



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Υδατ. Πόρων & Περιβάλλοντος
Ολ. Θέμα Υδραυλικού Σχεδιασμού

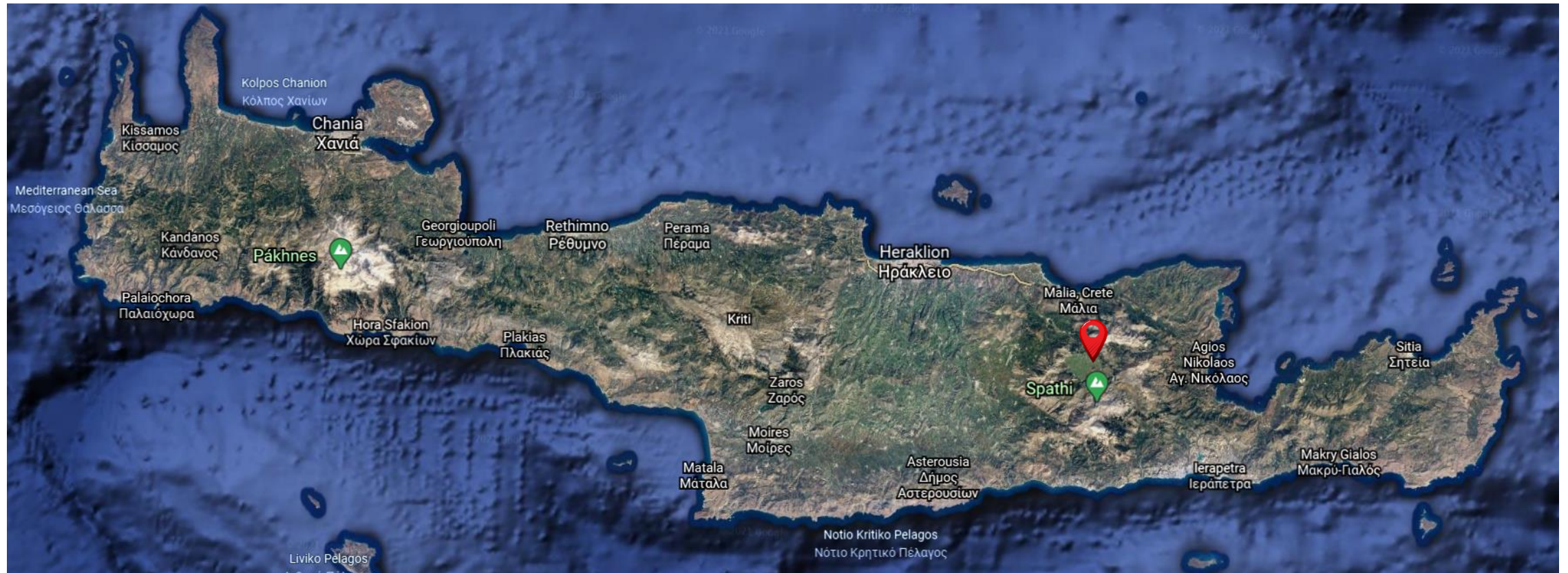


Ολοκληρωμένη πρόταση Υβριδικού Συστήματος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην περιοχή των Οροπεδίων Λασιθίου και Καθαρού

Μαρία - Κλαίρη Ζαβραδινού · Χριστίνα Καραϊσά · Αριστοκλής Λαγός · Ευστράτιος Μπουκογιάννης



Θέση έργων στην Κρήτη



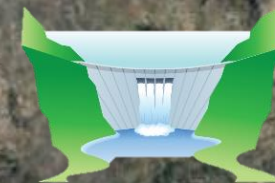
2,5 km



Οροπέδιο Λασιθίου
Μέσο Υψόμετρο 840 m



Οροπέδιο Καθαρού
Μέσο Υψόμετρο 1150 m



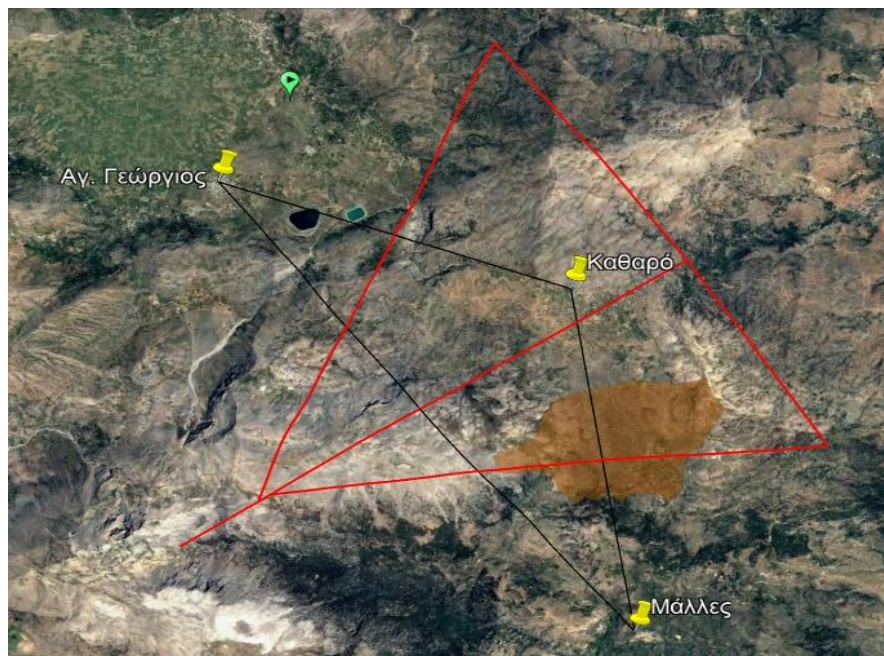
Σκοπός του Έργου

- Προστασία περιβάλλοντος
- Κάλυψη ενεργειακών αναγκών
- Αντιμετώπιση προβλημάτων ύδρευσης



Υδρολογική Μελέτη Ταμιευτήρα

- Δεδομένα από 7 σταθμούς
- Συμπλήρωση σημειακών δειγμάτων από το Καθαρό (με γραμμική παλινδρόμηση)
- Πολύγωνα Thiessen → Επιλογή 2 σταθμών



Υψομετρική Αναγωγή	
Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm)	945
Μέσο υψόμετρο σταθμών Z_r (m)	940
Μέσο υψόμετρο λεκάνης Z_λ (m)	1155

