ΕΜΠ: Ερευνητικό Έργο 62/2423
Χρηματοδότης: Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

Δυνατότητες κατασκευής έργων αποταμίευσης μέσω άντλησης σε περιοχές της Ηπειρωτικής Ελλάδας

Ι.Π. Στεφανάκος

Δρ. Πολιτικός μηχανικός, Λέκτορας ΕΜΠ

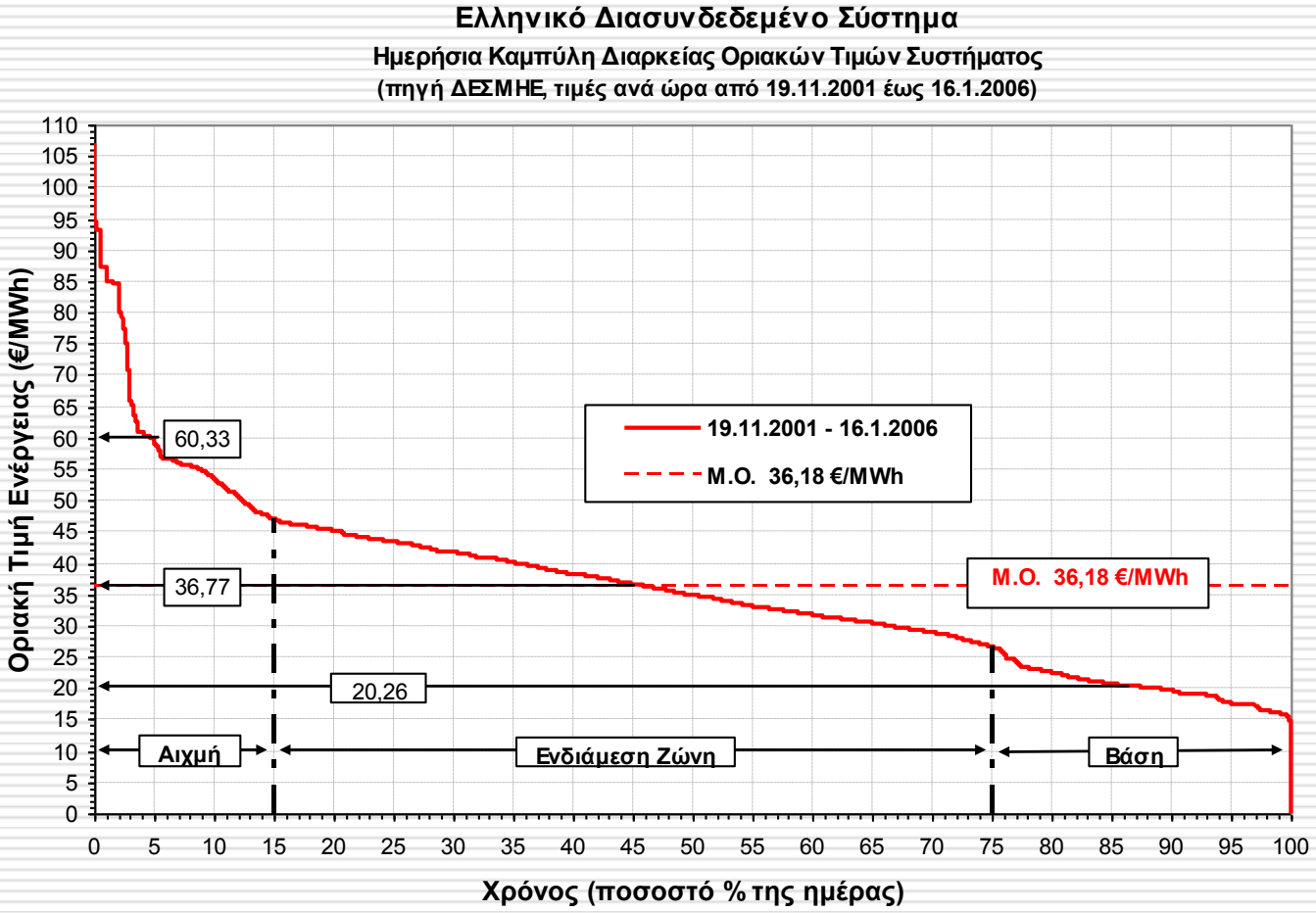
Αναστρέψιμα σε λειτουργία

- **Ποταμός Αλιάκμονα (1985-86)**
  Σφηκιά-Ασώματα 315 MW
- **Ποταμός Νέστος (1997-99)**
  Θησαυρός-Πλατανόβρυση 384 MW

