



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Σχεδιασμός και Λειτουργία Συστημάτων ΑΠΕ

ΔΙΑΛΕΞΗ 08: ΜΙΚΡΑ ΥΗΕ

Δρ. Τριανταφυλλιά Νικολάου

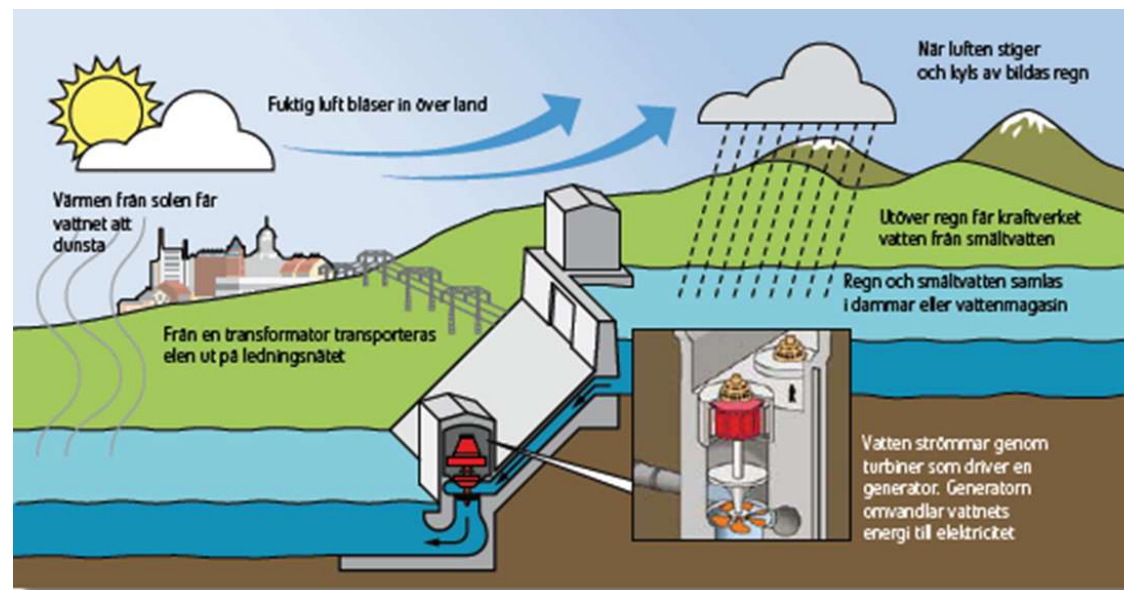
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

■ **Υδροδυναμική (υδροηλεκτρική) ενέργεια:** Η ενέργεια που προέρχεται από την πτώση του νερού από κάποιο ύψος

■ **Πηγή της ενέργειας:** η βαρύτητα

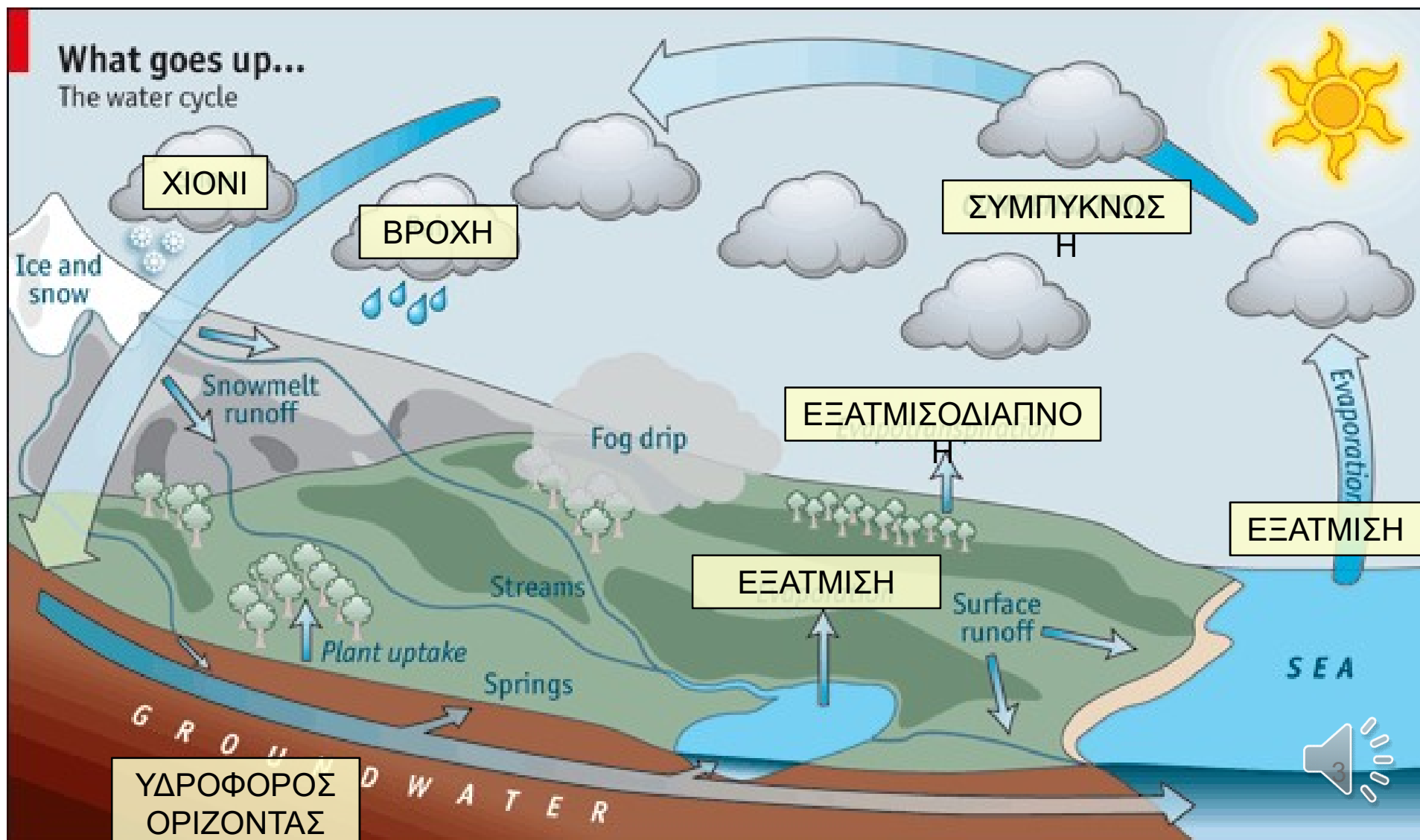
Κάθως πέφτει το νερό από κάποιο ύψος H , η δυναμική του ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική, στη συνέχεια σε μηχανική και τελικά σε ηλεκτρική ενέργεια

■ η ενέργεια του νερού, την οποία και αξιοποιούμε, είναι **ανανεώσιμη** και προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια, που προκαλεί την εξάτμιση και στη συνέχεια τις βροχοπτώσεις. Το φαινόμενο αυτό καλείται **υδρολογικός κύκλος**



Ο κύκλος του νερού:

Εξάτμιση-Μεταφορά-Υετός-Ποτάμι-Λίμνη-Υδροφόρος Ορίζοντας



Κατηγορίες ΥΗΕ

Μεγάλα ΥΗΕ , όταν η ονομαστική τους ισχύς $>10\text{MW}$

Μικρά ΥΗΕ, όταν η ονομαστική τους ισχύς $<10\text{MW}$

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν και άλλες διακρίσεις:

micro χαρακτηρίζεται ένα ΥΗΕ όταν η ονομαστική ισχύς του $<100\text{KW}$

mini όταν η ονομαστική ισχύς του $<1\text{MW}$

μικρό όταν η ονομαστική ισχύς του είναι μεταξύ του 1MW και 10MW

- η Ελληνική Νομοθεσία (Ν1559/85 και Ν.2244/94) ορίζει ως μικρούς , τους σταθμούς με ισχύ μικρότερη των 10MW , με τον όρο ότι μόνο τα έργα εγκατεστημένης ισχύς έως και 2MW , μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο ελεύθερης δράσης.
- κάτω από προϋποθέσεις είναι δυνατή και ανάληψη σχετικής μικροδραστηριότητας και για μικρά έργα ισχύος μεταξύ 2MW και 5MW .

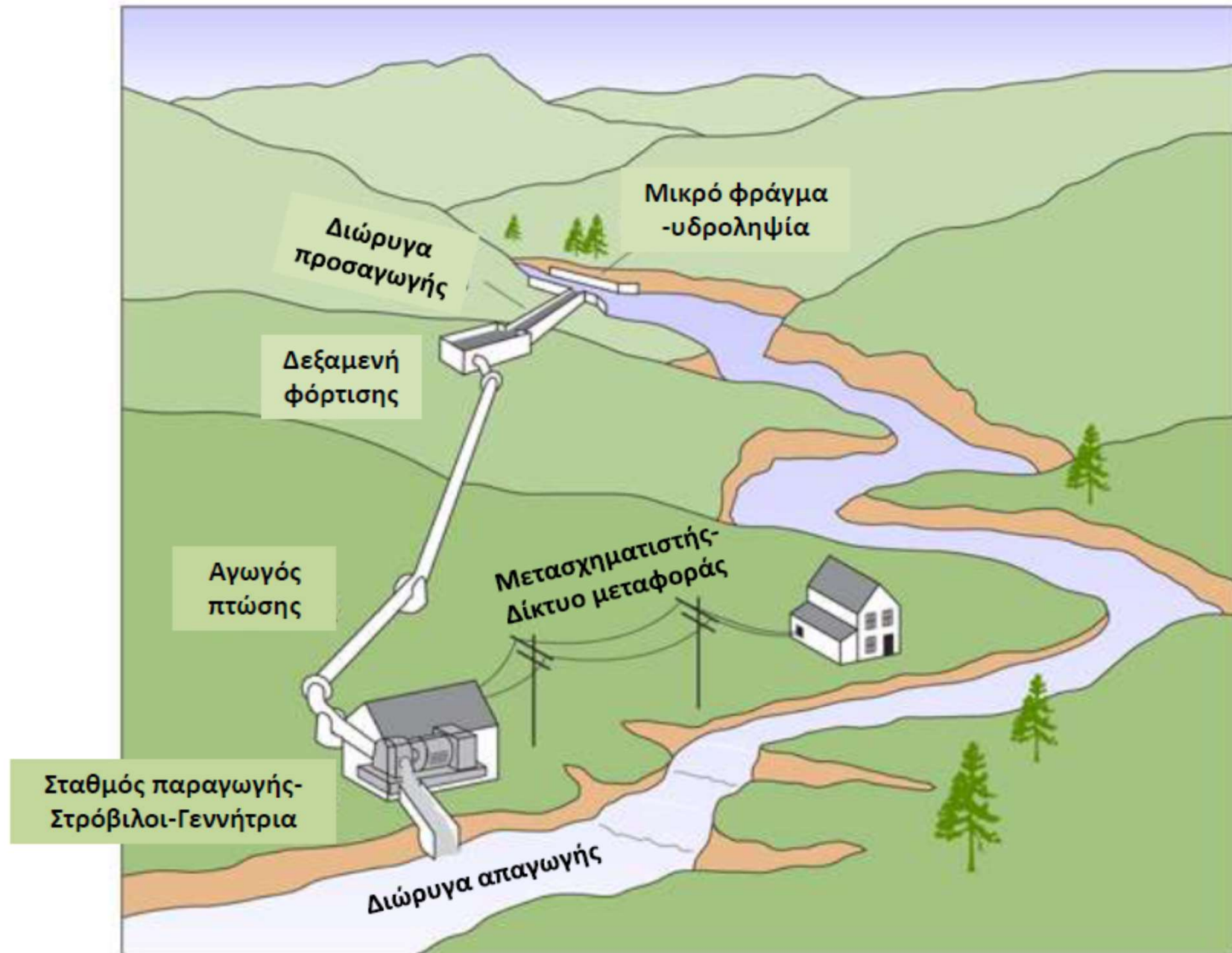
Ως προς την ονομαστική ισχύ

- micro ($< 0.1\text{MW}$)
- mini ($0.1-1\text{MW}$)
- μικρό ($1-10\text{MW}$)

Ως προς το ύψος πτώσης

- μικρού ύψους ($< 20\text{m}$)
- μέσου ύψους ($20 - 150\text{m}$)
- μεγάλου ύψους ($> 150\text{m}$)

