



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Το ζήτημα της κλίμακας στην υδροηλεκτρική ενέργεια: πολλά μικρά έργα ή ένα μεγάλο;

Ιωάννης-Μιχαήλ
Μπαϊρακτάρης

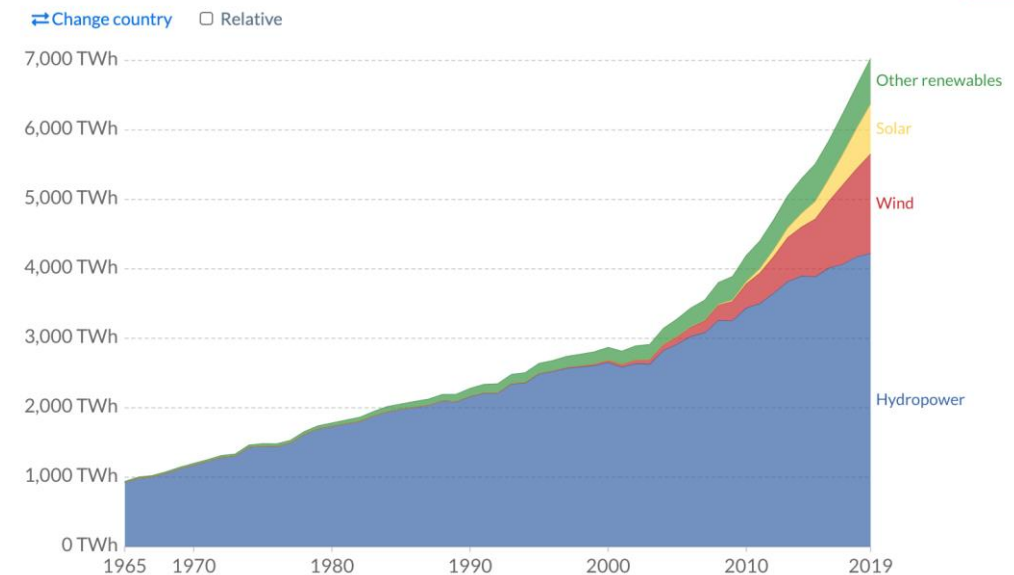
Επιβλέπων: Ανδρέας Ευστρατιάδης,
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2020

Κίνητρα

- Ολοκληρωμένη ευρωπαϊκή πολιτική για την κλιματική αλλαγή και την ενέργεια ή, όπως είναι γνωστός, «στόχος 20-20-20».
- Η Ελληνική κυβέρνηση το 2010 προχώρησε στην αύξηση του εθνικού στόχου συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική παραγωγή ενέργειας στο 20 %.
- Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί τον ισχυρότερο σύμμαχο για την επίτευξη μελλοντικών στόχων λόγω:
 - Της παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας
 - Των υψηλότατων βαθμών απόδοσης
 - Της φιλικής προς το περιβάλλον λειτουργίας
- Η διεθνής πρακτική έχει στραφεί προς την κατασκευή μικρών υδροηλεκτρικών έργων (ΜΥΗΕ) → περιβαλλοντικές επιπτώσεις σαφώς περιορισμένες σε σχέση με τα μεγάλα έργα.
- Η πλειονότητα των κρατών δεν κατατάσσει πια τα μεγάλα ΥΗΕ στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Renewable energy generation, World



Αντικείμενο μελέτης

Αντικείμενο της εργασίας αποτέλεσε η απάντηση του ερωτήματος “πολλά μικρά ΥΗΕ ή ένα μεγάλο;”. Καταστρώθηκε η παρακάτω μεθοδολογία για την εξαγωγή αποτελεσμάτων:

Σχεδιασμός συστήματος ΜΥΗΕ στη λεκάνη του ποταμού Αχελώου
(έργα πάνω στην κοίτη + έργα εκτροπής).



Επίτευξη ισοδύναμης εγκατεστημένης ισχύος με το έργο των
Κρεμαστών, το μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό έργο της χώρας.



Προσομοίωση + βελτιστοποίηση λειτουργίας έργου αναφοράς Κρεμαστών.



“Αντικατάσταση” των Κρεμαστών με τα μικρά έργα.



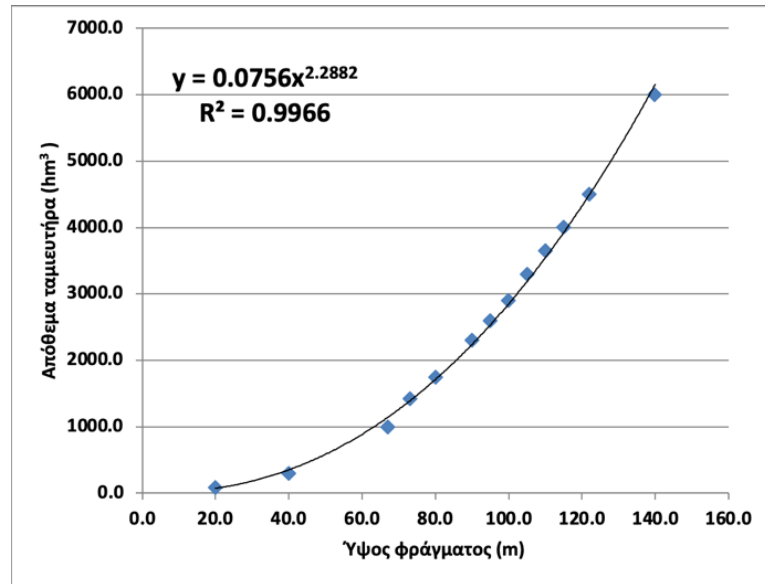
Ενεργειακή και οικονομοτεχνική σύγκριση της υποθετικής
και της υπάρχουσας κατάστασης.

Υφιστάμενη κατάσταση – ΥΗΕ Κρεμαστών

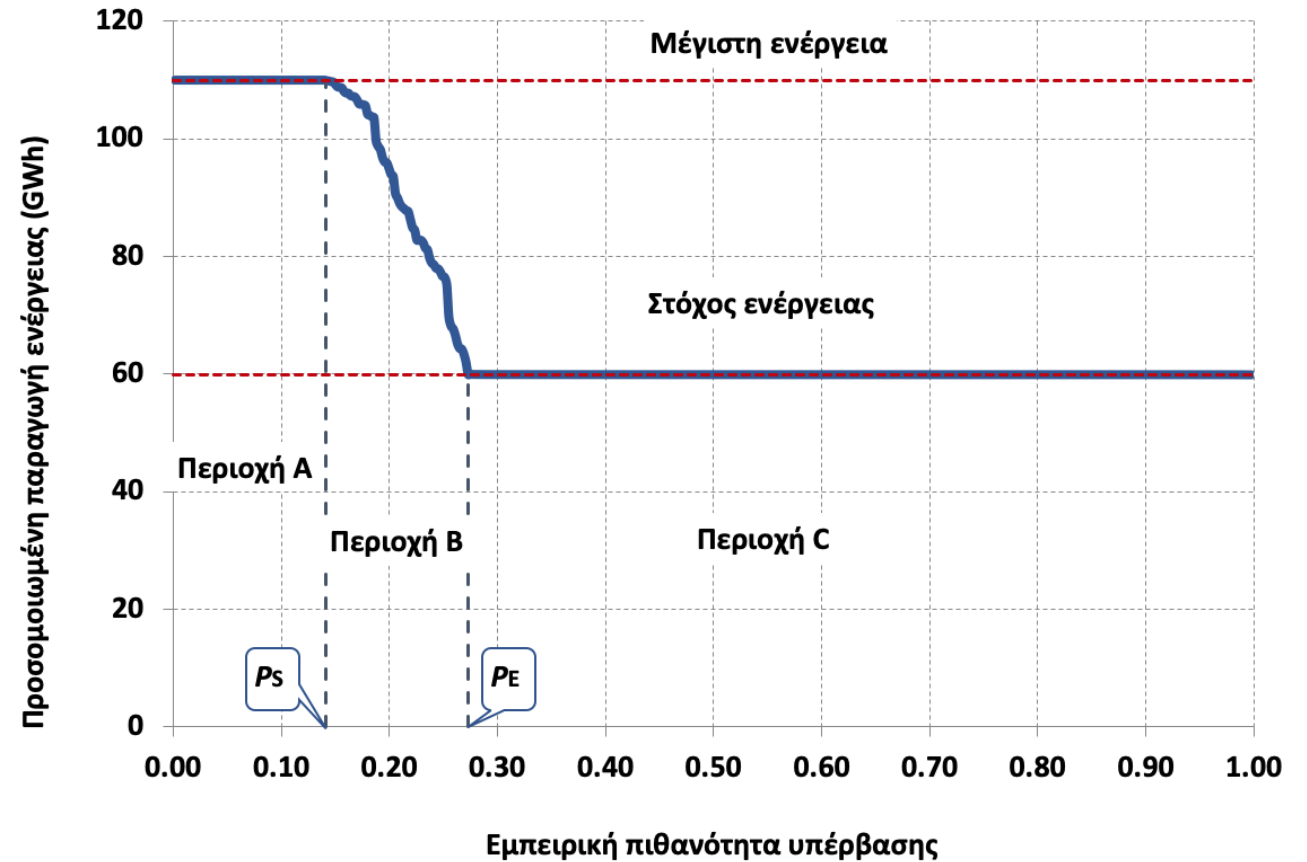
- Το ΥΗΕ των Κρεμαστών κατασκευάστηκε από το 1962 έως το 1966.
- Είναι το ψηλότερο χωμάτινο φράγμα στην Ευρώπη με **ύψος** από τη θεμελίωση **165 μ.**
- Είναι το ΥΗΕ με την μεγαλύτερη εγκατεστημένη **ισχύ** στην Ελλάδα, **437.2 MW.**
- Τεχνητή λίμνη: **επιφάνεια 80.6 km²**/ωφέλιμη χωρητικότητα $4.75 \times 10^9 \text{ m}^3$ → μεγαλύτερη τεχνητή λίμνη στην Ελλάδα.
- Το συνολικό **κόστος** της επένδυσης (λαμβάνοντας υπόψιν τον πληθωρισμό) ανέρχεται περίπου στα **382 εκατομμύρια €.**
- Μετά από προσομοίωση της λειτουργίας του έργου στα Κρεμαστά προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:
 - Μηνιαίος στόχος ενέργειας = 59.9 GWh (για μεγιστοποίηση του οφέλους από την πώληση ενέργειας)
 - Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας = 852 GWh
 - Μέση ετήσια υπερχείλιση του έργου = 417 hm³, 12.7% των μέσων ετήσιων εισροών που φτάνουν στο έργο.

