

Υδροσύστημα Νέστου

Επίσκεψη φοιτητών της Πολυτεχνικής Σχολής
του Δημοκρίτειου Πανεπιστήμιου Θράκης



Βασίλης Μπέλλος, Επίκουρος Καθηγητής ΔΠΘ
Ιωάννης Τσουκαλάς, Επίκουρος Καθηγητής ΔΠΘ
Νίκος Μαμάσης, Καθηγητής ΕΜΠ

Απρίλιος 2024

Ποταμός Νέστος

Γενικά

- Σύμφωνα με τη Θεογονία του Ησιόδου ο Νέστος ή Νέσσος ήταν γιός του **Ωκεανού και της νύμφης Τηθύος** (όπως ακόμη 3000 ποτάμια)
- Ο ποταμός αναφέρεται από τον **Ηρόδοτο**: «Σύνορο της περιοχής που ζουν τα λιοντάρια είναι από τη μια μεριά ο ποταμός Νέστος που διασχίζει με τα νερά του τα Άβδηρα, κι από την άλλη ο Αχελώος που διασχίζει με τα νερά του την Ακαρνανία» (Ιστορία 7.126.1).
- Οι Ρωμαίοι ονόμαζαν το ποταμό **Mestus** και οι Βυζαντινοί **Μέστο**. Απο εκεί προέρχεται και η βουλγαρική ονομασία **Μέστα**.
- Το συνολικό μήκος του ποταμού είναι **234 km** από τα οποία **130 km** είναι σε ελληνικό έδαφος
- Το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης απορροής καλύπτεται από δάση, ενώ στην περιοχή του ποταμού υπάρχουν σημαντικοί βιότοποι. Ιδιαίτερα το δέλτα του ποταμού **προστατεύεται από τη συνθήκη RAMSAR**
- Το 1995 υπογράφηκε συμφωνία μεταξύ Ελλάδας και Βουλγαρίας για την **κατανομή των υδάτων του ποταμού** (κυρώθηκε με το νόμο 2402/96). Στο άρθρο 1 αναφέρεται ότι: «*Το ύψος των δικαιωμάτων χρήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας καθορίζεται σε ποσοστιαία βάση επί των υδάτων του ποταμού Νέστου που σχηματίζονται στο βουλγαρικό έδαφος, με βάση το σύνολο της Μέσης Φυσικής Απορροής πολλών ετών. Το ποσοστό αυτό καθορίζεται στο 29%. Η Μέση Απορροή πολλών ετών έχει καθορισθεί, βάσει στοιχείων των ετών 1935-1970 σε 1.500.000.000 m³*» Στο άρθρο 6 αναφέρεται ότι η συμφωνία παραμένει σε ισχύ για 35 έτη.

Ποταμός Νέστος

Υδρογραφικό δίκτυο και λεκάνες απορροής

Έκταση λεκάνης: 6276 km²
Βουλγαρικό τμήμα: 3412 km²
Ελληνικό τμήμα: 2864 km²

Υδρολογικά δεδομένα στη θέση Τέμενος (Zarris et al, 2011)

Έκταση λεκάνης: 4954 km²
Μέση ετήσια βροχόπτωση: 680 mm
Μέση ετήσια απορροή: 39.6 m³/s
Μέσο ετήσιο υψος απορροής: 252 mm
Μέση ετήσια στερεοπαροχή: 31.9 kg/s
Μέση ετήσια μάζα φερτών: 203.4 t/km²

Η ετήσια στερεοαπορροή στο φράγμα του Θησαυρού εκτιμήθηκε από τη ΔΕΗ το 1979 σε 0.4 hm³

Πηγή εικόνας: Zarris, Demetris & Vlastara, Marianna & Panagoulia, Dionysia. (2011). Sediment Delivery Assessment for a Transboundary Mediterranean Catchment: The Example of Nestos River Catchment. Water Resources Management