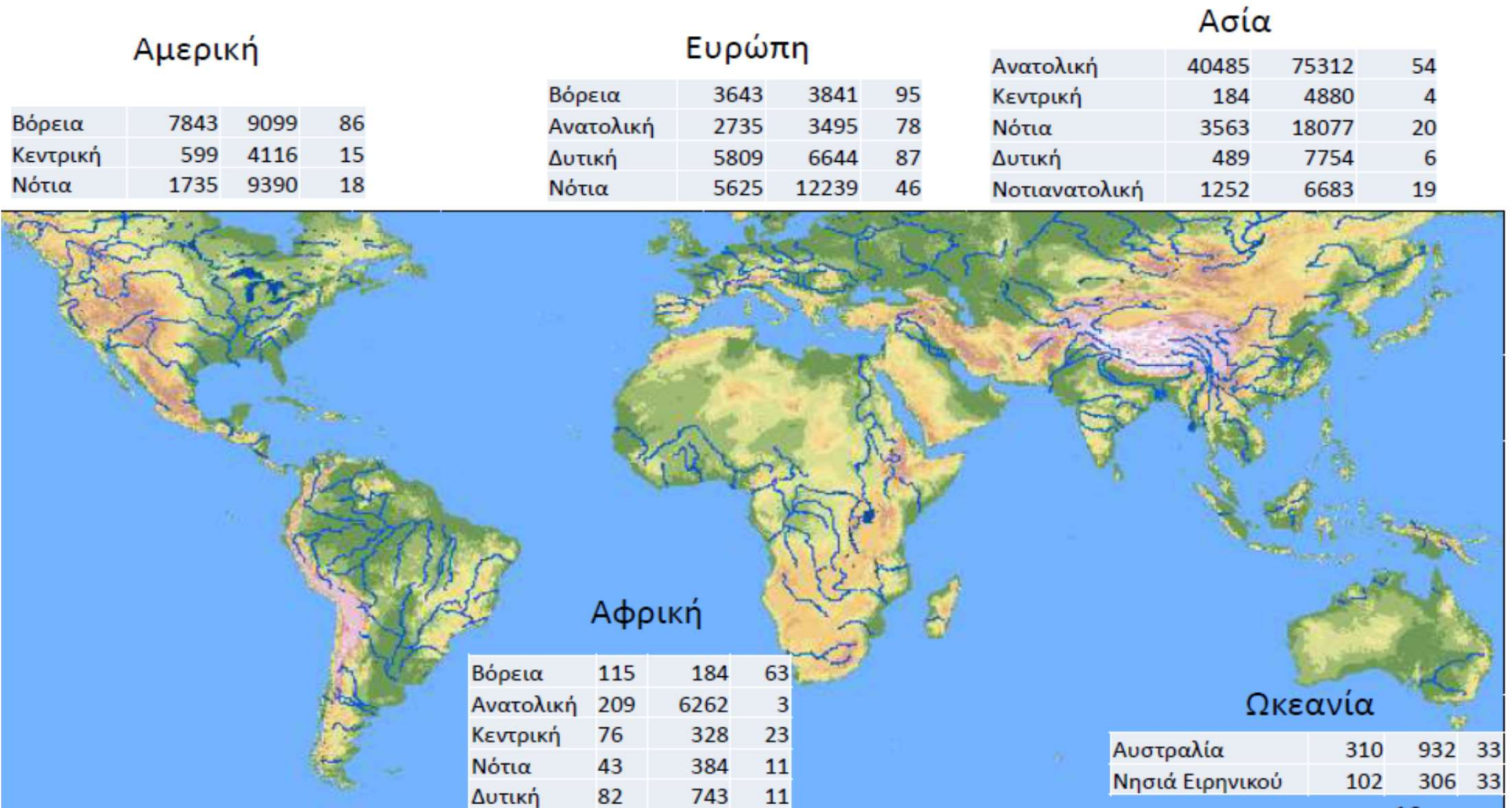
Συνιστώσες ενός τυπικού ΜΥΗΕ



Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα στον κόσμο

Εγκατεστημένη ισχύς (MW), θεωρητικό δυναμικό (MW) και ποσοστό αξιοποίησης (%)

Κόσμος: 75 GW εγκατεστημένα, 173 GW δυναμικό, 43% αξιοποίηση



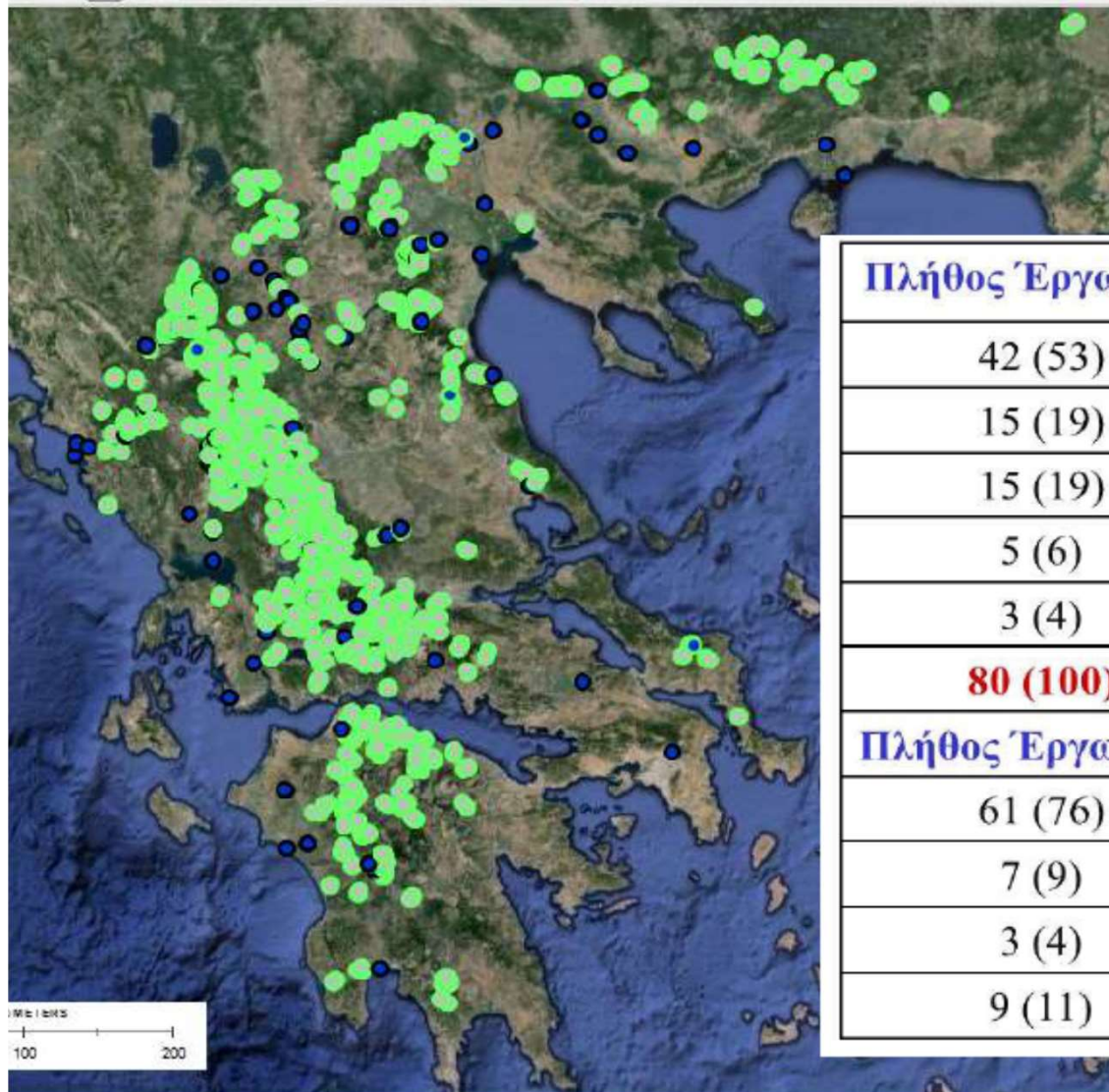
Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα στην Ελλάδα

Τα 12 μεγαλύτερα το Νοέμβριο του 2011

	Θέση	Δήμος	Νομός	Ισχύς Αδειας (MW)
ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΕ	Δ.Δ. ΔΙΑΒΑΤΟΥ- ΜΑΚΡΟΧΩΡΙ	ΑΠΟΣΤ. ΠΑΥΛΟΥ	Ημαθίας	10.8
ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΕ	ΣΗΡΑΓΓΑ ΛΕΟΝΤΑΡΙΟΥ/ ΣΜΟΚΟΒΟ	ΤΑΜΑΣΙΟΥ	Καρδίτσας	10.4
ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΕ	ΠΟΤΑΜΟΣ ΛΟΥΡΟΣ	ΦΙΛΙΠΠΙΑΔΟΣ	Πρέβεζας	10.3
ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΕ	ΓΚΙΩΝΑ-ΑΓ. ΣΥΜΕΩΝ	ΑΜΦΙΣΣΑΣ	Φωκίδας	8.5
ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΒΕΤΕ Α.Ε.	ΔΑΦΝΟΖΩΝΑΡΑ-ΣΑΝΙΔΙ	ΙΝΑΧΟΥ ΚΑΙ ΑΣΠΡΟΠΟΤΑΜΟΥ	Αιτωλοακαρνανίας	8.5
ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΕ	ΜΥΛΟΣ ΠΑΛΙΟΥΡΗ	ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ	Ιωαννίνων	7.4
ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΕ	ΕΞΟΔΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΛΑΨΙΣΤΑΣ	ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ	Ιωαννίνων	7.4
ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ - ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Ε.	ΕΛΕΟΥΣΑ	ΧΑΛΚΗΔΟΝΟΣ	Θεσσαλονίκης	6.6
ΥΔΡΗΛ ΑΕ	ΓΕΦΥΡΑ ΦΛΟΚΑ	ΑΡΧΑΙΑΣ ΟΛΥΜΠΙΑΣ	Ηλείας	6.594
ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΕ	ΣΤΑΘΜΟΣ «ΣΤΡΑΤΟΣ ΙΙ»	ΣΤΡΑΤΟΥ	Αιτωλοακαρνανίας	6.2
ΥΗΣ ΓΛΑΥΚΟΥ Α.Ε.	ΣΤΟΝ ΠΟΤΑΜΟ ΓΛΑΥΚΟ	ΠΑΤΡΕΩΝ	Αχαΐας	5.5
ΥΗΣ ΚΕΡΚΙΝΗΣ Α.Ε.	ΡΟΥΦΡΑΚΤΗΣ	ΗΡΑΚΛΕΙΑΣ-ΛΙΘΟΤΟΠΟΣ	Σερρών	5

Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα στην Ελλάδα

ΜΥΗΕ σε σχεδιασμό και λειτουργία-2015



ΜΥΗΕ σε λειτουργία (ΔΕΣΜΗΕ, Ιανουάριος 2009)

Πλήθος Έργων (%)	Μέγεθος	MW (%)
42 (53)	0 < Ισχύς <= 1	28,7 (17)
15 (19)	1 < Ισχύς <= 2	23,2 (14)
15 (19)	2 < Ισχύς <= 5	50,6 (30)
5 (6)	5 < Ισχύς <= 10	36,1 (21)
3 (4)	10 < Ισχύς <= 11	31,5 (19)
80 (100)	Σύνολο	170,1 (100)
Πλήθος Έργων (%)	Ιδιοκτησία	MW (%)
61 (76)	Ιδιώτες	96,9 (57)
7 (9)	ΕΥΔΑΠ ή Δήμοι	5,0 (3)
3 (4)	ΔΕΗ Αν.+Ιδιώτες	14,9 (9)
9 (11)	ΔΕΗ	53,2 (31)

2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΥΗΕ

A) Πλεονεκτήματα

- οι υδατοπτώσεις είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας
- τα ΥΗΕ δεν έχουν απόβλητα ή κατάλοιπα, δεν μολύνουν το περιβάλλον
- η κατασκευή τους συνδυάζεται με άρδευση, ύδρευση, ρύθμιση πλημμύρας, αλιεία
- το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις και αντιστοιχεί ουσιαστικά στις αποσβέσεις του έργου. Το λειτουργικό κόστος των ΥΗΕ είναι μικρό
- οι υδροστρόβιλοι είναι στιβαρές και αξιόπιστες μηχανές που απαιτούν μικρή συντήρηση και επίβλεψη
- η διάρκεια ζωής των ΥΗΕ είναι μεγάλη, της τάξεως των 50 ετών για τα μεγάλα και 20-30 ετών για τα μικρά
- το πλέον σημαντικό πλεονέκτημα των υδροηλεκτρικών έργων (ΥΗΕ) είναι η δυνατότητα πολύ γρήγορης παραλαβής και απόρριψης φορτίου έτσι ώστε να γίνεται δυνατή η παρακολούθηση της μεταβολής της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και η κάλυψη των αιχμών ζήτησης του διασυνδεδεμένου δικτύου. Τον ρόλο αυτό αναλαμβάνουν τα **μεγάλης ισχύος υδροηλεκτρικά έργα αποθήκευσης**, δηλ. αυτών των οποίων φράγμα δημιουργεί δεξαμενή (ταμιευτήρα) μεγάλης χωρητικότητας. Σ' αυτό ακριβώς το πλεονέκτημα των ΥΗΕ βασίζεται η κατασκευή **αναστρέψιμων μονάδων** οι οποίες κατά την διάρκεια της χαμηλής ζήτησης (νύχτα) λειτουργούν αντλώντας νερό από τον κάτω ταμιευτήρα προς τον άνω δηλ. αποταμιεύοντας ενέργεια την οποία είναι έτοιμα να αποδώσουν κατά τις ώρες αιχμής

- **B) Μειονεκτήματα**

- έχουν μεγάλη διάρκεια κατασκευής (της τάξεως των 5-10 ετών για μεγάλο ΥΗΕ και 1-2 χρόνια για μικρό ΥΗΕ)
- η ετήσια παραγωγή ενέργειας υφίσταται διακυμάνσεις που σχετίζονται με την ποσότητα των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων)
- έχουν πολύ υψηλό κόστος (της τάξεως των 2000-4000 €/KW) και γι' αυτό απαιτούν την διάθεση πολύ μεγάλων κεφαλαίων
- η κατασκευή τους προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλων υδατοπτώσεων και μεγάλων παροχών

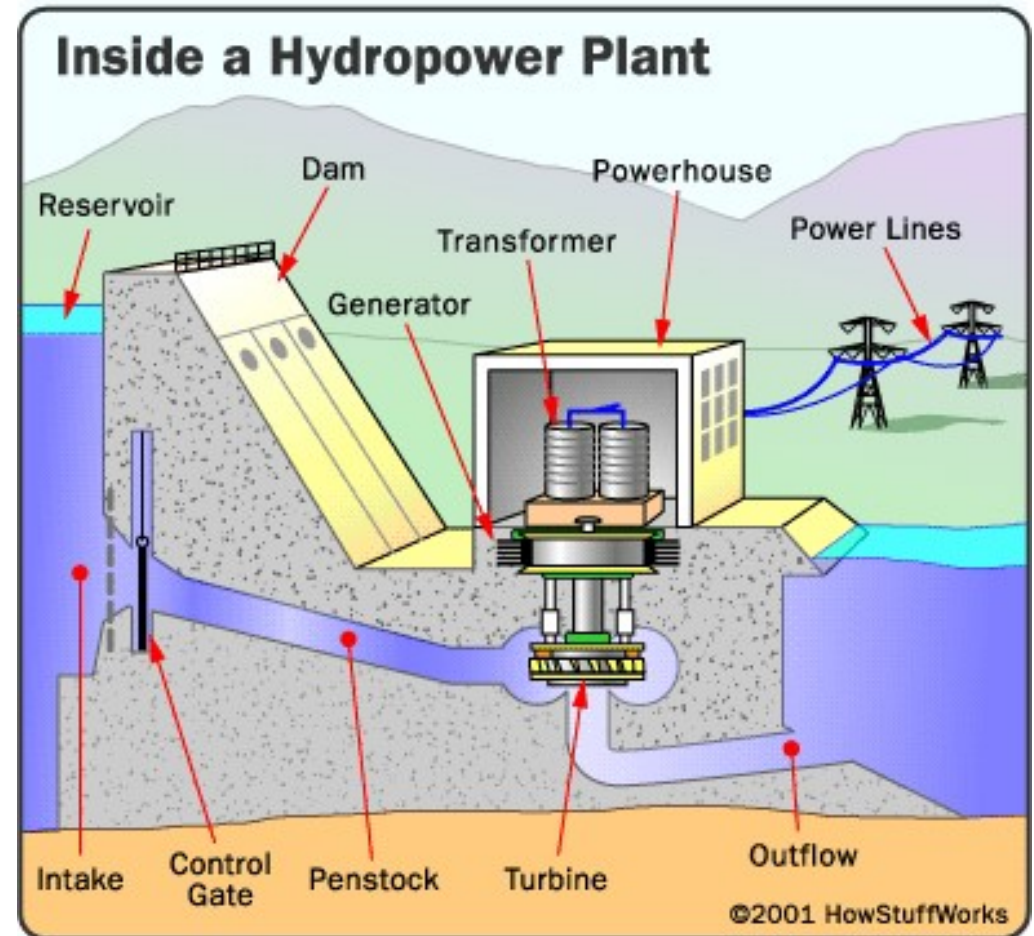
ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΜΙΚΡΩΝ ΥΗΕ