Προσομοίωση λειτουργίας Κρεμαστών

Καμπύλη ύψους φράγματος – όγκου ταμίευσης φράγματος Κρεμαστών



Καμπύλη ενέργειας – πιθανότητας (EPC) Κρεμαστών



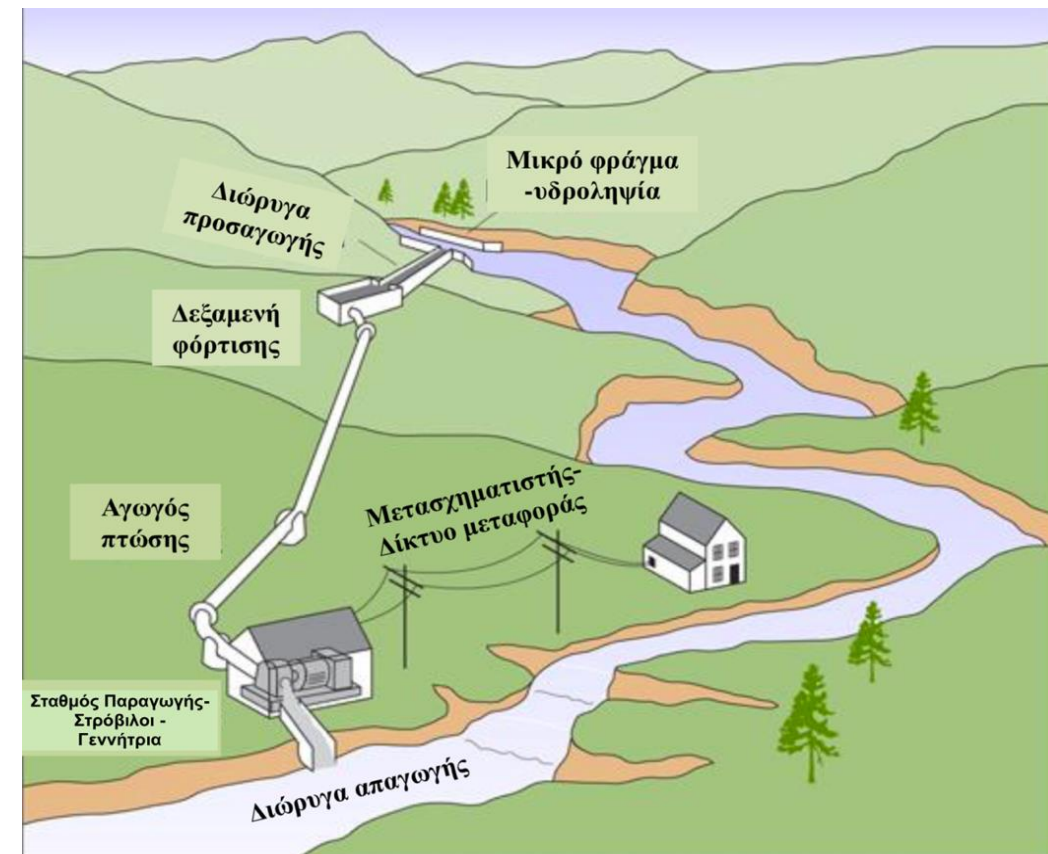
ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη ποταμού

- Τα ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη ποταμών χαρακτηρίζονται από μεγάλες παροχές εισόδου και μικρά ύψη πτώσης.
- Ύψος πτώσης για την παραγωγή ενέργειας \cong Ύψος του φράγματος που κατασκευάζεται.
- Νέα πρακτική για την διόδευση πλημμυρικών παροχών \longrightarrow βαθμιαία ανατρεπόμενα θυροφράγματα.
 - Ανατρέπονται σταδιακά
 - Ανατρέπονται χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση
 - Συμβάλλουν στην αύξηση του ύψους πτώσης.
- Συναφή έργα: Υδροληψία, αγωγός προσαγωγής, υδροστρόβιλοι, σταθμός παραγωγής, αγωγός φυγής, κατάντη δεξαμενή ηρεμίας, διώρυγα εξόδου, εκκενωτής πυθμένα, γεννήτρια, διώρυγα έκπλυσης φερτών, δίοδος ιχθύων.



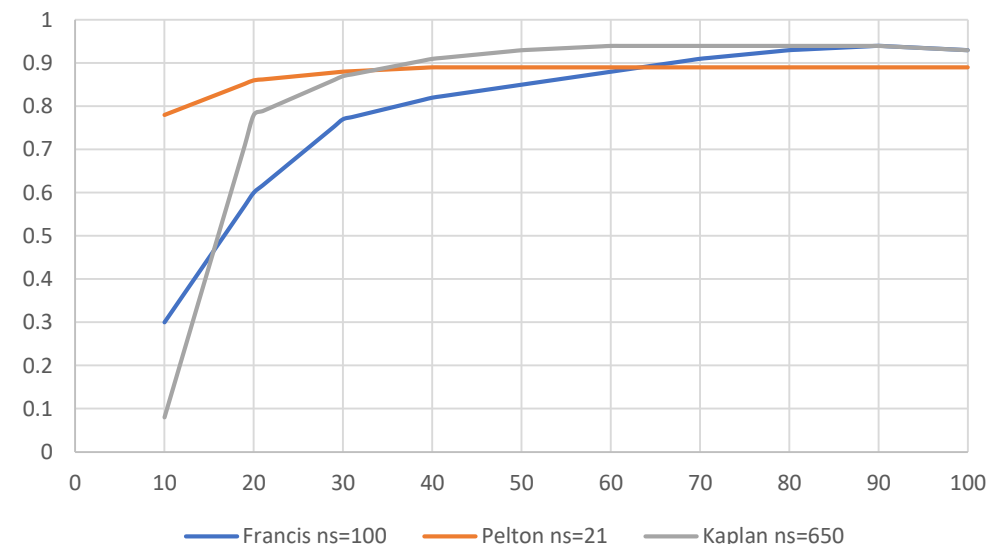
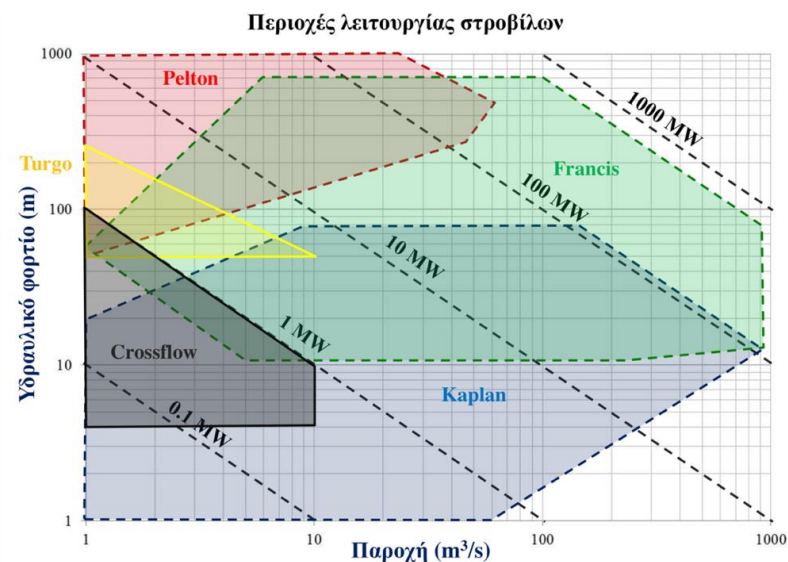
ΜΥΗΕ εκτός της κοίτης ποταμού

- Τα ΜΥΗΕ εκτός της κύριας κοίτης ποταμών χαρακτηρίζονται από μικρές παροχές εισόδου αλλά μεγάλα ύψη πτώσης.
- Δεν απαιτούν κατασκευή φράγματος. Το νερό:
 - Εκτρέπεται από τη φυσική πορεία του μέσω μικρής διάταξης υδροληψίας
 - Μεταφέρεται στη δεξαμενή φόρτισης μέσω της διώρυγας προσαγωγής με τη μικρότερη δυνατή μείωση υψομέτρου
 - Πέφτει μέσω του αγωγού πτώσης στους υδροστροβίλους
 - Συνεχίζει τη φυσική του πορεία μέσω της διώρυγας απαγωγής.
- Συναφή έργα: Υδροληψία, διώρυγα προσαγωγής, υδροστρόβιλοι, σταθμός παραγωγής, διώρυγα απαγωγής, δεξαμενή φόρτισης, γεννήτρια, δίοδος ιχθύων, εσχάρα απομάκρυνσης φερτών, εξαμμωτής.



