ενώ η αλλαγή από τη λειτουργία άντλησης στη λειτουργία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να γίνει σε ιδανικές συνθήκες μέσα σε 180 με 240 sec.



Υδραντλητικοί σταθμοί (3/3)

- Η επιλογή της θέσης των υδραντλητικών σταθμών είναι μια διαδικασία πιο σύνθετη από αυτή των συμβατικών ΥΗΣ. Αυτό επειδή χρειαζόμαστε τους δύο ταμιευτήρες, ο ένας από τους οποίους είναι συνήθως φυσικός, και τοποθεσία με κατάλληλα γεωγραφικά χαρακτηριστικά (διαφορά ύψους, κοντινή απόσταση κλπ).
- Ο εξοπλισμός είναι επίσης πιο σύνθετος επειδή το νερό διαπερνά το σύστημα προς αμφότερες τις διευθύνσεις. Συνήθως το νερό ανακυκλοφορεί μέσα στο σύστημα μεταξύ των δύο ταμιευτήρων.



Τύποι Υδροστροβίλων

- δράσης: Pelton.
- αντίδρασης: Francis και Kaplan.



Υδροστρόβιλοι Pelton (1/2)

- Συνήθως έχουν οριζόντιο άξονα και ένα μόνο ακροφύσιο.
- Χρησιμοποιούνται για μεγάλες υψομετρικές διαφορές.



Υδροστρόβιλοι Pelton (2/2)



Εικόνα 8: Υδροστρόβιλος Pelton



Υδροστρόβιλος Francis



Εικόνα 9: Υδροστρόβιλος Francis



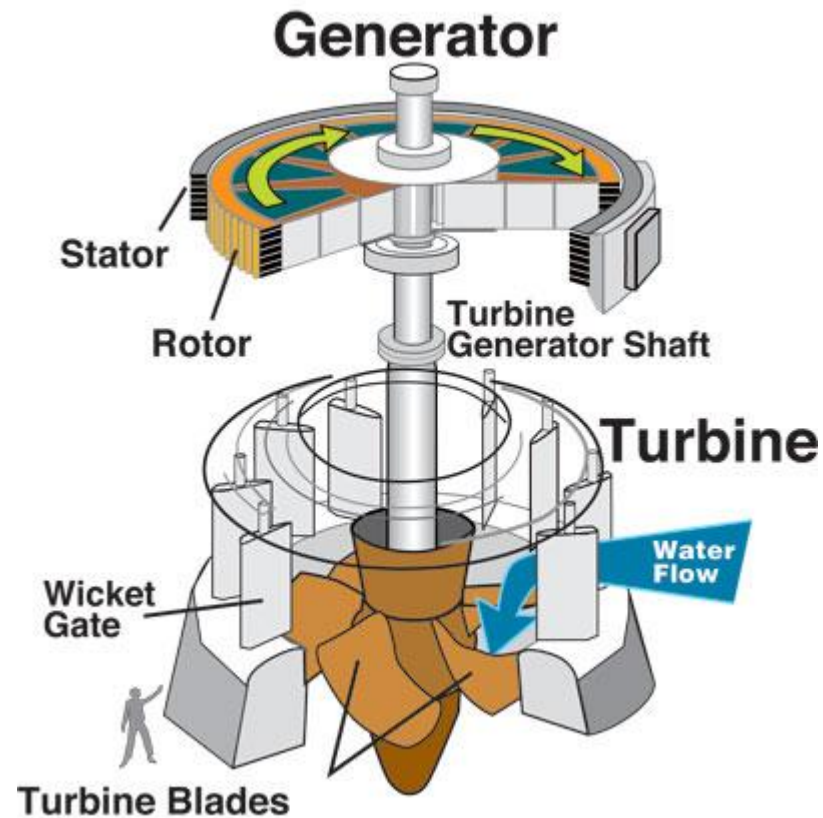
Υδροστρόβιλος Kaplan



Εικόνα 10: Υδροστρόβιλος Kaplan



Σύνδεση αξόνων στροβίλου και γεννήτριας



Εικόνα 11: Σύνδεση αξόνων στροβίλου και γεννήτριας



Επιλογή υδροστροβίλου

- Μεγάλες υψομετρικές διαφορές: Pelton.
- Μικρές υψομετρικές διαφορές: Kaplan.
- Ύψη < 25 m: μόνο Kaplan.
- Μέχρι 80 m: στρόβιλοι αντίδρασης.
- Ύψη 100 – 300 m Francis.
- Ύψη 400 – 600 m Francis και Pelton.
- Μεγαλύτερα ύψη: μόνο Pelton.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/3)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 1:

Συμβατικός ΥΗΣ:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/57/Hydroelectric_dam.svg

- Εικόνα 2:

Υδραντλητικός ΥΗΣ: <http://www.windpowerengineering.com/design/electrical/power-storage/>

- Εικόνα 3:

Φράγμα ΔΕΗ: <https://www.dei.gr/el/paragwgi/fwtografiko-uliko>

- Εικόνα 4:

ΥΗΣ φυσικής ροής: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:lcHrbrDam2.jpg>

- Εικόνα 5:

ΥΗΣ Καστρακίου με ταμιευτήρα: <http://www.cityofagrinio.gr/city/dams>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/3)

- Εικόνα 6:

Διάγραμμα υδραντλητικού σταθμού: <http://www.thehea.org/hydropower/special-focus/pump-storage-power-plants/>

- Εικόνα 7:

Υδραντλητικός σταθμός: <http://www.energystorageexchange.org/projects/513>

- Εικόνα 8:

Υδροστρόβιλος Pelton: <http://electrical-engineering-portal.com/lester-allan-pelton-father-hydroelectric-power>

- Εικόνα 9:

Υδροστρόβιλος Francis: http://en.wikipedia.org/wiki/Francis_turbine

- Εικόνα 10:

Υδροστρόβιλος Kaplan: <http://www.radio.cz/en/static/inventors/kaplan-turbine>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/3)

- Εικόνα 11:

Σύνδεση αξόνων στροβίλου και γεννήτριας:

<http://water.usgs.gov/edu/hyhowworks.html>



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Χατζηαθανασίου Βασίλειος, Καδή Στυλιανή. «ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. Υδροηλεκτρικοί σταθμοί». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS427/>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

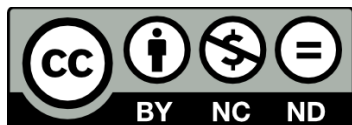
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα
Θεσσαλονίκη, Χειμερινό εξάμηνο 2014-2015





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