- Δεν απαιτούνται μεγάλης έκτασης τοπογραφικές , γεωλογικές, γεωτεχνικές μελέτες
- Δεν απαιτείται μεγάλη υποδομή
- Τα έργα πολιτικού μηχανικού μπορούν να περιοριστούν στο ελάχιστο
- Μπορούν να λειτουργούν σαν μονάδες βάσης
- Μπορούν να αυτοματοποιηθούν πλήρως
- Για διασυνδεδεμένα ΥΗΕ μπορεί να τοποθετηθεί ασύγχρονη γεννήτρια (μικρό αρχικό κόστος- χαμηλό κόστος συντήρησης)
- Επιφέρουν ελάχιστη αλλοίωση του περιβάλλοντος

Διαμόρφωση του ΜΥΗΕ

Ένα ΜΥΗΕ αποτελείται από:

- Το φράγμα για τη συγκέντρωση νερού σε κάποιο ταμιευτήρα
- Τις σήραγγες εκτροπής και απαγωγής του νερού
- Τους υδροστροβίλους
- Τις ηλεκτρογεννήτριες
- Τους Μ/Σ, τα ηλεκτρονικά, τους αυτοματισμούς



Η ροή της ενέργειας

- ένας υδροστρόβιλος μετατρέπει την ενέργεια του υγρού (φυσικό νερό στην μεγάλη πλειοψηφία των περιπτώσεων) σε μηχανική ενέργεια, δηλ. σε κινητήρια ροπή στην στρεφόμενη άτρακτο του δρομέα

1. Η υδραυλική ισχύς που διατίθεται για μετατροπή σε μηχανική ενέργεια είναι ίση προς:

$$N_h = \rho g Q h = \gamma Q h$$

ΟΠΟΥ

- Q (m^3/sec) η παροχή όγκου που διέρχεται από τον υδροστρόβιλο
- ρ (Kg / m^3) και γ (Nt/ m^3) η πυκνότητα και το ειδικό βάρος του νερού αντίστοιχα
- $h = z_E - z_A$: υδραυλική πτώση (mΣΥ) ή (m)

2. Η διαθέσιμη υδραυλική ισχύς N_i στον υδροστρόβιλο είναι ίση προς:

$$N_i = \gamma H Q$$

Όπου:

$$k = f \frac{L}{D} \frac{1}{2g} \frac{16}{\pi^2 D^4}$$

- $H = h - \delta h_{fEe} = h - k_e Q^2$: Η διαθέσιμη υδραυλική πτώση (ή καθαρό ύψος πτώσεως), δηλ. η ενέργεια ανά μονάδα μάζας του νερού την οποία ο υδροστρόβιλος καλείται να μετατρέψει σε μηχανική ενέργεια
- $\delta h_{fEe} = k_e Q^2$: Οι υδραυλικές απώλειες δh_{fEe} στο σύστημα προσαγωγής (σήραγγα, αγωγός προσαγωγής)
- $\delta h_{fEe} = f \frac{L}{D} \frac{c^2}{2g}$, όπου f ο συντελεστής γραμμικών απωλειών, L (m) το μήκος του
- Αγωγού, D (m) η διάμετρος του αγωγού και c η ταχύτητα του νερού (m/s) που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$c = \frac{Q}{\pi D^2 / 4}$$

*Ο δείκτης e χαρακτηρίζει την διατομή εισόδου στον υδροστρόβιλο.

3. Η δεσμευόμενη από τον υδροστρόβιλο ισχύς N_C είναι ίση προς:

$$N_C = N_i - \gamma \cdot Q \cdot \frac{c_a^2}{2g}$$

Όπου:

- N_i η διαθέσιμη στον υδροστρόβιλο ισχύς
- $\gamma Q c_a^2 / 2g$ η ισχύς που αντιστοιχεί στην κινητική ενέργεια του υγρού στην διατομή εξόδου του υδροστροβίλου, δηλ. αυτή που διαφεύγει της ενεργειακής μετατροπής και δεν είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί.

4. Η πραγματική μηχανική ισχύς N που αποδίδεται στην άτρακτο του υδροστροβίλου, στρεφόμενη με γωνιακή ταχύτητα ω (rad/sec), θα είναι ίση προς:

$$N = M \omega < N_i$$

- στην οποία με M παριστάνεται η κινητήρια ροπή που αναπτύσσεται στην άτρακτο του υδροστροβίλου
- η διαφορά $\delta N = (N_i - N)$ αντιστοιχεί στις συνολικές απώλειες του υδροστροβίλου οι οποίες εκφράζονται μέσω του ολικού βαθμού απόδοσης η του υδροστροβίλου:

5. Η καθαρή μηχανική ισχύς που αποδίδει ο υδροστρόβιλος είναι ίση προς:

$$N = \gamma H Q \eta$$

Σε μονάδες του μετρικού συστήματος:

- η ισχύς N εκφράζεται σε kW
- το ειδικό βάρος γ σε Kp/m^3 (για το νερό στις συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας είναι $\gamma = 1000 \text{ Kp/m}^3$)
- η παροχή Q σε m^3/sec
- η διαθέσιμη υδραυλική πτώση H σε mΣΥ
- ο βαθμός απόδοσης η του υδροστροβίλου είναι αδιάστατος αριθμός,
- η καθαρή μηχανική ισχύς γράφεται:

$$N(\text{KW}) = (9,81/1000) \gamma Q H \eta = (\gamma Q H \eta) / 102$$

- **Η καθαρή ηλεκτρική ενέργεια N_e** που παράγεται θα είναι μικρότερη της μηχανικής N που παράγει ο υδροστρόβιλος κατά τις απώλειες της ηλεκτρικής γεννήτριας και του μετασχηματιστού. Συμβολίζοντας με η_G τον βαθμό απόδοσης της γεννήτριας και με η_{Tr} τον βαθμό απόδοσης του μετασχηματιστού, η καθαρή ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται θα είναι ίση προς:

$$N_e = \eta_G \eta_{Tr} N$$

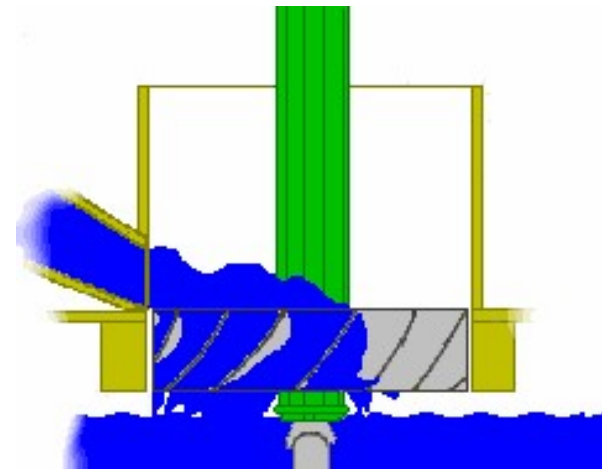
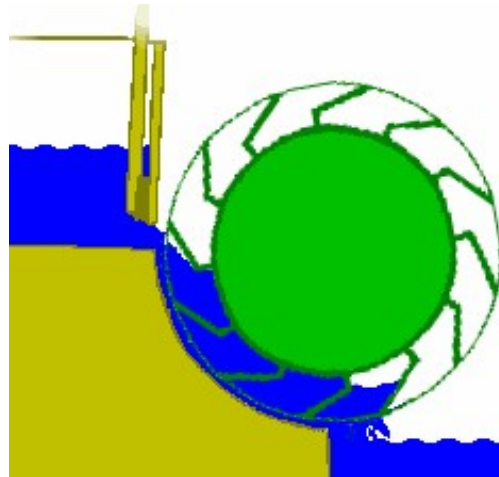
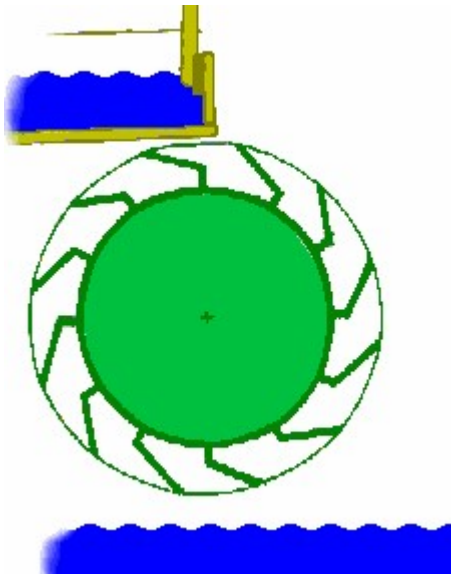
- Η καθαρή ηλεκτρική ενέργεια που διατίθεται στο ηλεκτρικό δίκτυο θα είναι μικρότερη της N_e κατά την ιδιοκατανάλωση του ΥΗΣ, δηλ. την ηλεκτρική ενέργεια που απορροφάται από τις βοηθητικές εγκαταστάσεις της μονάδας για φωτισμό, αυτοματισμούς, εξαερισμό, πεπιεσμένο αέρα κλπ

ΑΠΟΔΟΣΗ ΥΗΕ ΣΤΑΘΜΩΝ

- Ο βαθμός απόδοσης των ΥΗΕ σταθμών είναι πολύ υψηλός
 - 80 % σε μικρά ΥΗΕ, 90% σε μεγάλα ΥΗΕ
 - Για σύγκριση αναφέρουμε:
 - Φ/Β 10-15%
 - ΘΗΣ 30-35%

ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

- **Υδροστρόβιλος:** η μηχανή που μετατρέπει την ενέργεια του υγρού (νερού) σε μηχανική ενέργεια μέσω συνεχούς ροής του υγρού και σταθερής περιστροφικής κίνησης
- Η μετατροπή (μέρους) της ενέργειας του διερχόμενου υγρού υπό σταθερή παροχή σε μηχανική ενέργεια λαμβάνει χώρα στο στρεφόμενο μέρος της μηχανής, το οποίο καλείται δρομέας, μέσω της ανάπτυξης της κινητήριας ροπής M σε αυτό

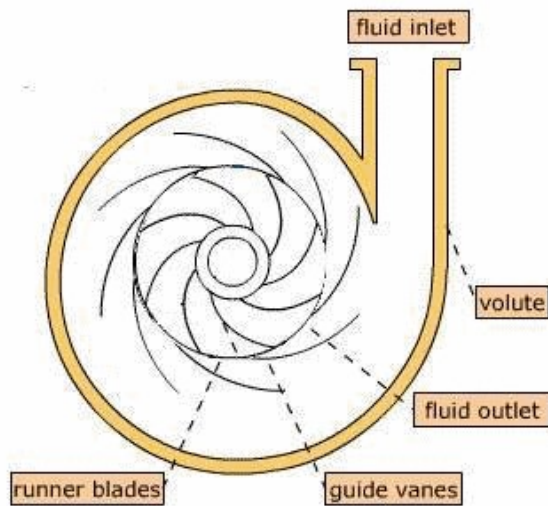


ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

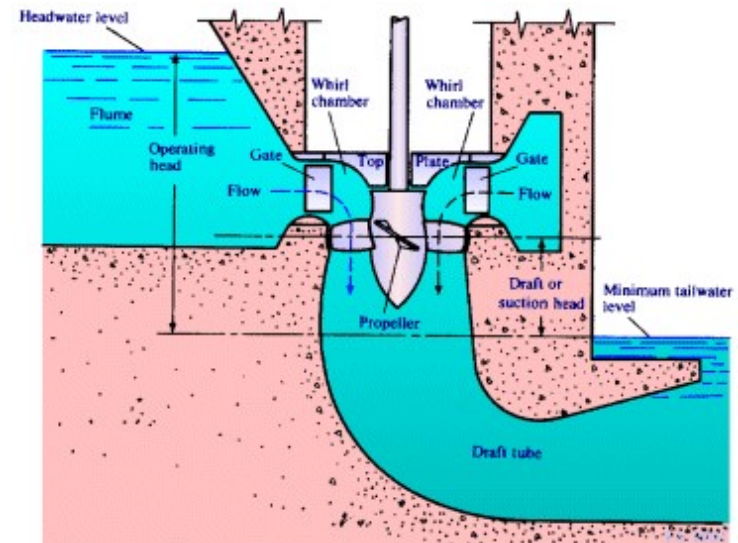
Υδροστρόβιλοι Ολικής Προσβολής (αντιδράσεως)

- η λειτουργία του δρομέα είναι αξονοσυμμετρική και για τον λόγο αυτό το τμήμα εισόδου πρέπει να περιβάλλει τον δρομέα εξασφαλίζοντας αξονοσυμμετρικές συνθήκες της ροής στην διατομή εισόδου του δρομέα
- χαρακτηρίζονται και ως υδροστρόβιλοι αντιδράσεως καθώς η ροή διά μέσου του δρομέα γίνεται με παράλληλη μεταβολή της στατικής πίεσης του υγρού
- στους υδροστροβίλους αντιδράσεως κατατάσσονται οι **υδροστρόβιλοι ακτινικής και μικτής ροής τύπου Francis** και οι **υδροστρόβιλοι αξονικής ροής** όπως ο υδροστρόβιλος τύπου **Kaplan** και οι άλλες παραλλαγές των υδροστροβίλων αξονικής ροής (σωληνωτός, βολβοειδής κλπ)
- Για μικρές υδραυλικές πτώσεις ($H < 20$ mΣΥ περίπου) και μικρές ισχείς, αντί της κλασσικής διαμόρφωσης αξονικής ροής υδροστροβίλου Kaplan, συναντώνται δύο παραλλαγές: ο βολβοειδής (bulb) και ο σωληνωτός (tube) υδροστρόβιλος
- Οι σωληνωτοί υδροστρόβιλοι κατασκευάζονται για μικρές ισχείς (μέχρι 10 MW περίπου)