Τυποποίηση ΜΥΗΕ: απαραίτητα δεδομένα εισαγωγής

- Κατασκευάστηκαν μοντέλα τυποποιημένου σχεδιασμού ΜΥΗΕ για έργα πάνω στην κοίτη και εκτός αυτής.
- Κοινά δεδομένα εισαγωγής για τα δύο μοντέλα:
 1. Χρονοσειρά ημερήσιων υψών απορροής για τον ποταμό Αχελώο (mm/d) από το 1968 έως το 2008
 2. Έκταση λεκάνης απορροής της εκάστοτε θέσης σχεδιασμού υπολογισμένη μέσω QGIS.
- Κοινοί υπολογισμοί:
 1. Μετατροπή υψών απορροής σε χρονοσειρά μέσων ημερήσιων παροχών (m^3/d) με πολλαπλασιασμό τους με την εκάστοτε λεκάνη απορροής
 2. Επιλογή στροβίλων / βαθμοί απόδοσης.



Μεθοδολογία χωροθέτησης

ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη

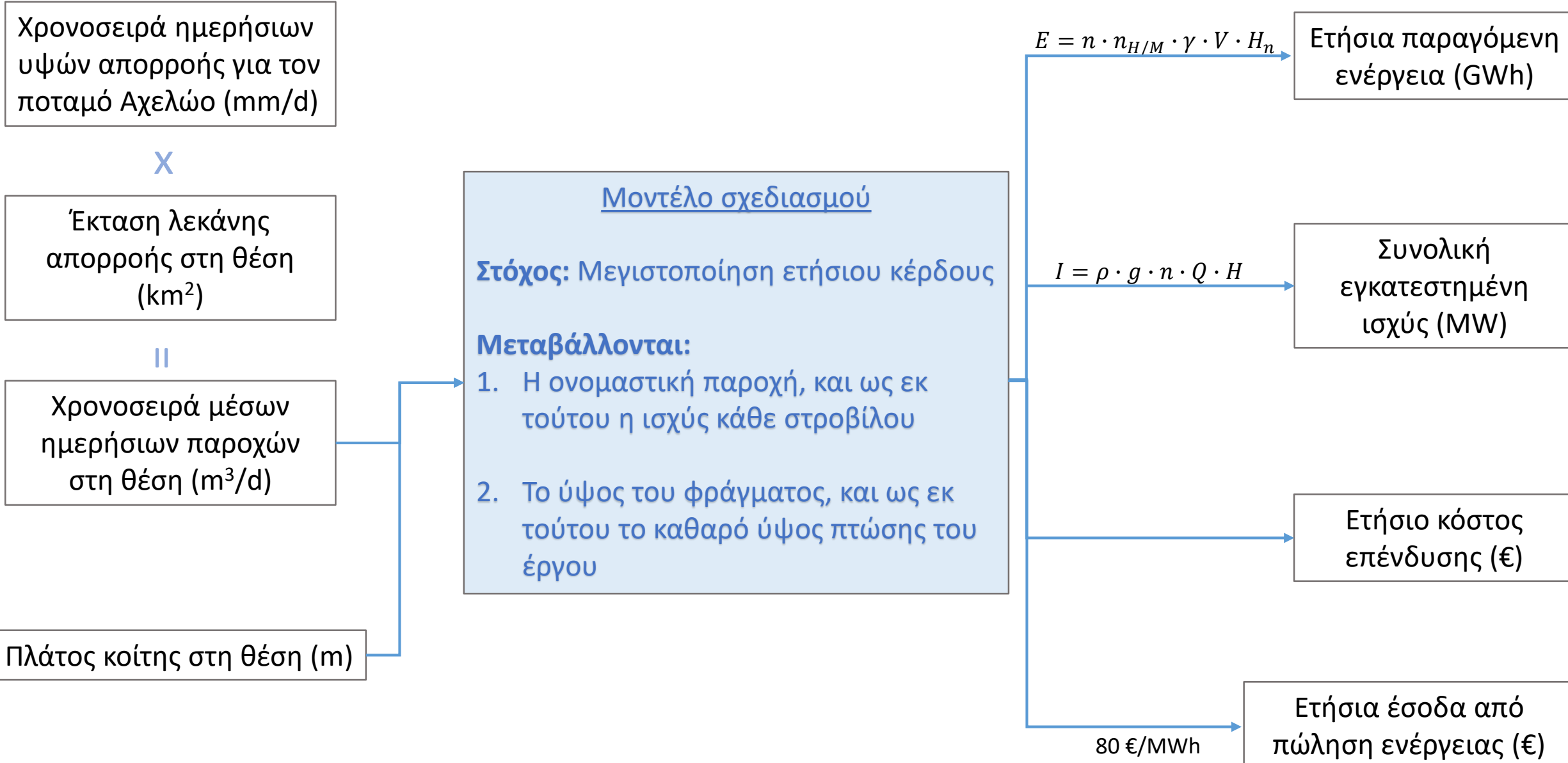
- Η χωροθέτηση έγκειται στη βέλτιστη τοποθέτηση του φράγματος.
- Επιδιώκονται:
 - Θέσεις σε στενώματα κοίτης → μικρότερο φράγμα
 - Αδειοδοτημένες θέσεις
 - Θέσεις ημιτελών έργων (π.χ. Μεσοχώρα, Συκιά)
 - Θέσεις ανάντη γεφυρών
 - Θέσεις μακριά από γειτονικά χωριά για να μη δημιουργήσει πρόβλημα η μικρή αποθήκευση νερού

ΜΥΗΕ εκτροπής

- Η χωροθέτηση έγκειται στη βέλτιστη τοποθέτηση της υδροληψίας και του σταθμού παραγωγής.
- Επιδιώκονται:
 - Θέσεις που συνδυάζουν μικρή απόσταση + μεγάλη υψομετρική διαφορά μεταξύ υδροληψίας και σταθμού παραγωγής (Σ/Π)
 - Αδειοδοτημένες θέσεις
 - Θέσεις ημιτελών έργων

Παραδοχή: Με δεδομένη τη χρονοσειρά ημερήσιων υψών απορροής στη λίμνη των Κρεμαστών → χρησιμοποιήθηκε η έκταση της λεκάνης απορροής κάθε θέσης → προέκυψε ανάλογη χρονοσειρά μέσω ημερήσιων παροχών (m^3/d) κάθε θέσης.

Τυποποίηση ΜΥΗΕ: έργα πάνω στην κοίτη (1)



Τυποποίηση ΜΥΗΕ: έργα πάνω στην κοίτη (2)

Απαιτούμενα δεδομένα	Εξαγόμενα αποτελέσματα
Χρονοσειρά ημερήσιων υψών απορροής για τον ποταμό Αχελώο (mm/d)	Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)
Έκταση λεκάνης απορροής (km ²)	Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (MW)
Μήκος στέψης φράγματος (m)	Μίγμα υδροστροβίλων
	Ετήσιο κόστος επένδυσης (€)
	Ετήσια έσοδα από πώληση ενέργειας (€)

- Υπολογισμός ενέργειας: $E = n \cdot n_{H/M} \cdot \gamma \cdot V \cdot H_n$

n : βαθμός απόδοσης στροβίλων

$$n_{H/M} = 0.96$$

$$H_n = H$$

- Υπολογισμός ισχύος κάθε υδροστροβίλου:

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

- Σταθερή τιμή πώλησης ενέργειας: 80 €/MWh

- Η κοστολόγηση των επιμέρους εργασιών και κατ' επέκταση του εκάστοτε ΜΥΗΕ έγινε μέσω εμπειρικών τύπων κοστολόγησης.
- Αναγωγή του συνολικού κόστους των έργων σε ετήσιο κόστος απόσβεσης: $S = P \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$, $i = 4\%$, $n = 20$ έτη

Ετήσιο κέρδος (€)

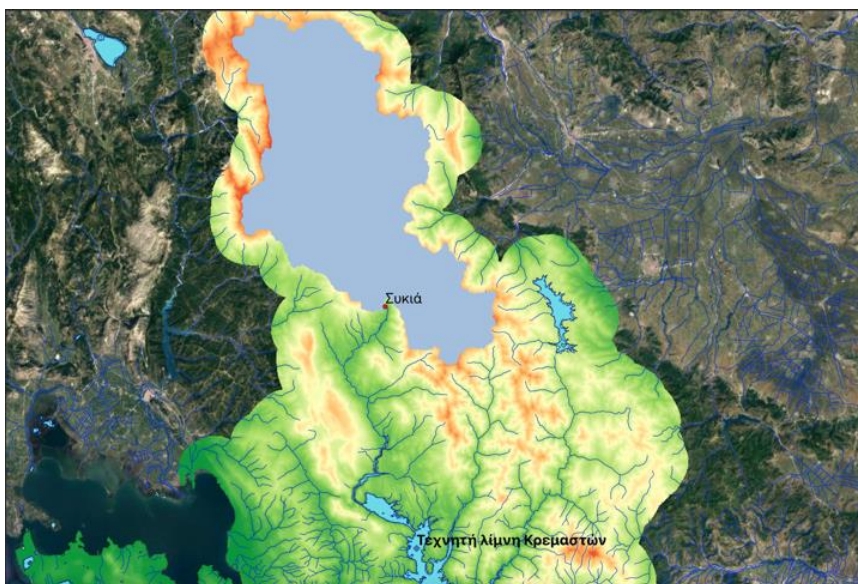
= Ετήσια Έσοδα στροβίλου 1 (€)