Συντελεστές Thiessen	
Οροπέδιο Λασιθίου	0
Καθαρό	0,625
Μάλλες	0,375

Υδρολογική Μελέτη Ταμιευτήρα

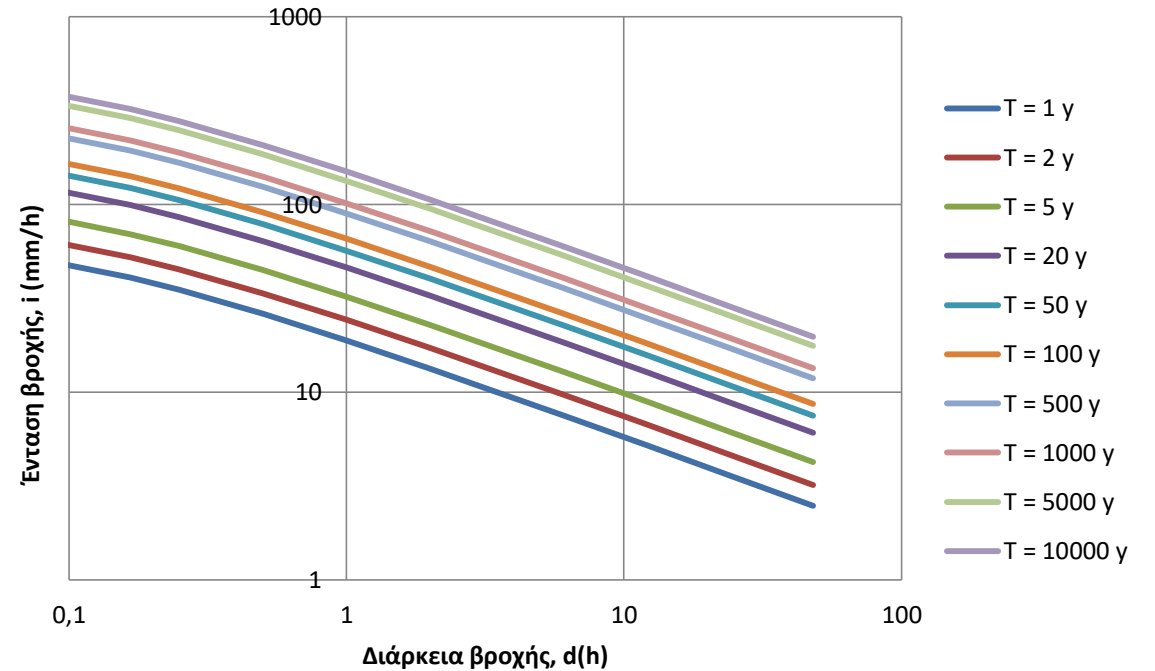
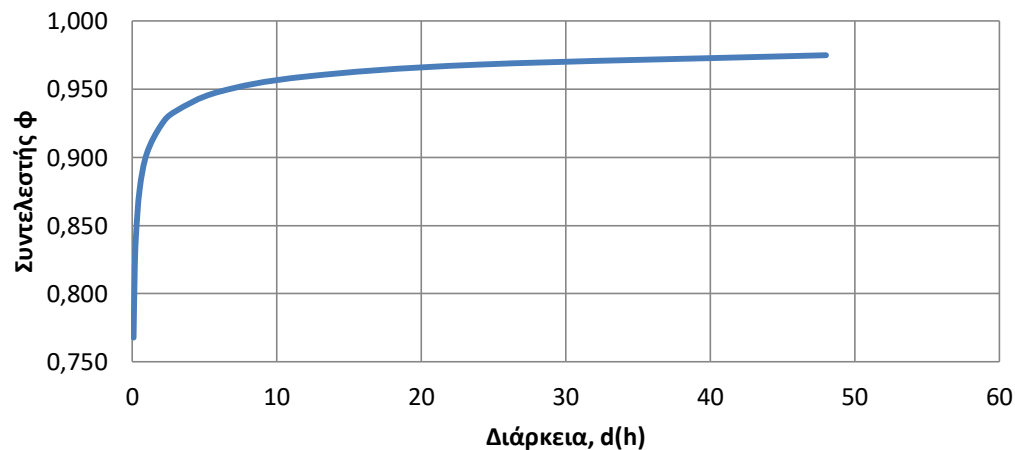
Όμβριες καμπύλες

$$i(d, T) = \frac{67,17(T^{0,127} - 0,68)}{(d + 0,05)^{0,55}}$$

Αρχική έκφραση ομβρίων καμπυλών

Παράμετρος	Τιμή
κ	0,127
λ (mm)	8,53
ψ	2,52
λ' (mm)	67,17
ψ'	-0,68
θ(h)	0,05
η	0,55

Παράμετροι ομβρίων καμπυλών



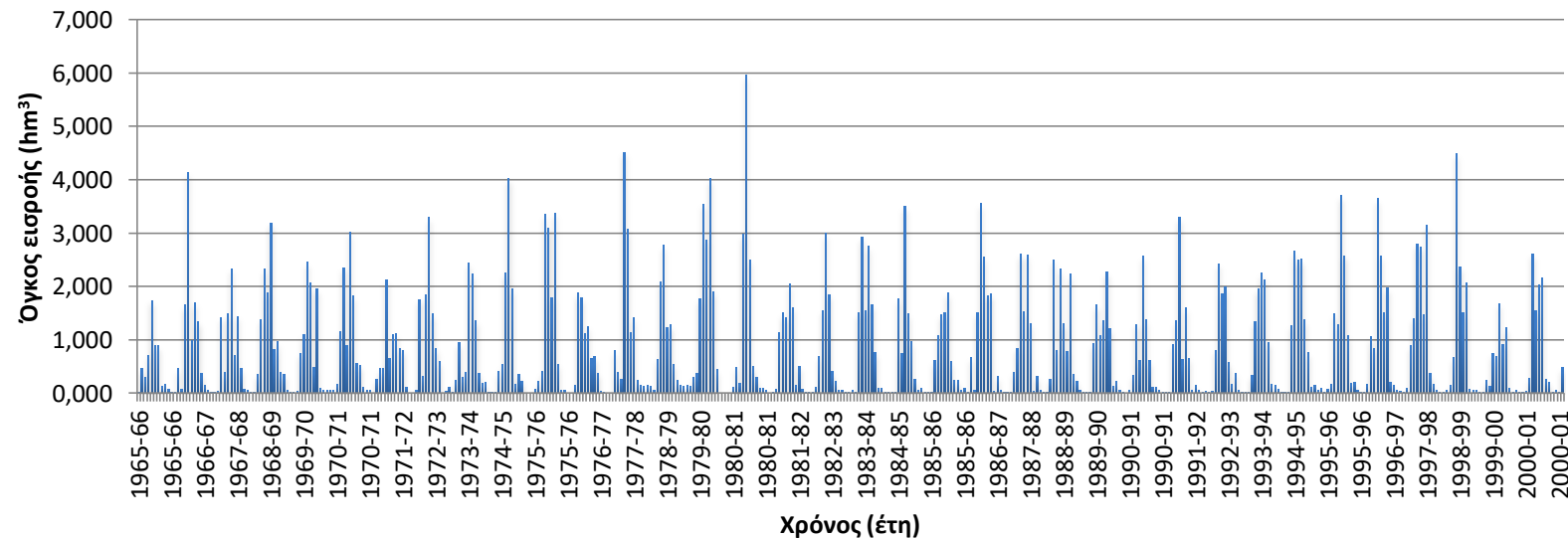
- Σύγκριση με παραμέτρους ΥΠΕΚΑ → Πρακτικά ταυτίζονται
- Σύγκριση με Αθήνα → μεγάλης έντασης βροχές στο Καθαρό σε σχέση με της Αθήνας

Υδρολογική Μελέτη Ταμιευτήρα

Μετεωρολογικά Χαρακτηριστικά – Υπολογισμός Εισροής

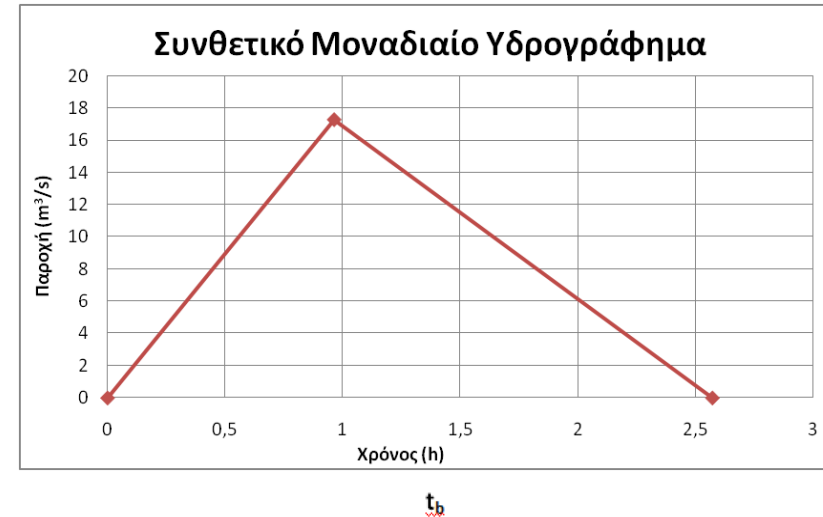
- Λεκάνη απορροής = 8 km²
- Υπόγειες διαφυγές = 5% όγκου βροχής
- Συνολικός όγκος εισροής (+τάφροι συλλογής)

Μέση θερμοκρασία (°C)	10
Μέση ταχύτητα ανέμου (m/s) [2 m]	2,9
Μέση εξατμοδιαπνοή (mm)	109