Υδροστρόβιλοι Ολικής Προσβολής (αντιδράσεως)

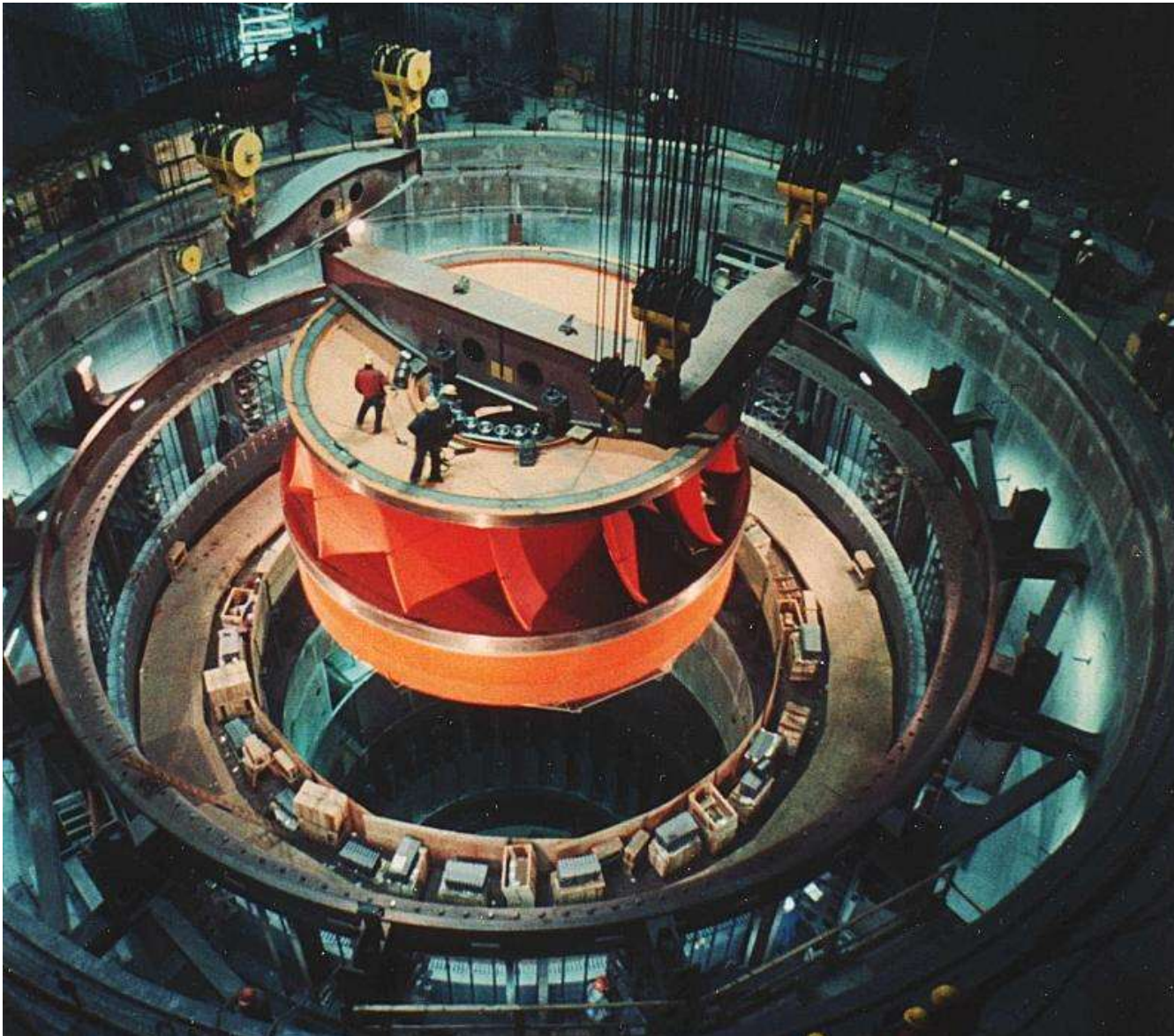


Υδρο/λος Francis

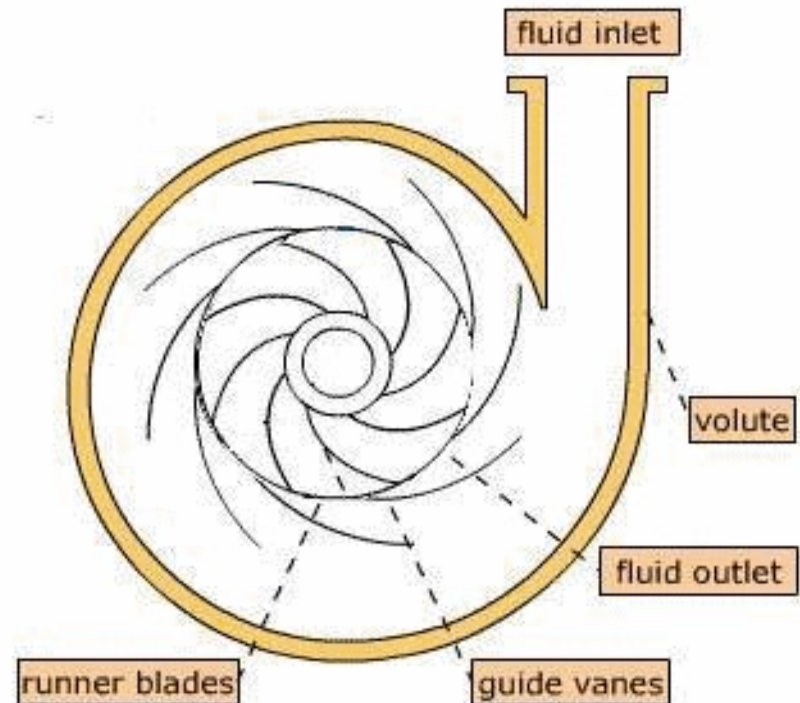


Υδρο/λος Kaplan

Υδροστρόβιλος Francis ισχύος 10^6 HP



Στρόβιλος Francis και γεννήτρια

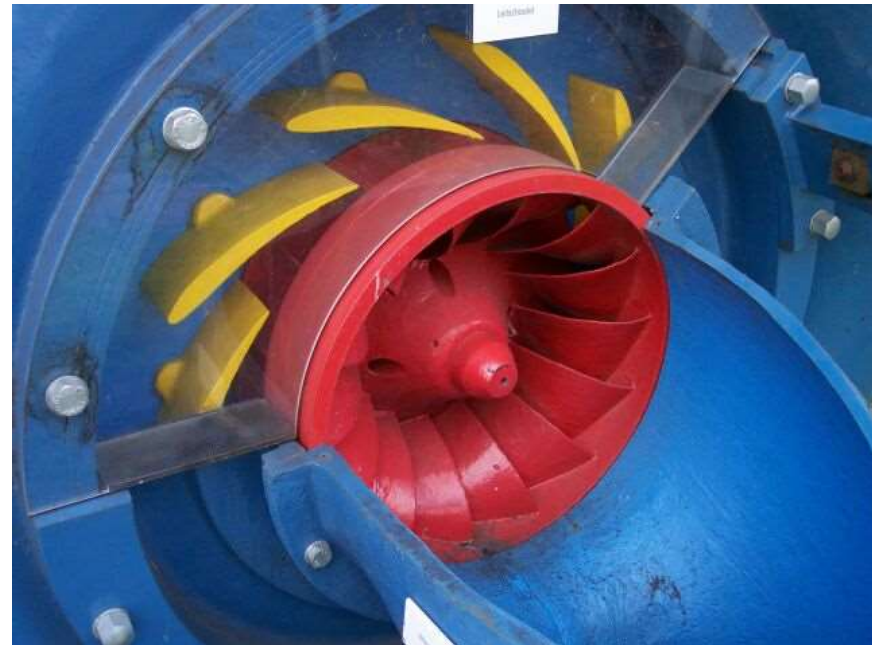


Υδροστρόβιλος Francis

**Α. ΠΤΕΡΥΓΙΑ ΣΤΡΑΜΜΕΝΑ
ΓΙΑ ΧΑΜΗΛΗ ΡΟΗ**



**Β. ΠΤΕΡΥΓΙΑ ΣΤΡΑΜΜΕΝΑ
ΓΙΑ ΥΨΗΛΗ ΡΟΗ**

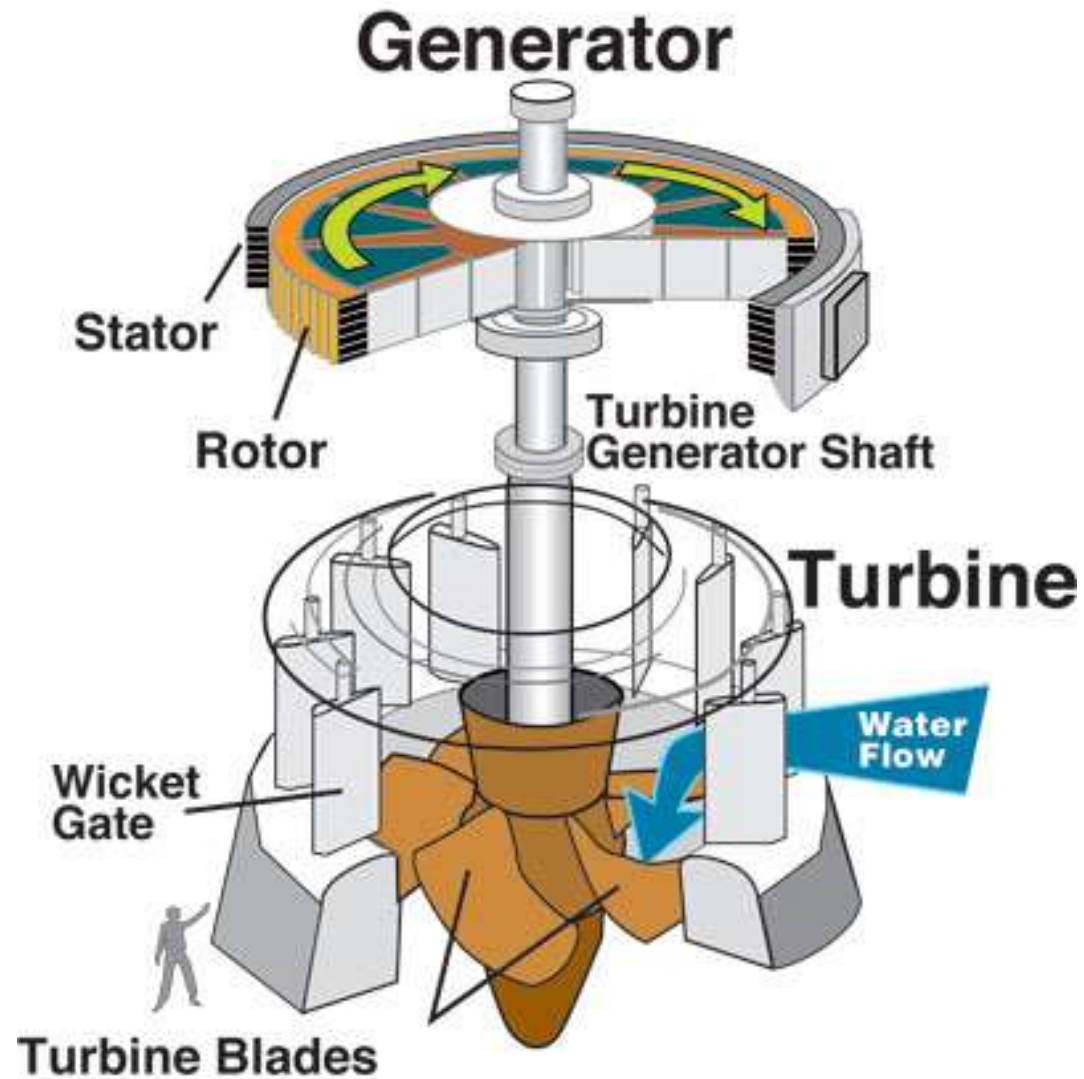


Γιά υδραυλικό ύψος από 10 μέτρα μέχρι μερικές εκατοντάδες μέτρα

Είναι Υδροστρόβιλοι Αντίδρασης, δηλ το νερό αλλάζει πίεση στο εσωτερικό του στροβίλου και έτσι «δίνει» την ενέργεια του στον άξονα περιστροφής.