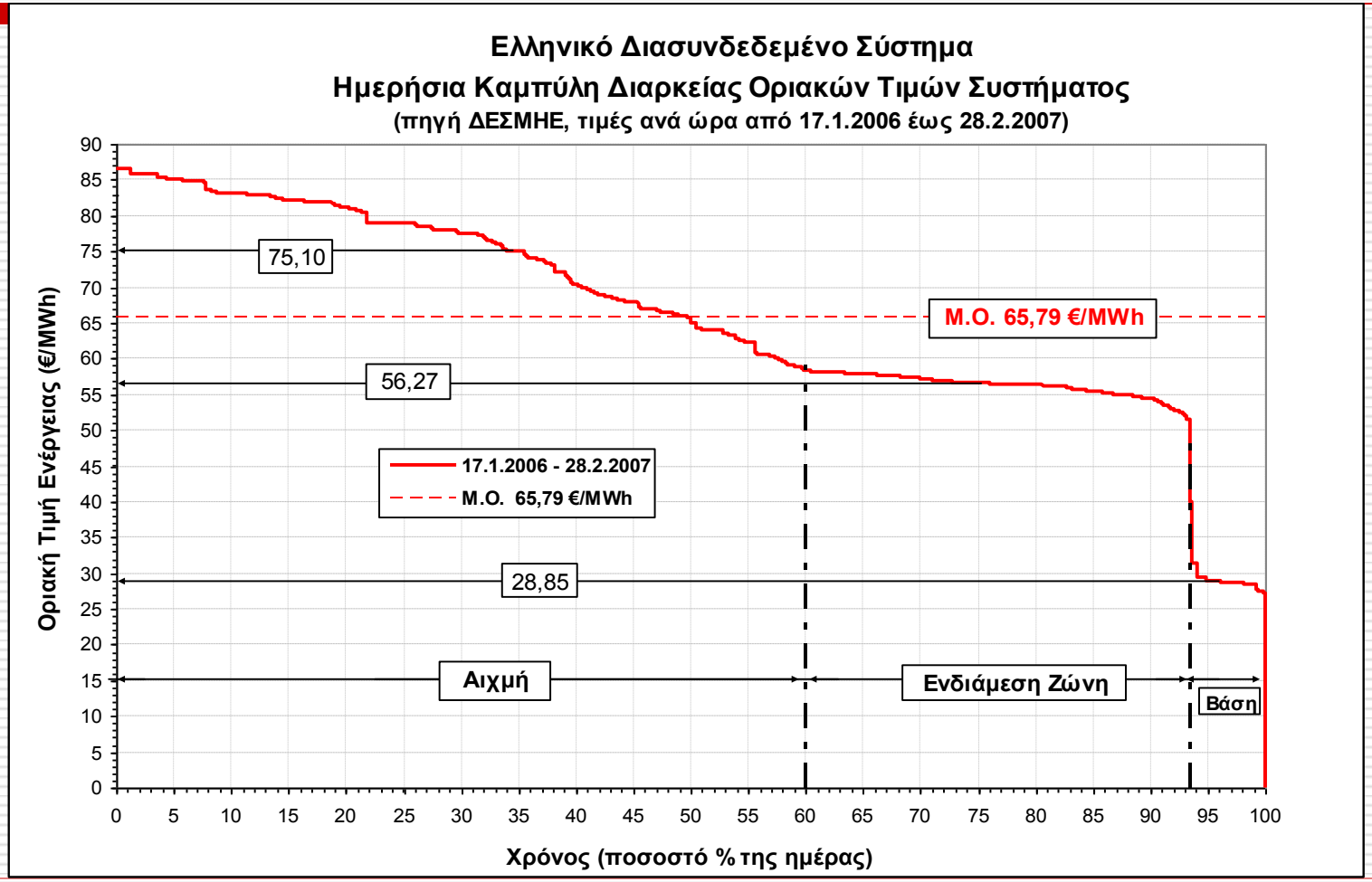
Βαθμιαία απαξίωσή τους τα τελευταία χρόνια

Αιτία οι απότομες αλλαγές στην μορφή της καμπύλης διαρκείας της Ο.Τ.Σ.

Οριακή Τιμή Συστήματος (μέχρι 16.01.2006)



Οριακή Τιμή Συστήματος (17.01.2006- 28.02.2007)



Στόχοι του Ερευνητικού Προγράμματος

- διερεύνηση της δυνατότητας προσθήκης συγκροτημάτων άντλησης-ταμίευσης-παραγωγής σε υπάρχοντες ταμιευτήρες Υδροηλεκτρικών Έργων ή σε υπάρχοντες ταμιευτήρες άλλων χρήσεων.

- κύριος στόχος η διευκόλυνση της μαζικής παραπέρα διείσδυσης Αιολικής Ενέργειας στο Ελληνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Βασικά αντικείμενα της μελέτης

- Δυνατότητα εγκατάστασης αναστρέψιμου

Για την κάθε επιμέρους εγκατάσταση:

- Βασική γενική διάταξη του έργου - σχέδια
- Εγκατεστημένη ισχύς
- Προμέτρηση - Προϋπολογισμός
- Χρονοδιάγραμμα κατασκευής
- Προκαταρκτική εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- Εκτίμηση των όποιων επιπτώσεων στην λειτουργία του υπάρχοντος έργου

Φάσεις του Ερευνητικού Προγράμματος

- **Φάση Α'**

  Υδροηλεκτρικά Έργα σε σειρά

- **Φάση Β'**

  Μεμονωμένα Υδροηλεκτρικά Έργα

- **Φάση Γ'**

  Λοιποί μεγάλοι ταμιευτήρες άλλων χρήσεων, σε συνδυασμό με δεύτερο άνω ή κάτω νέο ταμιευτήρα

Ταμιευτήρες στην Ελλάδα

(με Ύψος Φράγματος >15 m ή με Όγκο Ταμιευτήρα >3 hm^3)

- **145** στο σύνολο της χώρας
- **110** στην ηπειρωτική χώρα και τα διασυνδεδεμένα νησιά
- **36** με ταμιευτήρα >3 hm^3

ΛΙΜΝΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΘΗΣΑΥΡΟΥ

ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Ταξινόμηση των τριάντα έξι Ταμιευτήρων για Αντλητικά (1)

α) Από πλευράς φάσης του έργου

- **23** έργα είναι σε λειτουργία (u)
- **13** έργα είναι σε κατασκευή (c)

β) Από πλευράς ιδιοκτησίας του έργου

- **18** έργα ανήκουν στη ΔΕΗ (16 ΥΗΕ, 2 ψύξης)
- **6** έργα ανήκουν στο ΥΠΕΧΩΔΕ
- **5** έργα ανήκουν στο ΥΠΑΓΑΝ
- **3** έργα ανήκουν στην ΕΥΔΑΠ
- **2** έργα ανήκουν σε Περιφέρειες
- **2** έργα ανήκουν σε Νομαρχίες

Ταξινόμηση των τριάντα έξι Ταμιευτήρων για Αντλητικά (2)

γ) Από πλευράς χρήσης του έργου

γ_1) Απλής σκοπιμότητας

- **9** έργα είναι μόνο για άρδευση (I)
- **6** έργα είναι μόνο για υδροηλεκτρική παραγωγή (H)
- **4** έργα είναι μόνο για ύδρευση (S)

γ_2) Πολλαπλής σκοπιμότητας

- **6** έργα είναι για HI
- **4** έργα είναι για SI
- **3** έργα είναι για HIS
- **1** έργο είναι για HI και αντιπλημμυρικό (C)
- **1** έργο είναι για HIS και αντιπλημμυρικό (C)
- **2** έργα είναι για HIS και αναψυχή (R)