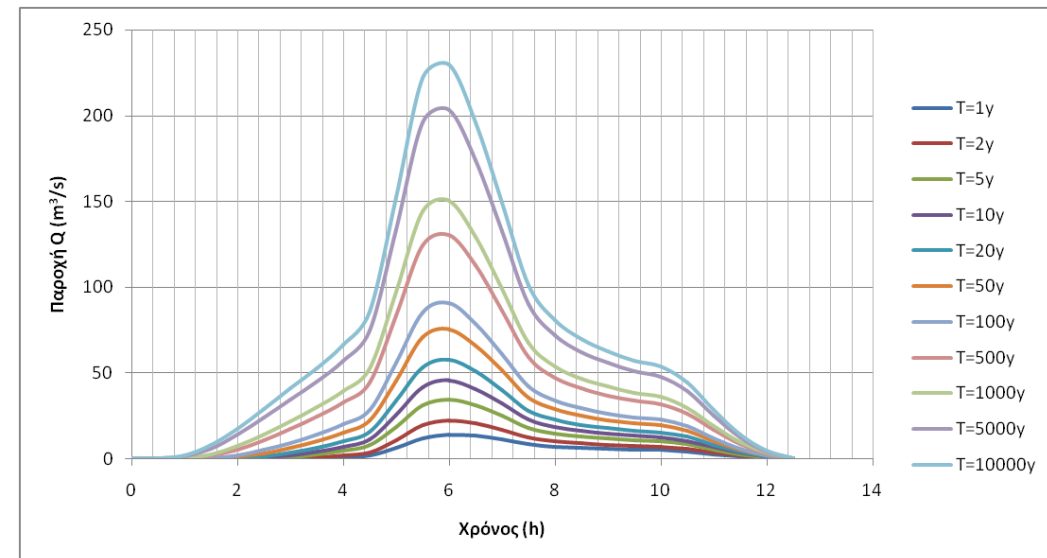
Υδρολογική Μελέτη Ταμιευτήρα

Μοναδιαίο Υδρογράφημα	
Χρόνος συγκέντρωσης t_c (h)	1,47
Χρόνος ανόδου t_p (h)	0,96
Χρόνος βάσης t_b (h)	2,57
Χρόνος υστέρησης t_l (h)	0,88
Παροχή αιχμής (m^3/s)	17,29

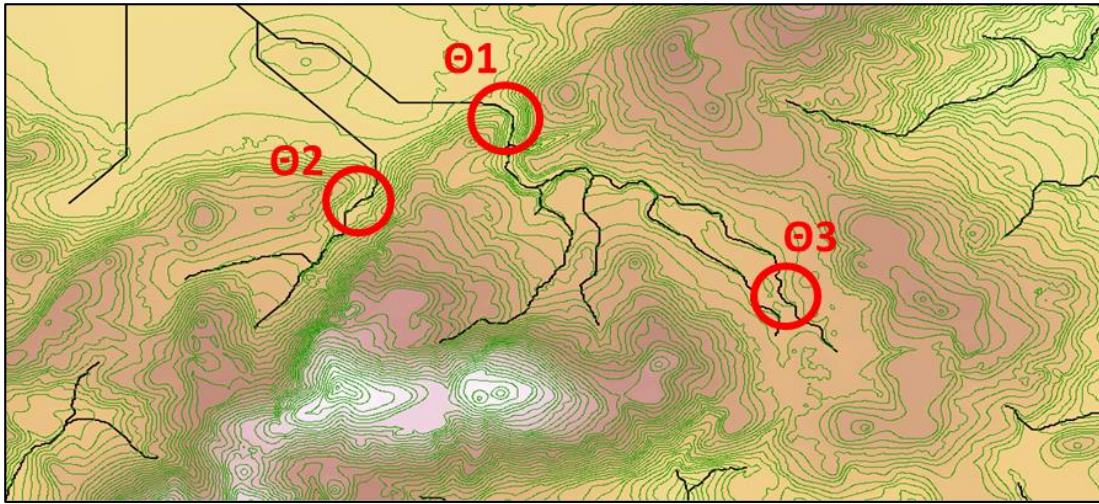


Μέθοδος SCS ➡️ Αριθμός CN ➡️ Παράμετρος S ➡️ Ενεργό ύψος βροχής

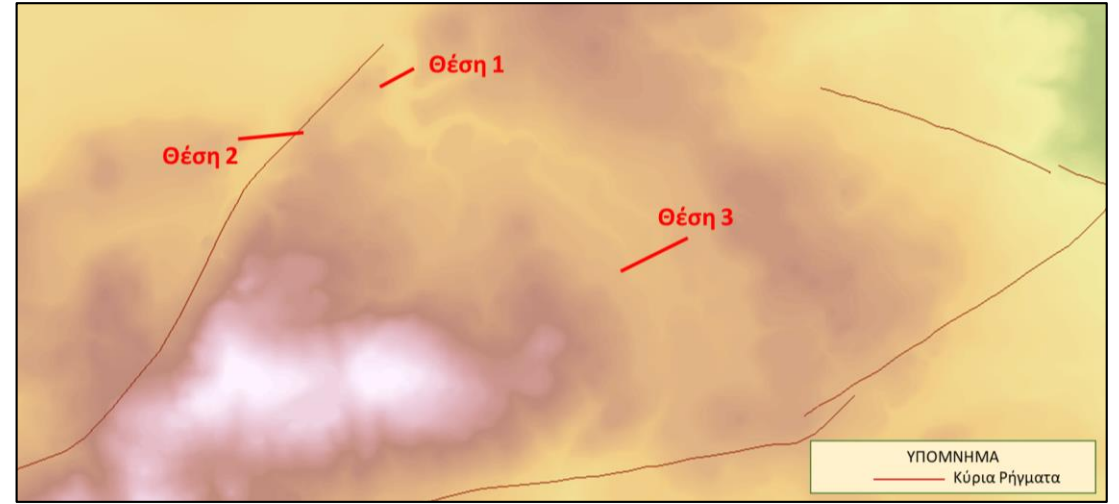
Μέθοδος Εναλλασσόμενων blocks	
Διάρκεια βροχής, D (h)	10
Χρονικό βήμα, d (h)	0,5
Αριθμός καμπύλης απωλειών CN (mm)	84
Παράμετρος S (mm)	48,38