+ Ετήσια Έσοδα στροβίλου 2 (€)

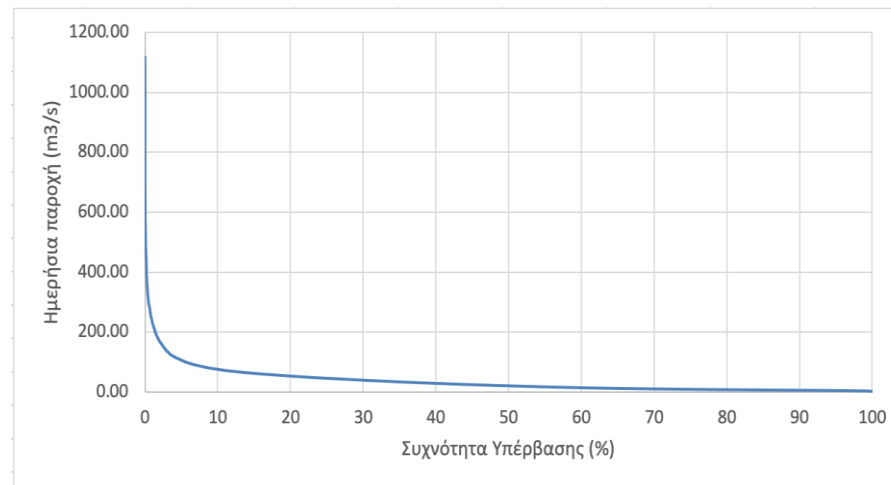
- Ετήσια Έξοδα απόσβεσης επένδυσης (€)

- Βελτιστοποίηση λειτουργίας** για τη μεγιστοποίηση του ετήσιου κέρδους. Σχεδιαστικοί παράμετροι που μεταβάλλονται:
 - Η ονομαστική παροχή, και ως εκ τούτου η ισχύς κάθε στροβίλου
 - Το ύψος του φράγματος, και ως εκ τούτου το καθαρό ύψος πτώσης του έργου.

Παράδειγμα: ΜΥΗΕ Συκιάς

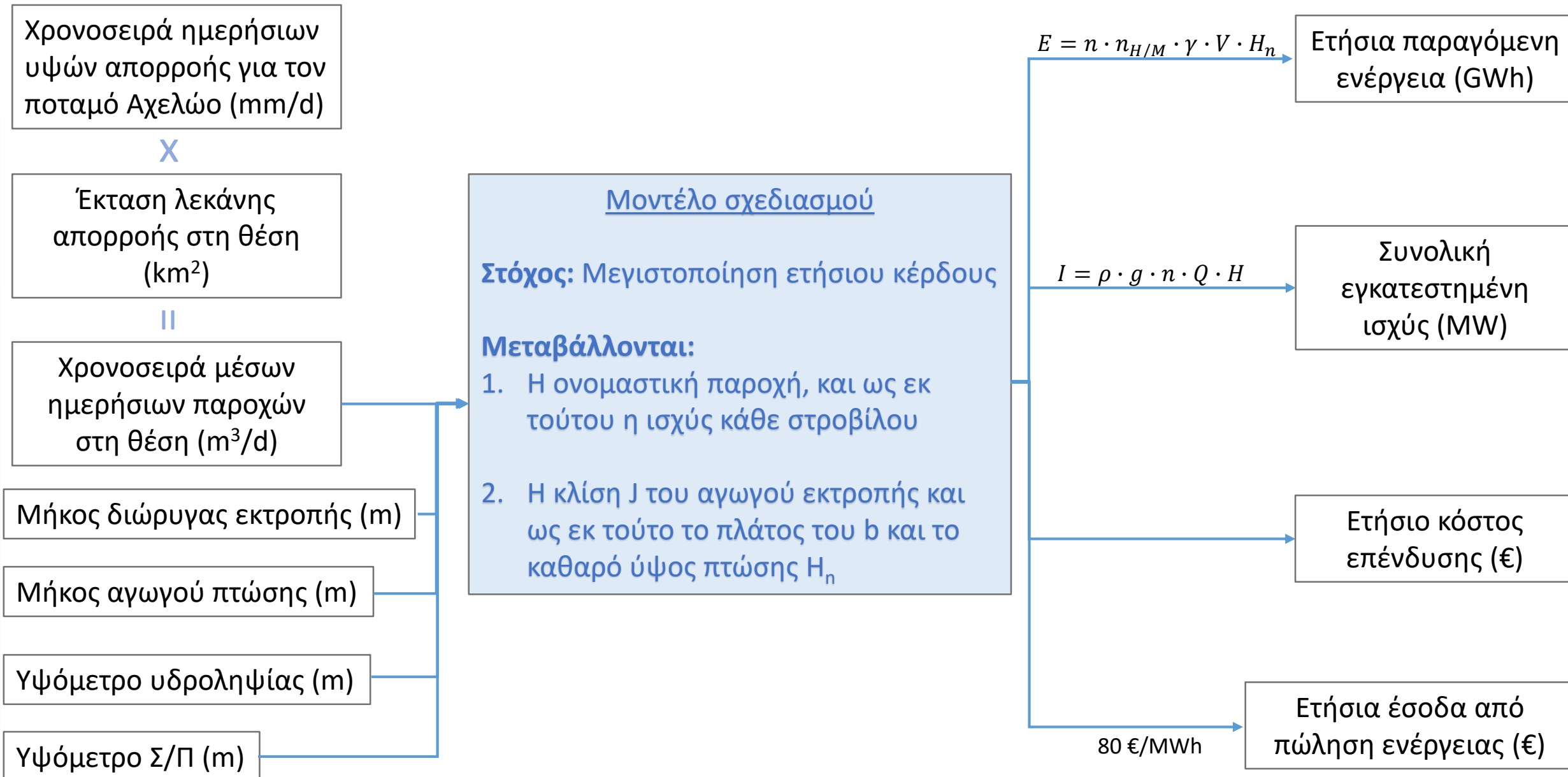


Καμπύλη διάρκειας-παροχής



Λεκάνη απορροής (km ²)	1170		
<i>Κατηγορία έργου</i>	<i>Συνολικό κόστος (€)</i>	<i>Ετήσια απόσβεση (€)</i>	<i>Τεχνικά χαρακτηριστικά</i>
Φράγμα	6238369	459030	H=30 m / b _{κοίτης} =70 m
Υδροστρόβιλος 1	2404434	176922	Kaplan 12.0 MW
Υδροστρόβιλος 2	595566	43823	Kaplan 3.0 MW
Γεννήτρια	548490	40359	
Αγωγός πτώσης	213403	15703	
Έργο υδροληψίας	119924	8824	
Δίοδος ιχθύων	300000	22075	
Κτήριο Υ/Η σταθμού	200000	14716	
Μελέτη/Επίβλεψη	1062019	78145	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	11682204	859597	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	3645951		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	56.32		

Τυποποίηση ΜΥΗΕ: έργα εκτός κοίτης (1)



Τυποποίηση ΜΥΗΕ: έργα εκτός κοίτης (2)

Απαιτούμενα δεδομένα	Εξαγόμενα αποτελέσματα
Χρονοσειρά ημερήσιων υψών απορροής για τον ποταμό Αχελώο (mm/d)	Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)
Έκταση λεκάνης απορροής (km ²)	Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (MW)
Μήκος διώρυγας εκτροπής (m)	Μίγμα υδροστροβίλων
Μήκος αγωγού πτώσης (m)	Ετήσιο κόστος επένδυσης (€)
Υψόμετρο υδροληψίας (m)	Ετήσια έσοδα από πώληση ενέργειας (€)
Υψόμετρο σταθμού παραγωγής ενέργειας (m)	