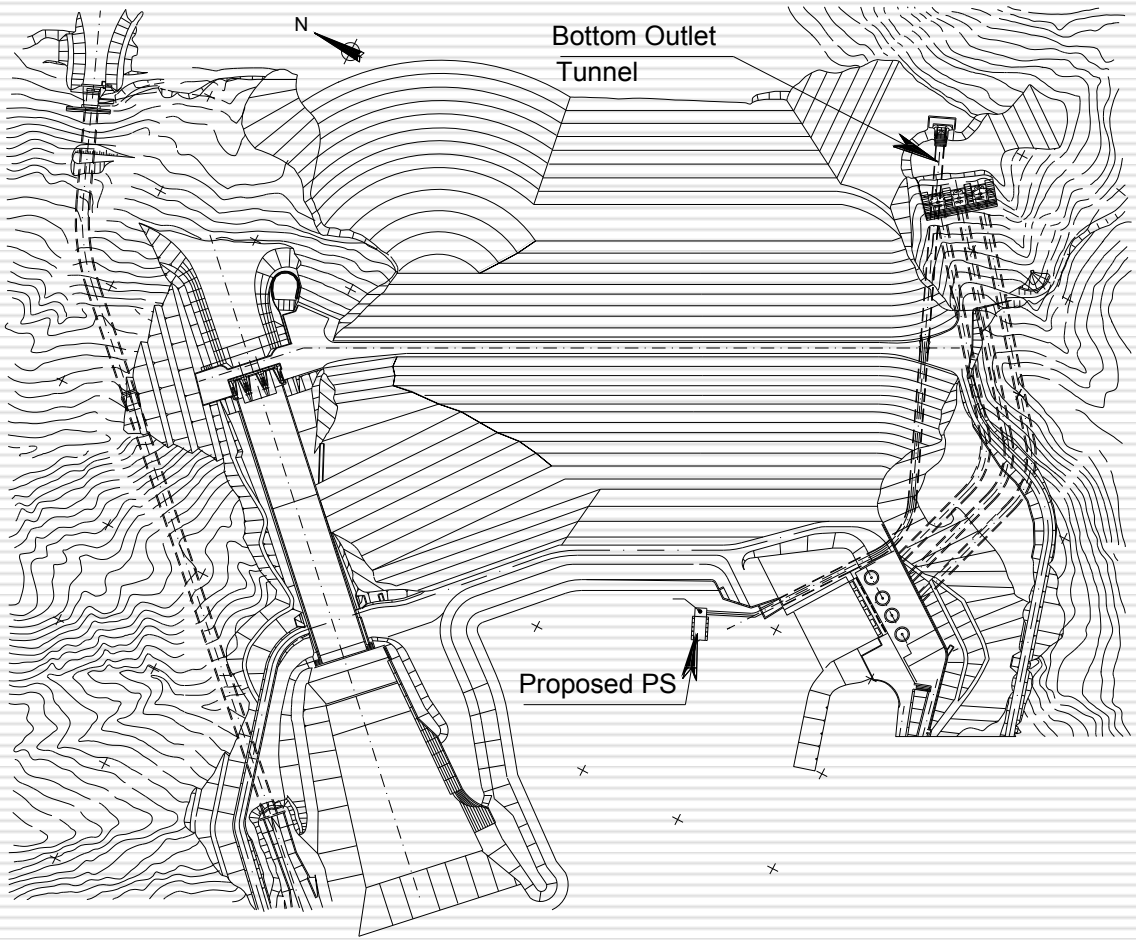
Φάση Α΄:
Υδροηλεκτρικά Έργα σε σειρά

- Αξιοποίηση ήδη λειτουργούντων ΥΗΕ
- Υπάρχουν ο άνω και ο κάτω ταμιευτήρας
- Υπάρχει ο σταθμός παραγωγής
- Αξιοποίηση εκκενωτών πυθμένα, αγωγών προσαγωγής και υδροληψιών
- Ελαχιστοποίηση παρεμβάσεων
- Κατασκευή αντλιοστασίου μόνο
- Βελτίωση λειτουργίας υπαρχόντων έργων

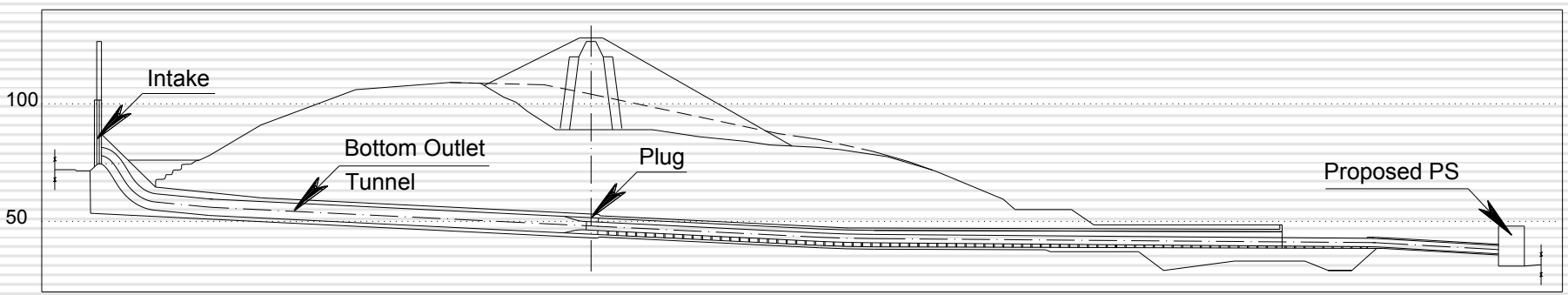
Φάση Α΄:
Υδροηλεκτρικά Έργα σε σειρά

- **Επτά ζεύγη Υδροηλεκτρικών σε σειρά**
  - Πουρνάρι ΙΙ-Πουρνάρι
  - Στράτος-Καστράκι
  - Καστράκι-Κρεμαστά
  - Αγ. Βαρβάρα-Ασώματα
  - Ασώματα-Σφηκιά
  - Τέμενος-Πλατανόβρυση
  - Πλατανόβρυση-Θησαυρός

Προσθήκη Αντλιοστασίου Πουρνάρι ΙΙ - Πουρνάρι (κάτοψη)



Προσθήκη Αντλιοστασίου Πουρνάρι ΙΙ - Πουρνάρι (τομή)



Στοιχεία Αντλιοστασίων
Φάση Α΄: Υδροηλεκτρικά Έργα σε σειρά

ΑΝΑΝΤΗ ΕΡΓΟ	ΙΣΧΥΣ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟΥ (MW)	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΝΤΛΗΤΙΚΟΥ (€)	ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ KW ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (€)
ΠΟΥΡΝΑΡΙ	40,2	18.860.000	469
ΚΡΕΜΑΣΤΑ	135,3	60.330.000	446
ΚΑΣΤΡΑΚΙ	116,6	46.550.000	399
ΣΦΗΚΙΑ	22,4	10.430.000	466
ΑΣΩΜΑΤΑ	11,0	13.260.000	1.205
ΘΗΣΑΥΡΟΣ	50,4	38.720.000	768
ΠΛΑΤΑΝΟΒΡΥΣΗ	21,8	17.270.000	792
ΣΥΝΟΛΑ	397,7	205.420.000	516,5