Επιλογή θέσης του άξονα του φράγματος



Χάρτης υδατορεμάτων

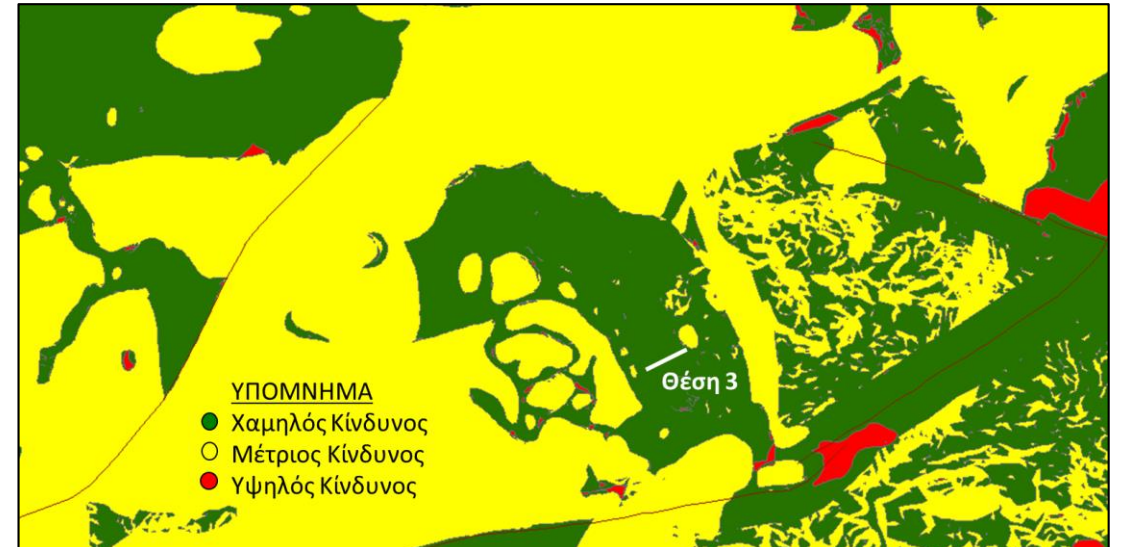


Χάρτης ενεργών σεισμικών ρηγμάτων



9/3/2021

Χάρτης γεωλογικών σχηματισμών

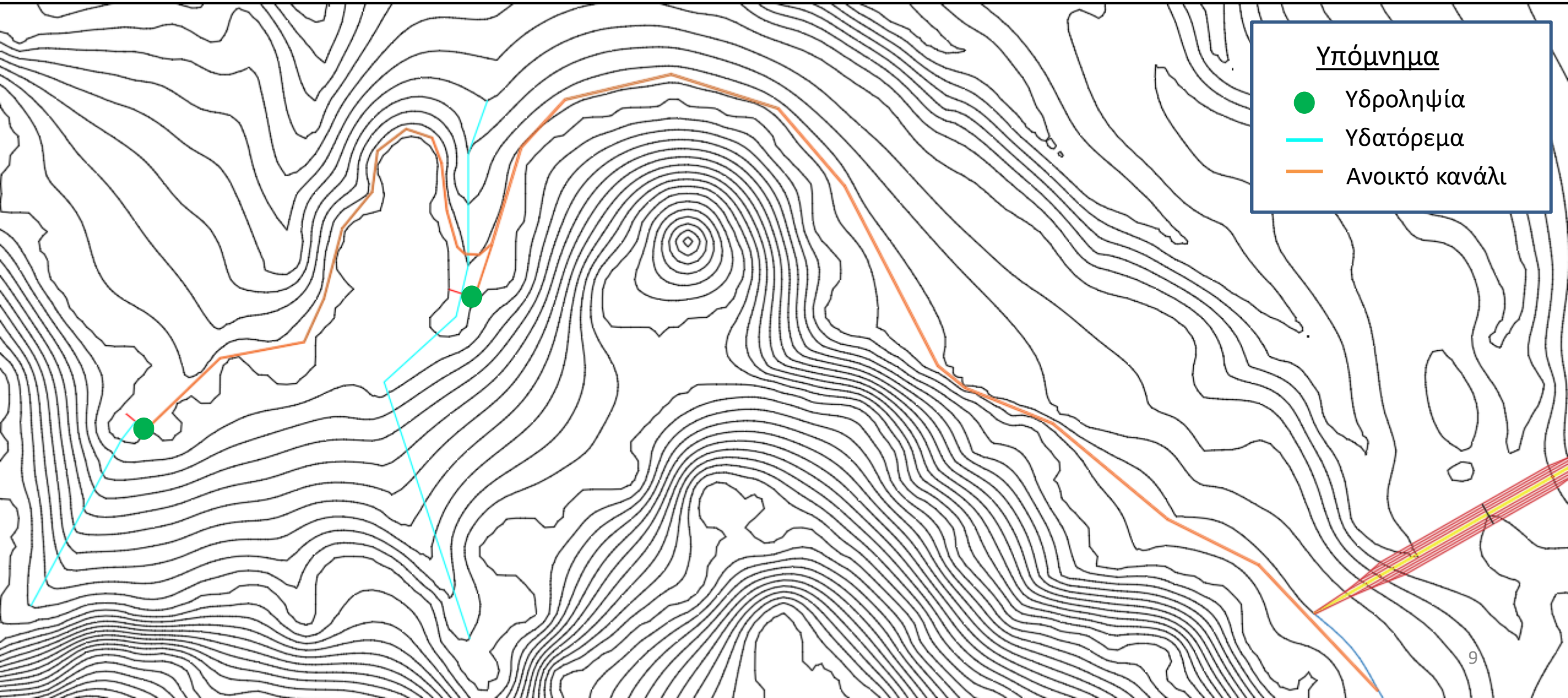


Χάρτης επικινδυνότητας κατολισθήσεων

Οριζοντιογραφία υποδομών ανοικτών καναλιών



4 hm³ ετησίως
στον κυρίως ταμιευτήρα



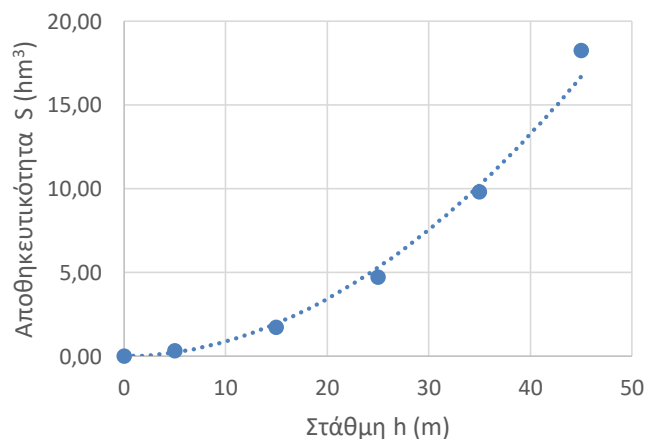
Υπόμνημα

- Υδροληψία
- Υδατόρεμα
- Ανοικτό κανάλι

Χαρακτηριστικά Μεγέθη Ταμιευτήρα

Η σχέση **Στάθμης – Αποθέματος** του ταμιευτήρα είναι:

$$y = 0,0099 \cdot x^{1,9533}$$

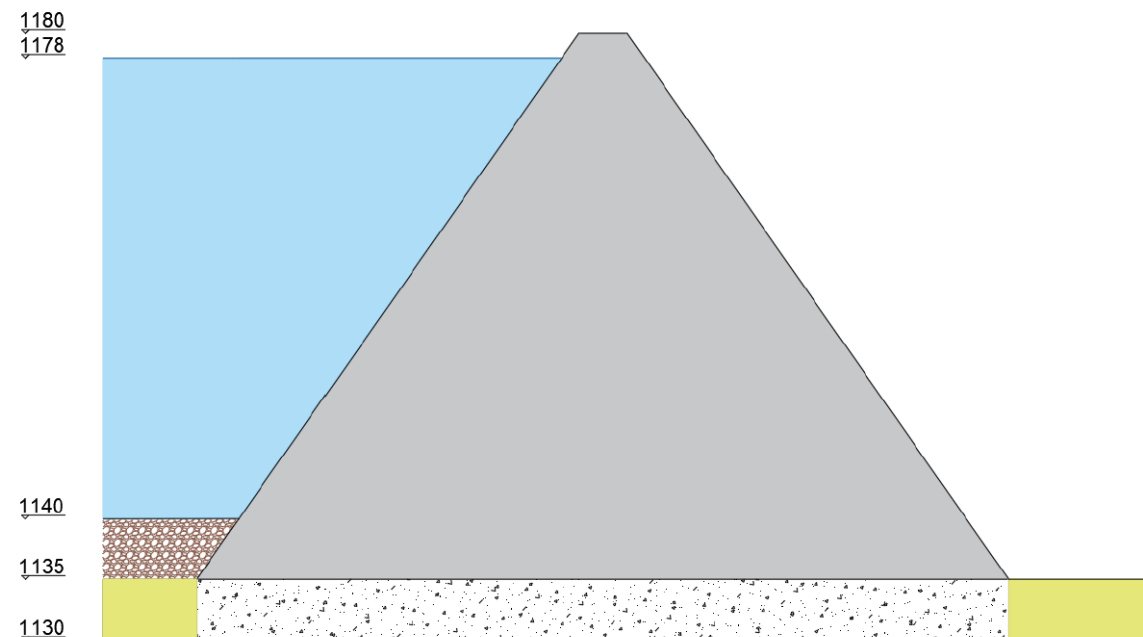


Χαρακτηριστικά Υψομετρικά Μεγέθη

Στάθμη Θεμελίωσης	1130 m
Στάθμη Πυθμένα φράγματος	1135 m
Κατώτατη Στάθμη Λειτουργίας	1140 m
Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας	1178 m

Χαρακτηριστικοί Όγκοι Ταμιευτήρα

Ωφέλιμος Όγκος	15,17 hm³
Νεκρός Όγκος – 100 έτη	0,19 hm³
Συνολικός Όγκος	15,36 hm³



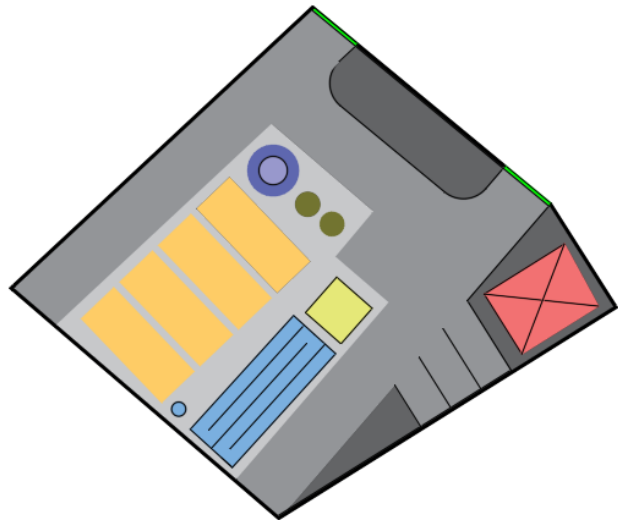
Χρήσεις νερού

πέραν της παραγωγής ενέργειας



Ύδρευση

- Ύδρευση οικισμών Ιεράπετρας (Καλαμάγκα, Μάλες, Μύθοι, κ.α.)
- Εξυπηρετούμενος πληθυσμός ≈ 2000 κάτοικοι
→ $Q_p = 450 \text{ m}^3/\text{d}$