Στρόβιλος Kaplan – για μικρά υδραυλικά ύψη



Ο Kaplan είναι μία εξέλιξη του Francis

Στροβίλος Καριαη μετά απο 61 χρόνια λειτουργίας

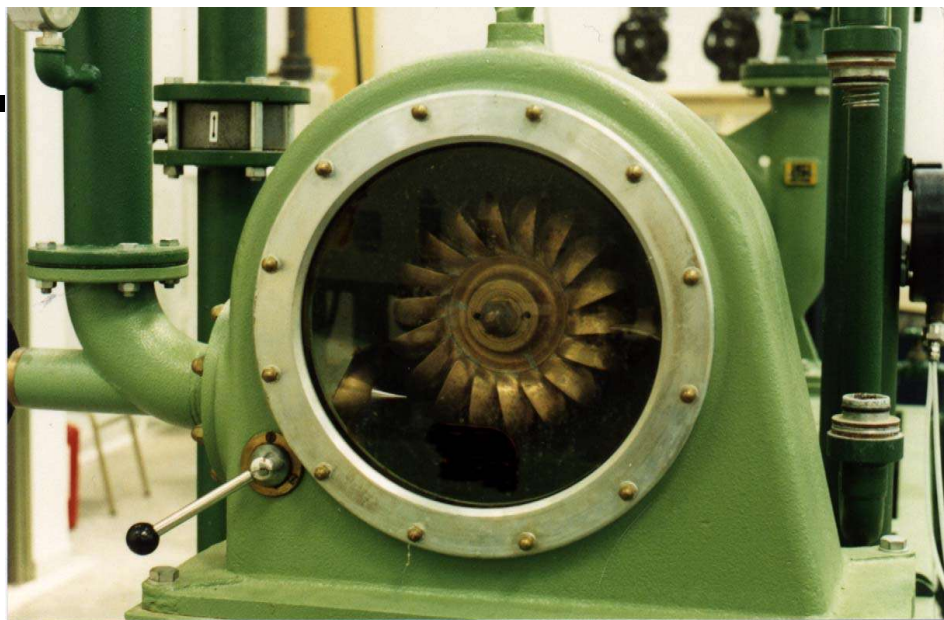


ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

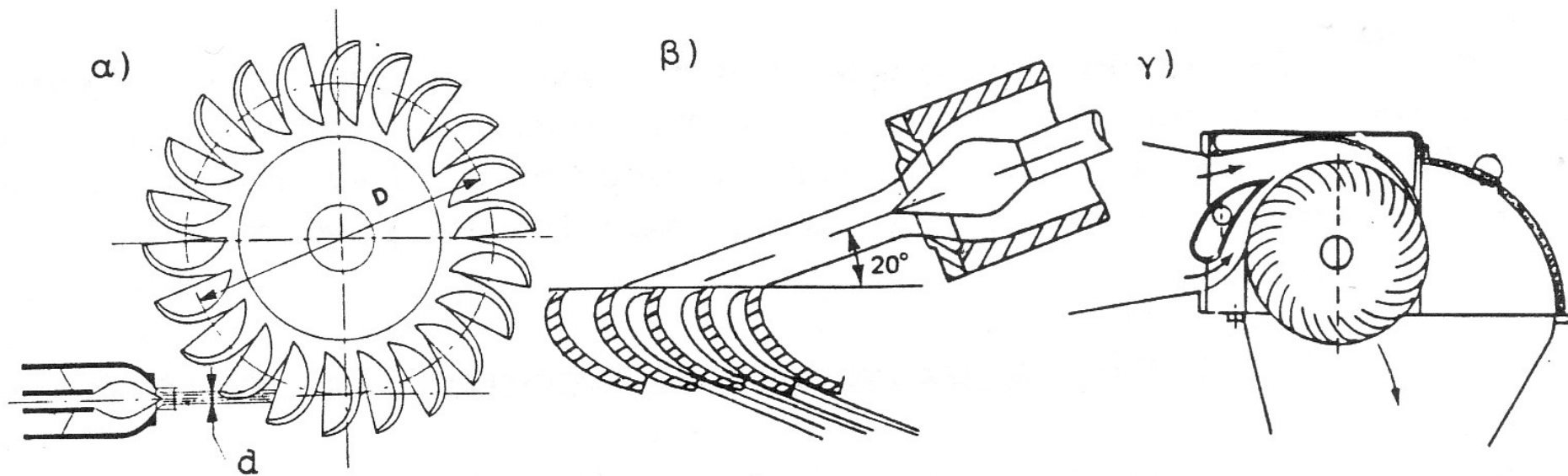
Υδροστροβίλοι Μερικής Προσβολής (δράσεως)

- σε κάθε χρονική στιγμή, μόνο ένα τμήμα του δρομέα τροφοδοτείται και συμβάλλει στην μετατροπή της ενέργειας
- χαρακτηρίζονται και ως υδροστροβίλοι δράσεως δεδομένου ότι ολόκληρος ο δρομέας λειτουργεί σε χώρο ομοιόμορφης στατικής πίεσης οπότε ο βαθμός αντιδράσεως είναι μηδενικός
- χαρακτηριστικός τύπος υδροστροβίλου δράσεως είναι ο υδροστροβίλος τύπου **Pelton**
- Στις περιπτώσεις πολύ υψηλής ενέργειας ανά μονάδα μάζας του υγρού, δηλ. για υψηλές τιμές της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης H , είναι προτιμότερη η διαμόρφωση στροβίλων μερικής προσβολής γιατί:
 - η ταχύτητα της ροής είναι πολύ υψηλή (μικρές παροχές, μικρές διατομές) άρα αύξηση των υδραυλικών απωλειών στο εσωτερικό της μηχανής (μείωση του β.α.)
 - η στατική πίεση είναι πολύ υψηλή με αποτέλεσμα να γίνεται προβληματική η μηχανική αντοχή του τμήματος εισόδου εάν αυτό ήταν μορφής σπειροειδούς κελύφους
 - η διαφορά της στατικής πίεσης ανάντι και κατάντι του δρομέα θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση των ογκομετρικών απωλειών στο εσωτερικό της μηχανής εάν αυτός ήταν ολικής προσβολής

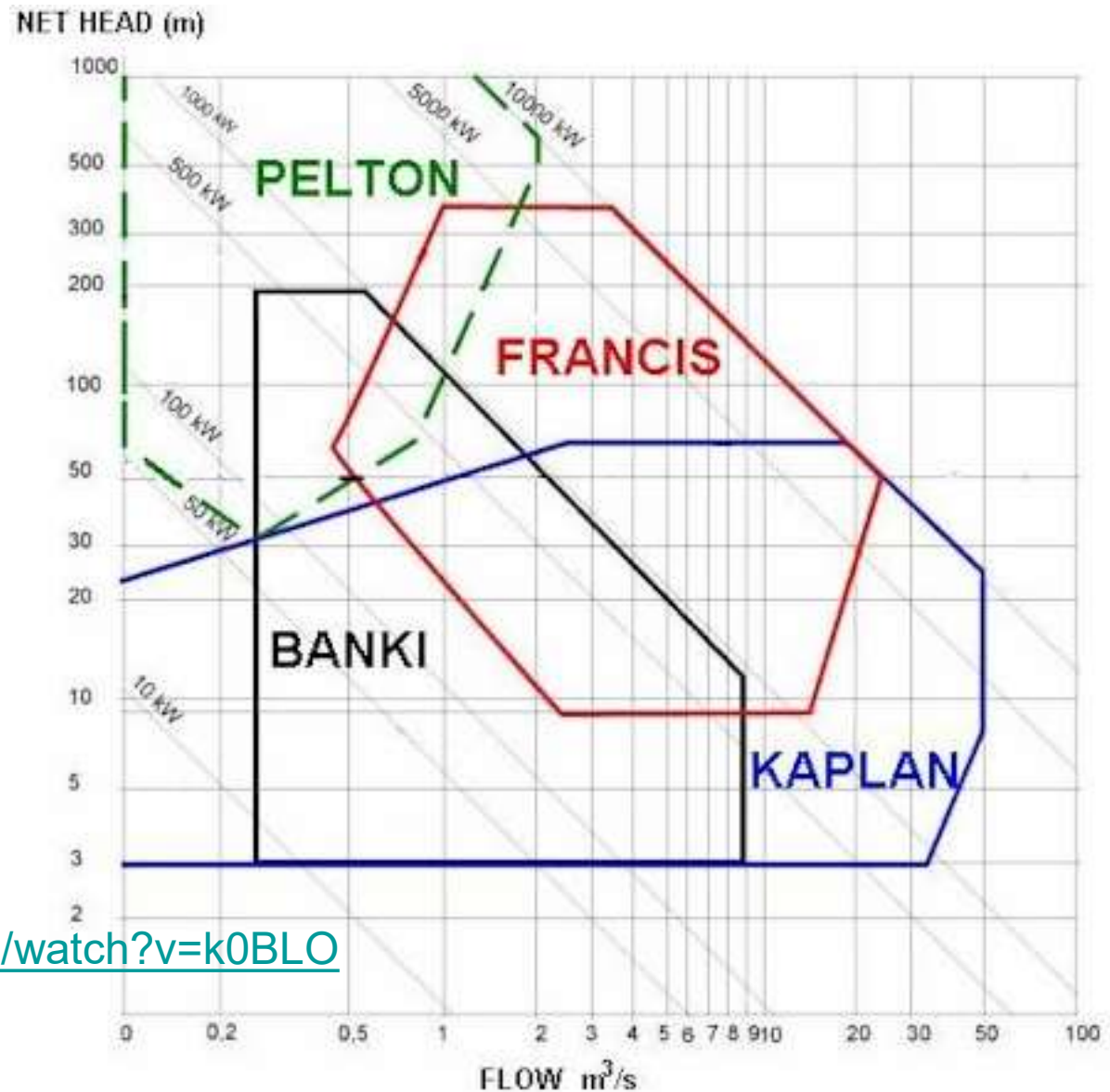
Υδροστρόβιλοι Μερικής Προσβολής (δράσεως) Pelton



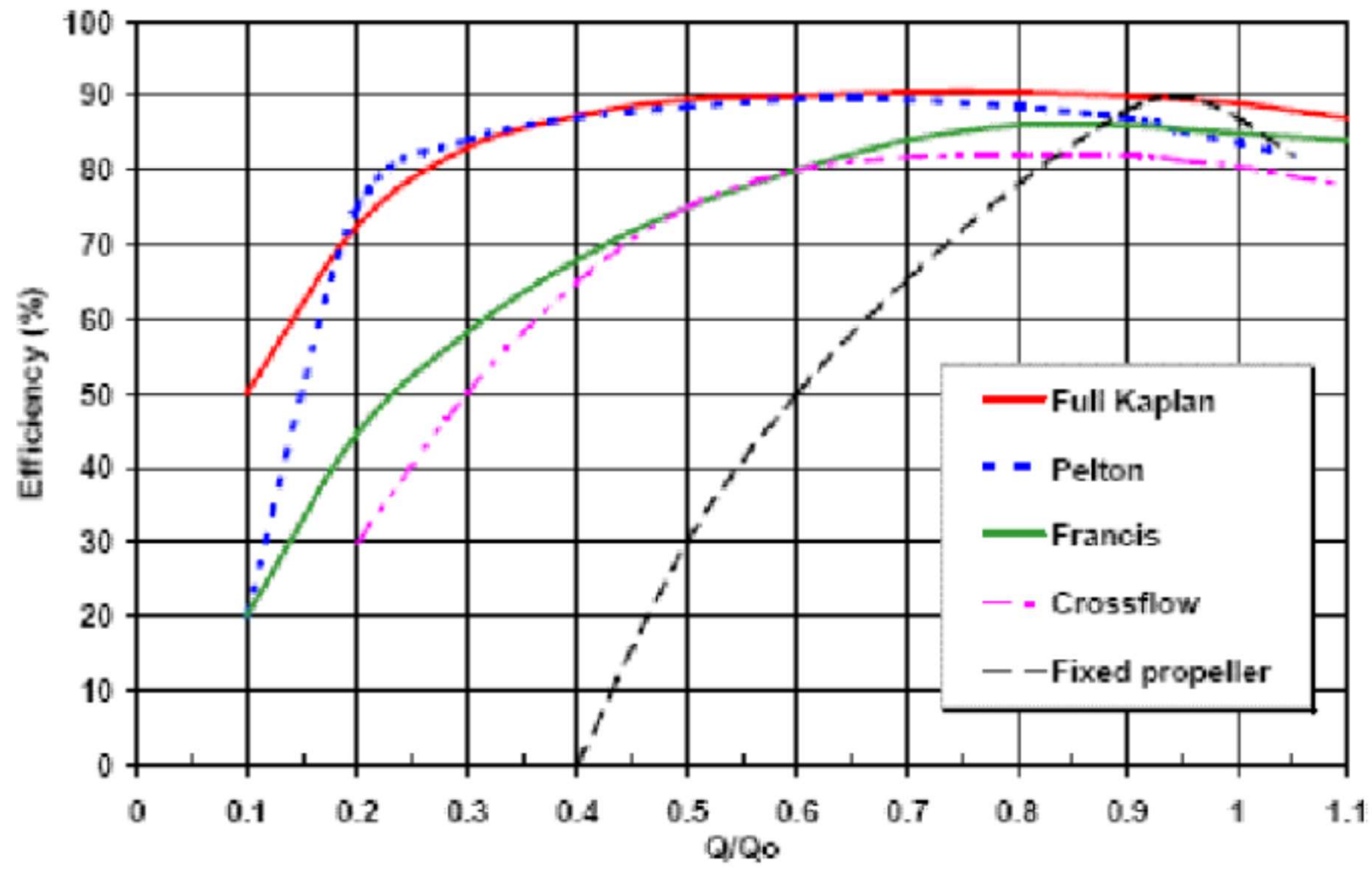
Σχηματική διάταξη υδ/λων α) Pelton β) Turgo και γ) Cross Flow



Ο τύπος της τουρμπίνας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανάλογα με το ύψος και την παροχή της υδατόπτωσης βρίσκεται από το διπλανό διάγραμμα



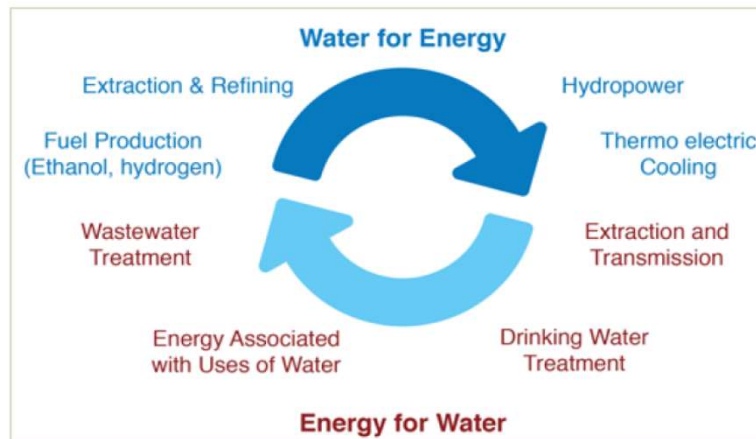
<https://www.youtube.com/watch?v=k0BLOKEZ3KU>



Water-Energy Nexus



Ποσότητες νερού απαιτούνται σε όλες τις φάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, την εξόρυξη, την διύλιση, την επεξεργασία και την μεταφορά.



Η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας στα υδατικά δίκτυα είναι άμεσα συνδεδεμένη με οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

- Μειώνοντας το κόστος ενέργειας, μειώνεται ένα μεγάλο ποσοστό του κόστους νερού, το οποίο μεταφέρεται στους καταναλωτές.
- Η αντικατάσταση συμβατικής ενέργειας με ενέργεια από ΑΠΕ ενισχύσει τα περιβαλλοντικά οφέλη που σχετίζονται με μείωση των εκπομπών CO₂, και παράγοντες της κλιματικής αλλαγής.