Συμπεράσματα (1)
Φάση Α΄: Υδροηλεκτρικά Έργα σε σειρά

Μπορούν να εγκατασταθούν:

- επτά (7) αντλητικά συγκροτήματα
- συνολικής εγκατεστημένης ισχύος περί τα **400 MW**
- με το μέσο κόστος της εγκατεστημένης ισχύος να διαμορφώνεται περί τα **520.000 €/MW**

Συμπεράσματα (2)

Φάση Α΄: Υδροηλεκτρικά Έργα σε σειρά

- Το σύνολό τους τα επτά αντλιοστάσια χωροθετούνται σε άμεση γειτνίαση ή στην ευρύτερη περιοχή των ήδη σε λειτουργία υδροηλεκτρικών
- Οι καταθλιπτικοί αγωγοί άντλησης και οι κατασκευές εκφόρτισης, είναι στο μεγαλύτερο τμήμα τους υπόγειοι και αξιοποιούν ήδη υπάρχουσες κατασκευές (εκκενωτές πυθμένα, σήραγγες εκτροπής και υδροληψίες)

Συμπεράσματα (3)

Φάση Α΄: Υδροηλεκτρικά Έργα σε σειρά

- Δεν θα υπάρξουν κατά την κατασκευή, νέες πρόσθετες σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις πέραν αυτών που αντιμετωπίστηκαν κατά την κατασκευή των ήδη σε λειτουργία έργων
- Η προσθήκη των παραπάνω αντλητικών συγκροτημάτων όχι μόνον δεν δυσκολεύουν την λειτουργία των υπαρχόντων υδροηλεκτρικών της ΔΕΗ, αλλά σε μερικές περιπτώσεις βελτιώνουν σημαντικά και την λειτουργικότητα υφιστάμενων κατασκευών τους

Συμπεράσματα (4)

Φάση Α΄: Υδροηλεκτρικά Έργα σε σειρά

- Στους εκκενωτές πυθμένα των ΥΗΕ Πουρναρίου, Ασωμάτων και Θησαυρού μεταφέρεται ο μηχανισμός ελέγχου της ροής τους σε ανοιχτό χώρο εκτός των σηράγγων
- Κατά συνέπεια αναμένεται να υπάρξει και πρόσθετο, πέραν του καθαρού οικονομικού, ενδιαφέρον της ΔΕΗ για την υλοποίηση των υπόψη αντλητικών συγκροτημάτων

Φάση Β’:
Μεμονωμένα ΥΗΕ (1)

- Αξιοποίηση ενός ήδη λειτουργούντος ταμιευτήρα ως κάτω ταμιευτήρα άντλησης
- Νέος άνω ταμιευτήρας ή δεξαμενή
- Δεν χρησιμοποιείται υπάρχων σταθμός
- Σημαντικές παρεμβάσεις
- Κατασκευή αναστρέψιμου έργου
- Ελάχιστη επίδραση στην λειτουργία του υπάρχοντος έργου

Φάση Β’:
Μεμονωμένα ΥΗΕ (2)

1. Έργα με άνω Ταμιευτήρα

- Επιδιωκόμενος ωφέλιμος όγκος ταμιευτήρα από $2x10^6$ έως $5x10^6$ m^3
- Ύψος πτώσεως 200-300 m
- 12ωρη αντλητική λειτουργία, με βάση την οποία καθορίζεται η παροχή άντλησης
- Φράγμα από σκληρό επίχωμα

Φάση Β’:
Μεμονωμένα ΥΗΕ (3)

2. Έργα με άνω Δεξαμενή

- Επιδιωκόμενος ωφέλιμος όγκος δεξαμενής από $200x10^3$ m^3 έως $500x10^3$ m^3
- Ύψος πτώσεως 300-500 m
- 6ωρη αντλητική λειτουργία, με βάση την οποία καθορίζεται η παροχή άντλησης
- Ύψος περιμ. τοίχου δεξαμενής 6,0-8,0 m
- Διπλός αγωγός προσαγωγής για δυνατότη-τα ταυτόχρονης άντλησης και παραγωγής

Φάση Β’:
Μεμονωμένα ΥΗΕ (4)

3. Έργα με άνω Ταμιευτήρα ή άνω Δεξαμενή

- Σταθμός παραγωγής υπόγειος με βύθιση άξονα μονάδων ~20 m κάτω από την ΕΣΛ του κάτω ταμιευτήρα
- Κατασκευαστικοί λόγοι επιβάλλουν επιλογή κάτω ταμιευτήρων με μικρή διακύμανση στάθμης (6 - 7 m), αλλά και με σημαντικό ωφέλιμο όγκο

Φάση Β’:
Μεμονωμένα ΥΗΕ (5)

Έργα με κάτω Ταμιευτήρα που έχει μικρή διακύμανση στάθμης

- Άραχθος: Πουρνάρι ΙΙ
- Αχελώος: Καστράκι - Στράτος
- Αλιάκμονας: Αγ. Βαρβάρα - Ασώματα - Σφηκιά
- Νέστος: Τέμενος - Πλατανόβρυση

Φάση Β’:
Μεμονωμένα ΥΗΕ (το Καστράκι)