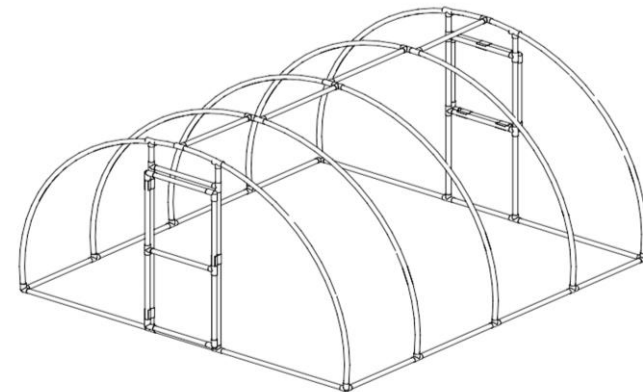
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Δεξαμενή Κροκιδοκαθίζησης
- Επεξεργασία Ιλύος (πάχυνση, αφυδάτωση)
- Μονάδα Διύλισης
- Μονάδα Απολύμανσης
- Δεξαμενή Αναρρύθμισης
- Κτίριο Ελέγχου Εγκατάστασης

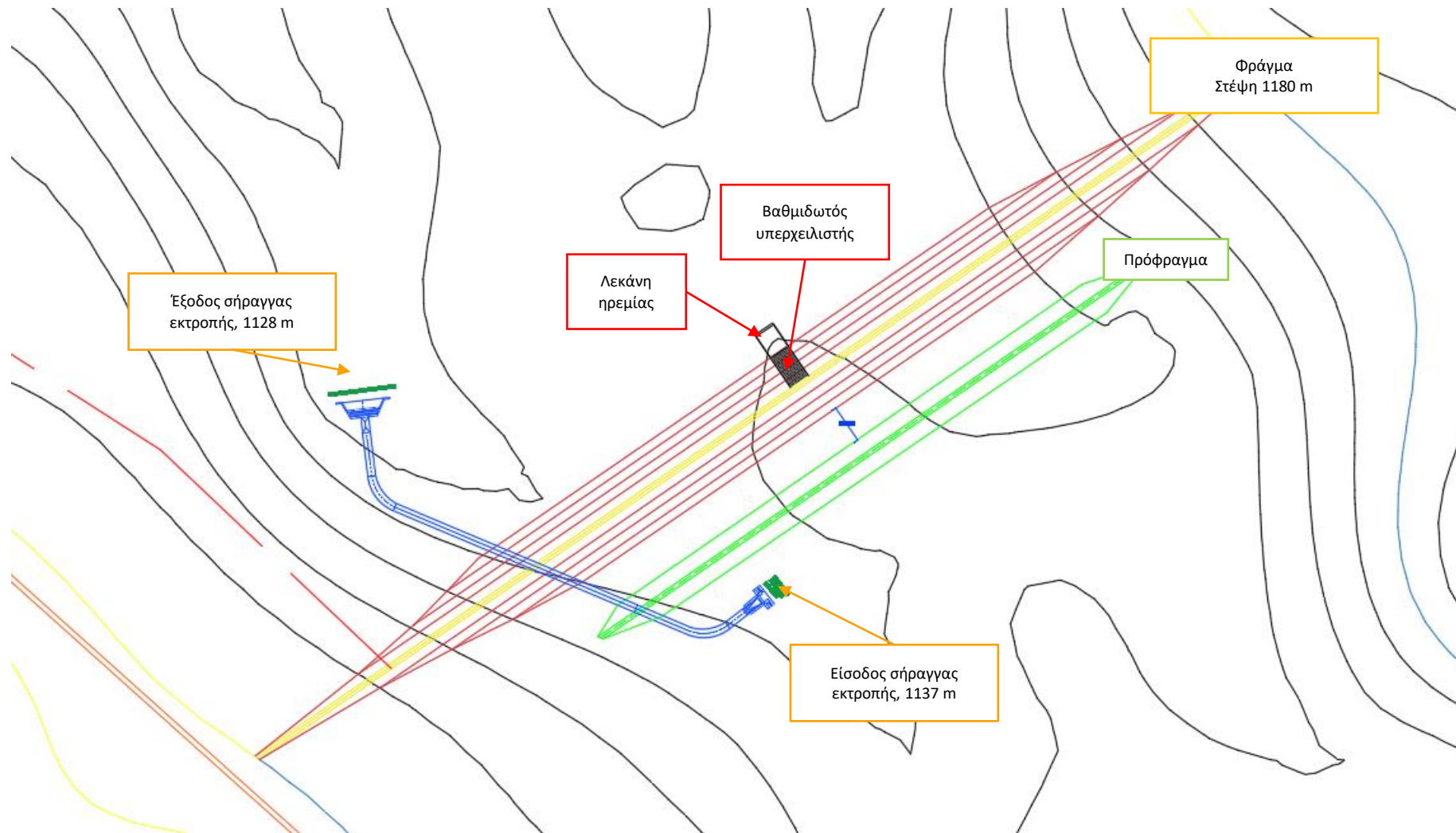


Άρδευση

- Εκτίμηση ετήσιας αρδευτικής ζήτησης για 200 στρέμματα ντομάτες-πατάτες $\approx 1 \text{ hm}^3$
- Εκτίμηση κόστους εγκατάστασης θερμοκηπίων: 5.000.000 €
- Ετήσια (ακαθάριστα) έσοδα: 900.000 €



Γενική Διάταξη Έργων σε Οριζοντιογραφία

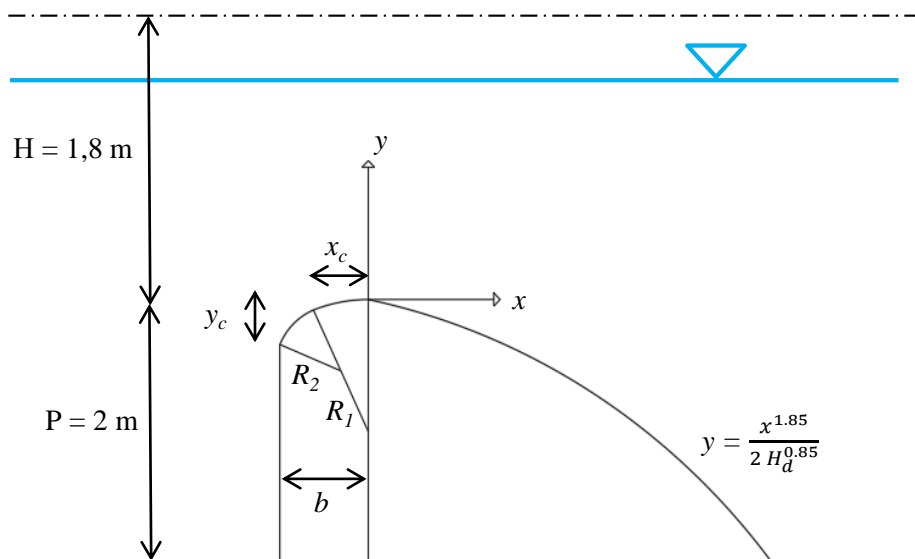


Έργα Υπερχείλισης

για πλημμύρα σχεδιασμού $T = 5000$ έτη

Χαρακτηριστικά Μεγέθη Υπερχειλιστή

P (m)	L' (m)	h (m)	V (m ² /s)	H (m)	Q _o (m ³ /s)
2	15	1,7	1,42	1,8	79,05



Χαρακτηριστικά Μεγέθη στην Πλημμύρα

Μέγιστος Όγκος Ανάσχεσης (hm³) 1,63

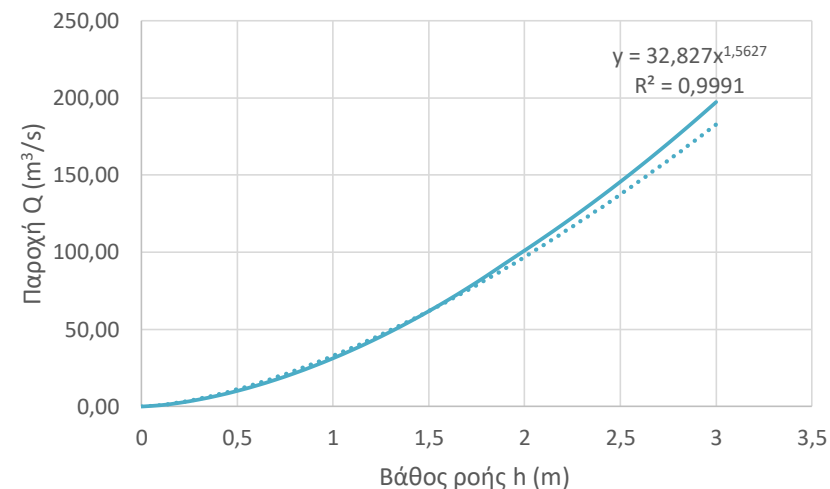
Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας (m) 1179,63