- Υπολογισμός ενέργειας: $E = n \cdot n_{H/M} \cdot \gamma \cdot V \cdot H_n$

n : βαθμός απόδοσης στροβίλων

$$n_{H/M} = 0.96$$

$$H_n = 0.97 \cdot H$$

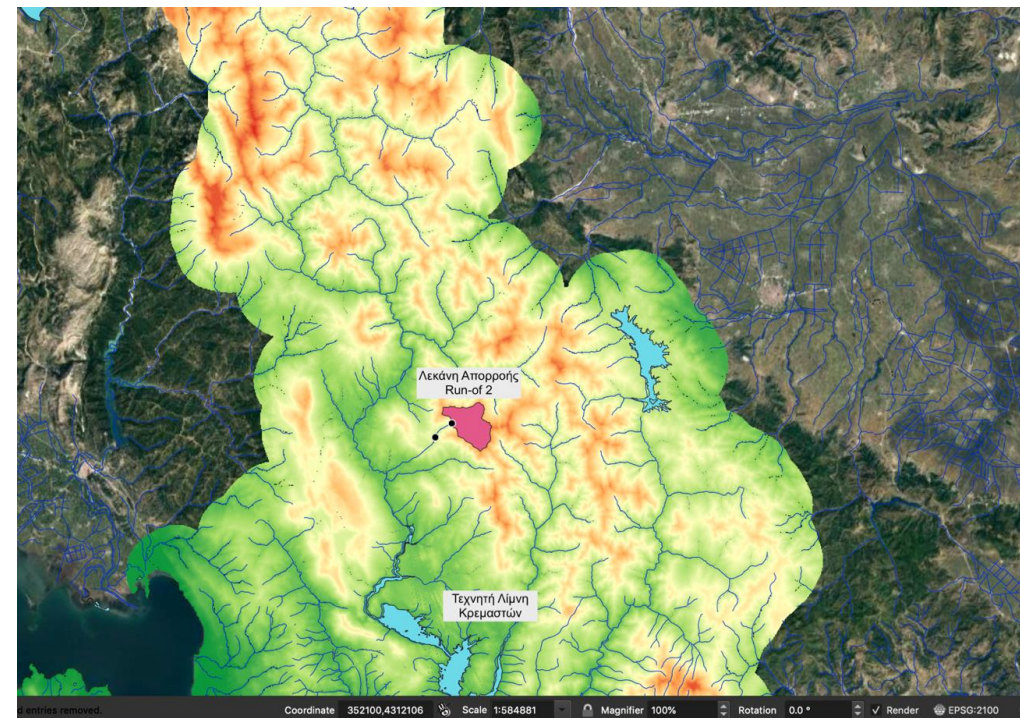
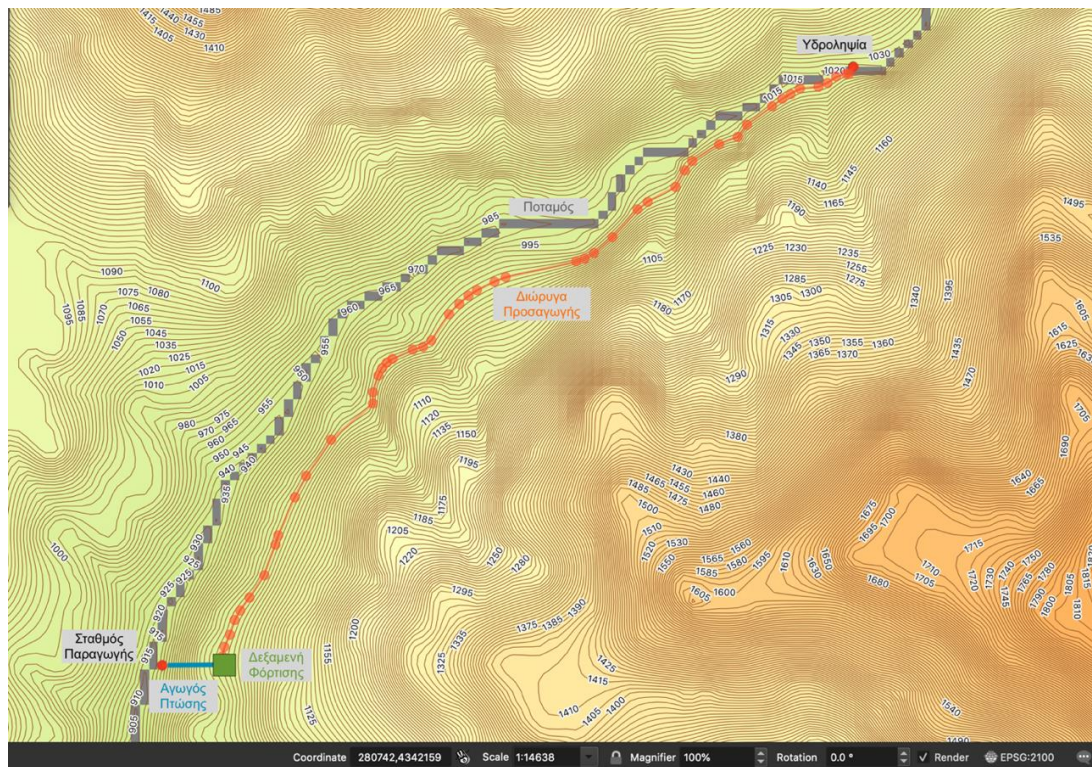
- Καθορισμός οικολογικής παροχής ως το μεγαλύτερο από τα εξής μεγέθη:
 - 30 % της μέσης παροχής των θερινών μηνών Ιουνίου, Ιουλίου και Αυγούστου ή
 - 50 % της μέσης παροχής του μηνός Σεπτεμβρίου ή
 - 30 L/s σε κάθε περίπτωση.

- Η κοστολόγηση των επιμέρους εργασιών και κατ' επέκταση του εκάστοτε ΜΥΗΕ έγινε μέσω εμπειρικών τύπων κοστολόγησης και του Κανονισμού Περιγραφικών Τιμολογίων Εργασιών.
- Σχέση συσχετισμού πλάτους b και κλίσης διώρυγας εκτροπής J :

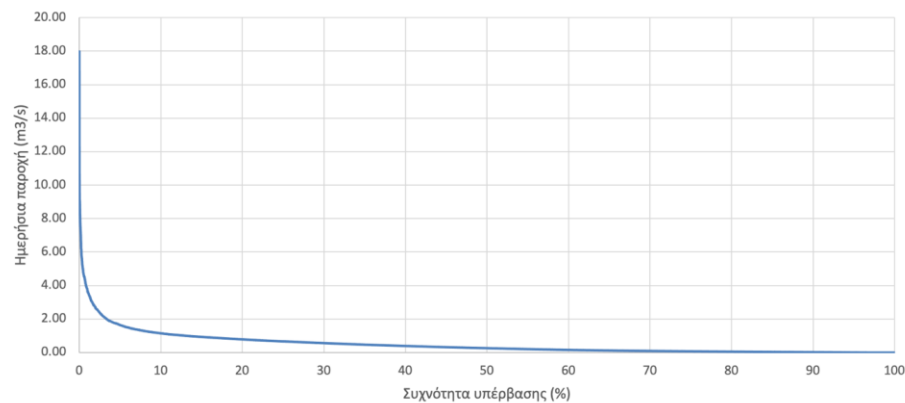
$$b = \left[\frac{Q \cdot n}{0.198 \cdot J^{1/2}} \right]^{3/8}$$

- **Βελτιστοποίηση λειτουργίας** για τη μεγιστοποίηση του ετήσιου κέρδους. Σχεδιαστικοί παράμετροι που μεταβάλλονται:
 1. Η ονομαστική παροχή, και ως εκ τούτου η ισχύς κάθε στροβίλου
 2. Η κλίση J του αγωγού εκτροπής και ως εκ τούτο το πλάτος του b και το καθαρό ύψος πτώσης H_n .

Παράδειγμα: ΜΥΗΕ Run-of-river 2 (Κέδρα)



