

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΠΕ

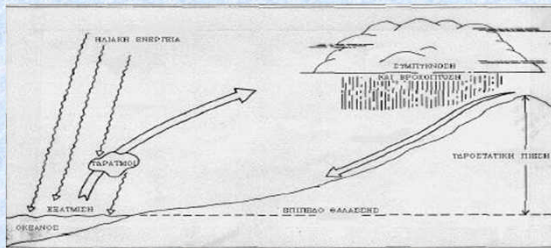


Βισκαδούρος Γ.
Ι. Φραγκιαδάκης – Φ. Μαυροματάκης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- **Υδροδυναμική (υδροηλεκτρική) ενέργεια:** Η ενέργεια που προέρχεται από την πτώση του νερού από κάποιο ύψος
- **Πηγή της ενέργειας:** η βαρύτητα
Καθώς πέφτει το νερό από κάποιο ύψος Η, η δυναμική του ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική, στη συνέχεια σε μηχανική και τελικά σε ηλεκτρική ενέργεια

Υδρολογικός κύκλος



- 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.

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

Ελληνική Νομοθεσία

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

Μικρά ΥΗΕ



Gudenöcentralen
Μικρό ΥΗΕ ΣΤΗ Δανία

Μικρά ΥΗΕ - Πλεονεκτήματα

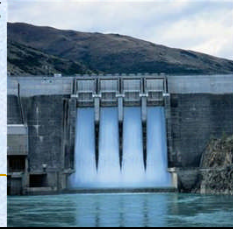
- Οι υδατοπτώσεις είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας
- Τα ΥΗΕ δεν έχουν απόβλητα ή κατάλοιπα, δεν μολύνουν το περιβάλλον
- Η κατασκευή τους συνδυάζεται με άρδευση, ύδρευση, ρύθμιση πλημμύρας, αλιεία
- Το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις και αντιστοιχεί ουσιαστικά στις αποσβέσεις του έργου. Το λειτουργικό κόστος των ΥΗΕ είναι μικρό

Μικρά ΥΗΕ - Πλεονεκτήματα

- Οι υδροστροφίλοι 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
- 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

Υδροηλεκτρικά έργα αποθήκευσης

- Φράγμα δημιουργεί δεξαμενή (ταμιευτήρα) μεγάλης χωρητικότητας
 - Βασίζονται στην 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



ΥΗΕ - Μειονεκτήματα

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

Μικρά ΥΗΕ - Ιδιαιτερότητες

- 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
- Επιφέρουν ελάχιστη αλλοίωση του περιβάλλοντος
- Για διασυνδεδεμένα ΥΗΕ μπορεί να τοποθετηθεί ασύγχρονη γεννήτρια (μικρό αρχικό κόστος- χαμηλό κόστος συντήρησης)

Εγκατεστημένα Μικρά ΥΗΕ σε διάφορες χώρες

ΧΩΡΑ	Μ/Υ (αριθμός)	Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)
Κίνα	89000	15450
Γαλλία	2200	1800
Φινλανδία	175	380
Ιαπωνία	1350	7000
Τουρκία	110	70
Ν.Ζηλανδία	1200	320
Ελβετία	1009	686
Ρουμανία	301	363
Βέλγιο	31	62,4
Λουξεμβούργο	10	1
Σουηδία	1349	8414
Πρόν Δ.Γερμανία	5882	950
Πολωνία	60	--
Νορβηγία	231	825
Ιταλία	1422	1985
Ισπανία	1106	1023,3
Πορτογαλία	>100	>100

Μεγάλα Υδροηλεκτρικά Έργα

Τα 4 μεγαλύτερα του κόσμου

Όνομα	Χώρα	Έτος κατασκευής	Ισχύς (MW)	Επιφάνεια ταμιευτήρα (km ²)
Three Gorges	Κίνα	2011	18.300-22.500	632
Itaipu	Βραζιλία – Παραγουάη	2003	14.000	1350
Guri (Simón Bolívar)	Βενεζουέλα	1986	10.200	4250
Tucuruí	Βραζιλία	1984	8.370	3014

Μεγάλα Υδροηλεκτρικά Έργα



Κυριότερα εν λειτουργία ΥΗΕ στην Ελλάδα

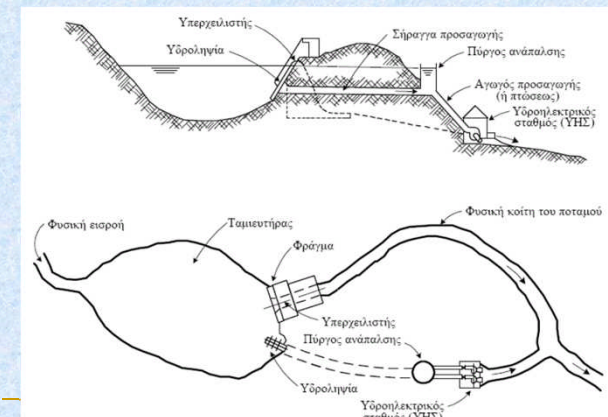
16 ΜΕΓΑΛΑ ΥΗ ΕΡΓΑ (έτος ένταξης-ωφέλιμος όγκος ταμιευτήρα hm³)