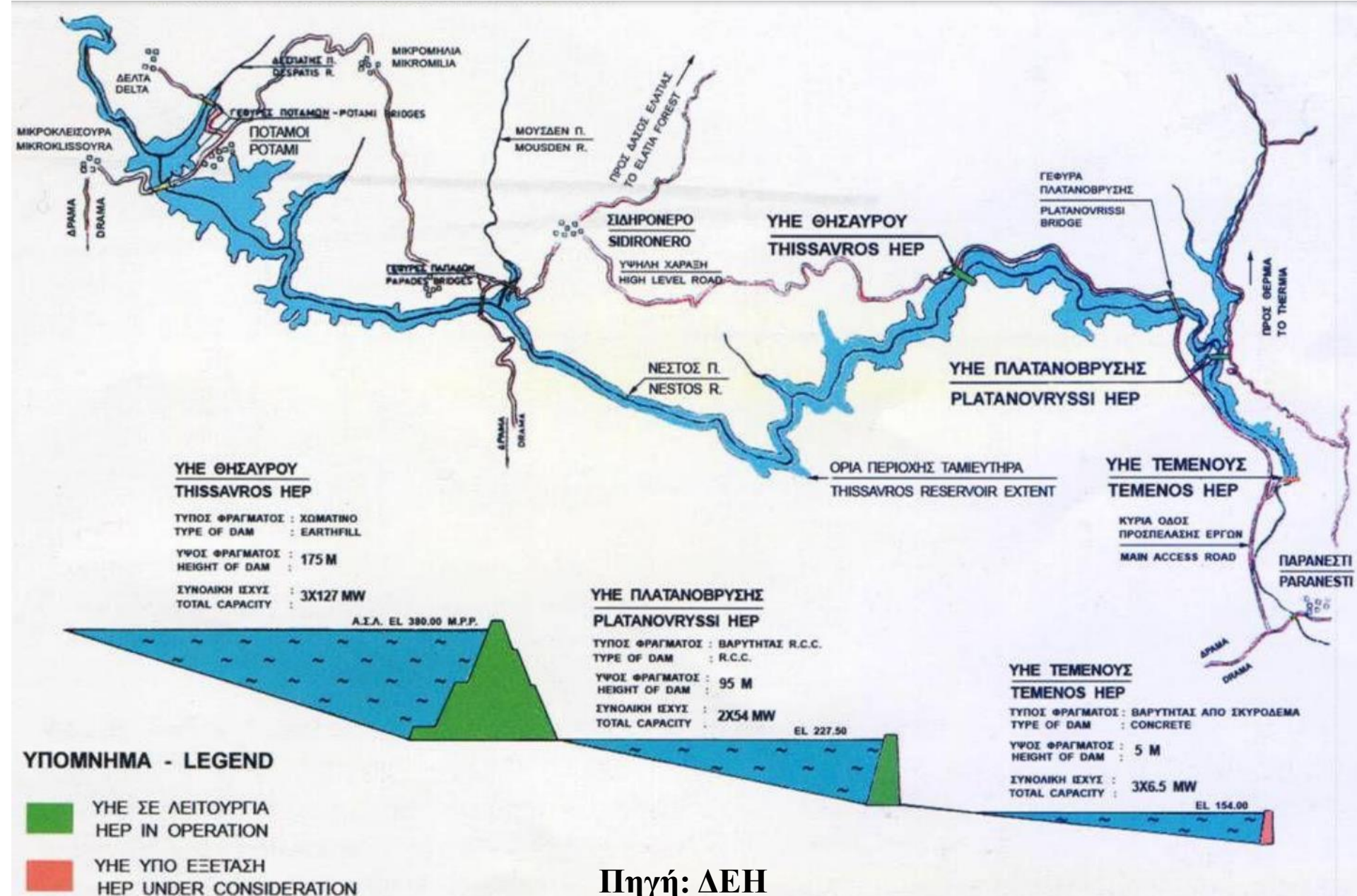
Υδροσύστημα Νέστου

Γενικά

- Στη Βουλγαρία έχει κατασκευαστεί σε παραπόταμο του Νέστου, το φράγμα Dospat με λεκάνη απορροής 565 km². Τα νερά της λεκάνης εκτρέπονται σχεδόν στο σύνολό τους και δεν φθάνουν στην Ελλάδα.
- Η ΔΕΗ κατασκεύασε το φράγμα του Θησαυρού την περίοδο 1986-1996 και το φράγμα Πλατανόβρυσης την περίοδο 1995-1997. Ακόμη έχει σχεδιαστεί και η κατασκευή ενός **τρίτου εν σειρά φράγματος (Τέμενος)**, το οποίο θα συμβάλλει στην καλύτερη διαχείριση των αρδευτικών και περιβαλλοντικών αναγκών.
- Το υδροσύστημα εκτός από την παραγωγή περίπου **900 GWh** ετησίως, αρδεύει και περίπου **1.300.000 στρέμματα**. Ακόμη προσφέρει **αντιπλημμυρική προστασία**.
- Το υδροσύστημα έχει τα παρακάτω **ιδιαίτερα** χαρακτηριστικά:
 1. Ο Θησαυρός είναι το **ψηλότερο** (172 m) και **μεγαλύτερο σε όγκο** (12 hm³) φράγμα της Ελλάδας
 2. Το σύστημα Θησαυρός-Πλατανόβρυση είναι ένα από τα δύο μεγάλα **αντλιοσταμειυτικά** της Ελλάδας. Το άλλο είναι το σύστημα Σφηκιά Ασώματα στον ποταμό Αλιάκμονα
 3. Το φράγμα της Πλατανόβρυσης, είναι το **πρώτο φράγμα από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (RCC)** για την παρασκευή του οποίου χρησιμοποιήθηκε ως βασικό υλικό η **ιπτάμενη τέφρα των θερμοηλεκτρικών σταθμών της Πτολεμαΐδας**, με μεγάλα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη για τη ΔΕΗ

Υδροσύστημα Νέστου

Διάταξη φραγμάτων



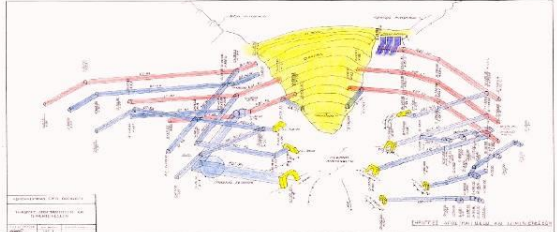
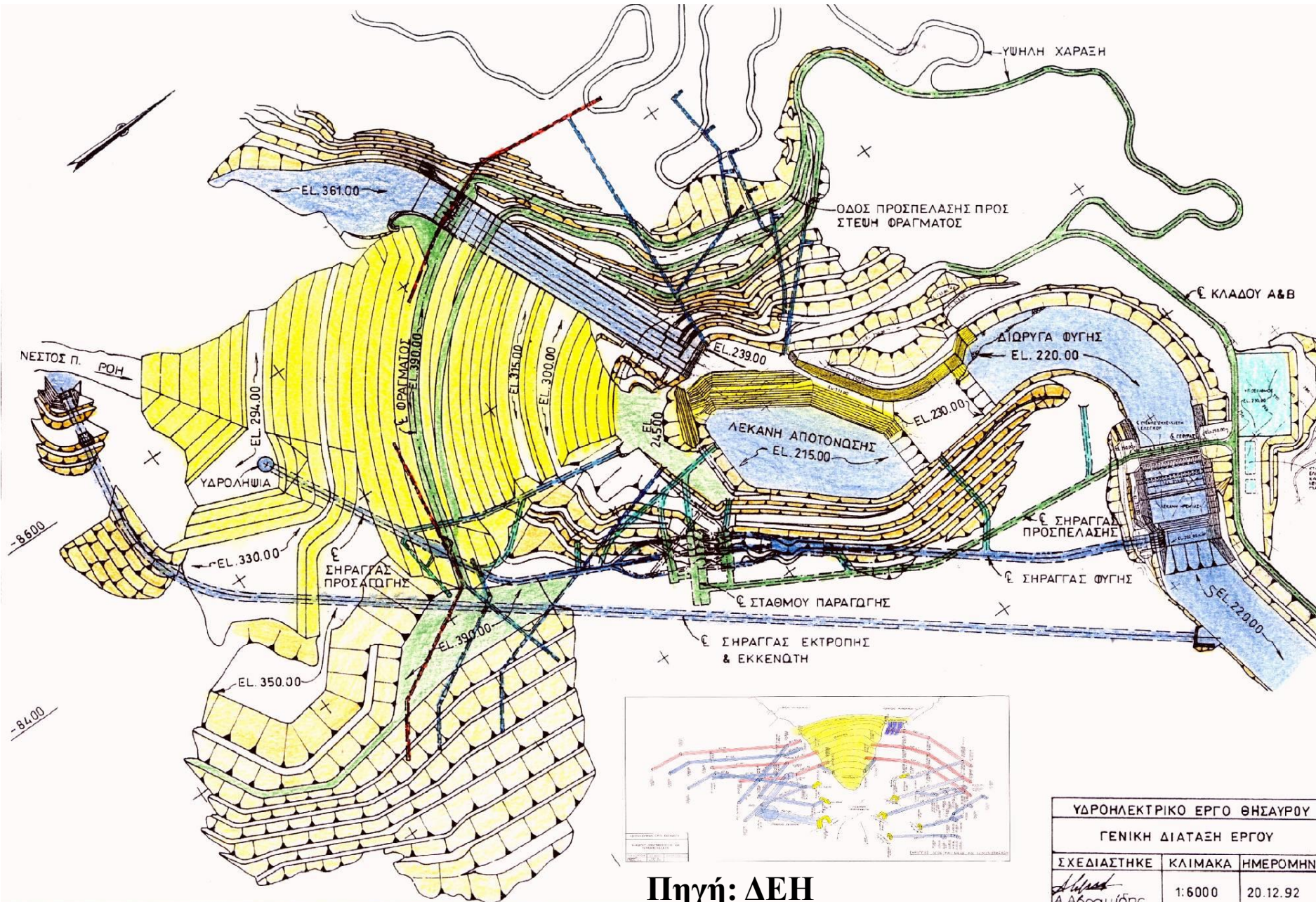
Πηγή: ΔΕΗ