Καμπύλη διάρκειας-παροχής

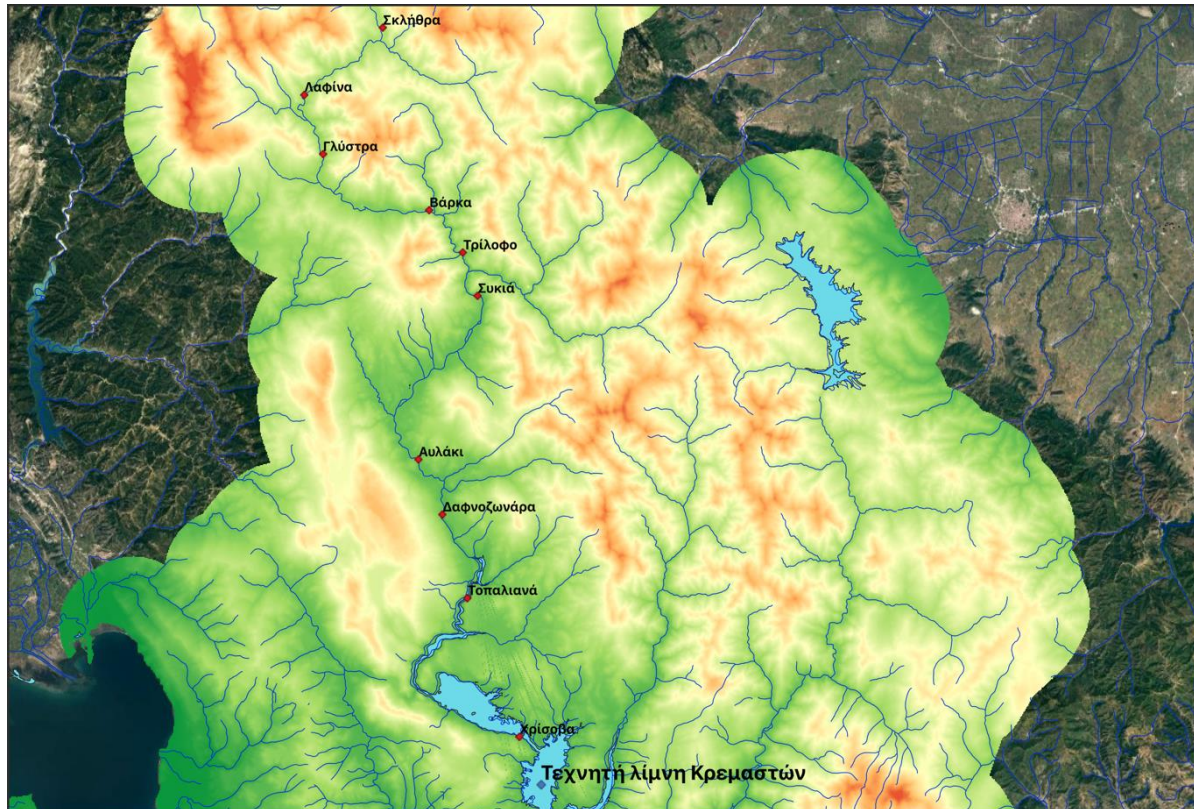


Λεκάνη απορροής (km ²)	1507		
Κατηγορία έργου	Συνολικό κόστος (€)	Ετήσια απόσβεση (€)	Τεχνικά χαρακτηριστικά
Υδροστρόβιλος 1	175738	12931	Pelton 0.85 MW
Υδροστρόβιλος 2	26422	1944	Pelton 0.15 MW
Γεννήτρια	74488	5481	
Δεξαμενή Φόρτισης	8681	639	
Αγωγός πτώσης	108178	7960	L=193 m
Διώρυγα Εκτροπής	336840	24785	L=2575m/b=1.5m/J=0.001
Κτήριο Υ/Η σταθμού	150000	11037	
Μελέτη/Επιβλεψη	129555	6478	10 % του κόστους
Αθροιστικό κόστος	1009902	71255	
Ετήσιο κέρδος από ενέργεια (€)	146786		
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	2.73		

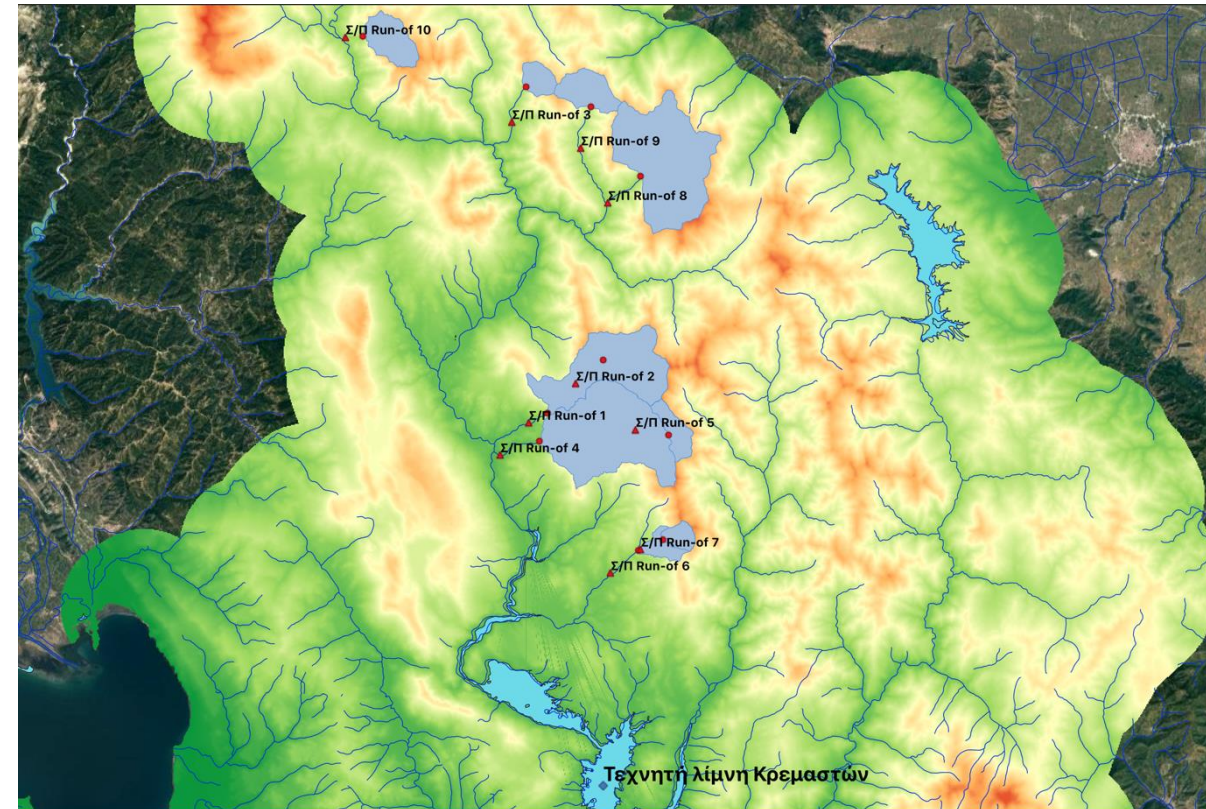
Απόφαση εγκατάστασης ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη (1)

- Έγινε σχεδιασμός 10 run-of-river έργων και 10 έργων πάνω στην κοίτη του ποταμού Αχελώου.

ΜΥΗΕ πάνω στην ροή



ΜΥΗΕ εκτροπής



- Μετά τη σύγκριση των δύο καταστάσεων, αποφασίστηκε η αντικατάσταση των Κρεμαστών να γίνει μόνο με ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη των τριών μεγάλων ποταμών (Αχελώος, Αγραφιώτης, Ταυρωπός) της περιοχής.

Απόφαση εγκατάστασης ΜΥΗΕ πάνω στην κοίτη (2)

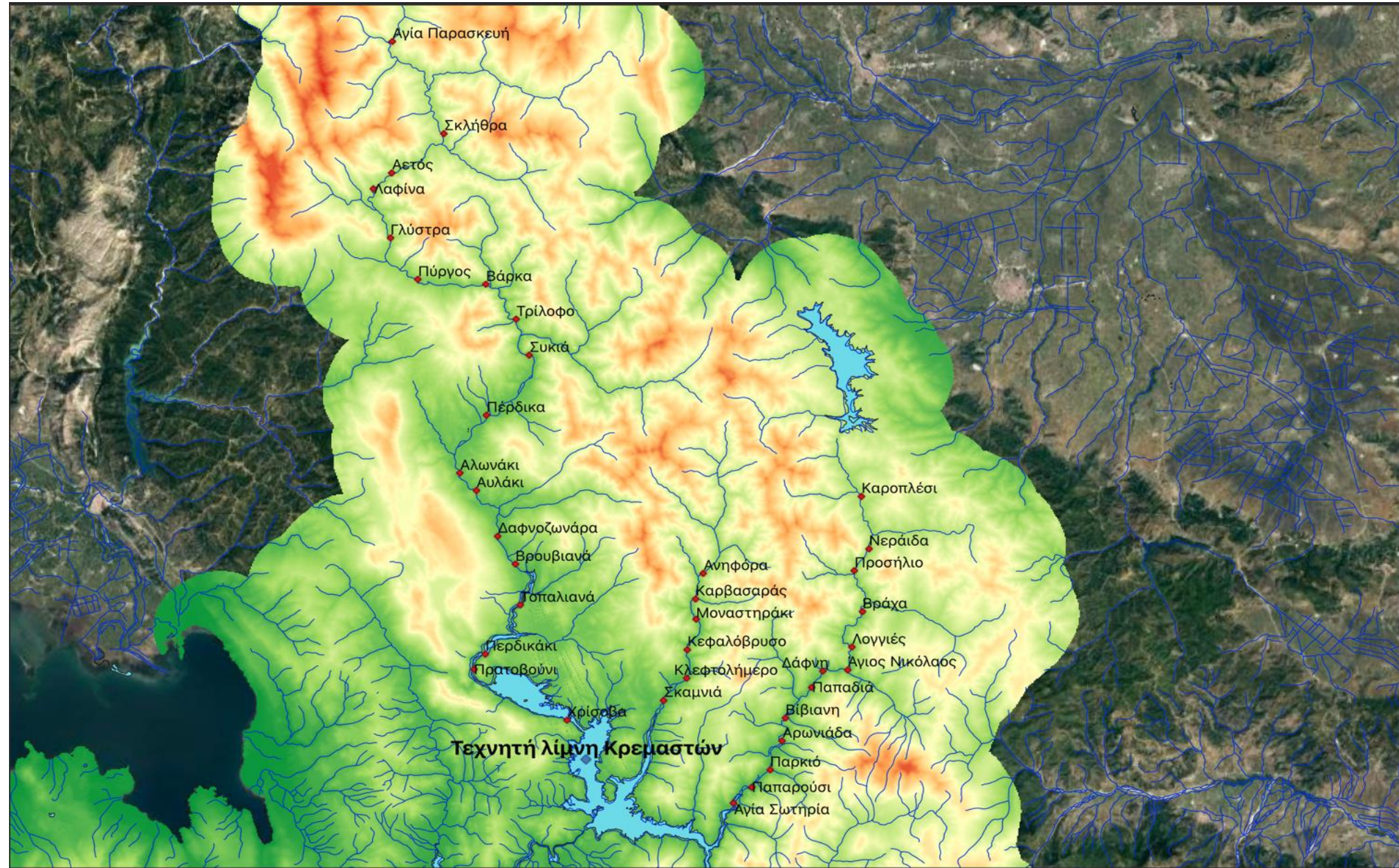
- Η απόφαση αυτή στηρίζεται στα εξής αποτελέσματα της σύγκρισης:
 1. Κατασκευαστικό κόστος ανά παραγόμενη MWh για τα έργα πάνω στην κοίτη = 18 €/MWh, έργα εκτροπής = 42 €/MWh
 2. Εκτροπή φυσικής ροής του ποταμού στο διάστημα από την υδροληψία μέχρι το σταθμό παραγωγής (Σ/Π) → σημαντικότερη περιβαλλοντική παρέμβαση
 3. Η συμβολή των έργων εκτροπής στην επίτευξη της ισχύος των Κρεμαστών (437.2 MW) είναι πολύ μικρή σε σχέση με τα έργα πάνω στην κοίτη (μεγαλύτερο έργο εκτροπής που σχεδιάστηκε με ισχύ μόλις 2.7 MW).
 4. Η βέλτιστη επιλογή θέσης της υδροληψίας και του Σ/Π των έργων εκτροπής είναι μια πολυπαραμετρική, εμπειρική διαδικασία η οποία δε συνάδει με την τυποποιημένη φύση του σχεδιασμού και το γενικότερο στόχο της εργασίας.