- > ΛΟΥΡΟΣ (1954-0,035)
- > ΑΓΡΑΣ (1954- 3,8)
- > ΛΑΔΩΝΑΣ (1955- 46,2)
- > ΠΛΑΣΤΗΡΑΣ (1960- 300)
- > ΚΡΕΜΑΣΤΑ (1966- 2805)
- > ΚΑΣΤΡΑΚΙ (1969- 53)
- > ΕΔΕΣΣΑΙΟΣ (1969- 0,46)
- > ΠΟΛΥΦΥΤΟ (1974- 1020)
- > ΠΟΥΡΝΑΡΙ (1981- 303)
- > ΑΣΩΜΑΤΑ (1985-10)
- > ΣΦΗΚΙΑ (1985-16)
- > ΣΤΡΑΤΟΣ (1989-11)
- > ΠΗΓΕΣ ΑΔΟΥ (1990-145)
- > ΘΗΣΑΥΡΟΣ (1997-570)
- > ΠΟΥΡΝΑΡΙ II (1999- 3,6)
- > ΠΛΑΤΑΝΟΒΡΥΣΗ (1999- 12)

11 ΜΙΚΡΑ ΥΗ ΕΡΓΑ

- > ΓΛΑΥΚΟΣ (1927)
- > ΒΕΡΜΙΟ (1929)
- > ΑΓΙΑ ΚΡΗΤΗΣ (1929)
- > ΑΛΜΥΡΟΣ ΚΡΗΤΗΣ (1931)
- > ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΣΕΡΡΩΝ (1931)
- > ΓΚΙΩΝΑ (1988)
- > ΣΤΡΑΤΟΣ II (1988)
- > ΜΑΚΡΟΧΩΡΙ (1992)
- > ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ ΑΛΙΑΚΜΟΝΑ (2008)
- > ΣΜΟΚΟΒΟ (2008)
- > ΠΑΠΑΔΙΑ (2010)

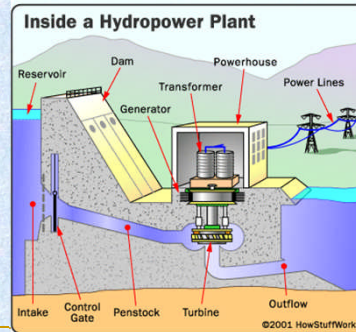
Χαρακτηριστικά υδροηλεκτρικών έργων



Διαμόρφωση του ΥΗΕ

- Ένα ΥΗΕ 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 υδροστροβίλος μετατρέπει την ενέργεια του υγρού (φυσικό νερό στην μεγάλη πλειοψηφία των περιπτώσεων) σε μηχανική ενέργεια, δηλ. σε κινητήρια ροπή στην στρεφόμενη άτρακτο του δρομέα
- Η υδραυλική ισχύς που διατίθεται για μετατροπή σε μηχανική ενέργεια είναι ίση προς :

$$N = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h = \gamma \cdot Q \cdot h$$

- ΟΠΟΥ

- Q (m³/sec) η παροχή όγκου που διέρχεται από τον υδροστροβίλο
- ρ (Kg/ m³) και γ (N/ m³) η πυκνότητα και το ειδικό βάρος του νερού αντίστοιχα
- $h = Z_E - Z_A$: υδραυλική πτώση

Η ροή της ενέργειας

- Η δεσμευόμενη από τον υδροστροβίλο 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 υδροστροβίλο 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.

Η ροή της ενέργειας

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

$$N = M \cdot \omega < N_i$$

- 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: $\eta = N/N_i$

Η ροή της ενέργειας

- 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 N/m^3 (για το νερό στις συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας είναι $\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$)
- η παροχή Q σε m^3/sec
- η διαθέσιμη υδραυλική πτώση H σε m
- ο βαθμός απόδοσης η του υδροστροβίλου είναι αδιάστατος αριθμός,

Η ροή της ενέργειας

- Η καθαρή ηλεκτρική ενέργεια N_e :

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

- η_G :ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας
- η_{Tr} :ο βαθμός απόδοσης του μετασχηματιστή
- Η καθαρή ηλεκτρική ενέργεια που διατίθεται στο ηλεκτρικό δίκτυο θα είναι μικρότερη της N_e κατά την ιδιοκατανάλωση του ΥΗΣ