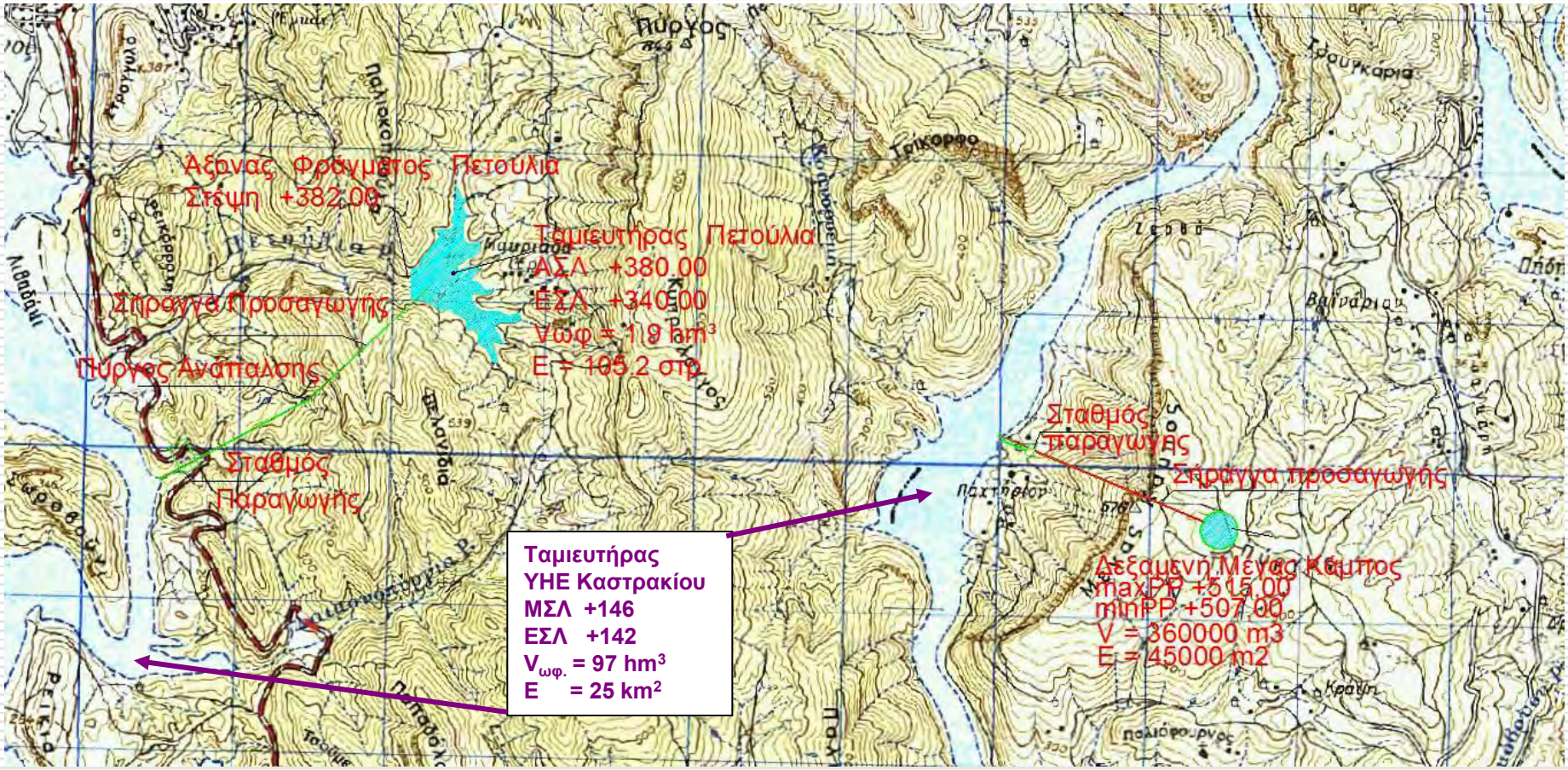
- Ο ταμιευτήρας Καστρακίου είχε αρχικά σχεδιαστεί και κατασκευαστεί με διακύμανση στάθμης μόνο 2,2 m και ωφέλιμο όγκο $53x10^6$ m^3
- Με την προσθήκη, που ήδη υλοποιήθηκε, ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων στον υπερχειλιστή, ύψους 1,8 m, έχει διακύμανση στάθμης 4,0 m και ωφέλιμο όγκο $97x10^6$ m^3 (αύξηση 83%)
- Άρα μπορεί να υποστηρίξει πολλά αναστρέψιμα (προτείνονται εδώ επτά, 4 με ταμιευτήρα και 3 με δεξαμενή, συνολ. ωφέλιμου όγκου $12,2x10^6$ m^3)

Φάση Β΄:
Μεμονωμένα ΥΗΕ (το Πουρνάρι ΙΙ)

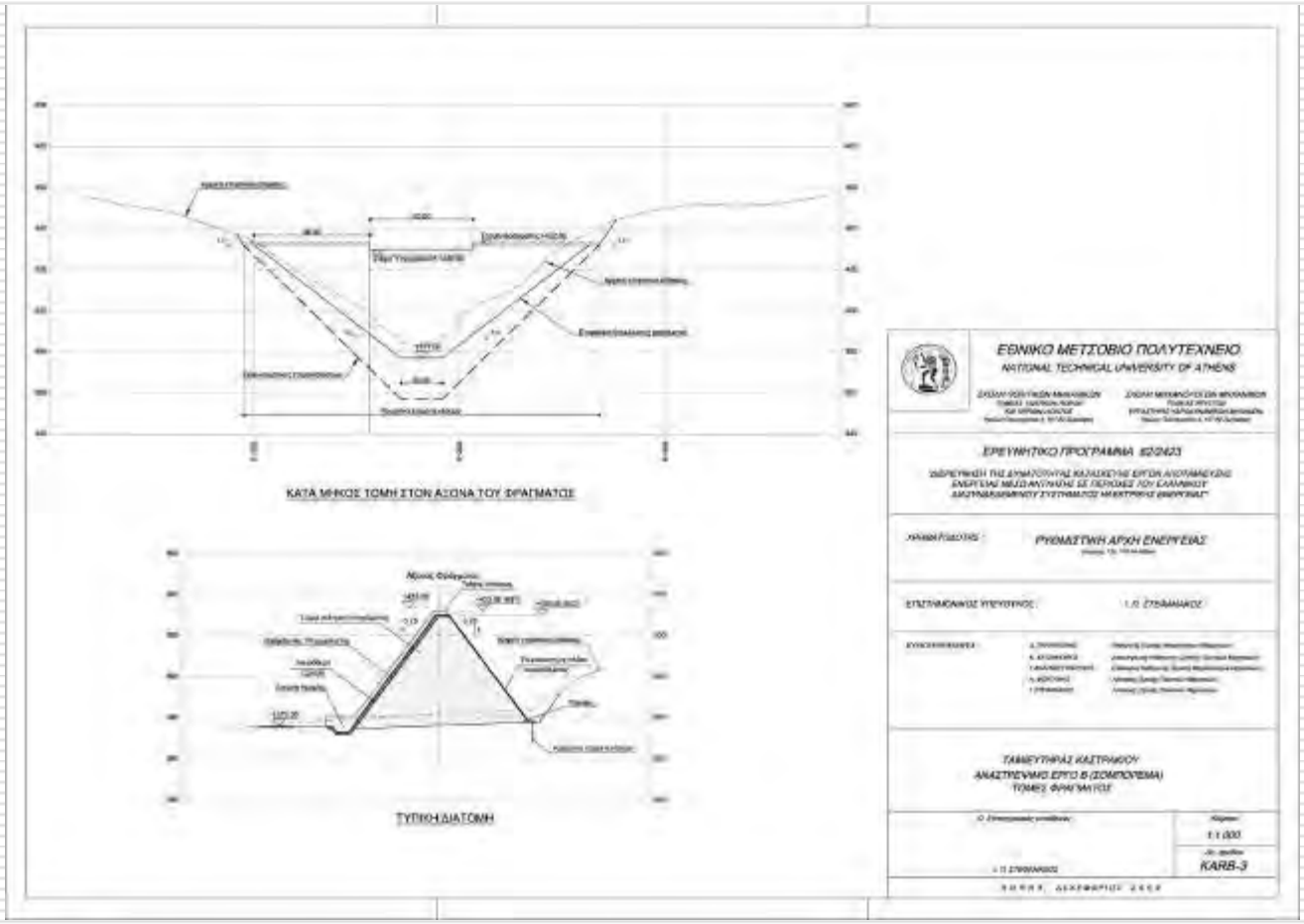
- Ο ταμιευτήρας του Πουρναρίου ΙΙ έχει σχεδιαστεί με διακύμανση στάθμης 6,0 m και ωφέλιμο όγκο περίπου $4x10^6$ m^3
- Με προσθήκη ανατρεπομένων θυροφραγμάτων στον υπερχειλιστή, ύψους 2,0 m, θα έχει διακύμανση στάθμης 8,0 m και ωφέλιμο όγκο $5,3x10^6$ m^3 (αύξηση 33%)
- Άρα θα μπορεί να υποστηρίξει αναστρέψιμα (προτείνονται εδώ δύο, 1 με ταμιετήρα και 1 με δεξαμενή, συν. ωφέλιμου όγκου $2,8x10^6$ m^3)