Ολική εικόνα του συστήματος των ΜΥΗΕ

- Έγινε σχεδιασμός **37 ΜΥΗΕ** πάνω στην κοίτη των ποταμών Αχελώου, Αγραφιώτη και Ταυρωπού.
- Επιτεύχθηκε ισοδύναμη **εγκατεστημένη ισχύς** με αυτή του έργου των Κρεμαστών **437.2 MW**.
- Φράγματα επί του κύριου ρου του ποταμού Αχελώου → τεράστιες απορροές → υψηλότερη ενεργειακή παραγωγή.
- Το τελικό κόστος κατασκευής ανά παραγόμενη MWh προέκυψε 27 € /MWh (με σταθερή τιμή πώλησης 80 €/MWh).

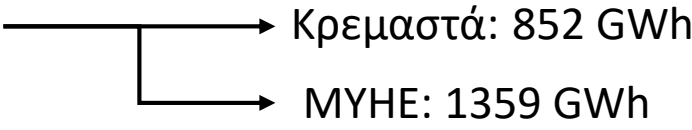
Εγκατεστημένη ισχύς (MW)	437.4
Ετήσια παραγόμενη ενέργεια (GWh)	1359
Ετήσιο κέρδος από την πώληση ενέργειας (€)	79,443,503
Συνολικό Κόστος (€)	446,995,079
Κόστος ανά παραγόμενη MWh (€)	27

Χάρτης των 37 ΜΥΗΕ

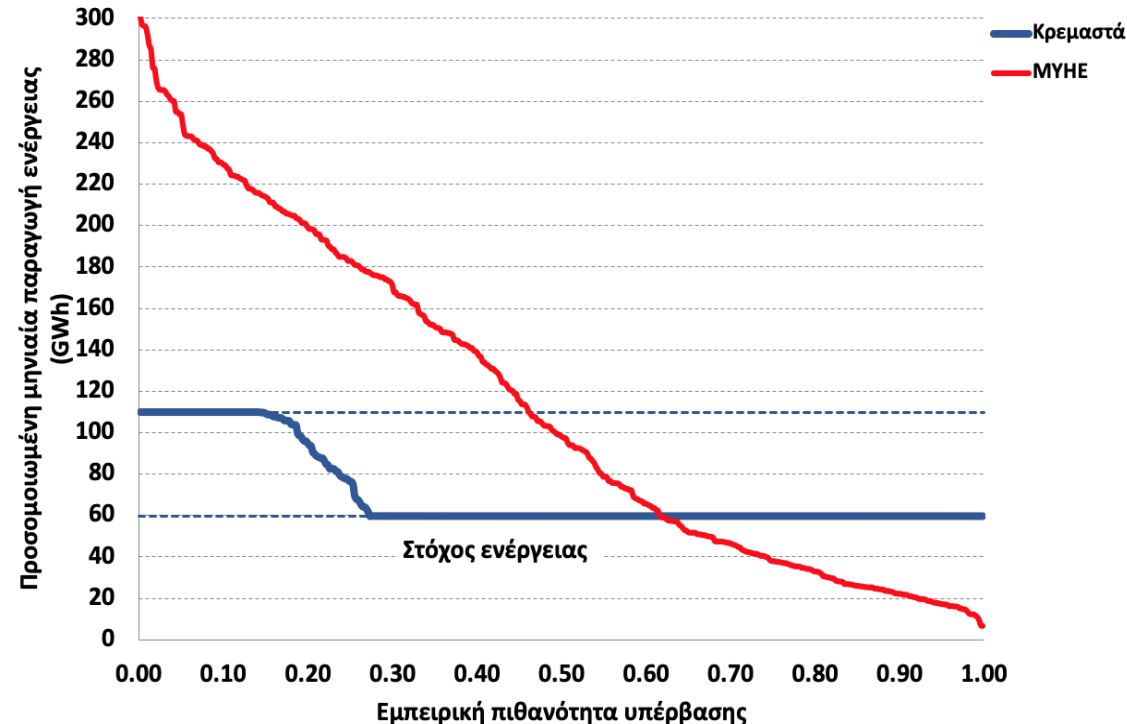


Σύγκριση του συστήματος ΜΥΗΕ με τα Κρεμαστά

Ενεργειακή σύγκριση

- Μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια 
 - Κρεμαστά: 852 GWh
 - ΜΥΗΕ: 1359 GWh
- Οι δύο τιμές είναι αυτές που αποφέρουν τα μεγαλύτερα έσοδα από πώληση ενέργειας. Για τα Κρεμαστά προέκυψε για μηνιαίο στόχο ενέργειας 59.9 GWh και για τα ΜΥΗΕ για λειτουργία των έργων όποτε οι εισροές υπάγονται στο διάστημα λειτουργίας των στροβίλων.
- Το μεγαλύτερο πρόβλημα των ΜΥΗΕ σε σχέση με τα μεγάλα είναι έκδηλο από την ενεργειακή τους σύγκριση:

Τα μικρά έργα **δεν λειτουργούν ως έργα αιχμής**, αφού λόγω της αμελητέας αποθήκευσης δεν μπορούν να παρέχουν ενέργεια κατά βούληση στις ώρες αυξημένης ζήτησης, αλλά δεν λειτουργούν ουσιαστικά **ούτε ως έργα βάσης**, αφού δεν παρέχουν κάποια σταθερή ενέργεια, εγγυημένα, σε όλη την διάρκεια του χρόνου.

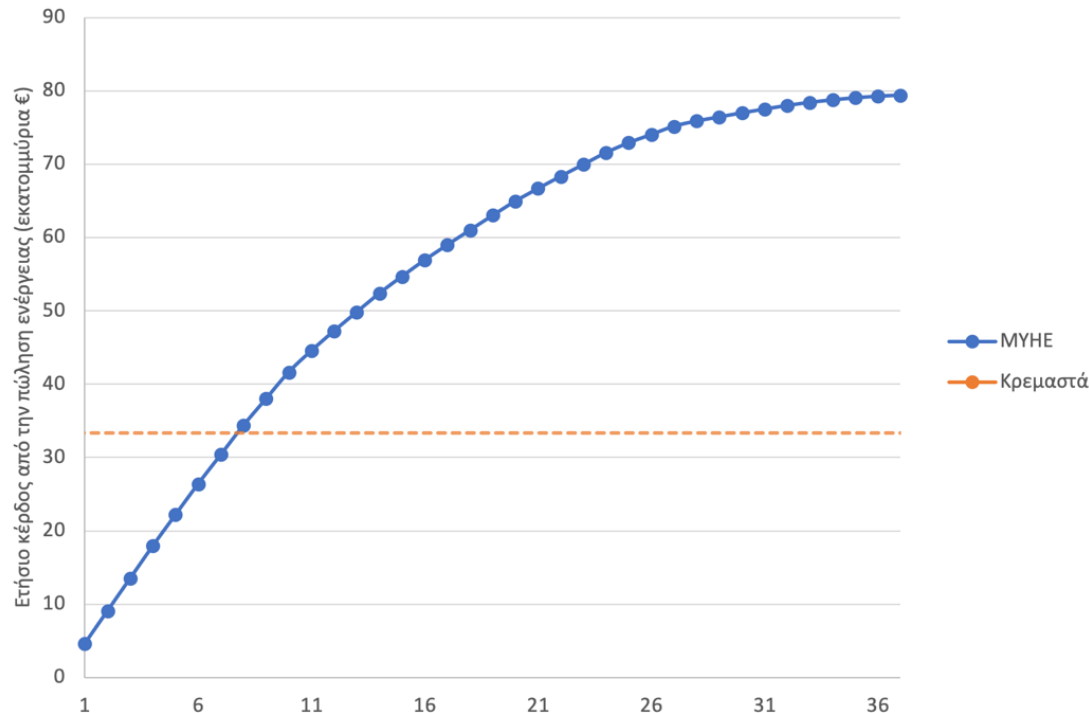


Σύγκριση του συστήματος ΜΥΗΕ με τα Κρεμαστά

Σύγκριση κόστους και κέρδους

- Συνολικό κόστος επένδυσης
 - Κρεμαστά: 381,937,825 €
 - ΜΥΗΕ: 446,995,079 €

- Ετήσιο κέρδος από την πώληση ενέργειας
 - Κρεμαστά: 33,340,718 €/έτος
 - ΜΥΗΕ: 79,443,503 €/έτος