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%
- Αιολικά : 25-30%

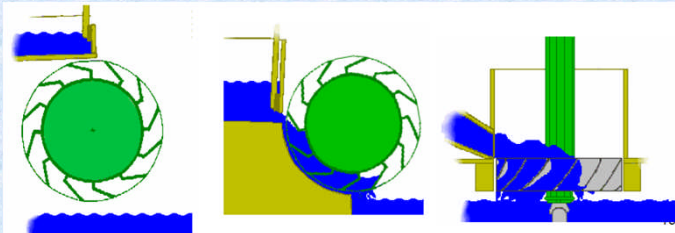
Παράδειγμα

- Υπολογίστε την παροχή ενός μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού ισχύος 100kW και συνολικής απόδοσης 80% αν γνωρίζετε ότι η πτώση του νερού γίνεται από ύψος 40m. (Δίνεται ότι το ειδικό βάρος του νερού στις συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας είναι $\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$).

$$N_i = \gamma \cdot Q \cdot h \cdot \eta \Rightarrow Q = \frac{N_i}{\gamma \cdot h \cdot \eta} = \frac{100k \left(\frac{N \cdot m}{s} \right)}{9810 \cdot 40 \cdot 0.8 \frac{N \cdot m}{m^3}} = 0.3186 \frac{m^3}{s} = 1146.96 \frac{m^3}{hour}$$

ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΙ

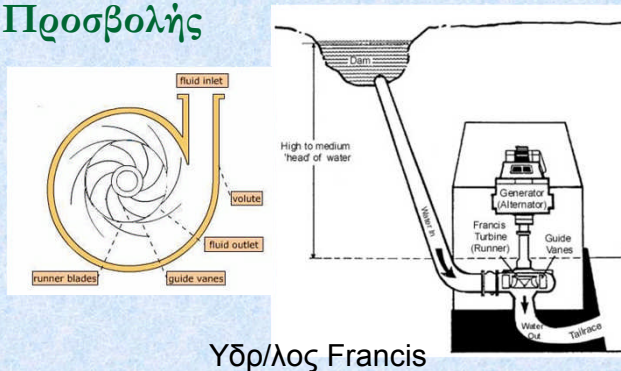
- **Υδροστρόβιλος:** η μηχανή που μετατρέπει την ενέργεια του υγρού (νερού) σε μηχανική ενέργεια μέσω συνεχούς ροής του υγρού και σταθερής περιστροφικής κίνησης
 - Η μετατροπή (μέρους) της ενέργειας του διερχόμενου υγρού υπό σταθερή παροχή σε μηχανική ενέργεια λαμβάνει χώρα στο στρεφόμενο μέρος της μηχανής,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



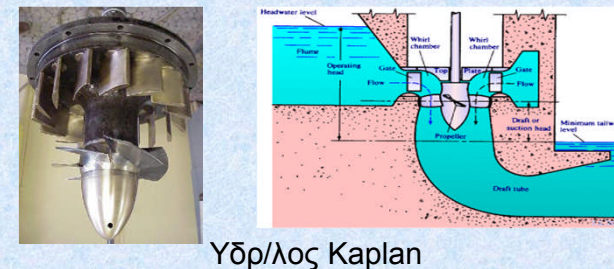
Υδροστρόβιλοι Ολικής Προσβολής (αντιδράσεως)

- 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 διὰ μέσου του δρομέα γίνεται με παράλληλη μεταβολή της στατικής πίεσης του υγρού
 - Υδροστρόβιλοι ακτινικής και μικτής ροής τύπου **Francis**
 - υδροστρόβιλοι αξονικής ροής όπως ο υδροστρόβιλος τύπου **Kaplan**
 - Παραλλαγές των υδροστρόβιλων αξονικής ροής (σωληνωτός, βολβοειδής κλπ)

Υδροστρόβιλοι Ολικής Προσβολής

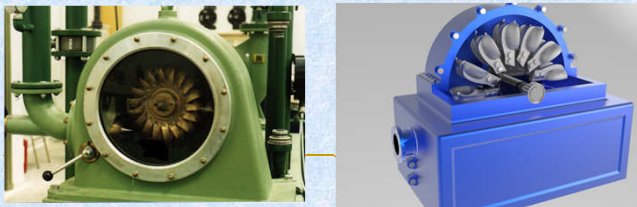


Υδροστρόβιλοι Ολικής Προσβολής



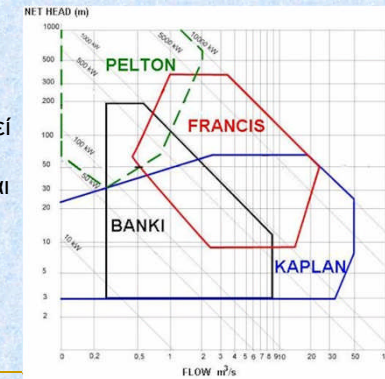
Υδροστρόβιλοι Μερικής Προσβολής (δράσεως)