Φράγμα Θησαυρού



Πηγή: ΔΕΗ

Φράγμα Θησαυρού Οριζοντιογραφία



| | | |
|-----------------------------|---------|-----------|
| ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΕΡΓΟ ΘΗΣΑΥΡΟΥ | | |
| ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΡΓΟΥ | | |
| ΣΧΕΔΙΑΣΤΗΚΕ | ΚΛΙΜΑΚΑ | ΗΜΕΡΟΜΗΝΗ |
| <i>A. Αβραμίδης</i> | 1:6000 | 20.12.92 |
| A. Αβραμίδης | | |

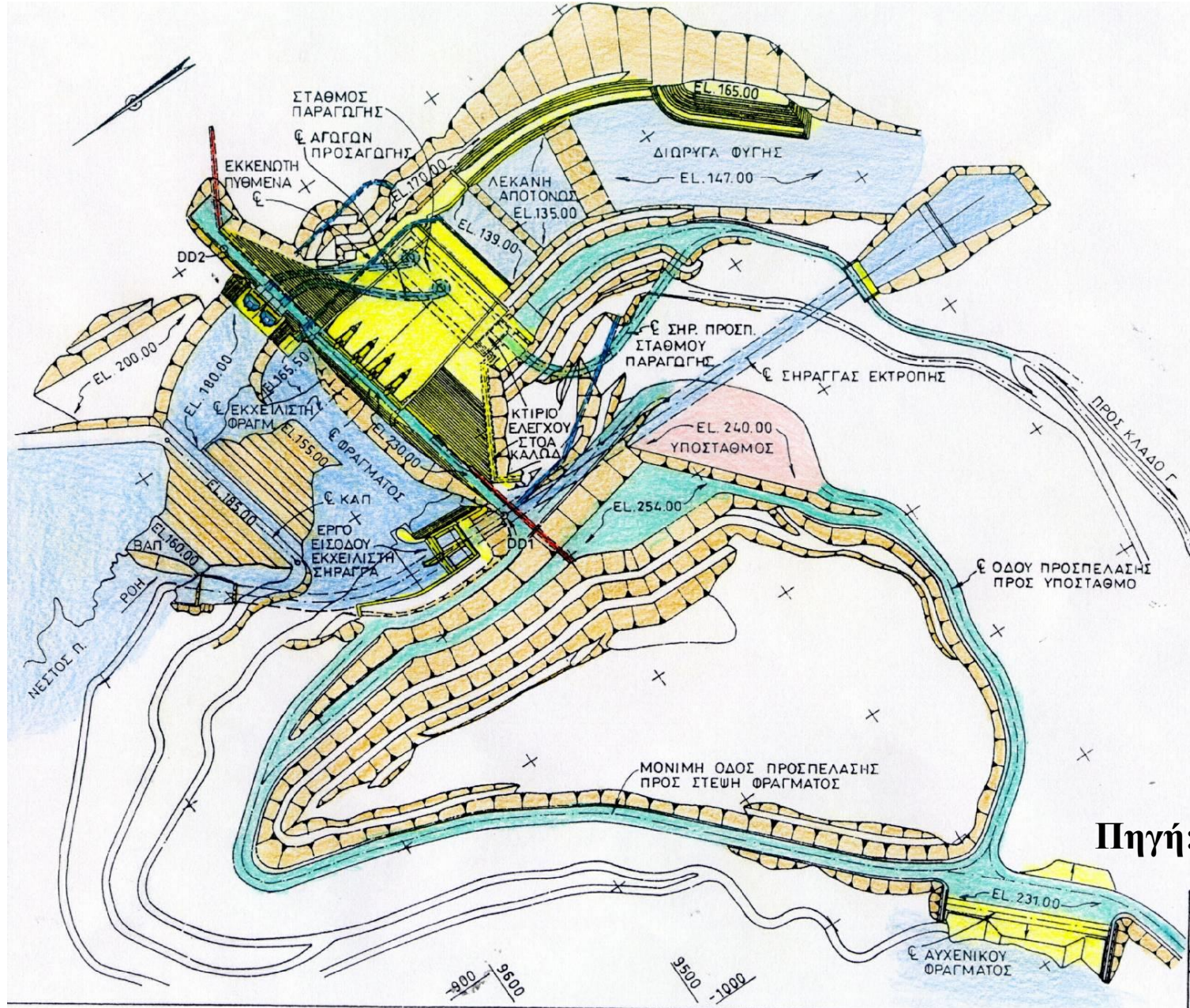
Πηγή: ΔΕΗ

Φράγμα Πλατανόβρυσης



Πηγή: ΔΕΗ

Φράγμα Πλατανόβρυσης Οριζοντιογραφία

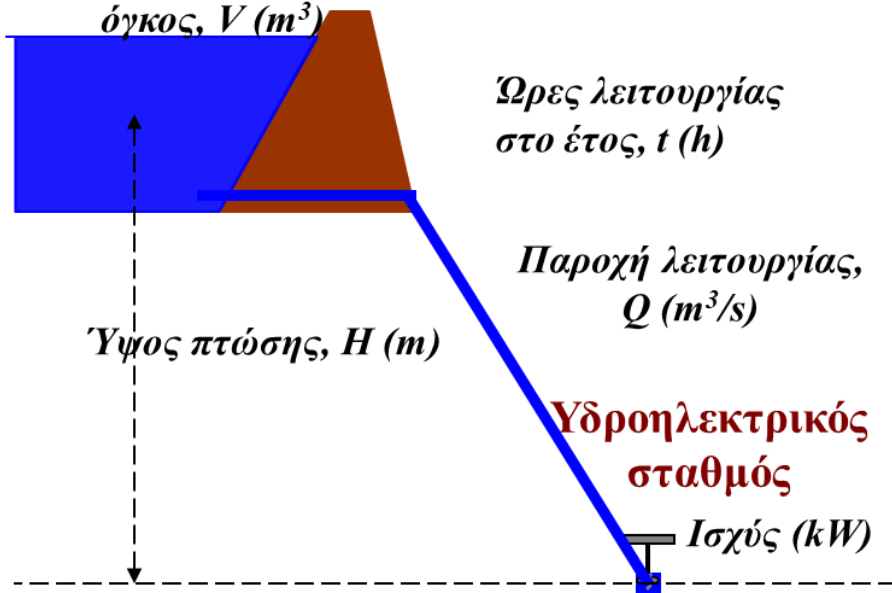


Βασικοί υπολογισμοί ισχύος και ενέργειας

Ταμιευτήρας

Ετήσιος εκμεταλλεύσιμος

όγκος, $V (m^3)$



Ώρες λειτουργίας
στο έτος, $t (h)$

Παροχή λειτουργίας,
 $Q (m^3/s)$

Υδροηλεκτρικός
σταθμός

Ισχύς (kW)

Μέση ετήσια παροχή λειτουργίας

$$Q (m^3/h) = V(m^3)/t(h)$$

$$Q (m^3/h) = Q(m^3/s) * 3600$$

$$Q (m^3/s) * t(h) = V(m^3)/3600$$

Υπολογισμός ετήσιας ενέργειας

$$E (kWh) = g * n * H (m) * Q (m^3/s) * t(h)$$

$$E (kWh) = \frac{g * n * H (m) * V(m^3)}{3600}$$

$$E (kWh) \approx \frac{n * H (m) * V(m^3)}{367}$$

Ισχύς (I) και Ενέργεια (E)

$$I = \rho * g * n * H * Q$$

I: ισχύς (W)

ρ : πυκνότητα νερού 1000 kg/m^3

g: επιτάχυνση βαρύτητας 9.81 m/s^2

n: συνολικός βαθμός απόδοσης %

$$I (kW) = g * n * H (m) * Q (m^3/s)$$

$$E (kWh) = I (kW) * t (hr)$$

Παράδειγμα (με βάση τα δεδομένα ΥΗΣ Πλαστήρα)

Ετήσιος διατιθέμενος όγκος : 150 hm^3