Σημαντικά ποσά ενέργειας απαιτούνται για την άντληση, επεξεργασία, μεταφορά του νερού, την επεξεργασία των λυμάτων -η μέση κατανάλωση ενέργειας για το πόσιμο νερό ανέρχεται σε 0.56 kWh/m³.

Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον εστιάζεται στην ανάπτυξη έργων ΑΠΕ σε υφιστάμενες υποδομές νερού, όπως φράγματα, υδατικά δίκτυα και δίκτυα μονάδων επεξεργασίας νερού, καθώς αποτελούν τεχνολογίες με μηδενικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και δυνατότητα αξιοποίησης/ανάκτησης ενέργειας σε διάφορους τύπους έργων, ενώ παράλληλα δίνουν δυνατότητες μείωσης του μεγάλου κόστους ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτεί η βιομηχανία νερού

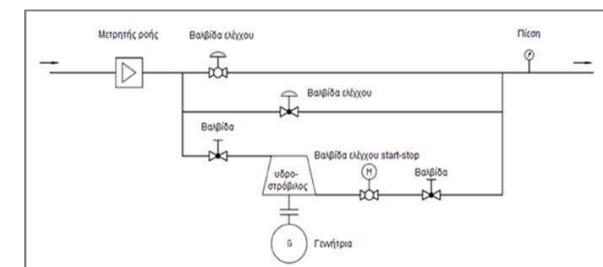
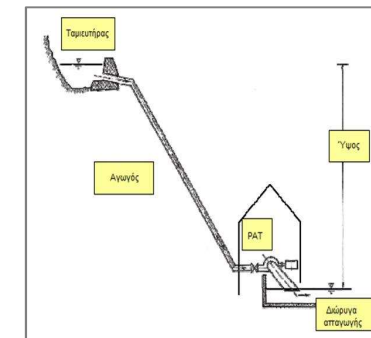
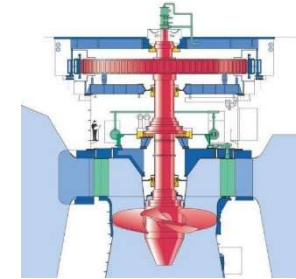
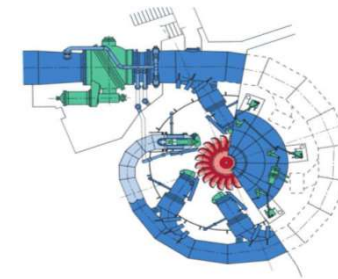
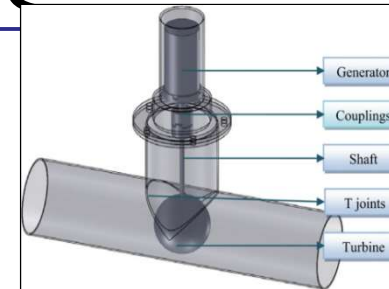
Μελλοντικά έργα ΔΠ - ΗΕ



- Η δυνατότητα και τεχνική & οικονομική εφικτότητα – αποδοτικότητα εγκατάστασης υδροτροβίλων σε υποδομές και δίκτυα διανομής νερού του Οργανισμού Ανάπτυξης Κρήτης Α.Ε.
- Για παραγωγή ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας και
 - την μείωση της προμήθειας συμβατικής ενέργειας (από τη ΔΕΗ)
 - την μείωση του λειτουργικού κόστους του Οργανισμού

Τεχνολογίες

- **Μικροί υδροστρόβιλοι:**
- Η περίσσεια ενέργειας που διοχετεύεται στα δίκτυα διανομής νερού μπορεί να αξιοποιηθεί χρησιμοποιώντας μικρούς υδροστροβίλους αντίστοιχους με αυτούς που προορίζονται για συμβατικούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς (ως μινιατούρες).
- **Αντλίες με αντίστροφη λειτουργία ως γεννήτριες (Pump As Turbine – PAT)**
- Μία φυγοκεντρική αντλία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υδροστρόβιλος εάν αντιστραφεί η ροή σε αυτήν και το στόμιο καταθλίψεως χρησιμοποιηθεί ως στόμιο εισόδου. Η χρήση της συνηθίζεται σε μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα με μεσαία υδραυλικά ύψη και σχετικά σταθερές τιμές παροχής καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.



ΑΣΚΗΣΗ

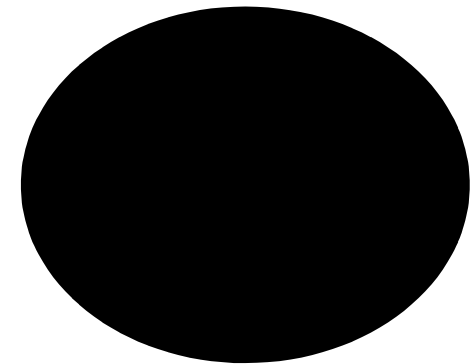


- Μελέτη ανάπτυξης ΜΥΗΕ με εγκατάσταση υδροστροβίλου στην έξοδο του αγωγού ενίσχυσης του Φράγματος Αποσελέμη από το Οροπέδιο Λασιθίου (αντιμετωπίζεται ως ταμιευτήρας), αντί των έργων καταστροφής ενέργειας.

Τεχνική
εφικτότητα
(παραγόμεν
η ενέργεια)



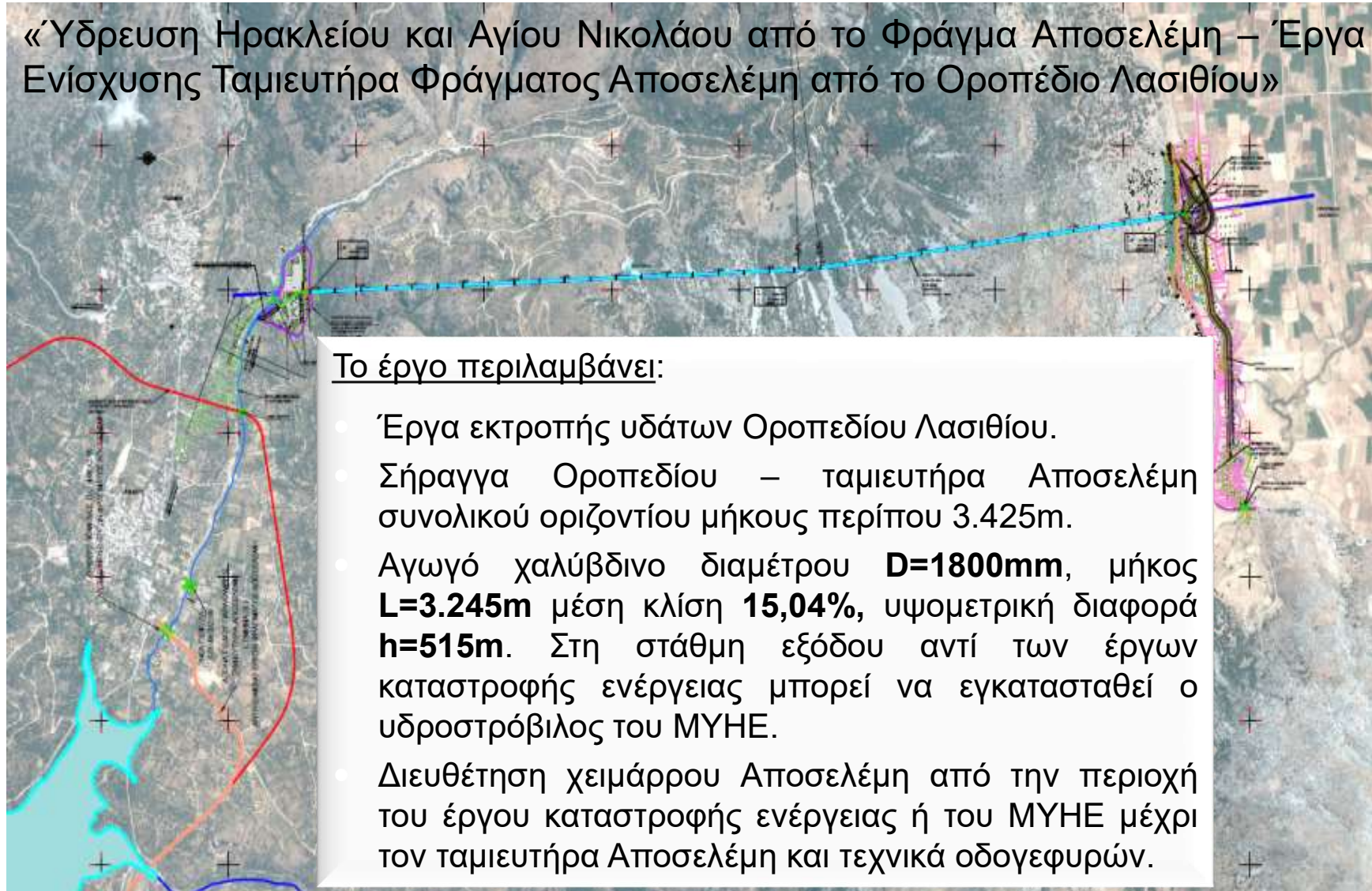
Οικονομική
βιωσιμότητ
α (ΚΠΑ
στην 25
ετία)



Περιγραφή – δεδομένα του έργου (ΟΑΚ ΑΕ)



«Υδρευση Ηρακλείου και Αγίου Νικολάου από το Φράγμα Αποσελέμη – Έργα Ενίσχυσης Ταμιευτήρα Φράγματος Αποσελέμη από το Οροπέδιο Λασιθίου»



Το έργο περιλαμβάνει:

- Έργα εκτροπής υδάτων Οροπεδίου Λασιθίου.
- Σήραγγα Οροπεδίου – ταμιευτήρα Αποσελέμη συνολικού οριζοντίου μήκους περίπου 3.425m.
- Αγωγό χαλύβδινο διαμέτρου **D=1800mm**, μήκος **L=3.245m** μέση κλίση **15,04%**, υψομετρική διαφορά **h=515m**. Στη στάθμη εξόδου αντί των έργων καταστροφής ενέργειας μπορεί να εγκατασταθεί ο υδροστρόβιλος του ΜΥΗΕ.
- Διευθέτηση χειμάρρου Αποσελέμη από την περιοχή του έργου καταστροφής ενέργειας ή του ΜΥΗΕ μέχρι τον ταμιευτήρα Αποσελέμη και τεχνικά οδογεφυρών.

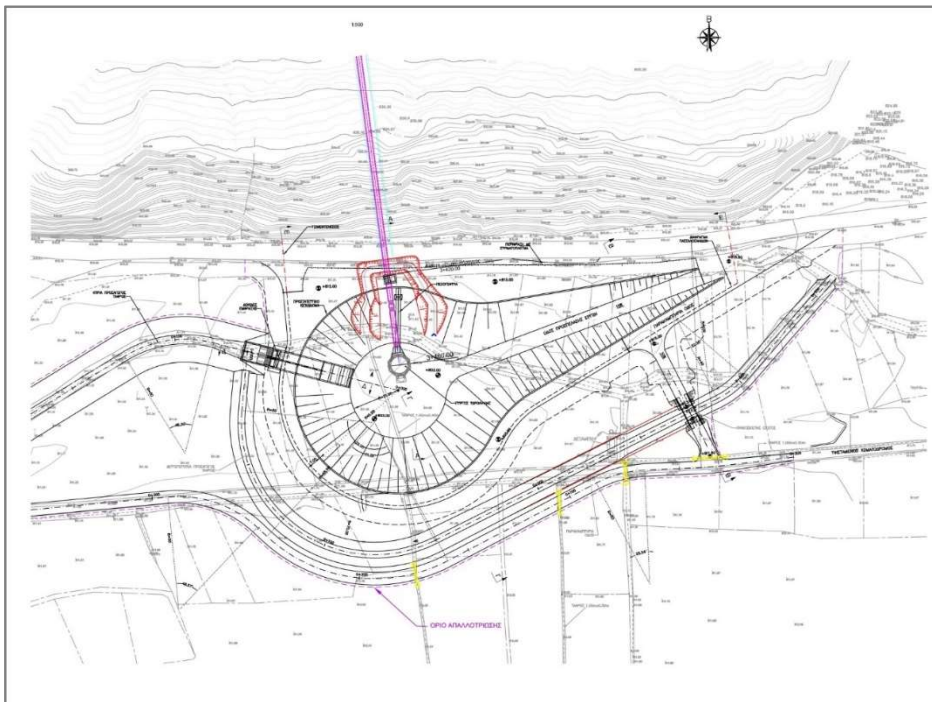
Έργα εκτροπής Οροπεδίου –



Λασιθίου (ΟΑΚ ΑΕ)

Κάτοψη πύργου
υδροληψίας

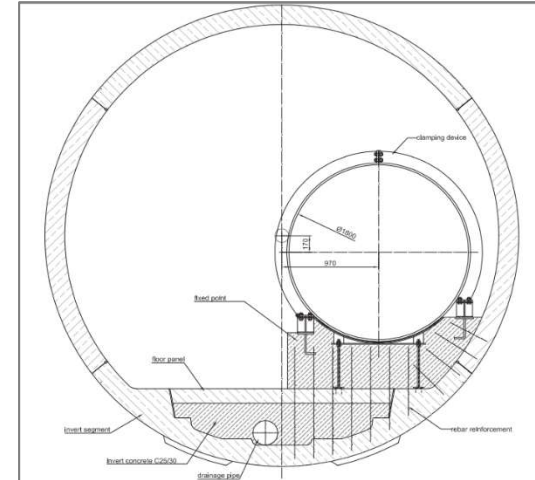
Τομή έργου υδροληψίας



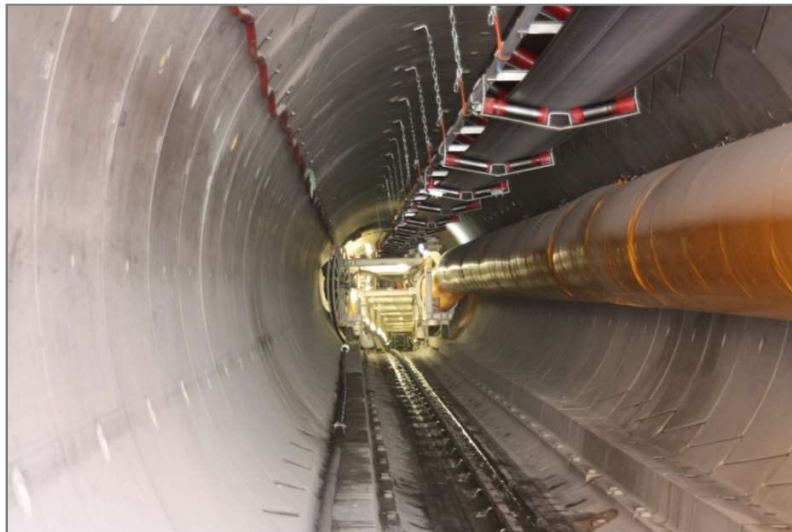
Περιγραφή – δεδομένα του έργου (ΟΑΚ ΑΕ)