- Σε κάθε χρονική στιγμή, μόνο ένα τμήμα του δρομέα τροφοδοτείται και συμβάλλει στην μετατροπή της ενέργειας
- Χαρακτηρίζονται και ως υδροστρόβιλοι δράσεως δεδομένου ότι ολόκληρος ο δρομέας λειτουργεί σε χώρο ομοιόμορφης στατικής πίεσης οπότε ο βαθμός αντιδράσεως είναι μηδενικός
 - Ο υδροστρόβιλος τύπου **Pelton**



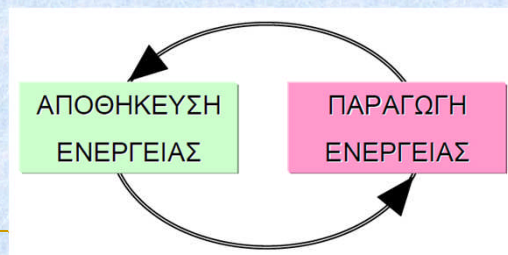
Επιλογή τουρμπίνας υδροστρόβιλου

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

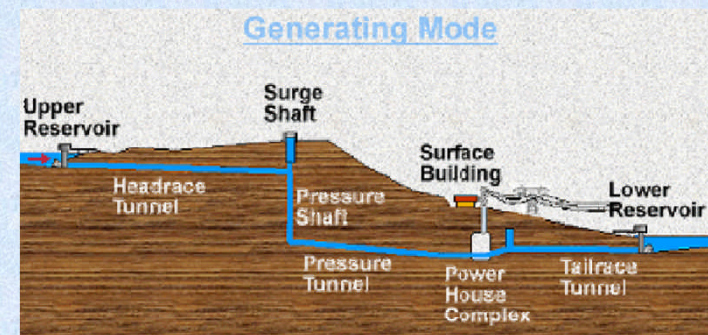


Αναστρέψιμα ΥΗΕ (Pumped Storage Systems)

- ΥΗΕ με δυνατότητα:
- Παραγωγής ενέργειας (λειτουργία υδροστρόβιλου)
- Αποθήκευσης ενέργειας (λειτουργία αντλίας)

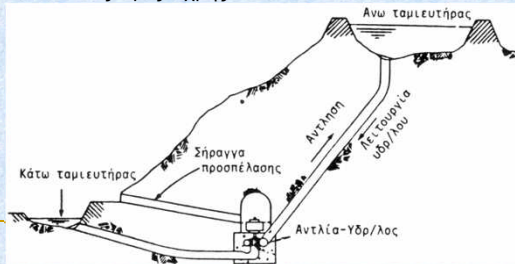


Αναστρέψιμα ΥΗΕ (Pumped Storage Systems)



Αναστρέψιμα ΥΗΕ (Pumped Storage Systems)

- Το σύστημα αντλησιοταμίευσης αποτελείται από δύο ταμιευτήρες (αντλησιοταμιευτήρες) με υψομετρική διαφορά, που συνδέονται με ένα ή περισσότερους αγωγούς, από αντλίες και στροβίλους
- Τα αναστρέψιμα ΥΗΕ απορροφούν την περίσσεια ενέργεια κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης μετατρέποντάς την σε υδραυλική ενέργεια, η οποία αποθηκεύεται στον άνω ταμιευτήρα, για να την αποδώσουν στο δίκτυο κατά τις ώρες αιχμής



Ενεργειακές Απώλειες

- Οι συνολικές απώλειες ενέργειας σε ένα κύκλο άντλησης – λειτουργίας υδροστροβίλων φθάνει το 23% περίπου. Οι συνολικές απώλειες είναι μεγαλύτερες όσο το μέγεθος των μηχανών γίνεται μικρότερο



Αναστρέψιμα ΥΗΕ

- Kazunogawa



Ολοκληρώθηκε το 2001 στην περιοχή Yamnashi-Ken της Ιαπωνίας, ισχύος 1600 MW. Αποτελείται από 2 ταμιευτήρες χωρητικότητας 19.2 και 18.4 hm³ που έχουν υψομετρική διαφορά 685 m. Ο σταθμός παραγωγής ενέργειας βρίσκεται 500 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και συνδέεται με τον άνω και κάτω ταμιευτήρα με σήραγγες μήκους 5 και 3 km.

Αναστρέψιμα ΥΗΕ

- Okinawa



Λειτουργήσε το 1999 στο νησί Okinawa της Ιαπωνίας. Το πρώτο έργο άντλησης- ταμίευσης στον κόσμο που χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό. Έχει ισχύ 30 MW μέγιστο ύψος πτώσης 140 m και μέγιστη παροχή 26 m³/s

Υβριδικά Συστήματα