Παροχή Αιχμής (m³/s) 203,34

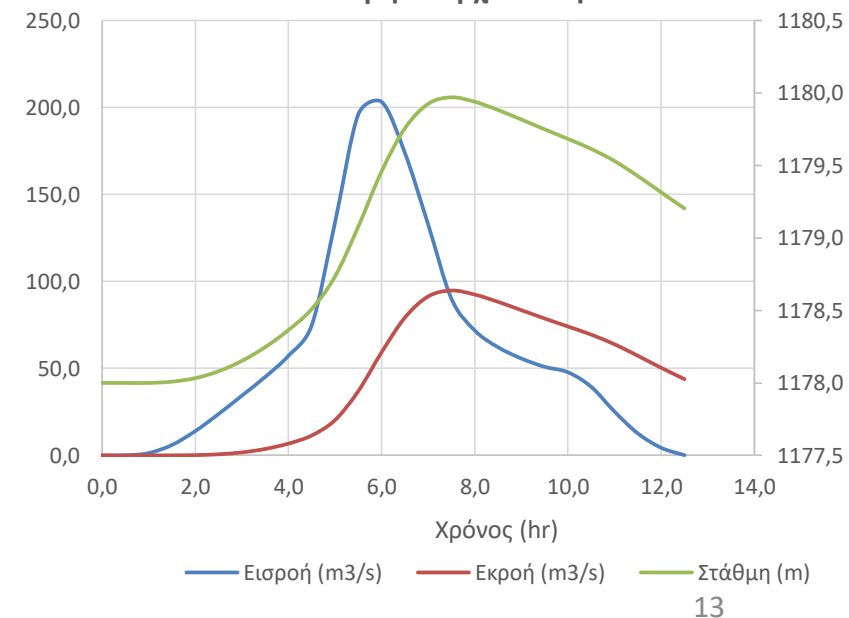
Η σχέση Στάθμης – Παροχής του υπερχειλιστή είναι:

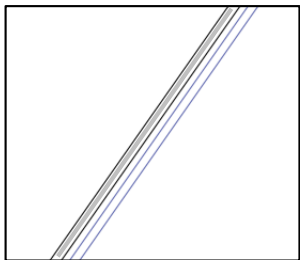
$$y = 32,827 \cdot x^{1,5628}$$

Σχέση Στάθμης-Παροχής Υπερχειλιστή



Πλημμυρογραφήματα εισροών και εκροών & Στάθμη υπερχειλιστή





Διαμόρφωση ανάντη
παρειάς

1180
1178

Γεώφασμα
με στραγγιστικό σωλήνα

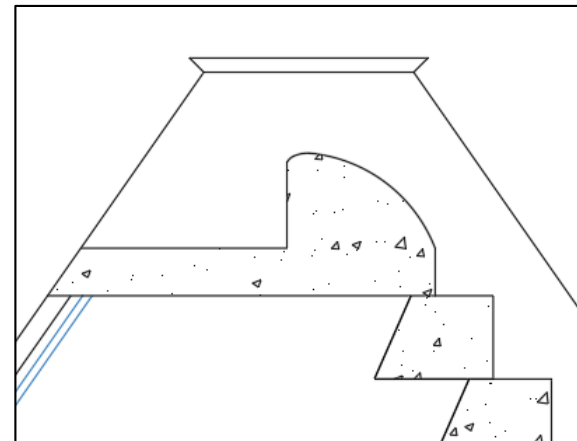
Πλάκα σκυροδέματος
με κάρναβο Φ20/25

Πλίνθος

1135

Υπερχελιστής τύπου Ogee

Διώρυγα πτώσης
με βαθμίδες σκυροδέματος



Υπερχελιστής Ogee

Πτερυγότοιχος

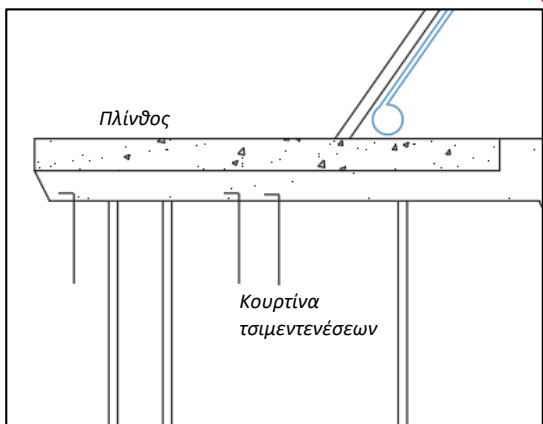
Λεκάνη ηρεμίας

Διάφραγμα

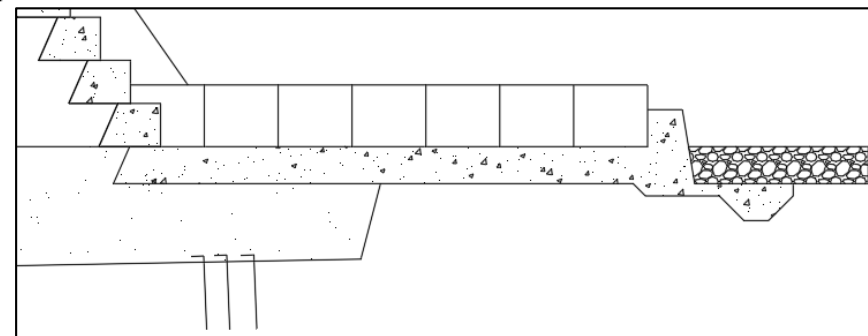
Έργα διαμόρφωσης κοίτης

Βλήτρα αγκύρωσης

Κουρτίνατσιμεντενέσεων

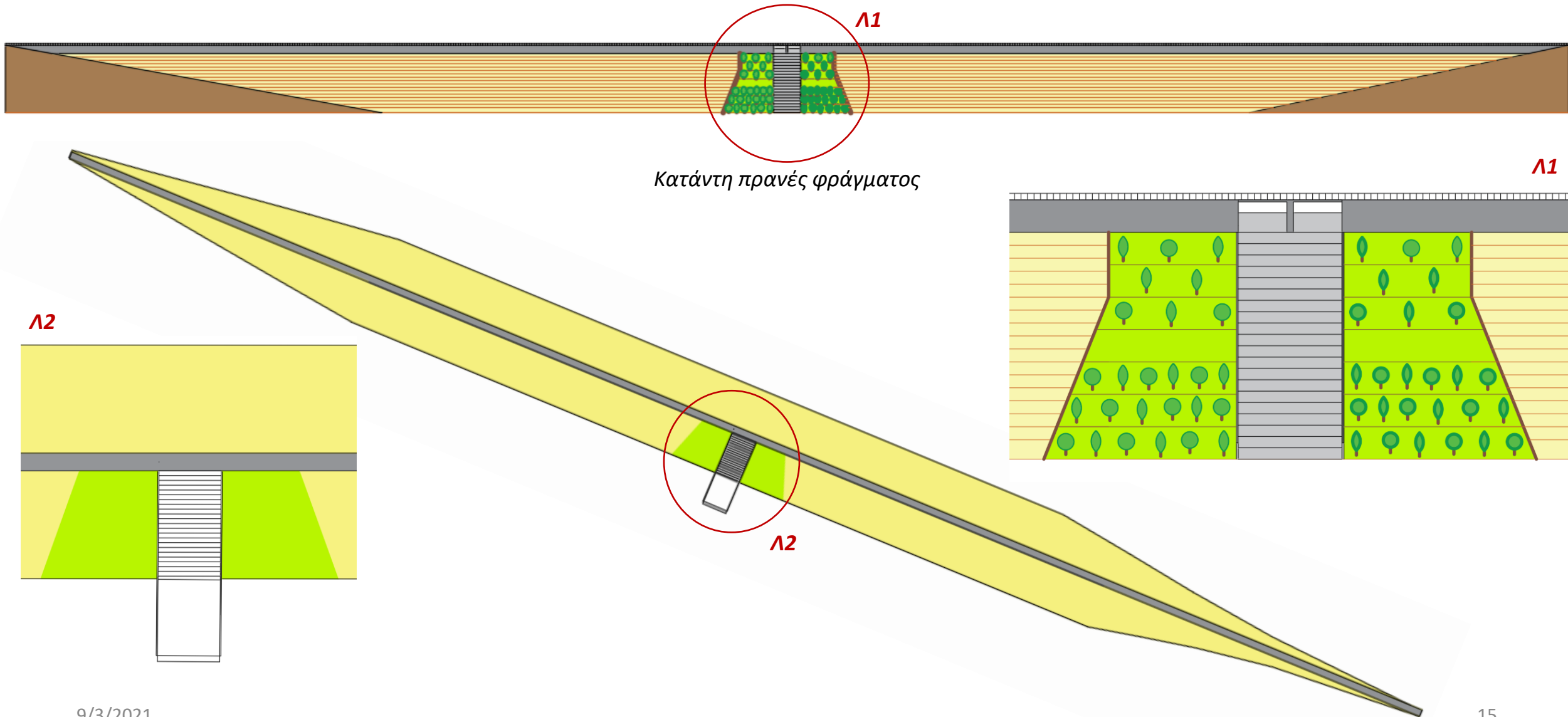


Πόδας φράγματος ανάντη



Λεκάνη ηρεμίας και διάφραγμα

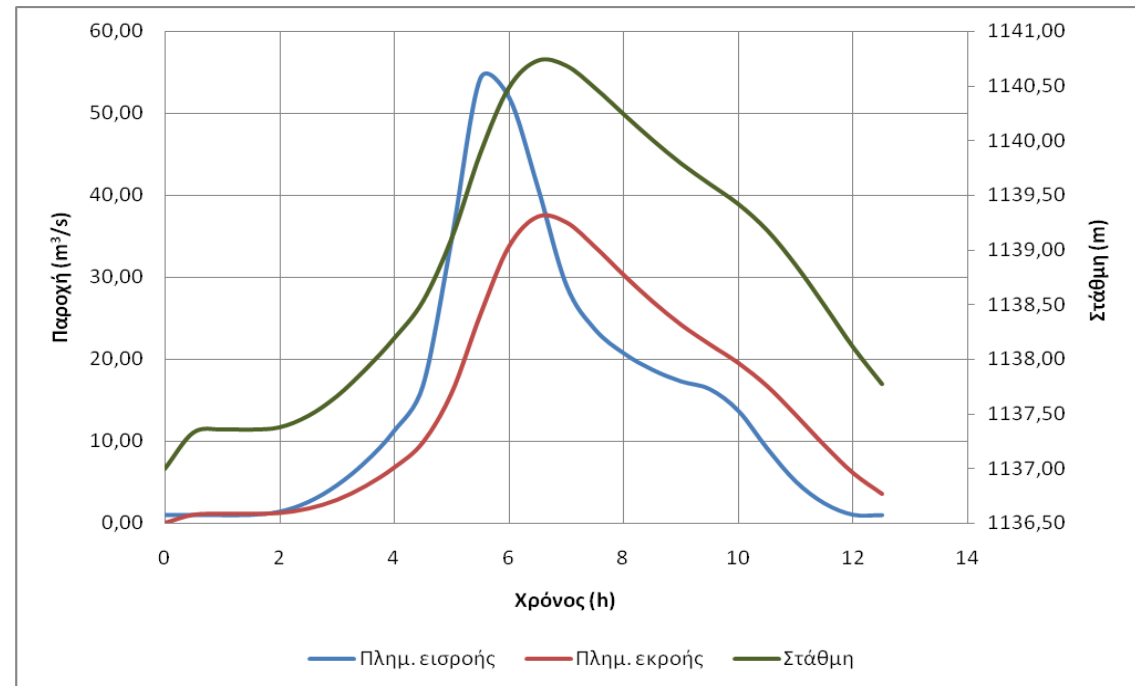
Άποψη του Φράγματος



Σύστημα εκτροπής

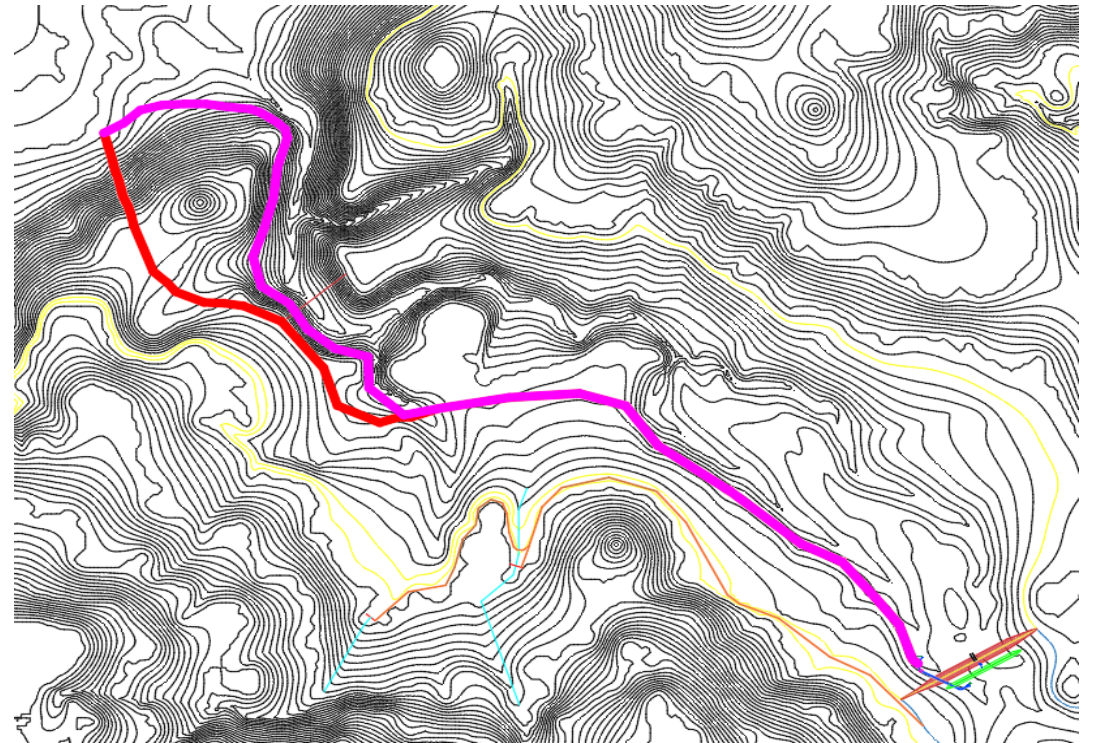
- Προσωρινά έργα → εξασφάλιση ασφαλών και ξηρών συνθηκών στη θέση του φράγματος για όλη την περίοδο κατασκευής
- Περιλαμβάνει το πρόφραγμα και τον αγωγό εκτροπής
- Θεωρήθηκε περίοδος επαναφοράς $T = 20$ έτη (επίπεδο διακινδύνευσης της τάξης του 10%)
- Εξασφαλίζονται συνθήκες υπερκρίσιμης ροής

Βασικοί Παράμετροι Σχεδιασμού	
Στάθμη πυθμένα z_0 (m)	1135
Είσοδος σήραγγας (m)	1137
Έξοδος σήραγγας (m)	1128
Διάμετρος (m)	4
Μήκος σήραγγας (m)	1350
Κλίση πυθμένα	0,007
Πλάτος έργου εισόδου (m)	3,2
Ύψος έργου εισόδου (m)	5
Ανώτατη στάθμη πλημμύρας (m)	1140,73
Παροχή αιχμής σήραγγας (m^3/s)	37,38
Ύψος προφράγματος (m)	6,50