Φάση Β΄: Μεμονωμένα ΥΗΕ

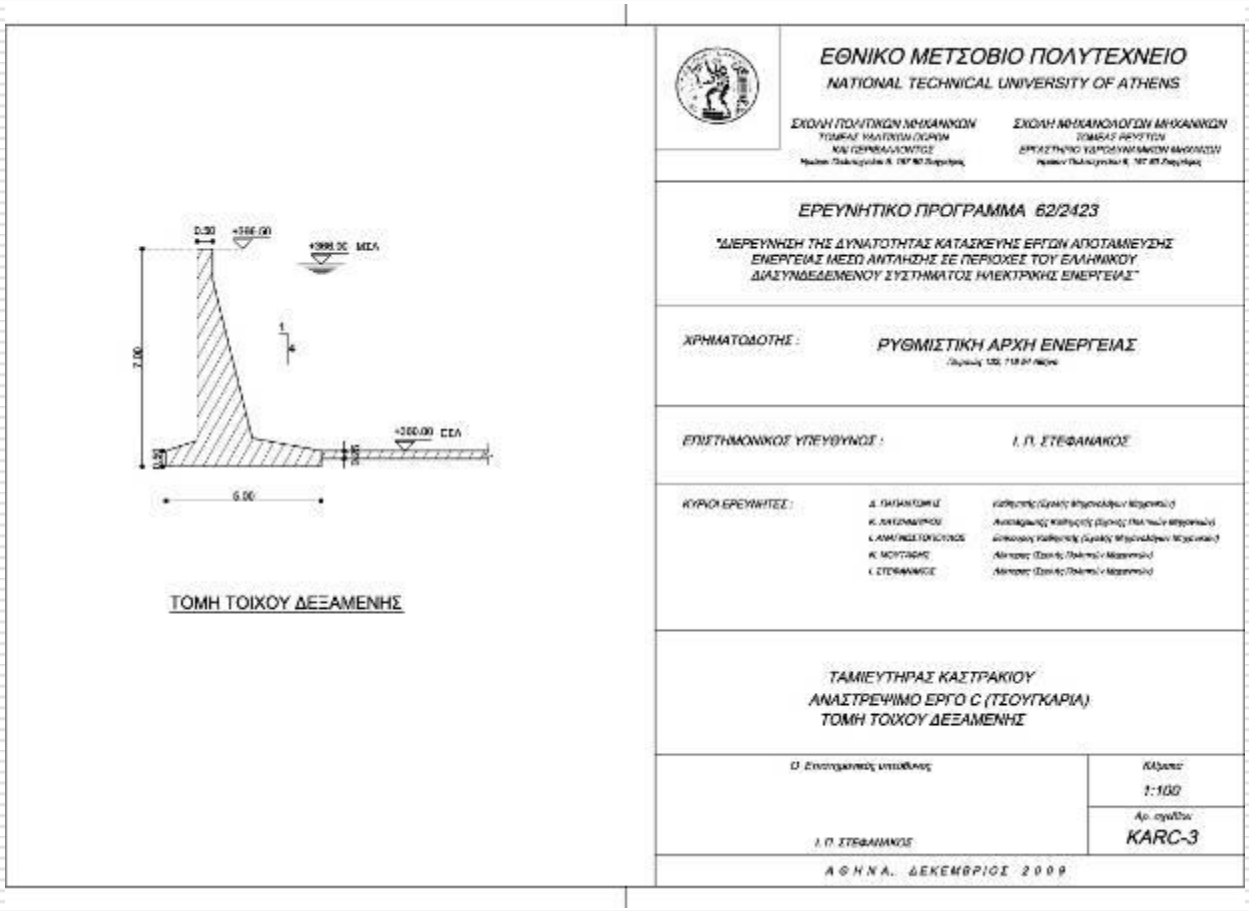
Δύο από από τα αναστρέψιμα στον π. Αχελώο



