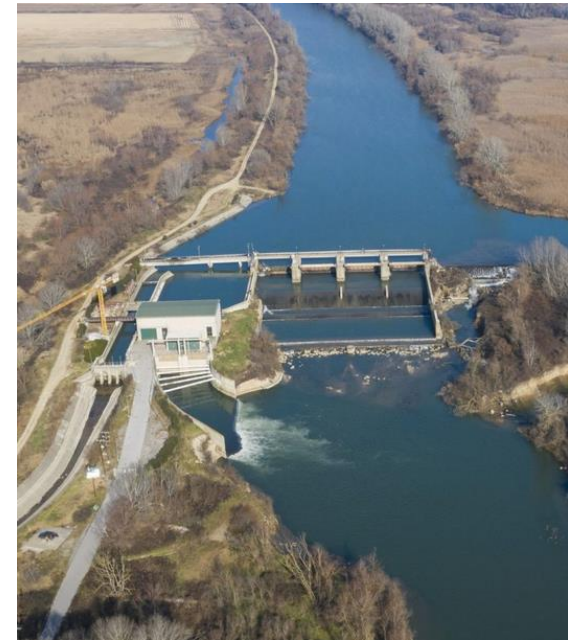
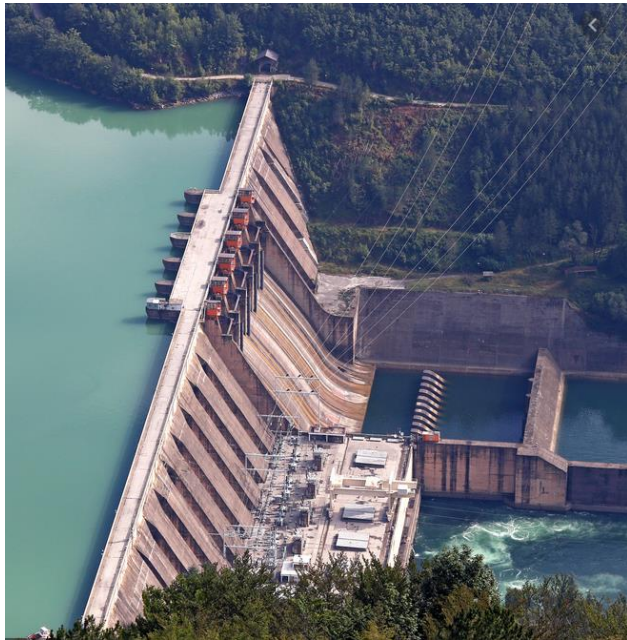


# Ανανεώσιμη Ενέργεια & Υδροηλεκτρικά Έργα

8<sup>ο</sup> εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών

2<sup>ο</sup> εξάμηνο ΔΠΜΣ Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων

## Γενικές διατάξεις υδροενεργειακών έργων



Ανδρέας Ευστρατιάδης

Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ακαδημαϊκό έτος 2022-23

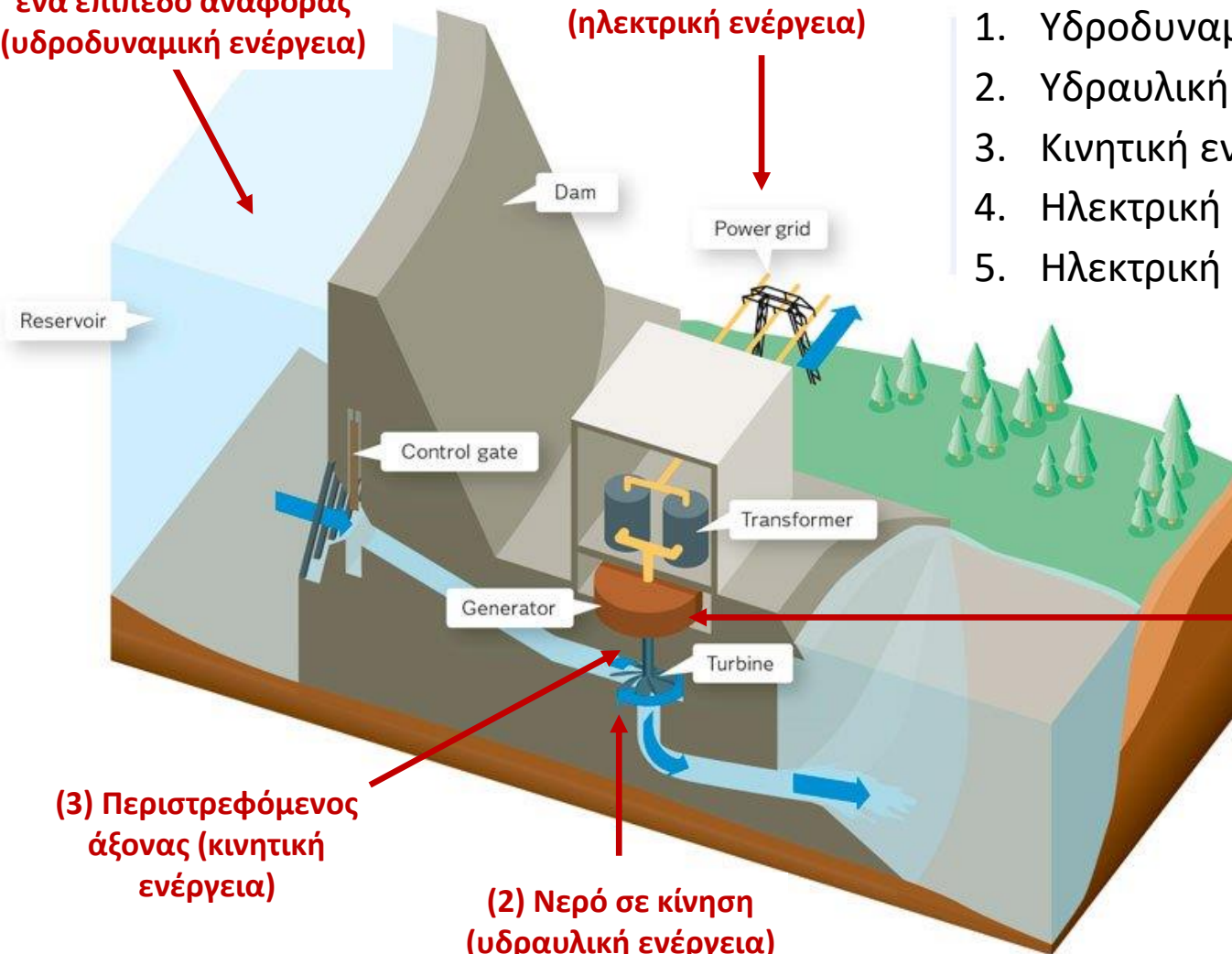
# Γενική διάταξη & συνιστώσες συστήματος παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας

(1) Αποθηκευμένο νερό σε υψομετρική διαφορά από ένα επίπεδο αναφοράς (υδροδυναμική ενέργεια)

(5) Ρεύμα που αποδίδεται στο δίκτυο υψηλής τάσης (ηλεκτρική ενέργεια)

Υ/Η ενέργεια = σύστημα διαδοχικών ενεργειακών μετασχηματισμών:

1. Υδροδυναμική ενέργεια
2. Υδραυλική ενέργεια
3. Κινητική ενέργεια περιστροφής
4. Ηλεκτρική ενέργεια (χαμηλή τάση)
5. Ηλεκτρική ενέργεια (υψηλή τάση)