Υψος πτώσης: 580 m

Συνολικός βαθμός απόδοσης: 0.85

Δυνητική ετήσια ενέργεια: 201.5 GWh

| Ώρες λειτουργίας | Ποσοστό χρόνου λειτουργίας | Παροχή λειτουργίας (m^3/s) | Απαιτούμενη εγκατεστημένη Ισχύς (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 |

Τεχνικά χαρακτηριστικά έργων

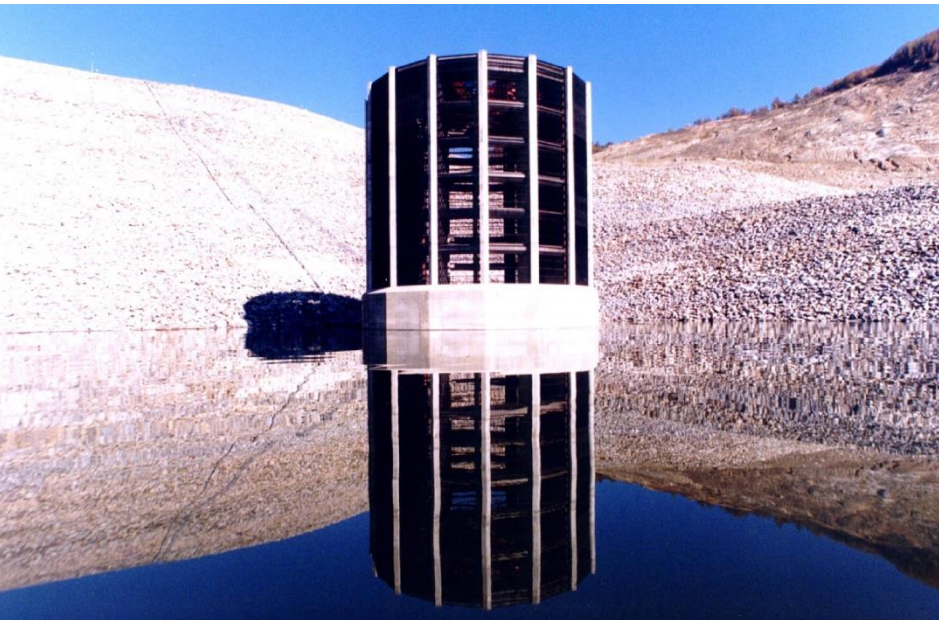
| | Θησαυρός | Πλατανόβρυση | Τέμενος |
|--|-----------------------|--------------|------------|
| Ταμιευτήρας | | | |
| Λεκάνη απορροής (km ²) | 4263 | 4655 | 4666 |
| Μέση ετήσια εισροή (m ³ /s) | 38.8 | 43.1 | 43.3 |
| Στάθμες λειτουργίας (m) | 320-380 | 223.5-227.5 | 147-154 |
| Όγκος στην Α.Σ.Λ- Ωφέλιμος (hm ³) | 705-565 | 83.5-63 | 11.4-6 |
| Φράγμα | | | |
| Τύπος | Λιθόρριπτο | RCC | Σκυρόδεμα |
| Μέγιστο ύψος από θεμελίωση (m) | 172 | 95 | 45 |
| Παροχευτικότητα εκχειλιστή (m ³ /s) | 6000 | 7330 | |
| Μήκος στέψης (m) | 480 | 270 | 100 |
| Όγκος (hm ³) | 12 | 0.46 | |
| Μήκος σήραγγας εκτροπής (m) | 650 | 469 | |
| Υδροηλεκτρικός σταθμός | | | |
| Ισχύς (MW) | 3*128=384 | 2*58=116 | 3*6.5=19.5 |
| Τύπος στροβίλων | Francis, αναστρέψιμες | Francis | |
| Ωφέλιμο ύψος πτώσης (m) | 154 | 73.5 | |
| Μέση ετήσια παραγωγή (GWh) | 440+220 | 240 | |

Λειτουργία εκχειλιστών και υδροληψιών

Θησαυρός



Πλατανόβρυση



Άντληση-ταμίευση

Παράδειγμα

Περίπτωση 1. Έλλειψη ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Ανάγκη ηλεκτροπαραγωγής.