Φράγμα Αποσελέμη



Διατομή σήραγγας-αγωγού

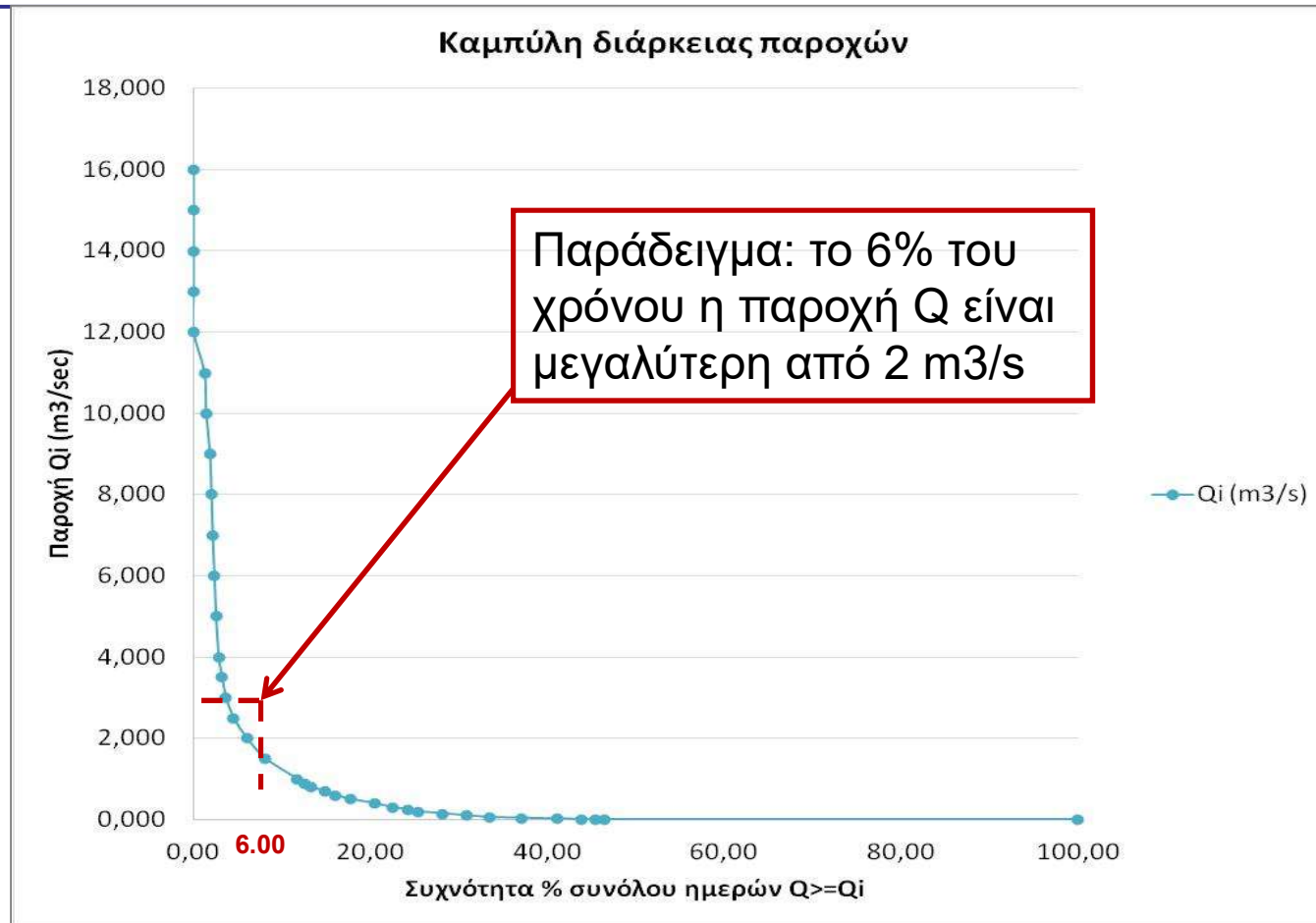


Σήραγγα Αποσελέμη



Μηχάνημα ολομέτωπης κοπής T.B.M.

Καμπύλη διάρκειας παροχών



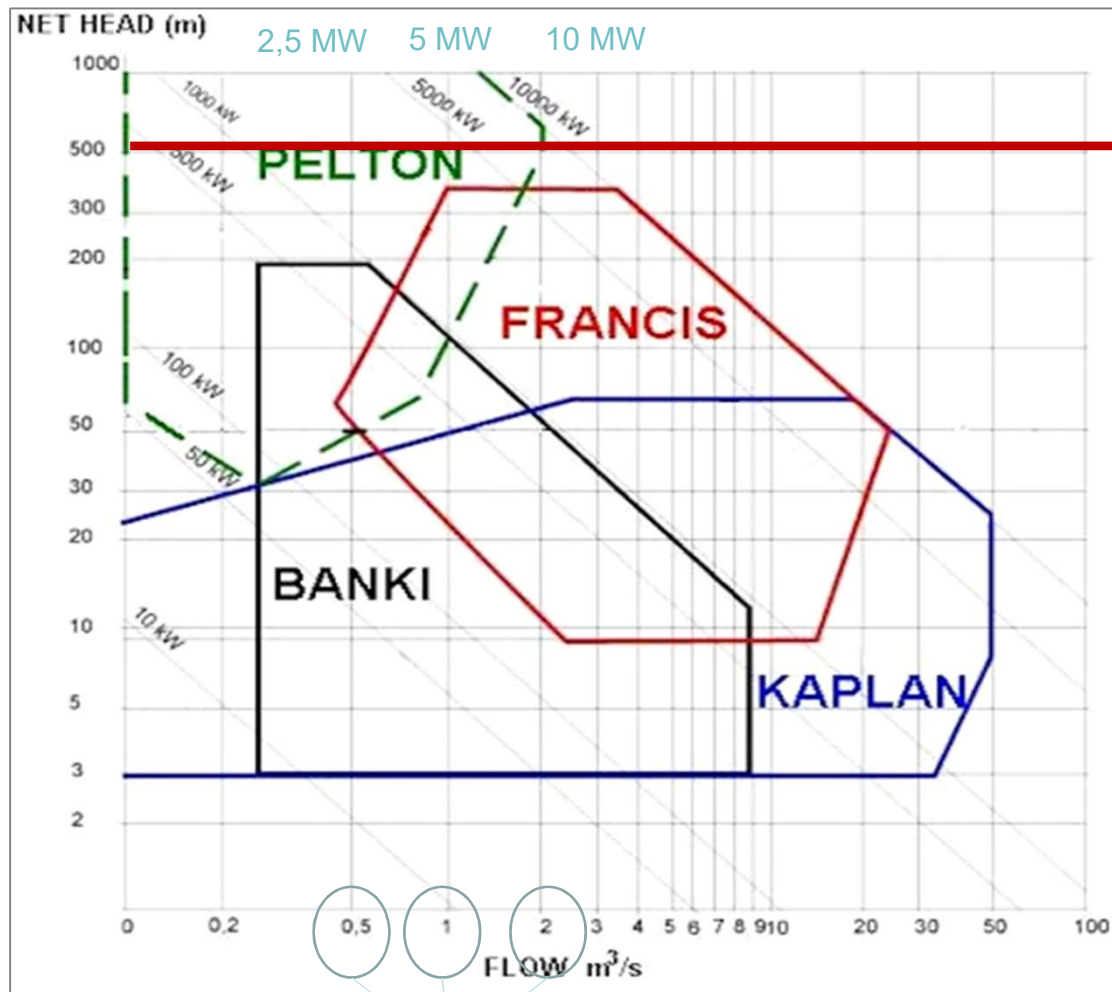
Καμπύλη διάρκειας παροχών

Το % του χρόνου που η τιμή της παροχής $Q \geq$ από αυτή της καμπύλης Q_i

Ταξινομεί τις παροχές κατά σειρά μεγέθους δίνοντας την χρονική διάρκεια σε %

Q_i (m ³ /s)	τι Πλήθος ημερών $Q \geq Q_i$	Συχνότητα % συνόλου ημερών
(1)	(2)	(3)
0	9862	100.00
0.001	4580	46.44
0.005	4479	45.42
0.01	4325	43.86
0.02	4056	41.13
0.04	3655	37.06
0.06	3308	33.54
0.1	3047	30.90
0.15	2778	28.17
0.2	2498	25.33
0.25	2393	24.26
0.3	2226	22.57
0.4	2017	20.45
0.5	1757	17.82
0.6	1587	16.09
0.7	1465	14.85
0.8	1310	13.28
0.9	1242	12.59
1	1158	11.74
1.5	803	8.14
2	596	6.04
2.5	448	4.54
3	364	3.69
3.5	319	3.23
4	283	2.87
5	252	2.56
6	234	2.37
7	215	2.18
8	201	2.04
9	184	1.87
10	142	1.44
11	122	1.24
12.01	1	0.01
13	1	0.01
14	1	0.01
15	1	0.01
16	0	0.00

Επιλογή υδροστροβίλου και σεναρίων



Pelton

Με εύρος λειτουργίας

$$Q_{TΜεγιστη} = 1.25 \cdot Q_{TN}$$

$$Q_{TΕλάχιστη} = 0.55 \cdot Q_{TN}$$

QTN

Μαθηματικό μοντέλο



Για κάθε Q_i :

$$c = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{c \times \pi}}$$

$$Re = \frac{c \times D}{\nu}$$

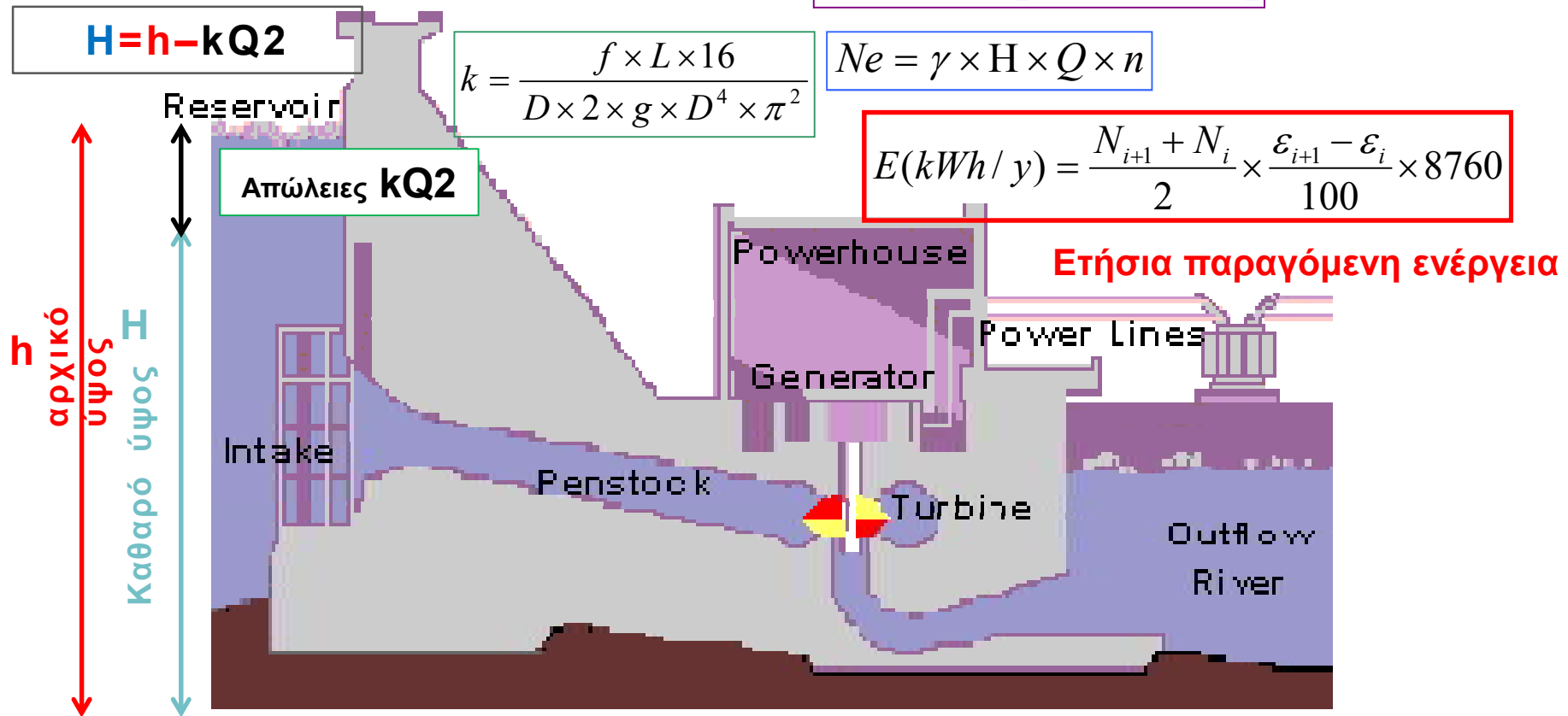
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{K_s}{3,71D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right]$$

$$H = h - kQ^2$$

$$k = \frac{f \times L \times 16}{D \times 2 \times g \times D^4 \times \pi^2}$$

$$Ne = \gamma \times H \times Q \times \eta$$

$$E(kWh/y) = \frac{N_{i+1} + N_i}{2} \times \frac{\epsilon_{i+1} - \epsilon_i}{100} \times 8760$$



Υπολογισμοί
(παράδειγμα για
 $Q_{TN}=0.5 \text{ m}^3/\text{s}$)