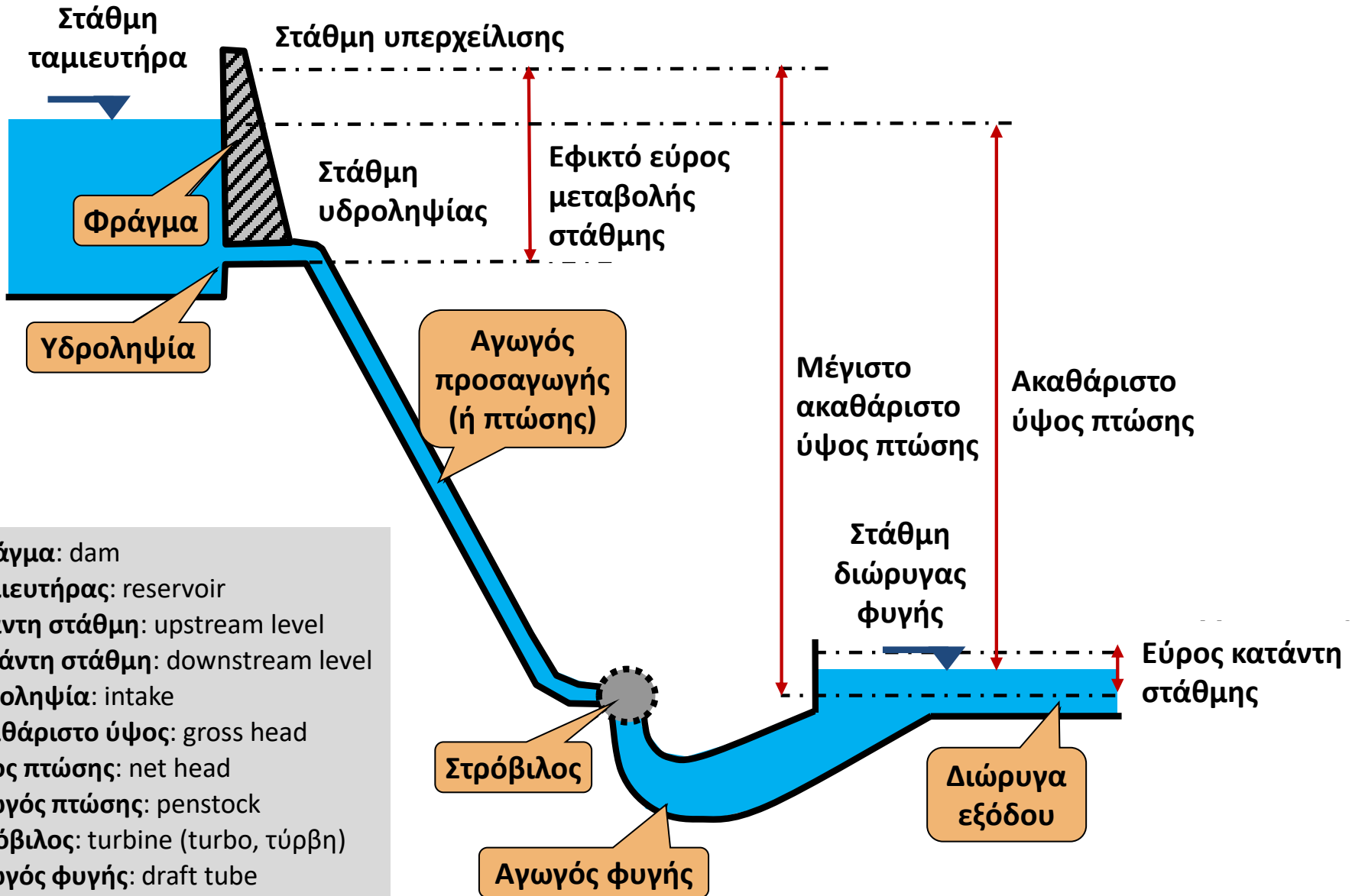


(4) Περιστρεφόμενο πηνίο σε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (ηλεκτρική ενέργεια χαμηλής τάσης)

(3) Περιστρεφόμενος άξονας (κινητική ενέργεια)

(2) Νερό σε κίνηση (υδραυλική ενέργεια)

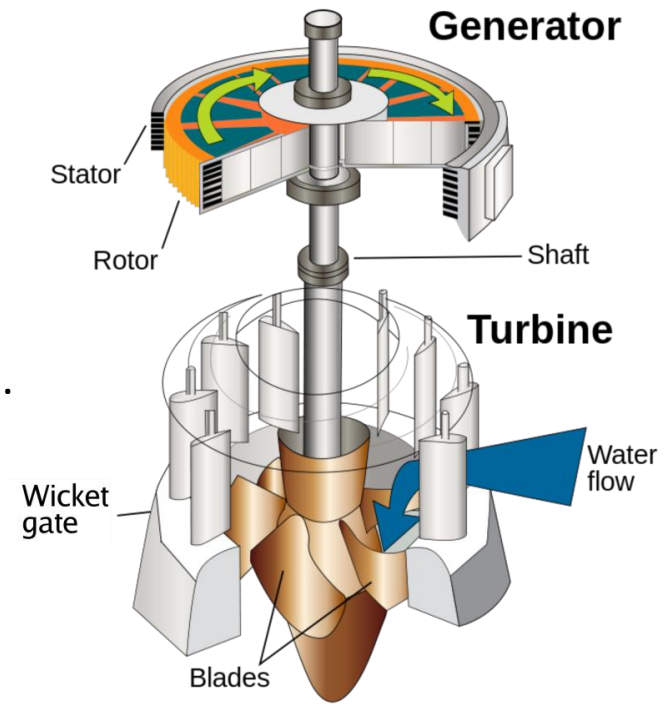
# Βασικά υδροενεργειακά μεγέθη



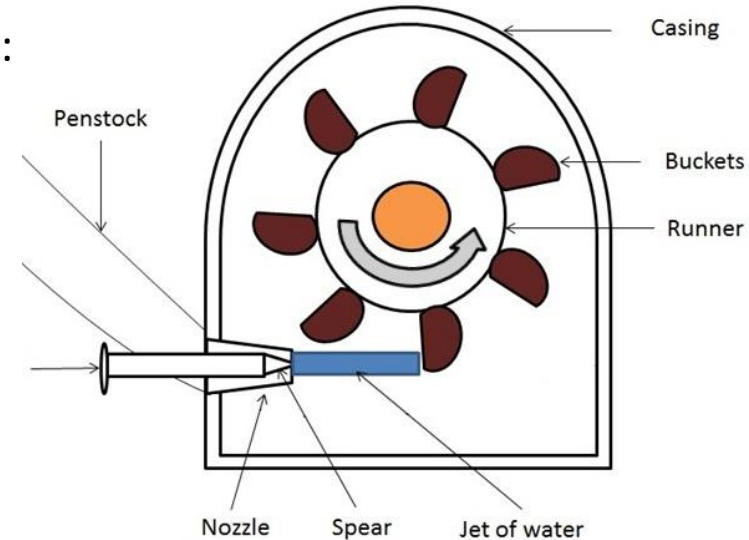
Φράγμα: dam  
Ταμιευτήρας: reservoir  
Ανάντη στάθμη: upstream level  
Κατόντη στάθμη: downstream level  
Υδροληψία: intake  
Ακαθάριστο ύψος: gross head  
Ύψος πτώσης: net head  
Αγωγός πτώσης: penstock  
Στρόβιλος: turbine (turbo, τύρβη)  
Αγωγός φυγής: draft tube  
Διώρυγα εξόδου: tailrace

# Η/Μ συνιστώσες: υδροστρόβιλοι, γεννήτριες & μετασχηματιστές

- ❑ **Υδροστρόβιλος (water turbine):** Συσκευή μετατροπής της υδραυλικής ενέργειας σε περιστροφική κινητική ενέργεια ενός άξονα (shaft), οριζόντιου ή κατακόρυφου. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:
  - ❑ **Στρόβιλοι δράσης:** εκροή στην ατμόσφαιρα (αξιοποιείται η κινητική ενέργεια του νερού)
  - ❑ **Στρόβιλοι αντίδρασης:** ροή βυθισμένη (υπό πίεση)
- ❑ **Ηλεκτρογεννήτρια (electric generator):** Συσκευή μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική (εναλλασσόμενο ρεύμα). Περιλαμβάνει δύο τμήματα:
  - ❑ **Στάτορας (stator) ή στατόν ή επαγωγέας ή πόλοι μηχανής:** Ακίνητο μέρος, στο οποίο υπάρχουν μόνιμοι μαγνήτες ή ηλεκτρομαγνήτες
  - ❑ **Επαγωγίμο ή στρεπτόν ή ρότορας (rotor):** Κινητό μέρος, στο οποίο υπάρχουν πηνία.
- ❑ **Μετασχηματιστής (transformer):** Συσκευή μετατροπής του εναλλασσόμενου ρεύματος σε ρεύμα υψηλής ή υπερυψηλής τάσης.