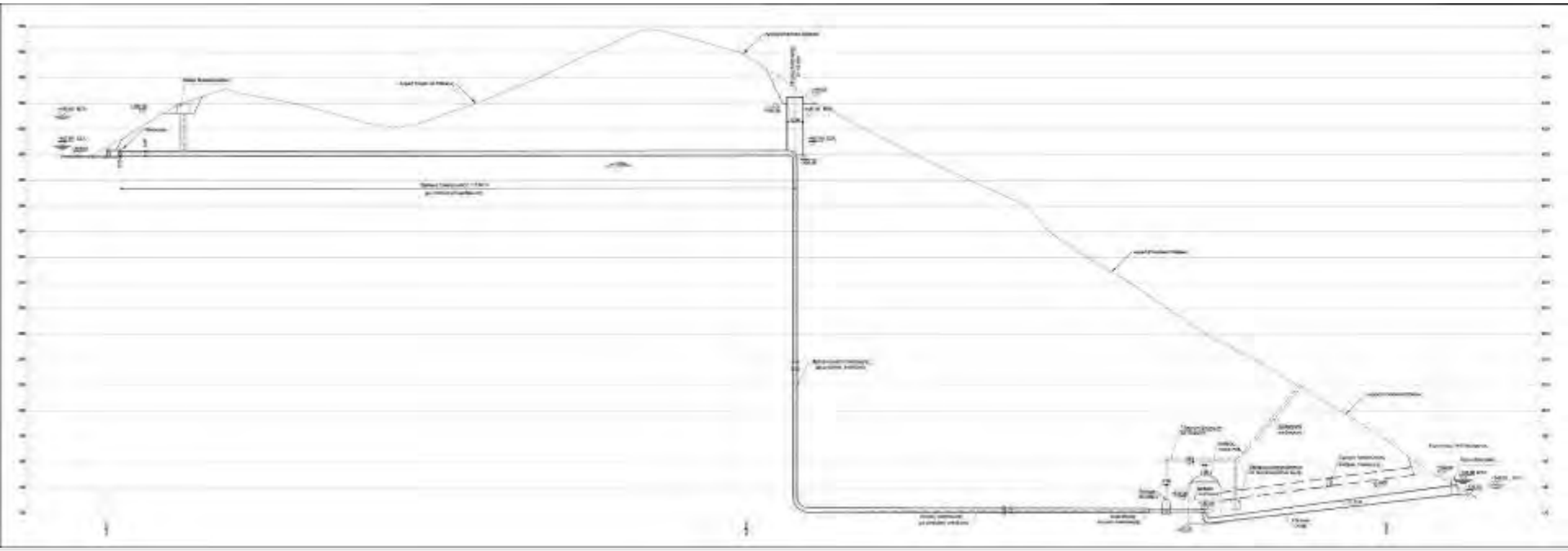
Φάση Β΄: Μεμονωμένα ΥΗΕ
Άνω ταμιευτήρας με φράγμα



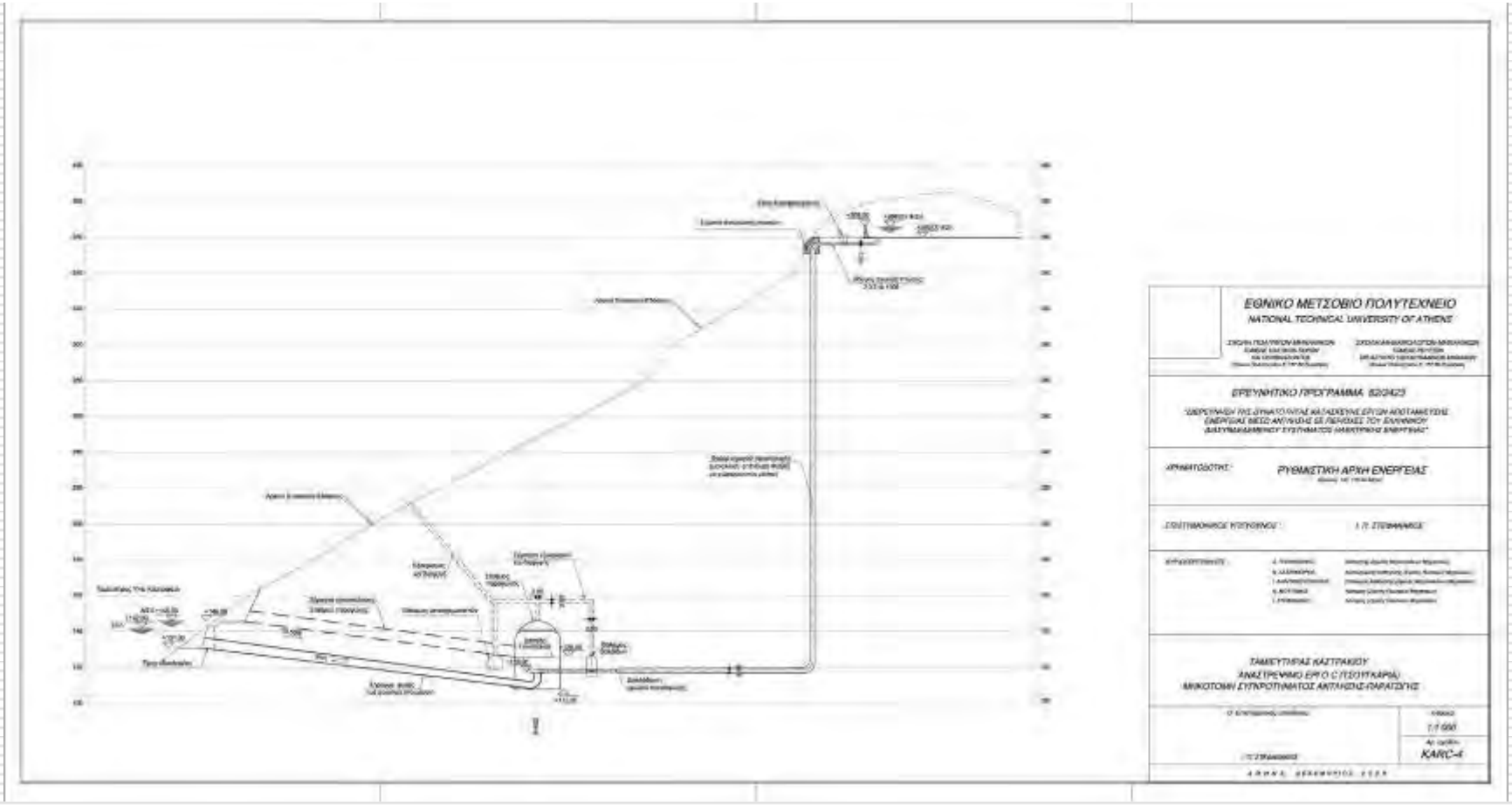
Φάση Β΄: Μεμονωμένα ΥΗΕ
Άνω δεξαμενή με περιμετρικό τοίχο



Φάση Β΄: Μεμονωμένα ΥΗΕ
Μηκοτομή Συστήματος Παραγωγής



Φάση Β΄: Μεμονωμένα ΥΗΕ
Μηκοτομή Συστήματος Παραγωγής



Στοιχεία Αναστρεψίμων
Φάση Β': Μεμονωμένα ΥΗΕ

ΝΕΑ ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΑ ΣΕ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΟΥΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