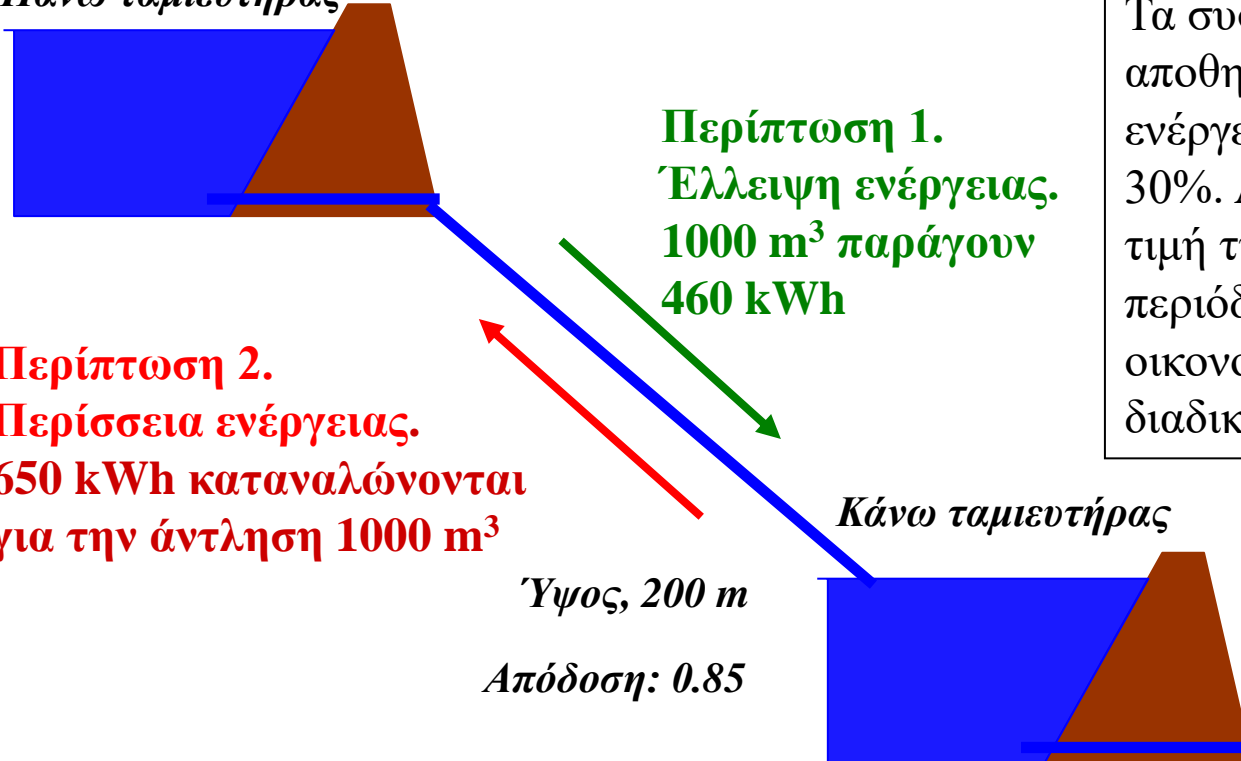
1000 m³ μεταφέρονται από τον πάνω ταμιευτήρα στον κάτω και παράγουν περίπου **460 kWh**

Περίπτωση 2. Περίσσεια ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας.

1000 m³ αντλούνται από τον κάτω ταμιευτήρα στον πάνω και καταναλώνονται περίπου **650 kWh**

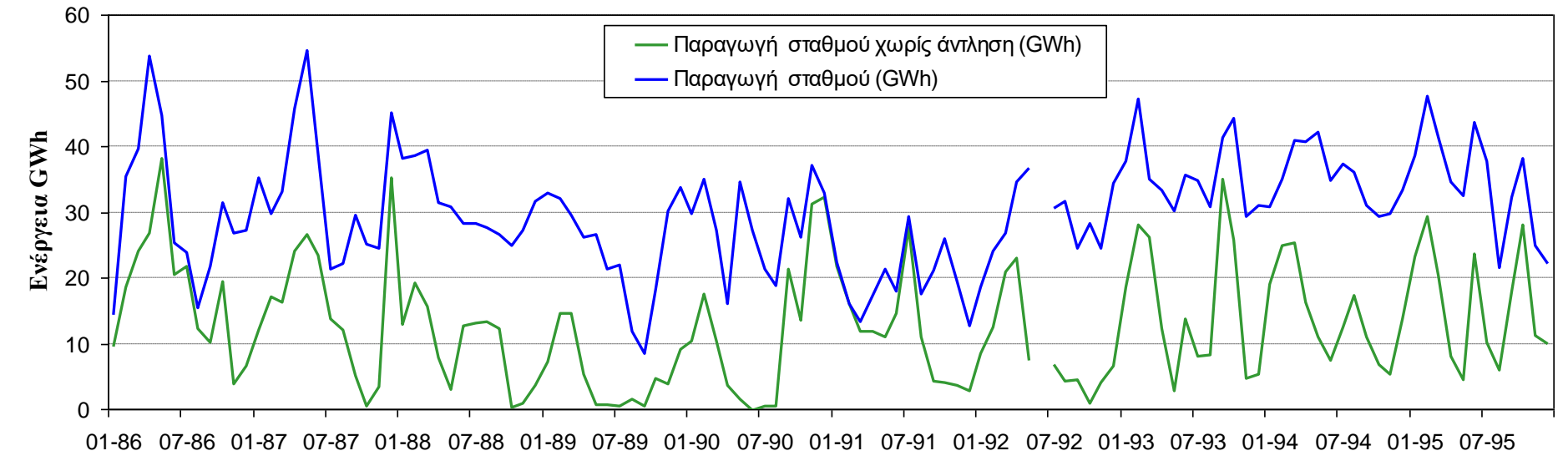
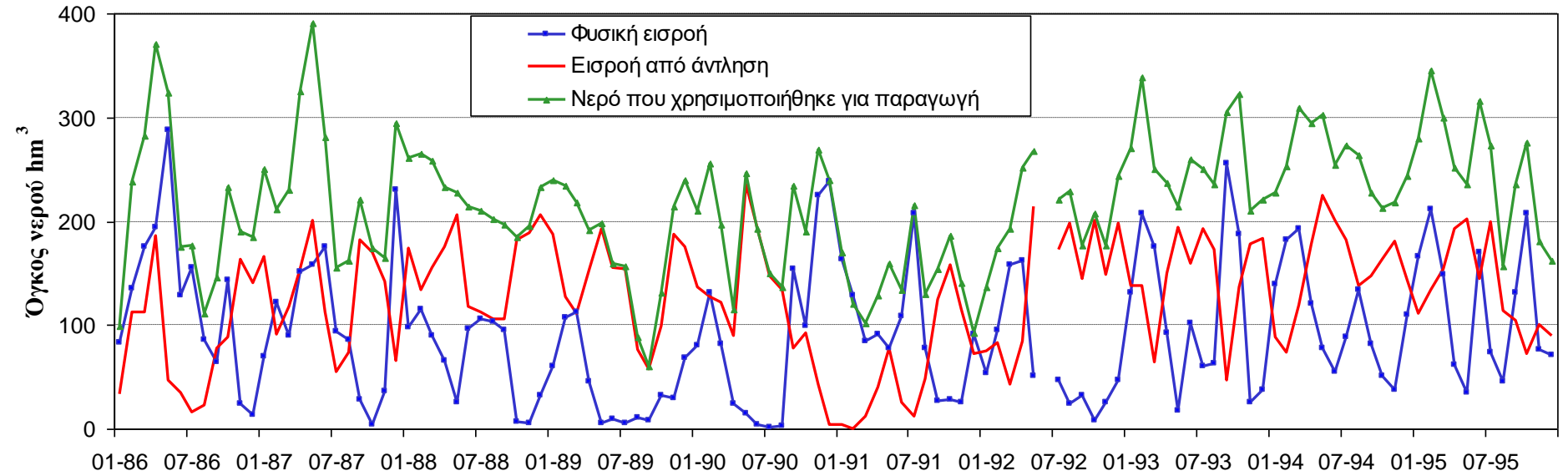
Πάνω ταμιευτήρας