**Στρόβιλος αντίδρασης**



**Στρόβιλος δράσης**

# Θεμελιώδεις έννοιες υδροδυναμικής

- **Θεωρητική ισχύς** που αποδίδεται από ένα Υ/Η έργο, υποθέτοντας πλήρη εκμετάλλευση της διαθέσιμης δυναμικής ενέργειας του νερού, χωρίς απώλειες κατά τη μεταφορά του νερού και τη μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική:

$$P_0 = \gamma q h$$

όπου  $\gamma = \rho g$  το ειδικό βάρος του νερού (9.81 kN/m<sup>3</sup>),  $q$  η παροχή που διέρχεται από τους στροβίλους, και η  $h$  η υψομετρική διαφορά μεταξύ του ανάντη και κατάντη ενεργειακού υψομέτρου (αναφέρεται και ως **ολικό ή ακαθάριστο ύψος πτώσης**).

- **Πραγματική ισχύς**, για χρονικά μεταβαλλόμενη υψομετρική διαφορά και παροχή:

$$P(t) = \eta(t) \gamma q(t) h_n(t)$$

όπου  $\eta$  ο βαθμός απόδοσης της μονάδας παραγωγής και  $h_n$  το καθαρό ύψος πτώσης, που είναι συναρτήσεις των μεταβλητών  $h$  και  $q$ .

- Η διαφορά  $h - h_n$  εκφράζει τις **υδραυλικές απώλειες** κατά τη μεταφορά του νερού, ενώ η ποσότητα  $(1 - \eta) \gamma q h_n$  εκφράζει τις απώλειες κατά τη **μετατροπή της ενέργειας** που αποδίδεται στον υδροστρόβιλο (κινητική ενέργεια + ενέργεια πίεσης) σε ηλεκτρική.
- Παραγόμενη **ενέργεια**:

$$E(t) = \int P(t) dt$$

- Παραγόμενη ενέργεια, υποθέτοντας σταθερά  $\eta$  και  $h_n$  κατά την απελευθέρωση όγκου  $V$ :

$$E = \eta \gamma V h_n$$

# Βασικά υδροενεργειακά μεγέθη: Ύψος πτώσης

- Ως **καθαρό ύψος πτώσης** (net head) νοείται η ανά μονάδα μάζας υδραυλική ενέργεια που διατίθεται στον στρόβιλο:

$$h_n = h - \Delta h$$

όπου  $\Delta h$  οι συνολικές ενεργειακές απώλειες λόγω τριβών και γεωμετρικών μεταβολών (γραμμικές, τοπικές) στο σύστημα προσαγωγής και, εφόσον υπάρχει, στον αγωγό φυγής (για στροβίλους αντίδρασης).

- Το ακαθάριστο ύψος πτώσης  $h$  είναι **γεωμετρικό μέγεθος**, ενώ οι ενεργειακές απώλειες είναι **υδραυλικό μέγεθος**, που εξαρτάται από την παροχή και τα χαρακτηριστικά του συστήματος προσαγωγής (μήκος, διάμετρος, υλικό αγωγών, κτλ.).
- Το ανάντη ενεργειακό υψόμετρο ταυτίζεται με μια χαρακτηριστική **στάθμη**,  $z_u$ , είτε μεταβλητή (ταμιευτήρας) είτε πρακτικά σταθερή (δεξαμενή φόρτισης).
- Το κατάντη ενεργειακό υψόμετρο εξαρτάται από τον τύπο των στροβίλων:
  - Σε **στροβίλους δράσης**, στους οποίους πραγματοποιείται εκροή νερού στην ατμόσφαιρα μέσω ακροφυσίου, ως διατομή εξόδου λαμβάνεται το κατάντη πέρας του ακροφυσίου, οπότε το ενεργειακό υψόμετρο είναι σταθερό.
  - Σε **στροβίλους αντίδρασης**, το ενεργειακό υψόμετρο εξαρτάται από τη στάθμη του νερού στην έξοδο του συστήματος (π.χ. διώρυγα φυγής), που είναι μεταβλητή (εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από την παροχή που διέρχεται από τους στροβίλους).

# Βασικά υδροενεργειακά μεγέθη: Υδραυλικές απώλειες ενέργειας στο σύστημα προσαγωγής

---

- Οι υδραυλικές απώλειες  $\Delta h = h - h_n$  εξαρτώνται από:
  - την παροχή στον αγωγό προσαγωγής (αναφέρεται και ως **αγωγός πτώσης**)
  - το υλικό και ηλικία του αγωγού (τραχύτητα)
  - τα γεωμετρικά μεγέθη του αγωγού (μήκος, διάμετρος)
  - τις αλλαγές γεωμετρίας (στροφές, στενώσεις, κτλ.) κατά τη διαδρομή του νερού μέχρι τους στροβίλους (**τοπικές απώλειες ενέργειας**)

- Οι υδραυλικές απώλειες γράφονται και ως:

$$\Delta h = J L + h_L$$

όπου  $J$  η κλίση της γραμμής ενέργειας,  $L$  το μήκος του αγωγού προσαγωγής και  $h_L$  οι τοπικές απώλειες.

- Κατά τον σχεδιασμό του συστήματος προσαγωγής, ζητούμενο είναι η ελαχιστοποίηση τόσο των υδραυλικών απωλειών (ενδεικτικά,  $J < 5\%$ ), που επηρεάζουν την ενεργειακή παραγωγή και τα αναμενόμενα έσοδα από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και του κόστους των έργων (τα δύο κριτήρια είναι **αντικρουόμενα**).
- Οι υδραυλικές απώλειες, και η υποκύπτουσα σχέση κόστους/οφέλους, επηρεάζονται και από τη **γενική διάταξη των έργων** (αύξηση υψομετρικής διαφοράς έναντι αύξηση της απόστασης του σταθμού παραγωγής, άρα και του μήκους του συστήματος προσαγωγής)

# Βασικά υδροενεργειακά μεγέθη: Βαθμός απόδοσης

---

- ❑ Οι **ηλεκτρομηχανολογικές απώλειες** εκφράζονται μέσω του **βαθμού απόδοσης**, που γενικά μεταβάλλεται με την παροχή και το ύψος πτώσης.
- ❑ Ο **βαθμός απόδοσης** των στροβίλων (ακριβέστερα, του Η/Μ συστήματος) δεν μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικά. Η εκτίμησή του γίνεται με βάση εργαστηριακές μετρήσεις, και συνεπώς οι σχέσεις μεταβολής του δίνονται μέσω **νομογραφημάτων**.
- ❑ Ο βαθμός απόδοσης των στροβίλων μεγιστοποιείται στην λεγόμενη **ονομαστική παροχή** (nominal discharge), που γενικά διαφέρει από τη μέγιστη.
- ❑ Κατά κανόνα, τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα (με ταμίευση) λειτουργούν με σταθερή παροχή και συνεπώς μικρές διακυμάνσεις του βαθμού απόδοσης. Στα έργα αυτά, ο βαθμός απόδοσης φτάνει σε ποσοστά της τάξης του  **$\eta = 90\%$** , επιτυγχάνοντας αξιοποίηση **πολύ μεγάλου ποσοστού του διαθέσιμου υδροδυναμικού** (*υψηλότερου από κάθε άλλη πηγή ενέργειας, συμβατική ή ανανεώσιμη, που μετατρέπεται σε ηλεκτρική*).
- ❑ Σε Υ/Η έργα με ταμίευση, η διερχόμενη παροχή, και συνεπώς η αποδιδόμενη ισχύς, ελέγχεται με κατάλληλη ρύθμιση των πτερυγίων των υδροστροβίλων.
- ❑ Αντίθετα, στα έργα χωρίς ταμίευση, η παροχή που διοχετεύεται στους στροβίλους είναι μη ελεγχόμενη, και συνεπώς ο βαθμός απόδοσης ενδέχεται να εμφανίζει σημαντική μεταβλητότητα (εξαρτάται από τον τύπο του στροβίλου).
- ❑ Ο βαθμός απόδοσης (όμοια με την τραχύτητα των υδραυλικών συστημάτων) υπόκειται σε φαινόμενα **φθορών και γήρανσης του εξοπλισμού** (κυρίως λόγω της διέλευσης φερτών υλικών από τους στροβίλους).