% days $Q \geq Q_i$	Q_i (m ³ /s)	Q T	c	Re	f	k	H	Ne(kW)	E (kWh)
0,00	16,00	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	2.230,07
0,01	15,00	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	0,00
0,01	14,00	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	0,00
0,01	13,00	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	0,00
0,01	12,01	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	274.298,10
1,24	11,00	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	44.601,32
1,44	10,00	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	95.892,83
1,87	9,00	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	37.911,12
2,04	8,00	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	31.220,92
2,18	7,00	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	42.371,25
2,37	6,00	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	42.371,25
2,56	5,00	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	69.132,04
2,87	4,00	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	80.282,37
3,23	3,50	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	102.583,03
3,69	3,00	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	189.555,60
4,54	2,50	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	334.509,88
6,04	2,00	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	468.313,83
8,14	1,50	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	802.823,71
11,74	1,00	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	189.555,60
12,59	0,90	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	153.874,54
13,28	0,80	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	350.120,34
14,85	0,70	0,63	0,25	391.105,15	0,02	0,28	514,89	2.545,74	269.946,79
16,09	0,60	0,60	0,24	372.481,10	0,02	0,28	514,90	2.424,56	336.826,35
17,82	0,50	0,50	0,20	310.400,91	0,02	0,28	514,93	2.020,58	418.975,49
20,45	0,40	0,40	0,16	248.320,73	0,02	0,28	514,95	1.616,55	262.689,62
22,57	0,30	0,30	0,12	186.240,55	0,02	0,29	514,97	1.212,45	0,00
24,26	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25,33	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28,17	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30,90	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33,54	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
37,06	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
41,13	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
43,86	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45,42	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
46,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
								kWh	3.918.420,94
								MWh	3.918,42

Αποτελέσματα ετήσιας παραγόμενης ενέργειας



Σενάριο	Ονομαστική παροχή υδρ/λου QTN (m ³ /s)	Ισχύς υδρ/λου (kW)	Ετήσια παραγόμενη ενέργεια E (MWh/y)
1	0,5	2.500	3.918,42
2	1,0	5.000	6.277,85
3	2,0	10.000	6.495,94

Οικονομοτεχνική μελέτη



- **Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)**

- είναι το **συνολικό καθαρό όφελος** μιας επένδυσης, που προκύπτει ως διαφορά μεταξύ του λειτουργικού οφέλους και του συνόλου των δαπανών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της επένδυσης.

$$\text{Κ.Π.Α.} = \sum_{i=1}^N \frac{\text{ΚΤΡ}}{(1+r)^i} - \text{Κ}$$

- όπου:
 - Κ (€), συνολικό κόστος επένδυσης
 - ΚΤΡ (€), οι καθαρές ταμειακές ροές, δηλαδή η διαφορά μεταξύ των εσόδων από τις πωλήσεις και των πληρωμών για τους διάφορους συντελεστές παραγωγής
 - ΚΤΡ = Έσοδα από την αξιοποίηση της ενέργειας - Λειτουργικά έξοδα
 - Έσοδα (€) = Παραγόμενη ενέργεια (MWh)* τιμή €/MWh
 - r, το επιτόκιο προεξόφλησης (5%)
 - N ο οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης (διαχειριστική περίοδος) σε έτη (25 έτη)

Οικονομοτεχνική μελέτη



Αρχικό κόστος επένδυσης K:

- Με βάση τα δεδομένα του ΥΠΕΚΑ: συνολικό κόστος κατασκευής ΜΥΗΕ ~1.500€/kW.
- Στη βιβλιογραφία: συνολικό κόστος του εξοπλισμού (υδροστρόβιλος, γεννήτρια, κιβώτιο στροφών κλπ) αντιστοιχεί στο 34% της συνολικής επένδυσης.
- Στη δικής μας περίπτωση, δεδομένου του ότι είναι ήδη κατασκευασμένες όλες οι υποδομές (σήραγγες, αγωγοί κλπ.), λαμβάνουμε υπόψη μόνο το κόστος του εξοπλισμού $C_{EM}=0.34*1500 \text{ €/kW}= 510 \text{ €/kW}$.
- Κόστος λειτουργίας (ετήσιο) Koper:
- Το κόστος συντήρησης λαμβάνεται ίσο με το 2% του αρχικού κόστους επένδυσης, σύμφωνα με την βιβλιογραφία.
- Επιτόκιο προεξόφλησης r: $r=5\%$
- Οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης N: $N=25$ έτη
- Ετήσια έσοδα E:
- **Σενάριο A** (πώληση στη ΔΕΗ) : $E \text{ (€/y)} = E(\text{kWh/y}) * 87,85\text{€/MWh}$.
- **Σενάριο B** (εικονικός ενεργειακός συμψηφισμός) : $E \text{ (€/y)} = E(\text{kWh/y}) * 127\text{€/MWh}$.



Υπολογισμοί (παράδειγμα για Σενάριο Α1)

Έτος	ΚΤΡ=Έσοδα - Λειτ. Έξοδα	$\text{ΚΤΡ}/(1+0,05)^i$ = ΚΤΡ για κάθε έτος i	ΚΠΑ στην 25 ετία = $\text{ΚΤΡ}/(1+0,05)^i$ - Αρχικό Κόστος	Σ ΚΤΡ= Άθροισμα ΚΤΡ για κάθε έτος + τα προηγούμενα έτη	ΚΠΑ σε κάθε έτος της επένδυσης (φαίνεται το έτος απόσβεσης)
1,00	318.733,20	303.555,43	3.217.208,01	303.555,43	-971.444,57
2,00	318.733,20	289.100,41		592.655,83	-682.344,17
3,00	318.733,20	275.333,72		867.989,55	-407.010,45
4,00	318.733,20	262.222,59		1.130.212,14	-144.787,86
5,00	318.733,20	249.735,80		1.379.947,94	104.947,94
6,00	318.733,20	237.843,62		1.617.791,56	342.791,56
7,00	318.733,20	226.517,73		1.844.309,29	569.309,29
8,00	318.733,20	215.731,17		2.060.040,47	785.040,47
9,00	318.733,20	205.458,26		2.265.498,73	990.498,73
10,00	318.733,20	195.674,53		2.461.173,26	1.186.173,26
11,00	318.733,20	186.356,70		2.647.529,96	1.372.529,96
12,00	318.733,20	177.482,57		2.825.012,53	1.550.012,53
13,00	318.733,20	169.031,02		2.994.043,55	1.719.043,55
14,00	318.733,20	160.981,92		3.155.025,47	1.880.025,47
15,00	318.733,20	153.316,12		3.308.341,59	2.033.341,59
16,00	318.733,20	146.015,35		3.454.356,94	2.179.356,94
17,00	318.733,20	139.062,24		3.593.419,18	2.318.419,18
18,00	318.733,20	132.440,23		3.725.859,41	2.450.859,41
19,00	318.733,20	126.133,55		3.851.992,95	2.576.992,95
20,00	318.733,20	120.127,19		3.972.120,14	2.697.120,14
21,00	318.733,20	114.406,85		4.086.526,99	2.811.526,99
22,00	318.733,20	108.958,90		4.195.485,89	2.920.485,89
23,00	318.733,20	103.770,38		4.299.256,28	3.024.256,28
24,00	318.733,20	98.828,94		4.398.085,21	3.123.085,21
25,00	318.733,20	94.122,80		4.492.208,01	3.217.208,01
		4.492.208,01			

Αποτελέσματα ΚΠΑ



Σενάριο	Αρχικό κόστος επένδυσης Κ(€)	Κόστος Λειτουργίας Κορερ (€/y)	Ολική ετήσια παραγόμενη ενέργεια E (MWh/y)	Ετήσια έσοδα (€/y)	ΚΠΑ (€)
A1	1.275.000,00	25.500,00	3.918,42	344.233,20	3.217.208,01
A2	2.550.000,00	51.000,00	6.277,85	547.116,62	4.442.240,18
A3	5.100.000,00	102.000,00	6.495,94	570.668,33	1.505.385,45
B1	1.275.000,00	25.500,00	3.918,42	497.639,34	5.379.305,69
B2	2.550.000,00	51.000,00	6.277,85	790.936,95	7.878.630,36
B3	5.100.000,00	102.000,00	6.495,94	824.984,38	5.089.701,77

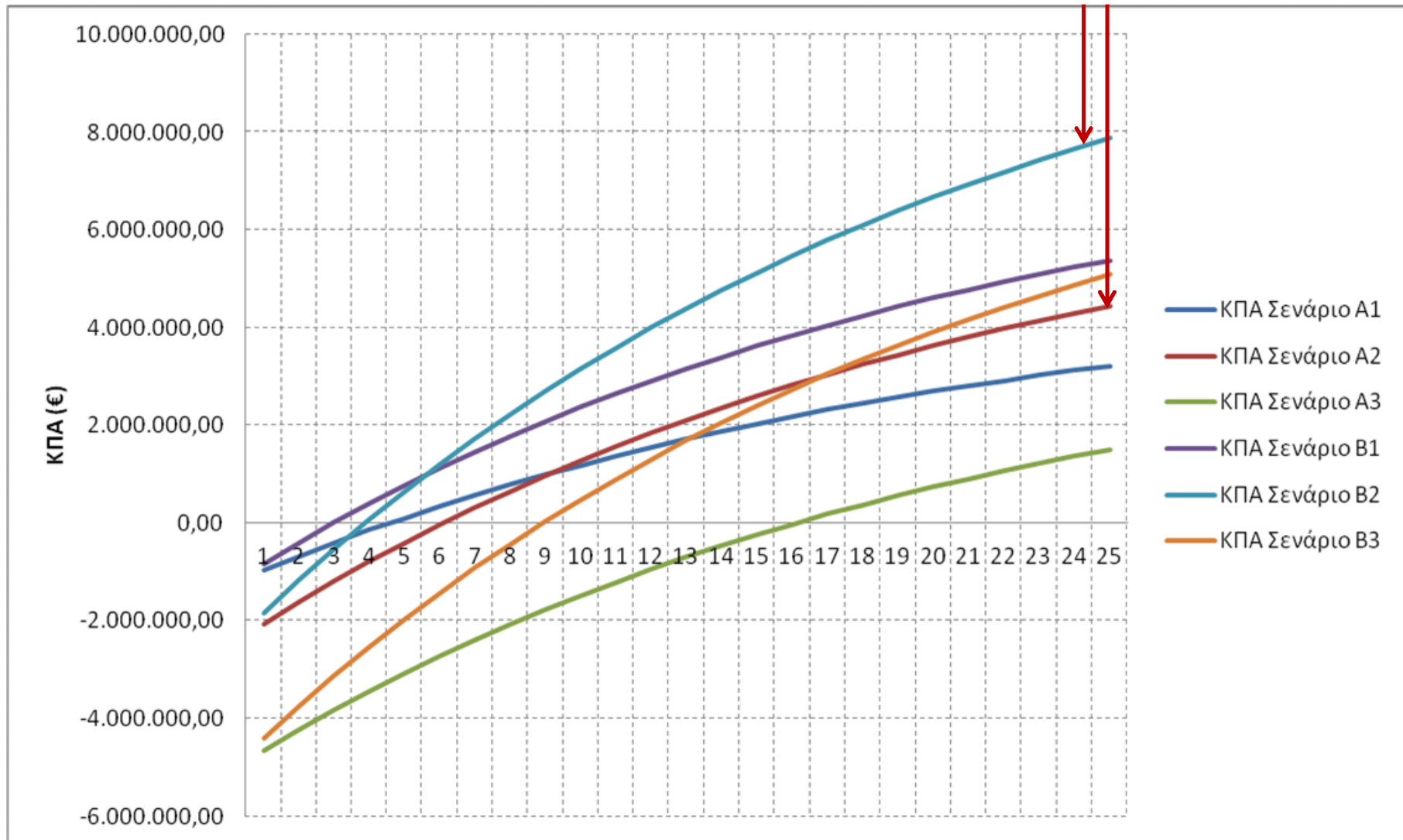
1:	Q=0.5 m ³ /s
2:	Q=1 m ³ /s
3:	Q=2 m ³ /s
A:	ΔΕΗ
B:	Εικ. Ενεργ. Συμψηφισμός



Σενάρια που επιλέγονται

Σενάριο	Ονομαστική παροχή υδρ/λου QTN (m ³ /s)	Ισχύς υδρ/λου (kW)	Ολική ετήσια παραγόμενη ενέργεια E (MWh/y)	ΚΠΑ (€)	
A2	ΔΕΗ			4.442.240,18	
B2	Net Metering	1,0	5.000	6.227,85	7.878.630,36

ΚΠΑ στην 25ετία (έτη απόσβεσης)



Το προτεινόμενο έργο



Σενάριο	Σενάριο A (ΔΕΗ)	Σενάριο B (net metering)
Τύπος υδρ/λου	Pelton	Pelton
Ονομ. παροχή υδρ/λου (QTN σε m ³ /s)	1	1
Ισχύς υδρ/λου (P σε kW)	5.000,00	5.000,00
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (MWh/y)	6.227,85	6.227,85
Αρχικό κόστος (€)	2.550.000,00	2.550.000,00
Λειτουργικό κόστος (€/y)	51.000,00	51.000,00
Οικονομικός κύκλος ζωής επένδυσης (N σε y)	25	25
Κ.Π.Α. (€)	4.442.240,18	7.878.630,36
Χρόνος απόσβεσης επένδυσης (y)	6,5	3,5

Συμπεράσματα



- Η εγκατάσταση Υδροτροβίλου Pelton **ισχύος 5 MW** και **ονομαστικής παροχής 1,0 (m³/s)** στην έξοδο του αγωγού ενίσχυσης ταμιευτήρα φράγματος Αποσελέμη από το Οροπέδιο Λασιθίου, σε αντικατάσταση των έργων καταστροφής ενέργειας είναι **μια τεχνικά εφικτή και οικονομικά βιώσιμη & αποδοτική επένδυση.**
- Παρά το γεγονός ότι από την καμπύλη διάρκειας παροχών μια πρώτη εικόνα δείχνει πολύ μικρές παροχές και μικρής διάρκειας σε ετήσια βάση προς εκμετάλλευση για την δημιουργία ΜΗΥΕ, ωστόσο από την μελέτη προκύπτει ότι είναι αποδοτική η επένδυση για το λόγο ότι τα έργα Πολιτικού Μηχανικού είναι ήδη κατασκευασμένα, **με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά το αρχικό κόστος της επένδυσης και την καθιστά βιώσιμη και κερδοφόρα.**