α/α	Υπάρχον Κατάντη Έργο	Ονομασία Αναστρέψιμου Έργου	Κωδική Ονομασία Αναστρέψιμου Έργου	Είδος Άνω Ταμιευτήρα	$V_{ωφ}$ ($x10^6 m^3$)	$H_{max.}$ γεωμετρ. (m)	Q (m^3/s)	Ισχύς (άντλησης) (MW)	Συνολικό Κόστος ($x10^6$ €)	Μοναδιαίο Κόστος (€/kW)
1	**Καστράκι**	Αλευράδα	KARA	Ταμιευτήρας	5,000	198	115	**272,0**	176,4	**649**
2	"	Σομπόρεμα	KARB	Ταμιευτήρας	2,000	288	46	**153,0**	106,1	**693**
3	"	Τσουγκάρια	KARC	Δεξαμενή	0,420	224	20	**52,0**	42,6	**819**
4	"	Φίλος	KARD	Δεξαμενή	0,488	484	23	**131,0**	90,7	**692**
5	"	Δαιμονοπύργια	KARE	Ταμιευτήρας	1,980	226	46	**124,0**	89,2	**719**
6	"	Πετούλια	KARF	Ταμιευτήρας	1,900	238	44	**124,0**	97,3	**785**
7	"	Μέγας Κάμπος	KARG	Δεξαμενή	0,360	373	17	**74,0**	51,7	**699**
8	**Στράτος**	Σιόλου	STRA	Δεξαμενή	0,240	241	11	**32,0**	26,6	**831**
9	**Σφηκιά**	Μικρή Σάντα	SFRA	Δεξαμενή	0,330	504	15	**89,0**	65,0	**730**
10	"	Αγ. Παρασκευή	SFRB	Δεξαμενή	0,366	434	17	**84,0**	60,0	**714**
11	**Ασώματα**	Πολύδενδρο	ASRA	Δεξαμενή	0,465	369	22	**92,0**	65,0	**707**
12	**Πουρνάρι ΙΙ**	Συκαμινέα	PIIRA	Ταμιευτήρας	2,000	150	46	**85,0**	62,0	**729**
13	"	Γραμμενίτσα	PIIRB	Δεξαμενή	0,783	156	37	**68,0**	55,7	**819**
14	**Πλατανόβρυση**	Λεπτοκαρυά	PLRA	Δεξαμενή	0,121	323	5,61	**20,4**	21,0	**1031**
15	**Τέμενος**	Άρπα	TERA	Δεξαμενή	0,110	203	5,14	**11,8**	15,1	**1285**
							Σύνολα	**1412**	1024	**725**

Συμπεράσματα

Φάση Β΄: Μεμονωμένα Υδροηλεκτρικά

Μπορούν να εγκατασταθούν:

- Δεκαπέντε (15) αναστρέψιμα συγκροτήματα
- συνολικής εγκατεστημένης ισχύος περί τα **1410 MW**
- με το μέσο κόστος της εγκατεστημένης ισχύος να διαμορφώνεται περί τα **725.000 €/MW**

Φάση Γ’:
Μεμονωμένοι λοιποί ταμιευτήρες

- Αξιοποίηση ενός ήδη λειτουργούντος ταμιευτήρα ως κάτω ταμιευτήρα άντλησης
- Νέος άνω ταμιευτήρας ή δεξαμενή
- Λοιπές παραδοχές ως Φάση Β’
- Σημαντικές παρεμβάσεις
- Κατασκευή αναστρέψιμου έργου
- Ελάχιστη επίδραση στην λειτουργία του υπάρχοντος έργου

Στοιχεία Αναστρεψίμων

Φάση Γ': Μεμονωμένοι λοιποί ταμιευτήρες

ΝΕΑ ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΑ ΕΡΓΑ ΣΤΟΥΣ ΛΟΙΠΟΥΣ ΜΕΓΑΛΟΥΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ

α/α	Υπάρχον Κατάντη Έργο	Ονομασία Αναστρέψιμου Έργου	Κωδική Ονομασία Αναστρέψιμου Έργου	Είδος Άνω Ταμιευτήρα	$V_{ωφ}$ ($x10^6 m^3$)	$H_{max.}$ γεωμετρ. (m)	Q (m^3/s)	Ισχύς (άντλησης) (MW)	Συνολικό Κόστος ($x10^6$ €)	Μοναδιαίο Κόστος (€/kW)
1	**Αγιονέρι**	Μαγούλα	AGRA	Δεξαμενή	0,240	89,00	11,1	**11,4**	9,8	**864**
2	**Αγ. Βαρβάρα**	Γερόγιαννης	ABRA	Δεξαμενή	0,120	207,40	5,6	**13,0**	19,7	**1515**
3	**"**	Πέτρα Παπποΰ	ABRB	Ταμιευτήρας	1,150	178,40	26,6	**54,5**	56,6	**1039**
4	**Κάρλα**	Κορασσού	KRRA	Ταμιευτήρας	0,900	337,60	20,8	**79,9**	61,3	**768**
5	**"**	Κορυφή	KRRB	Δεξαμενή	0,598	268,60	27,7	**85,0**	66,6	**783**
6	**Τάκα**	Κάνδαλος	TARA	Δεξαμενή	0,318	179,00	15,0	**31,9**	29,7	**930**
							Σύνολα	**275,7**	243,8	**884**

Συμπεράσματα

Φάση Γ': Μεμονωμένοι λοιποί ταμιευτήρες

Μπορούν να εγκατασταθούν:

- Έξι (6) αναστρέψιμα συγκροτήματα
- συνολικής εγκατεστημένης ισχύος περί τα **275 MW**
- με το μέσο κόστος της εγκατεστημέ-νης ισχύος να διαμορφώνεται περί τα **885.000 €/MW**

Τελικά Συμπεράσματα
Υδροηλεκτρικοί και Λοιποί
Ταμιευτήρες άλλων χρήσεων

Μπορούν να εγκατασταθούν:

- Είκοσι οκτώ (28) αναστρέψιμα & αντλητικά συγκροτήματα
- συνολικής εγκατεστημένης ισχύος περί τα **2.100 MW**
- με το μέσο κόστος της εγκατεστημέ-νης ισχύος να διαμορφώνεται περί τα **700.000 €/MW**

Ευχαριστώ

Ι.Π. Στεφανάκος

Δρ. Πολιτικός μηχανικός, Λέκτορας ΕΜΠ