# Γενικές αρχές σχεδιασμού

---

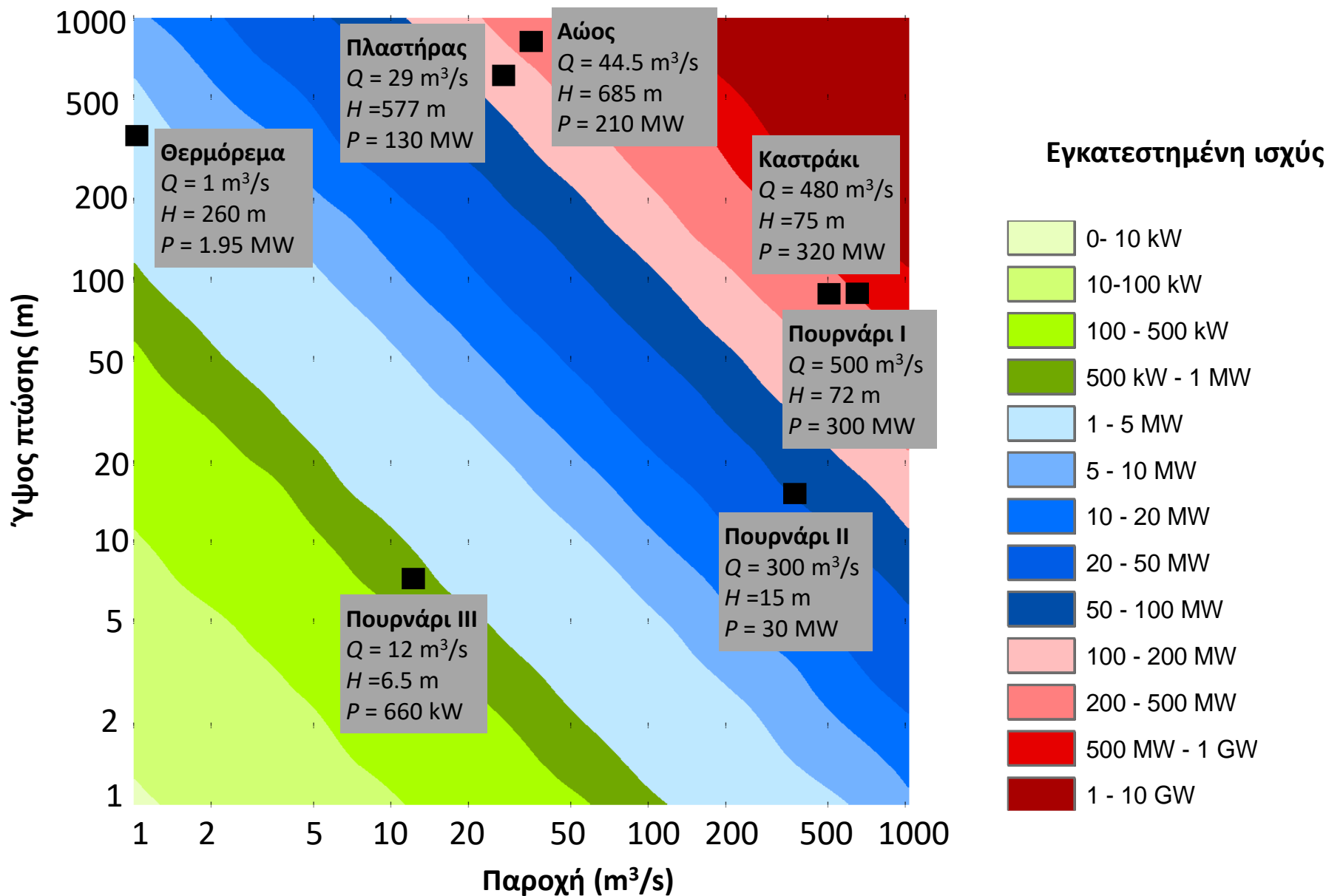
- Σημείο εκκίνησης είναι η διαθέσιμη υψομετρική διαφορά μεταξύ της υδροληψίας και του σταθμού παραγωγής (**γεωμετρικό μέγεθος**) και τον μέσο ετήσιο όγκο νερού που παράγεται στη θέση του έργου και μπορεί να διατεθεί για παραγωγή ενέργειας (**υδρολογικό μέγεθος**), με βάση τα οποία εκτιμάται το **θεωρητικό υδροδυναμικό**:

$$E_0 = \gamma V h$$

- Ο **εκμεταλλεύσιμος όγκος νερού** εξαρτάται από την ύπαρξη ή όχι έργου ταμίευσης και τη χωρητικότητά του. Σε μεγάλους ταμιευτήρες, χωρίς απολήψεις νερού για άλλες χρήσεις ή/και απώλειες, πρακτικά ταυτίζεται με τη μέση ετήσια απορροή της ανάντη λεκάνης.
- Για την εκτίμηση των πραγματικών μεγεθών, απαιτούνται η διαστασιολόγηση των έργων προσαγωγής, και η επιλογή του τύπου, διάταξης, πλήθους και ισχύος των στροβίλων.
- Η **μέγιστη παροχή** που μπορεί να διοχετευτεί από την υδροληψία στους στροβίλους (αναφέρεται και ως *παροχετευτικότητα*) αποτελεί χαρακτηριστικό σχεδιασμού μέγεθος του συστήματος προσαγωγής, ενώ επηρεάζει και τον σχεδιασμό των στροβίλων, καθώς η επιλογή του **τύπου των στροβίλων** εξαρτάται από το ύψος πτώσης και την παροχή.
- Καθοριστικό μέγεθος είναι ο **χρόνος λειτουργίας των στροβίλων**, που εξαρτάται από τη σκοπιμότητα του έργου στο ενεργειακό μίγμα (για παραγωγή ενέργειας βάσης ή αιχμής) και επηρεάζει τόσο την παροχετευτικότητα όσο και την συνολική (εγκατεστημένη) ισχύ.
- Σε μεγάλα Υ/Η έργα, υποθέτοντας σταθερή παροχή και βαθμό απόδοσης, ο **συντελεστής δυναμικότητας** ισούται με το ποσοστό του χρόνου λειτουργίας των στροβίλων, ήτοι:

$$CF = T_a / 8760$$

# Παραδείγματα εγκατεστημένης ισχύος – ύψους πτώσης – παροχαιετικότητας σε υφιστάμενα έργα στην Ελλάδα



# Αρχικές εκτιμήσεις βασικών υδροενεργειακών μεγεθών

1. Εκτίμηση **αξιοποιήσιμου υδατικού δυναμικού** στη θέση του έργου, λαμβάνοντας υπόψη φυσικές απώλειες λόγω εξάτμισης, υπερχειλίσεων κτλ., και εκροές νερού για άλλες χρήσεις, π.χ. περιβαλλοντικές (μέσος ετήσιος όγκος  $V_a$ , σε  $\text{hm}^3$ ).
2. Επιλογή **χρόνου λειτουργίας στροβίλων**,  $T_a$  (σε h), ανάλογα με τη σκοπιμότητα του έργου στο ενεργειακό σύστημα (π.χ. έργο βάσης, έργο αιχμής).
3. Εκτίμηση **παροχής λειτουργίας στροβίλων** (σε  $\text{m}^3/\text{s}$ ) (χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό των στροβίλων και τους υδραυλικούς υπολογισμούς των έργων προσαγωγής):

$$Q = 1000 V_a / (3.6 \times T)$$

4. Εκτίμηση **καθαρού ύψους πτώσης**,  $h_n$  (σε m), είτε αναλυτικά (υδραυλικοί υπολογισμοί) είτε χονδρικά, με μικρή απομείωση της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ της στάθμης υδροληψίας και του υψομέτρου του σταθμού παραγωγής.
5. Εκτίμηση **βαθμού απόδοσης** στροβίλων (τυπικό εύρος 0.85-0.93).
6. Εκτίμηση **μέσης ετήσιας παραγόμενης ενέργειας** (σε GWh, για  $\gamma = 9.81 \text{ KN/m}^3$ ):