Τα συστήματα αντλησοταμίευσης αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργειας χάνοντας περίπου το 25-30%. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η τιμή της ενέργειας είναι μισή στις περιόδους περίσσεια, υπάρχει οικονομικό όφελος από την όλη διαδικασία

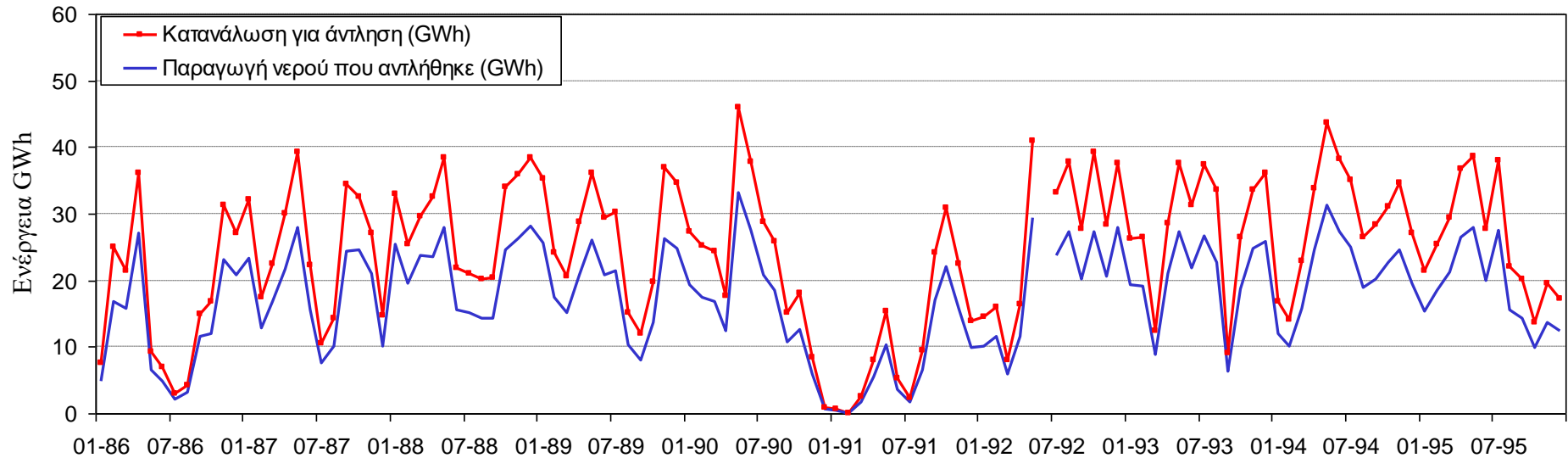
Άντληση-ταμίευση

Παράδειγμα από τη λειτουργία του φράγματος Σφηκιάς (1986-1995)



Άντληση-ταμίευση

Παράδειγμα από τη λειτουργία του φράγματος Σφηκιάς (1986-1995)



Μέση κατανάλωση άντλησης: 0.193 kW/m^3

Μέση παραγωγή αντλούμενου νερού: 0.138 kW/m^3

Επανάκτηση του 71.5% της ενέργειας άντλησης

Μέση ετήσια παραγωγή: 358 GWh

Μέση ετήσια παραγωγή χωρίς άντληση: 151 GWh

Μέση ετήσια κατανάλωση για άντληση: 288 GWh

Φράγματα από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (Roller Compacted Concrete, RCC)