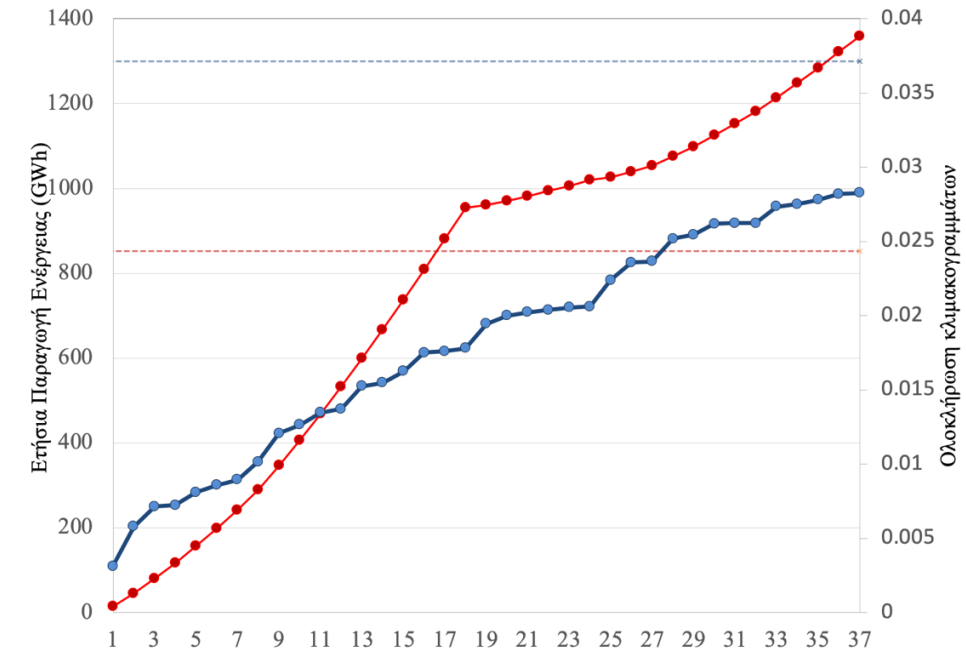
- Τα ΜΥΗΕ έχουν τοποθετηθεί στο διάγραμμα σε φθίνουσα σειρά ανάλογα με το κέρδος που αποφέρουν.
- Μόλις τα 8 πιο κερδοφόρα ΜΥΗΕ που σχεδιάστηκαν φτάνουν το μέσο ετήσιο κέρδος των Κρεμαστών.

Τα ΜΥΗΕ παράγουν 60 % περισσότερη ενέργεια ετησίως. Η μεγαλύτερη παραγωγή και η σταθερά υψηλή τιμή πώλησης των 80 €/MWh έχουν ως αποτέλεσμα το σημαντικά υψηλότερο κέρδος.

Σύγκριση του συστήματος ΜΥΗΕ με τα Κρεμαστά

Σύγκριση περιβαλλοντικής εκμετάλλευσης

- Δημιουργήθηκαν κλιμακογράμματα 2D του συσσωματώματος των 37 **λεκάνών απορροής** των μικρών έργων καθώς και ένα κλιμακόγραμμα για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών.
- Έγινε ολοκλήρωση των 37 2D κλιμακογραμμάτων και προέκυψε η μπλε καμπύλη του διαγράμματος και ολοκλήρωση του κλιμακογράμματος των Κρεμαστών και προέκυψε η μπλε διακεκομμένη γραμμή.
- Η κόκκινη καμπύλη αναπαριστά την ετήσια παραγόμενη ενέργεια καθώς προστίθενται ΜΥΗΕ στο σύστημα και η κόκκινη διακεκομμένη γραμμή την ετήσια παραγωγή των Κρεμαστών.



- Τα ΜΥΗΕ χάνουν μεγάλες ποσότητες νερού κατά τη διάρκεια πλημμυρών αφού το μικρό φράγμα δεν μπορεί να τις συγκρατήσει.

- **Υπερχειλίσεις** → Κρεμαστά: 417 hm³/έτος ή το 12.8% των μέσων ετήσιων εισροών νερού στον ταμιευτήρα.

↓
ΜΥΗΕ: 723 hm³/έτος ή το 27.9% των μέσων ετήσιων εισροών νερού.

Το έργο των Κρεμαστών εκμεταλλεύεται για τη λειτουργία του αρκετά περισσότερους φυσικούς πόρους (νερό λεκάνης απορροής) από το σύστημα των ΜΥΗΕ, ενώ παράγει σημαντικά λιγότερη ενέργεια. Όμως το νερό που χάνεται μέσω των υπερχειλίσεων ανεκμετάλλευτο είναι περισσότερο για το σύστημα των μικρών έργων.

Σύγκριση του συστήματος ΜΥΗΕ με τα Κρεμαστά

Άλλες συγκρίσεις

Άλλα πλεονεκτήματα ΜΥΗΕ

- Μικρότερη περιβαλλοντική παρέμβαση.
- Οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις απαλλοτριώσεων και μετακίνησης πληθυσμών για την τεχνητή λίμνη των Κρεμαστών.
- Στροφή προς τα ΜΥΗΕ → προβλήματα στις αδειοδοτήσεις και την κατασκευή μεγάλων έργων (π.χ. Μεσοχώρα, Συκιά).

Άλλα πλεονεκτήματα Κρεμαστών

- Δυνατότητα πολλαπλών χρήσεων:
 - Αντιπλημμυρική
 - Αρδευτική
 - Υδρευτική
- Δεν έχει αναπτυχθεί σύστημα διαχείρισης των φερτών (διώρυγες έκπλυσης) στα ΜΥΗΕ → μικρή αύξηση της συνολικής κοστολόγησης του συστήματος.

Σημείωση: Αυτές οι συγκρίσεις, σε αντίθεση με τα προηγούμενα ενεργειακά και τεχνοοικονομικά δεδομένα, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων μέχρι να αναλυθούν περαιτέρω.

Συμπεράσματα

- Το μεγάλο υδροηλεκτρικό έργο των Κρεμαστών αντικαταστάθηκε με 37 ΜΥΗΕ ισοδύναμης εγκατεστημένης ισχύος 437.2 MW και έγινε σύγκριση των δύο καταστάσεων.
- Το σύστημα των μικρών έργων **παράγει 60 % περισσότερη ενέργεια** από το έργο των Κρεμαστών σε ετήσια βάση.
- Η **χρονική αβεβαιότητα** παραγωγής και η **αδυναμία αποθήκευσης** καθιστούν τα ΜΥΗΕ ανίκανα να ηλεκτροδοτήσουν εγγυημένα τα διασυνδεδεμένα δίκτυα. Απαιτείται είτε η ταυτόχρονη χρήση κάποιας άλλης πηγής ενέργειας, είτε η ανάπτυξη διάταξης για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας.
- Το συνολικό κόστος των ΜΥΗΕ είναι **κατά 17 % υψηλότερο**. Όμως, το ετήσιο κέρδος που αποφέρουν είναι περίπου **2.5 φορές μεγαλύτερο** από των Κρεμαστών.
- Τα Κρεμαστά εκμεταλλεύονται τις απορροές **λεκάνης 3658 km²** ενώ τα μικρά έργα **2732 km²**.
- Τα ΜΥΗΕ αφήνουν **ανεκμετάλλευτο το 27.9 %** των ετήσιων εισροών τους ενώ τα Κρεμαστά μόλις το **12.8 %**.
- Οι περαιτέρω συγκρίσεις για τις περιβαλλοντικές, κοινωνικές και άλλες πτυχές του ζητήματος έχουν ενδιαφέρον αλλά ή μη ποσοτικοποιημένη φύση τους δεν εμπνέει σε αυτήν τη φάση σιγουριά για την εξαγωγή ασφαλών αποτελεσμάτων.

Ερευνητικές προοπτικές

- Διεύρυνση της μελέτης σε **άλλες περιοχές**. Η γεωμορφολογία, η τοπογραφία και τα υδρολογικά δεδομένα κάθε τόπου θα διαφοροποιήσουν σημαντικά τα αποτελέσματα. Ενδιαφέρον θα είχε η ανάπτυξη συστήματος ΜΥΗΕ σε ποταμό με πολύ μικρότερες παροχές.
- **Αναλυτικότερη και ακριβέστερη κοστολόγηση** των διαφόρων μελών των ΜΥΗΕ και κατ' επέκταση του ίδιου του συστήματος.
- **Ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων** των μεγάλων ΥΗΕ για να διαπιστωθεί αν η κουβέντα που γίνεται παγκοσμίως για αυτές, καθώς και η απόφαση πως δεν υπάγονται πια νομικά στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είναι εύλογες ή όχι.
- Ποσοτικοποίηση και **μελέτη των κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων των απαλλοτριώσεων** και της μεταφοράς πληθυσμών από τις περιοχές κατάκλισης των τεχνητών λιμνών.
- Ανάπτυξη αναλυτικού συστήματος **διαχείρισης φερτών υλών**.
- Ανάπτυξη ενός βιώσιμου τρόπου βραχυπρόθεσμης **αποθήκευσης του νερού και κατ' επέκταση της ενέργειας**, σε συστήματα πολλών ΜΥΗΕ σε σειρά.

ΣΑΣ ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ