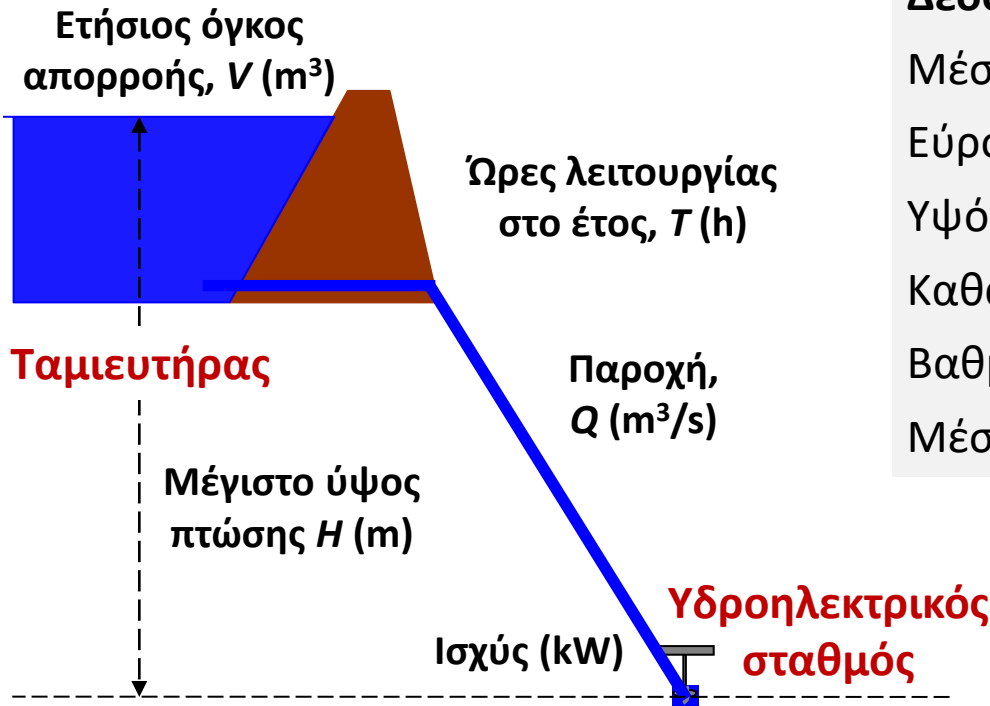
$$E_a = \eta \gamma V_a h_n / 3600$$

7. Εκτίμηση απαιτούμενης **ισχύος στροβίλων** (σε MW):

$$P = 1000 E_a / T_a$$

Η παραπάνω διαδικασία βασίζεται στην υπόθεση σταθερής παροχής λειτουργίας και σταθερού βαθμού απόδοσης των στροβίλων. Στην πράξη, οι συνθήκες αυτές επιτυγχάνονται μόνο σε μεγάλα Υ/Η έργα (ταμιευτήρες ικανής χωρητικότητας), στα οποία η εκροή του νερού είναι ελεγχόμενη.

# Παράδειγμα με βάση τα δεδομένα του Υ/Η Πλαστήρα



## Δεδομένα & παραδοχές

Μέση ετήσια απορροή: **150 hm<sup>3</sup>**

Εύρος στάθμης ταμιευτήρα: **+776 ως +792 m**

Υψόμετρο σταθμού παραγωγής: **+206 m**

Καθαρό ύψος πτώσης (εκτίμηση): **580 m**

Βαθμός απόδοσης: **0.85**

Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας: **201.5 GWh**

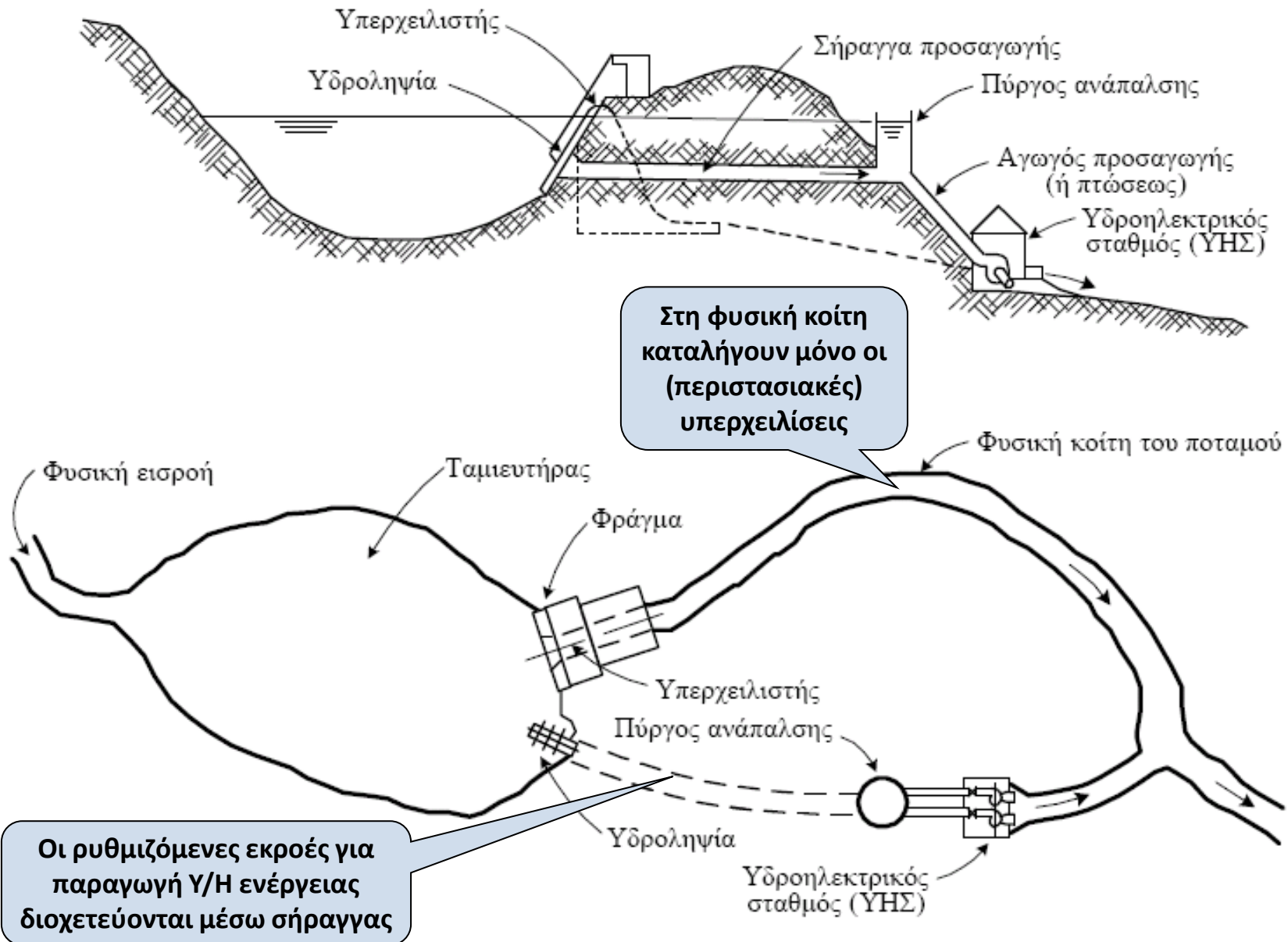
Ετήσιες ώρες λειτουργίας στροβίλων	Ποσοστό χρόνου λειτουργίας	Παροχή λειτουργίας ( $m^3/s$ )	Απαιτούμενη ισχύς στροβίλων (MW)
1500	0.17	27.8	134.3
3000	0.34	13.9	67.2
4500	0.51	9.3	44.8
8760	1.00	4.8	23.0

# Κατηγορίες υδροηλεκτρικών έργων

- **Υδροηλεκτρικός ταμιευτήρας, με φράγμα επί του ποταμού:**
  - Συσσωρεύει το σύνολο της **απορροής** που παράγεται στην ανάντη λεκάνη
  - Μέσω της αποθήκευσης νερού:
    - Γίνεται αναρρύθμιση της εισερχόμενης παροχής, η οποία διέπεται από έντονη μεταβλητότητα σε όλες τις χρονικές κλίμακες
    - Δημιουργείται υψομετρική διαφορά, λόγω ανύψωσης της στάθμης του ταμιευτήρα (**ανάντη υψόμετρο**)
- Το **ύψος πτώσης** εξαρτάται από τη θέση του σταθμού παραγωγής (**κατάντη υψόμετρο**):
  - Κοντά στον πόδα του φράγματος (ύψος πτώσης  $\approx$  ύψος φράγματος)
  - Μακριά από το φράγμα, σε χαμηλότερο σημείο του ποταμού
  - Μακριά από το φράγμα, σε γειτονική λεκάνη (**φράγμα εκτροπής**)
- **(Μικρό) υδροηλεκτρικό έργο (ΜΥΗΕ), χωρίς δυνατότητα αποθήκευσης:**
  - Επί του ρου ποταμού ή υδραγωγείου, για εκμετάλλευση τοπικής υψομετρικής διαφοράς ή για «καταστροφή» ενέργειας
  - Εκτός του ποταμού (run-off-river), με εκτροπή τμήματος της διερχόμενης παροχής σε κατάντη θέση, όπου υπάρχει ικανή υψομετρική διαφορά.