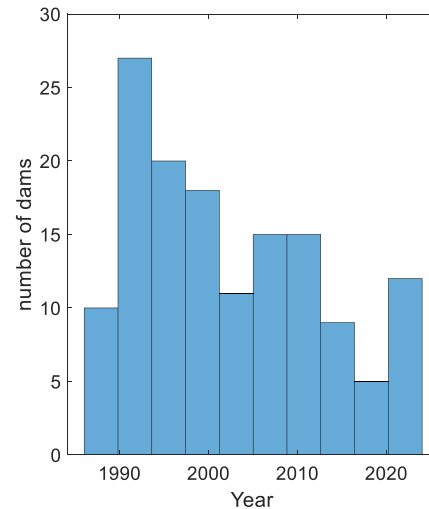
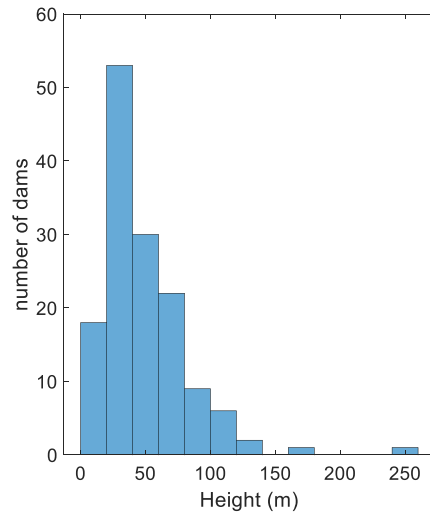
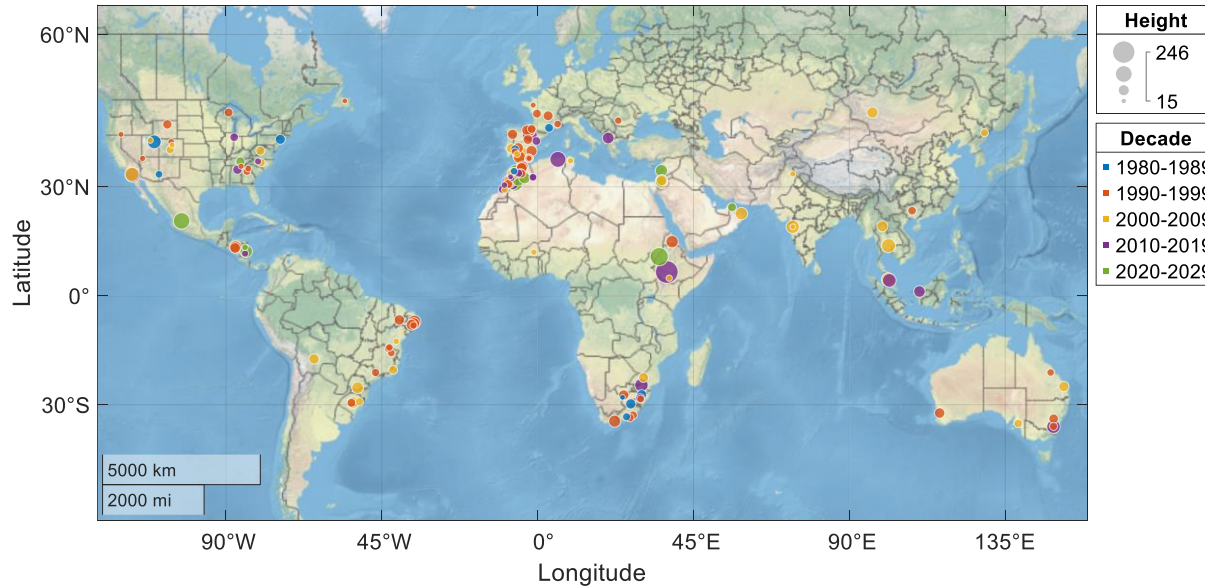
- ❑ Υλικά: αδρανή, νερό και υδραυλικές κονίες (τσιμέντο, ιπτάμενη τέφρα, ποζολάνη, σκωρίες)
- ❑ Βασική κατασκευαστική λογική:
 - Χρήση εξοπλισμού και μεθόδων που εφαρμόζονται σε χωματουργικές εργασίες
 - Συνεχής μεταφορά υλικών (π.χ. μεταφορικές ταινίες)
 - Διάστρωση σε παρα-οριζόντιες στρώσεις, πάχους 30 cm
 - Συμπύκνωση με διελεύσεις δονητικού κυλινδρο-συμπυκνωτή
 - Έλεγχος συμπύκνωσης
- ❑ Τύποι ποζολάνης:
 - Ιπτάμενη τέφρα υψηλής περιεκτικότητας σε ασβέστιο (Class C)
 - Ιπτάμενη τέφρα χαμηλής περιεκτικότητας σε ασβέστιο (Class F)
 - Φυσικές ποζολάνες (Class N)
- ❑ Πλεονεκτήματα:
 - Πολύ υψηλή ταχύτητα κατασκευής
 - Αποφυγή χρήσης ξυλοτύπων και οπλισμού
 - Ελαχιστοποίηση απαιτήσεων ψύξης και δόνησης συμβατικού σκυροδέματος
 - Δυνατότητες χρήσης παραπροϊόντων της βιομηχανίας, όπως ιπτάμενες τέφρες, σκωρίες ή φυσικές ποζολάνες, με παράλληλη μείωση της χρήσης τσιμέντου

Φράγματα από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (Roller Compacted Concrete, RCC)

- ❑ Μεγάλη αύξηση από τη δεκαετία του '70 και μετά: είτε καινούρια είτε αποκατάσταση παλιών γεωφραγμάτων
 - Αναπτυσσόμενες χώρες και όχι μόνο
- ❑ Πλεονέκτημα για την κατασκευή του υπερχειλιστή: βαθμιδωτός πάνω στο σώμα του φράγματος
 - Υπερχειλιστής: ίσως το πιο ακριβό τμήμα ενός φράγματος
 - Φράγματα βαρύτητας: μεγάλες κλίσεις πρανών που δεν ενδείκνυνται για βαθμιδωτό υπερχειλιστή
 - Γεωφράγματα: δεν μπορεί να φτιαχτεί πάνω στο σώμα του φράγματος και απαιτεί ξεχωριστή κατασκευή
- ❑ Βάση δεδομένων φραγμάτων RCC: <https://rccdams.co.uk/>

Φράγματα από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (Roller Compacted Concrete, RCC)

Φράγματα RCC με βαθμιδωτό υπερχειλιστή (<https://rccdams.co.uk/>)



Στοιχεία σχεδιασμού φραγμάτων RCC υψηλής περιεκτικότητας σε κονίες (High-paste)

- ❑ Διαμόρφωση κατακόρυφης ή τεθλασμένης ανάντη παρειάς.
- ❑ Δεν απαιτείται στεγάνωση, καθώς το σώμα του φράγματος είναι αδιαπέρατο.
- ❑ Η διάστρωση και συμπύκνωση γίνεται χωρίς διακοπή, σε στρώσεις των 30 cm.
- ❑ Αντέχουν ισχυρές σεισμικές καταπονήσεις, γιατί έχουν τη δυνατότητα ανάληψης και εφελκυστικών τάσεων.
- ❑ Απαιτείται αυστηρός ποιοτικός έλεγχος των υλικών και των μεθόδων κατασκευής.
- ❑ Απαιτείται λεπτομερής θερμική μελέτη για τον καθορισμό του αριθμού των αρμών συστολής-διαστολής (π.χ., με τοποθέτηση μεταλλικών πλακών, βλ. φωτογραφία)
- ❑ Επιβάλλονται περιορισμοί στη θερμοκρασία του μίγματος (π.χ., Πλατανόβρυση: $T_{max} = 13^{\circ}C$, $T_{min} = 5^{\circ}C$, με χρήση πάγου).