Σύμφωνα με το ισχύον νομικό πλαίσιο, ως μικρό υδροηλεκτρικό έργο (ΜΥΗΕ) χαρακτηρίζεται όποιο έχει **εγκατεστημένη ισχύ έως 15 MW** (ανεξαρτήτως αν υπάρχει φράγμα/ταμίευση)

# Γενική διάταξη (μεγάλων) Υ/Η έργων με ταμίευση



# Γενική διάταξη ΜΥΗΕ εκτροπής

- Απαγωγή τμήματος της ροής, μέσω έργου επιφανειακής υδροληψίας
- Εκτροπή νερού μέσω αγωγού και προσωρινή αποθήκευσή του σε δεξαμενή φόρτισης, αμελητέας αποθηκευτικής ικανότητας → διαμόρφωσης τεχνητής υψομετρικής διαφοράς
- Παραγωγή ενέργειας για συγκεκριμένο εύρος παροχών (με μεταβαλλόμενο βαθμό απόδοσης) → μερική αξιοποίηση υδροδυναμικού



# Τα μεγαλύτερα Υ/Η έργα του κόσμου





# ΥΗΕ Καστρακίου (Αχελώος)

- Ταμιευτήρας χωρητικότητας 950 hm<sup>3</sup>
- Υδροληψία +142.0 m, υπερχειλίση +144.2 m → ωφέλιμος όγκος 50 hm<sup>3</sup>
- Ισχύς 4×80 = 320 MW (Francis)



Αγωγοί  
πτώσης

Υπερχειλιστής  
(144.2 m)

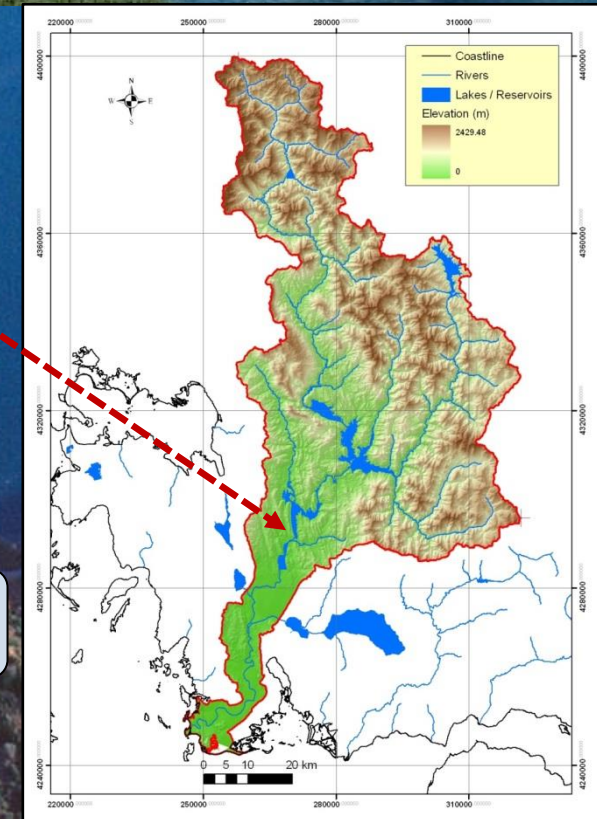
Διώρυγα  
υπερχειλίσης

Φράγμα  
ύψους 96 m

Σταθμός  
παραγωγής

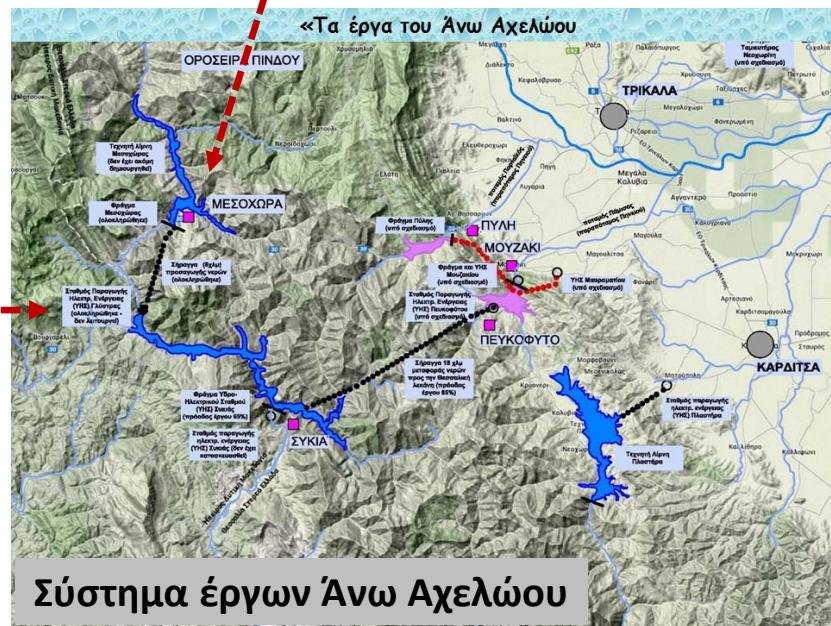
Υδροληψία  
(142.0 m)

Δίκτυο υπερ-  
υψηλής τάσης



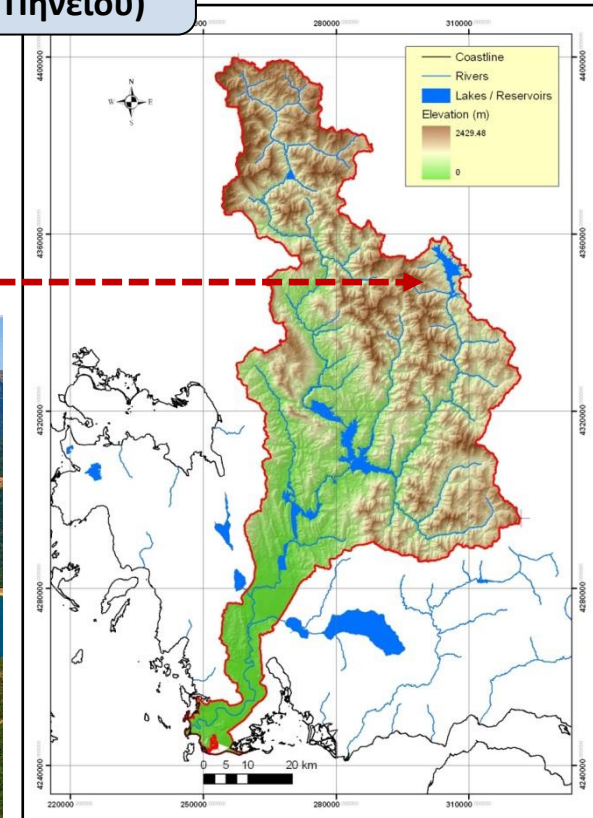
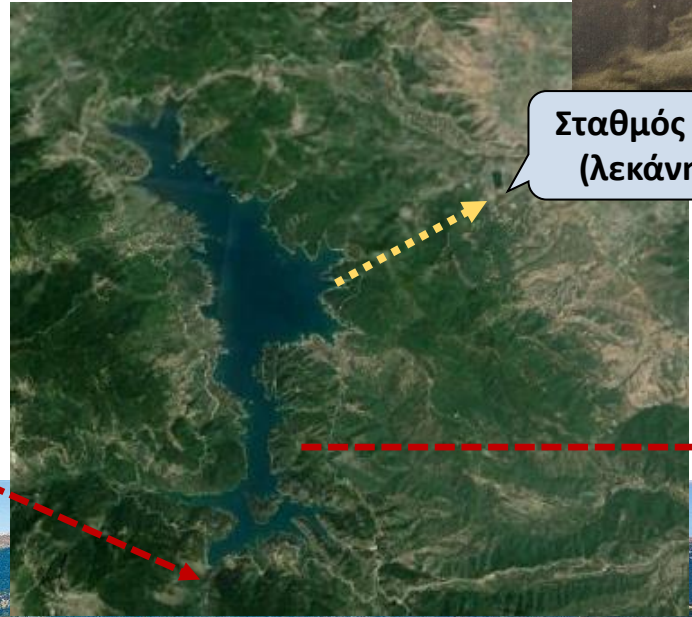
# ΥΗΕ Μεσοχώρας (Αχελώος)

- ❑ Ταμιευτήρας χωρητικότητας 358 hm<sup>3</sup>
- ❑ Υδροληψία +731.0 m, υπερχειλίση +770.0 m → ωφέλιμος όγκος 225 hm<sup>3</sup>
- ❑ Προσαγωγή μέσω σήραγγα εκτροπής, μήκους 7.5 km (έξοδος ΥΗΣ +550.0 m)
- ❑ Μέγιστο ύψος πτώσης 220 m
- ❑ Ισχύς 2×80 = 160 MW (Francis)
- ❑ Έργο ολοκληρωμένο εδώ και περίπου 20 έτη, εκτός λειτουργίας



# ΥΗΕ Πλαστήρα (Αχελώος)

- Ταμιευτήρας χωρητικότητας 362 hm<sup>3</sup>
- Υδροληψία +776.0 m, υπερχείλιση +792.0 m → ωφέλιμος όγκος 286 hm<sup>3</sup>
- Μέγιστο ύψος πτώσης 586 m (έξοδος ΥΗΣ +206.0 m)
- Ισχύς 130 MW (3 Pelton)



# ΜΥΗΕ Δαφνοζωνάρας (Αχελώος)

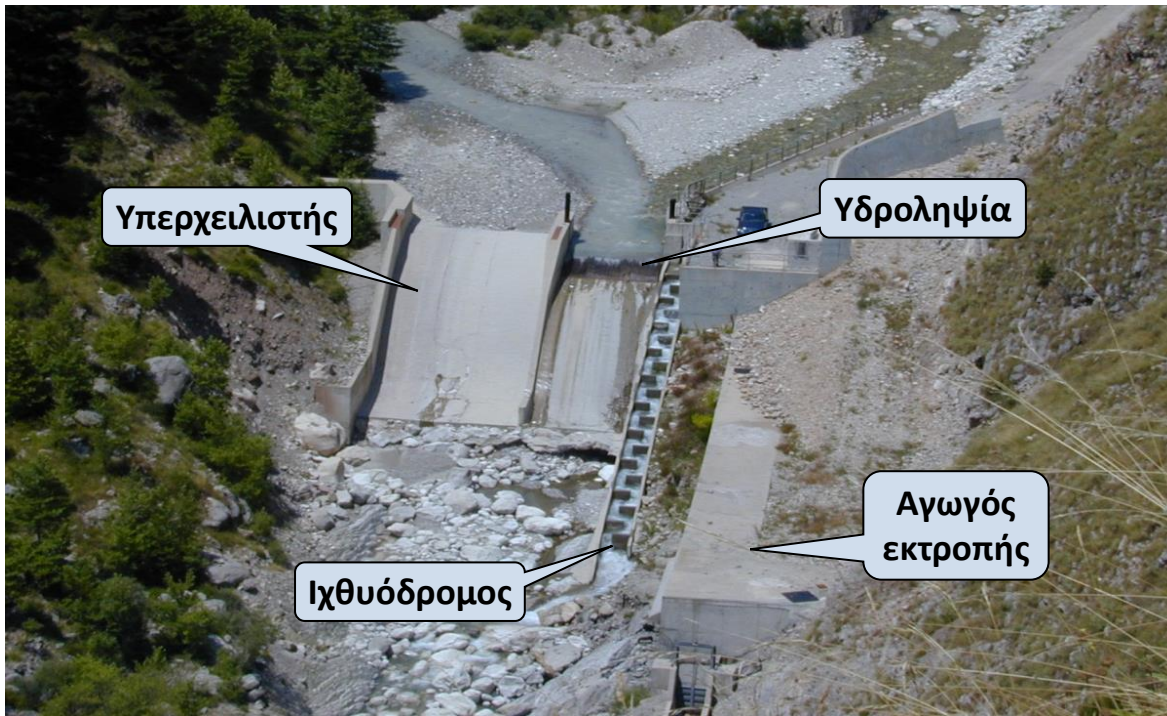
- Φράγμα ύψους 12 m
- Αύξηση ύψους πτώσης μέσω **ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων**
- Ισχύς 5.93 MW (δύο στρόβιλοι Kaplan S-Type)
- Μέση ετήσια παραγωγή 40 GWh