Είδη και συνθέσεις σκυροδεμάτων φραγμάτων High-paste RCC

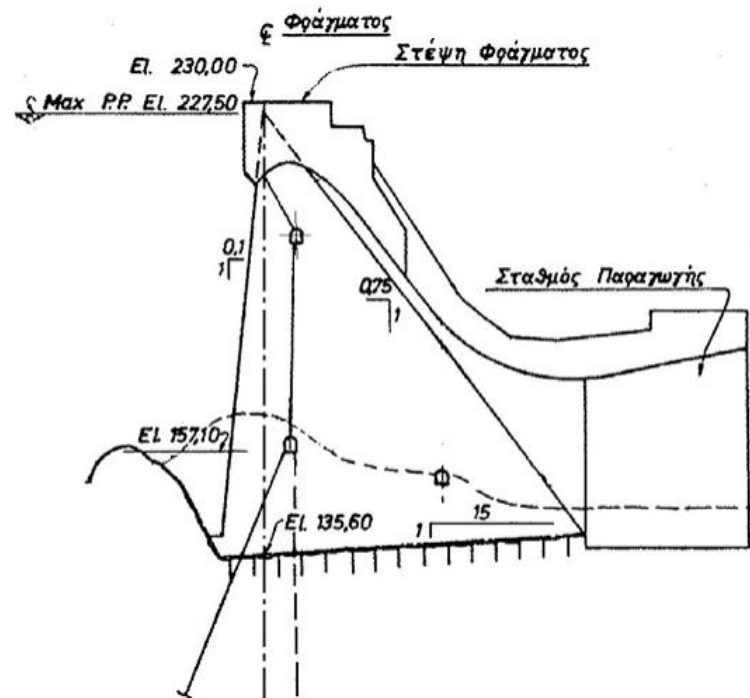
| Τύπος | Νερό kg/m ³ | Τσιμέντο Portland I-45 kg/m ³ | Ποζολάνη ή τέφρα kg/m ³ | Λεπτόκοκκα αδρανή kg/m ³ | Χονδρόκοκκα αδρανή kg/m ³ |
|----------|---------------------------|--|--|---|--|
| RCC | 128 | 50 | 225 | 607 | 1350 |
| Leveling | 187 | 100 | 225 | 676 | 1057 |
| Facing | 173 | 140 | 175 | 753 | 957 |

Πηγή: Α. Ευστρατιάδης, Σημειώσεις μαθήματος Υδραυλικές Κατασκευές – Φράγματα, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ



Φράγμα Πλατανόβρυσης

- Ύψος 95 m, μήκος στέψης 270 m, από τα υψηλότερα έργα RCC της Ευρώπης, που είναι κατασκευασμένα με **κυλινδρούμενο τεφροσκυρόδεμα** και με τόσο υψηλό ποσοστό ιπτάμενης τέφρας στο μίγμα (50 kg τσιμέντο και 225 kg ιπτάμενη τέφρα ανά m^3 , class C)
- Περίοδος κατασκευής: Οκτώβριος 1995 – Μάρτιος 1997 (**18 μήνες**, με διακοπές 4 μηνών)
- Συνολικός κύριος όγκος RCC, μαζί με τον τοίχο αντιστήριξης: $450\,000\ m^3$
- Όγκος RCC στοιχείων όψεως: $11\,330\ m^3$ (με χρήση $175\ kg/m^3$ ιπτάμενης τέφρας)
- Χρησιμοποιήθηκαν $\sim 110\,000\ t$ **κατεργασμένης ιπτάμενης τέφρας**, που μεταφέρθηκε από τη μονάδα επεξεργασίας τέφρας στην Πτολεμαΐδα, με ειδικά σιλοφόρα αυτοκίνητα, σε απόσταση 400 km (μέση ημερήσια παραγωγή $\sim 260\ t$).



Φράγμα Πλατανόβρυσης: Κατασκευαστικές εργασίες



Καθαρισμός θεμελίωσης με νερό και πεπιεσμένο αέρα



Κατασκευή στρώσης RCC



Σκυροδέτηση στρώσης θεμελίωσης



Διάστρωση RCC

Πηγή: Α. Ευστρατιάδης, Σημειώσεις μαθήματος Υδραυλικές Κατασκευές – Φράγματα, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ

Φράγμα Πλατανόβρυσης: Παραγωγή υλικών



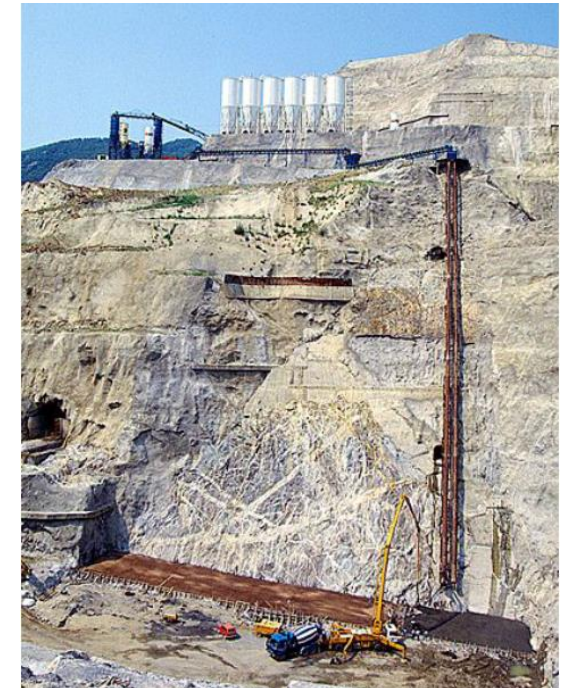
*Παραγωγή τέφρας
(ΑΗΣ Πτολεμαΐδας)*



*Επεξεργασία-
μεταφορά τέφρας*



Παραγωγή RCC



Σημεία ενδιαφέροντος