Θυροφράγματα έκπλυσης φερτών

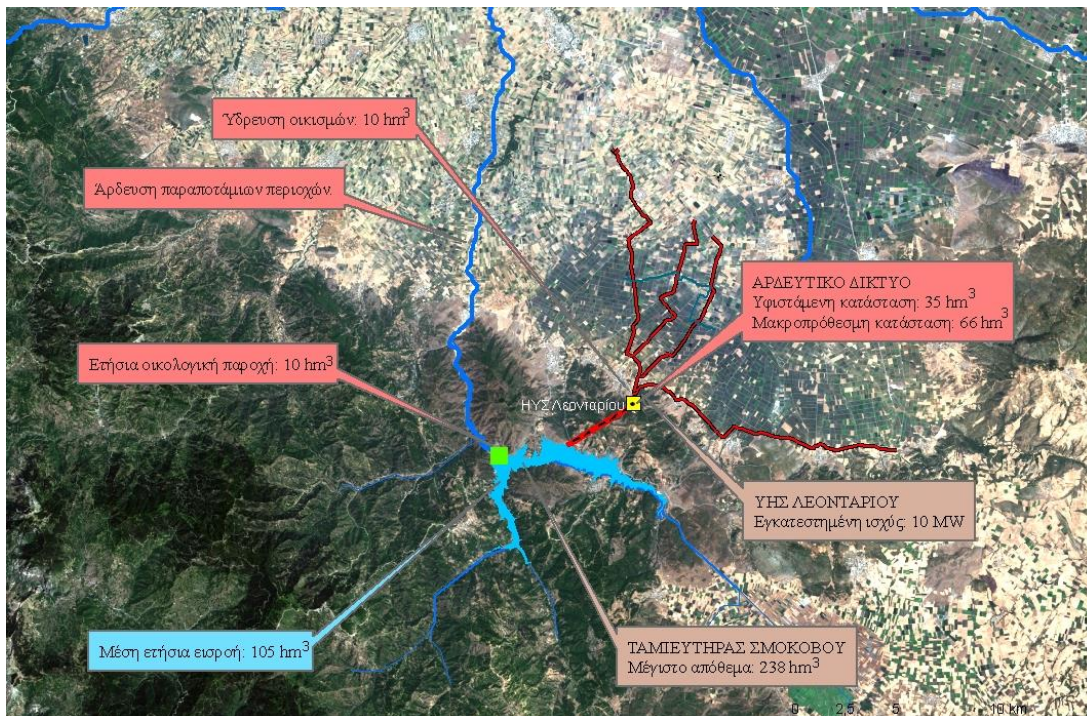


# ΜΥΗΕ Θεοδώριανων (ρέμα Γκούρας, Άραχθος)



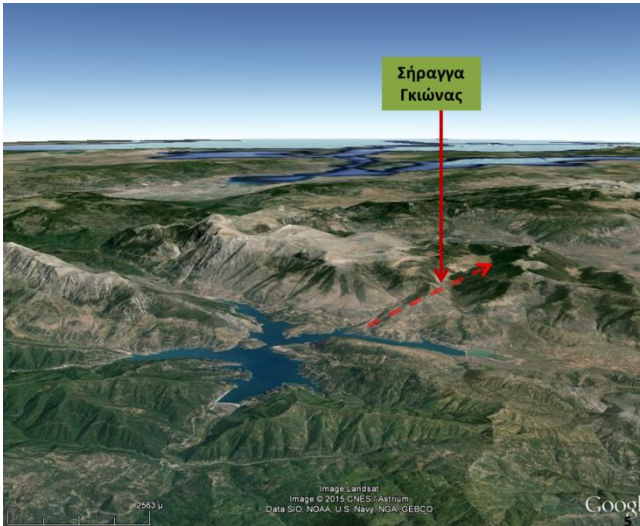
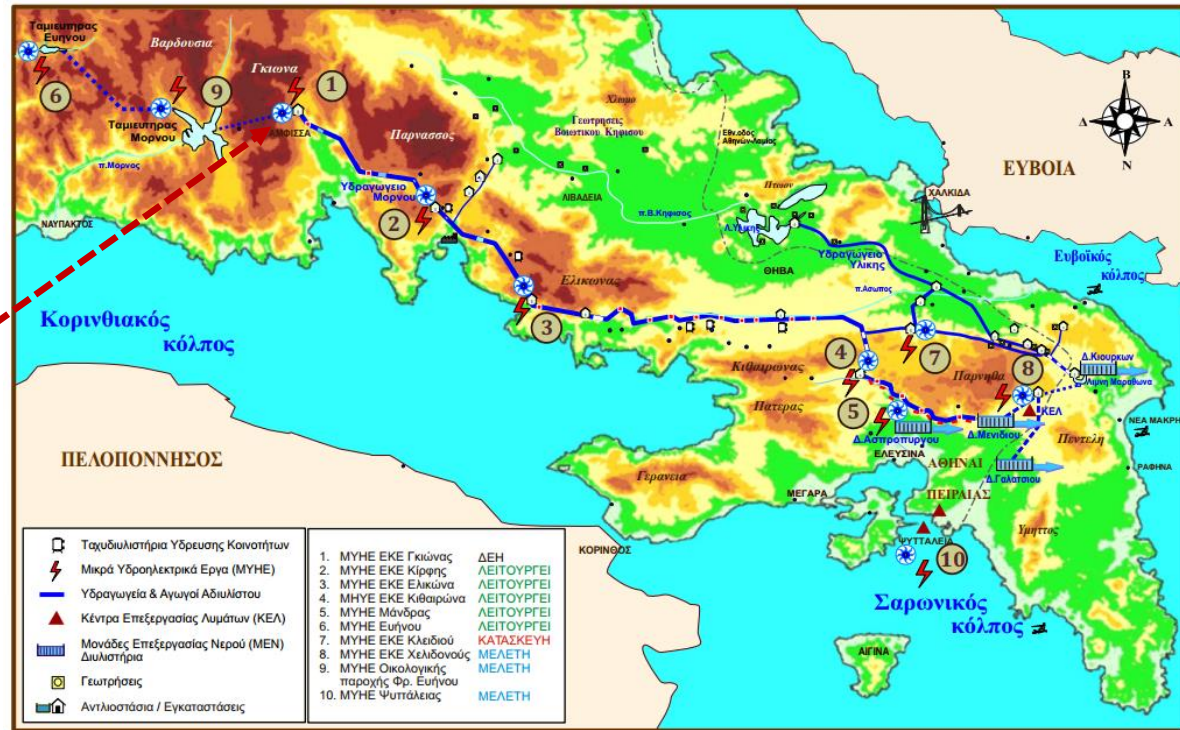
# ΜΥΗΕ Σμοκόβου (έξοδος σήραγγας Λεονταρίου)

- Αξιοποιεί την παροχή που εκτρέπεται μέσω του φράγματος Σμοκόβου για άρδευση του ΝΔ τμήματος του Ν. Καρδίτσας (παροχетеυτικότητα σήραγγας 25 m<sup>3</sup>/s)
- 2 μονάδες Francis, ισχύος 7.1 + 3.3 MW, με μέγιστη παροχή λειτουργίας 9.3 και 4.2 m<sup>3</sup>/s.
- Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας 10.7 GWh
- Προσθήκη νέου ΜΥΗΕ 0.8 MW και εκτιμώμενης παραγωγής 4.0 GWh, θα κατασκευαστεί στην έξοδο του έργου εκκένωσης του φράγματος, για αξιοποίηση της οικολογικής παροχής



# ΜΥΗΕ Γκιώνας (κανάλι Μόρνου)

- Παροχή 7.8 ως 14.5 m<sup>3</sup>/s
- Ύψος πτώσης 30.0 ως 66.1 m
- Ισχύς 8.67 MW (34 GWh/έτος)



# Πλεονεκτήματα υδροηλεκτρικών έργων

## Ως προς τα ενεργειακά χαρακτηριστικά:

- ❑ Αποθήκευση «καυσίμου» (απορροή ποταμού)
  - ❑ Ελεγχόμενες εκροές, σε αντίθεση με κάθε άλλη ΑΠΕ
  - ❑ Βέλτιστη επιλογή για την κάλυψη των αιχμών της ζήτησης
  - ❑ Παραγωγή ενέργειας χωρίς διακυμάνσεις
- Μεγάλα ΥΗΕ  
(ταμιευτήρες)**
- ❑ Ταχύτατη παραλαβή και απόρριψη φορτίου
  - ❑ Πολύ υψηλός βαθμός απόδοσης (υπερτερεί έναντι όλων των συμβατικών πηγών και ΑΠΕ)
  - ❑ Μεγάλη αξιοπιστία υδροστροβίλων
  - ❑ Μεγάλη διάρκεια ζωής (συμβατικός ωφέλιμος χρόνος ζωής 100 έτη)
  - ❑ Χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης

## Λοιπά πλεονεκτήματα:

- ❑ Αντιπλημμυρική προστασία (ολική ή μερική ανάσχεση πλημμυρικών παροχών)
- ❑ Χρήση νερού και για άλλες ανάγκες (άρδευση, ύδρευση, περιβαλλοντική)
- ❑ Διαμόρφωση νέου φυσικού περιβάλλοντος (δημιουργία λίμνης και υδροβιότοπου)
- ❑ Μηδενική υποβάθμιση της ποιότητας του νερού
- ❑ Μηδενικές εκπομπές ρύπων
- ❑ Έργα υποδομής που συμβάλλουν στην ανάπτυξη της περιοχής



# Υδροηλεκτρικά έργα & περιβάλλον

---

## Περιβαλλοντικές επιπτώσεις:

- ❑ Σημαντική διαφοροποίηση της φυσικής υδρολογικής δίαιτας του ποταμού:
  - ❑ ποσοτική διαφοροποίηση, όταν γίνεται ολική ή μερική εκτροπή
  - ❑ εξομάλυνση ροής, εξάλειψη εποχικότητας, σημαντικά μειωμένη συχνότητα και μέγεθος πλημμυρικών ροών (αναρρύθμιση)
  - ❑ μη συνεχής ροή, εκροές τύπου παλμών (hydropeaking, ΥΗΕ αιχμής)
- ❑ Διακοπή συνέχειας ποταμού στο τμήμα μεταξύ του φράγματος και του ΥΗΣ:
  - ❑ αμελητέα, όταν ο σταθμός είναι κοντά στο φράγμα
  - ❑ σημαντική, όταν ο σταθμός είμαι μακριά (κυρίως σε μικρά ΥΗΕ)
- ❑ Συγκράτηση φερτών (μη αναστρέψιμη επίπτωση)
- ❑ Παρεμπόδιση κυκλοφορίας ψαριών
- ❑ Αλλαγή οικοσυστήματος από ποτάμιο σε λιμναίο
- ❑ Αισθητική όχληση σε περίπτωση έντονων διακυμάνσεων της στάθμης

## Αντιμετώπιση προβλημάτων:

- ❑ Διατήρηση συνεχούς ροής (**περιβαλλοντική παροχή**) κατάντη του φράγματος ή του έργου υδροληψίας (για μικρά ΥΗΕ)
- ❑ Τεχνητές πλημμύρες
- ❑ Μέτρα υποβοήθησης της διέλευσης των ψαριών (μόνο σε μικρά ΥΗΕ)