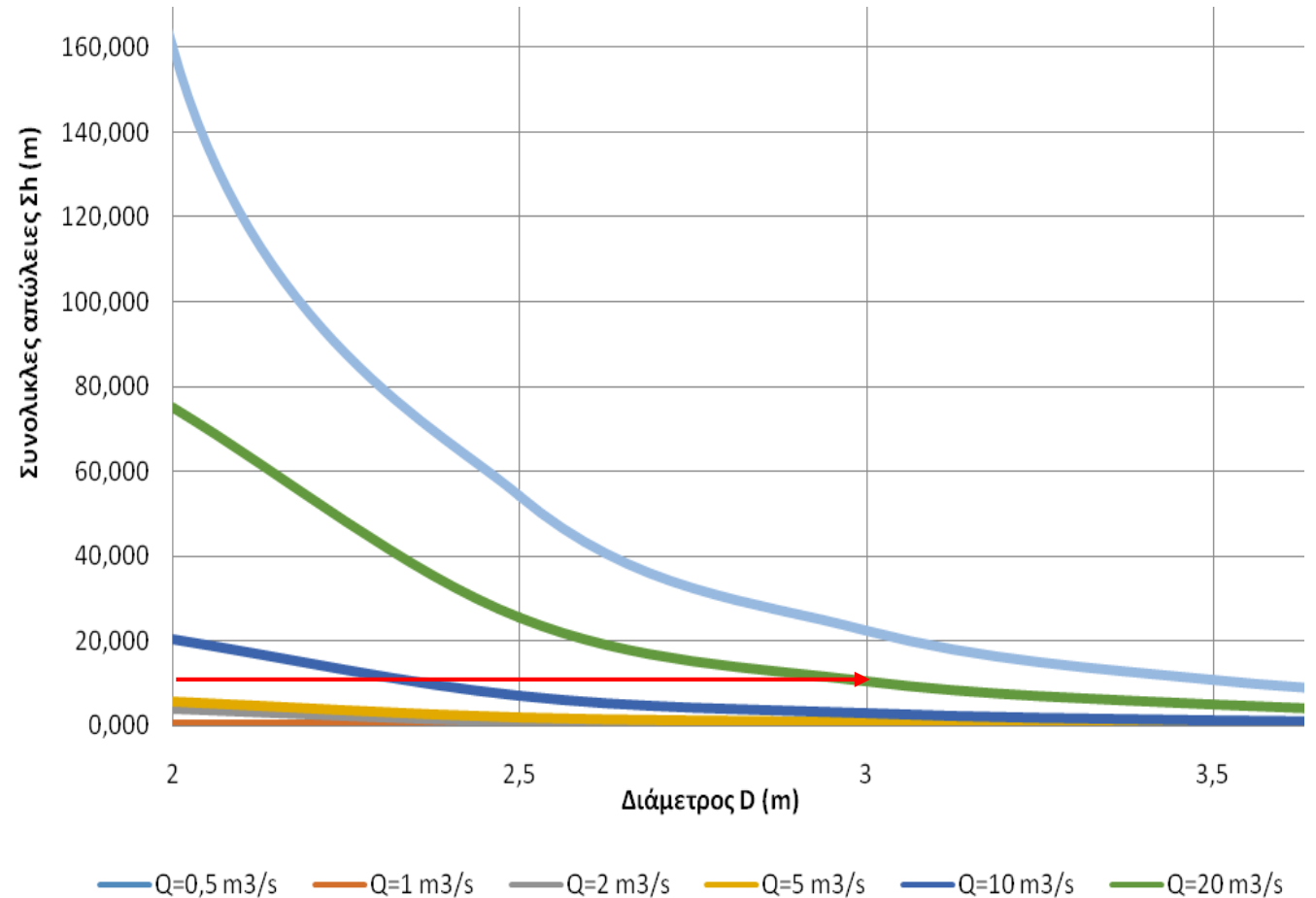
Αγωγός Προσαγωγής Εισαγωγή & Χωροθέτηση

- Αποτελεί έργο διασύνδεσης των δύο ταμιευτήρων
- Έχει σημείο εκκίνησης το Οροπέδιο Καθαρού και καταλήγει στο Οροπέδιο Λασιθίου στην λιμ/νη του Αγ. Γεωργίου
- Απαιτείται ειδική κατασκευή καθώς διασταυρώνεται με ενεργό ρήγμα
- Έχει συνολικό μήκος περίπου 7,5 km



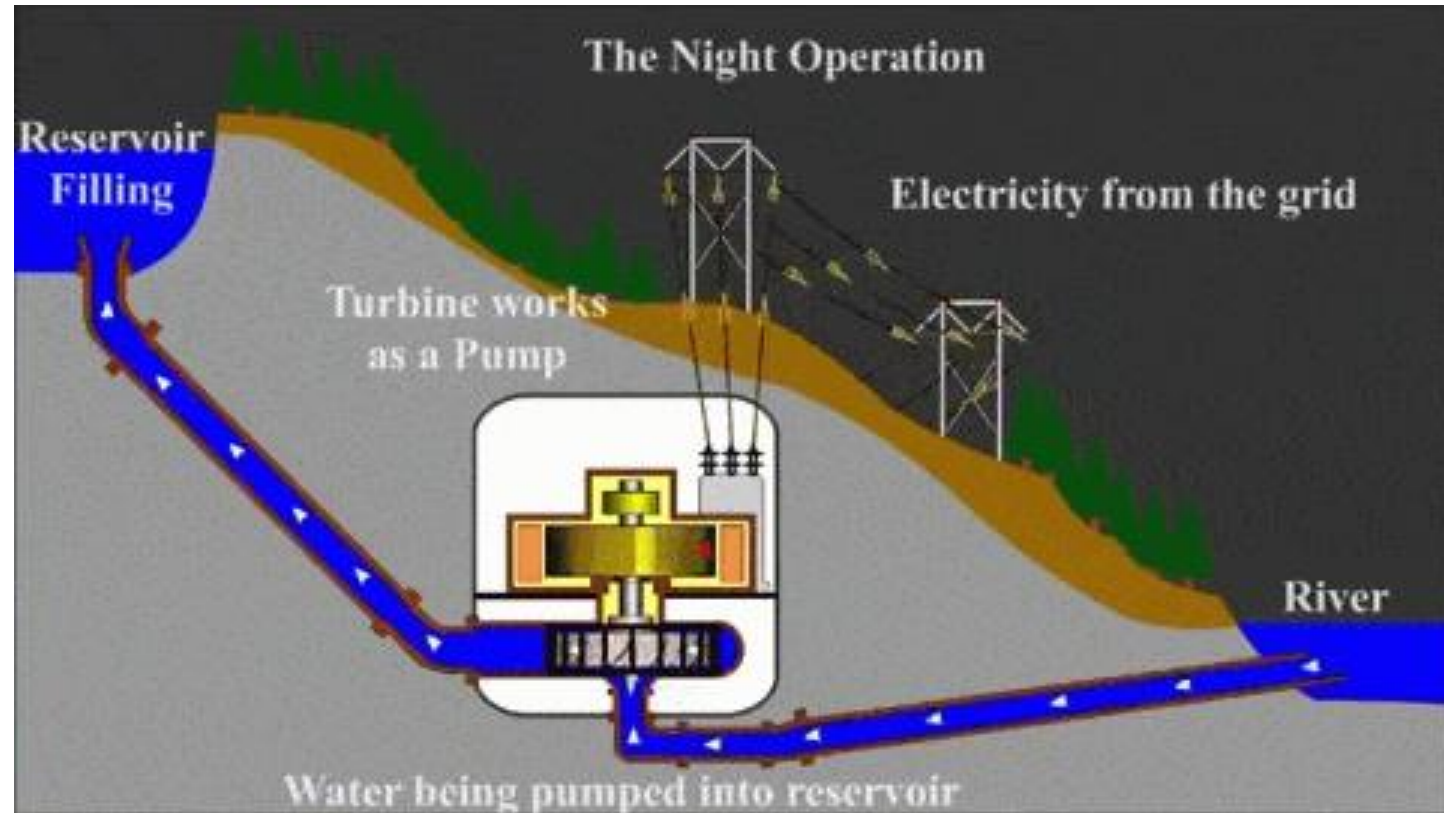
Αγωγός Προσαγωγής-Βελτιστοποίηση

- Κριτήριο σχεδιασμού: χαμηλές απώλειες
- Υδραυλική ανάλυση και δοκιμές για ένα εύρος παροχών και διαμέτρων
- Υδραυλικές απώλειες 11,25 m
Επιλέγεται $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$ και $D_{\text{Εσωτ}} = 3 \text{ m}$
- Για πίεση $P = 31 \text{ atm}$ και κατάλληλο συντελεστή ασφαλείας επιλέγεται πάχος τοιχωμάτων $T = 4,1 \text{ cm}$



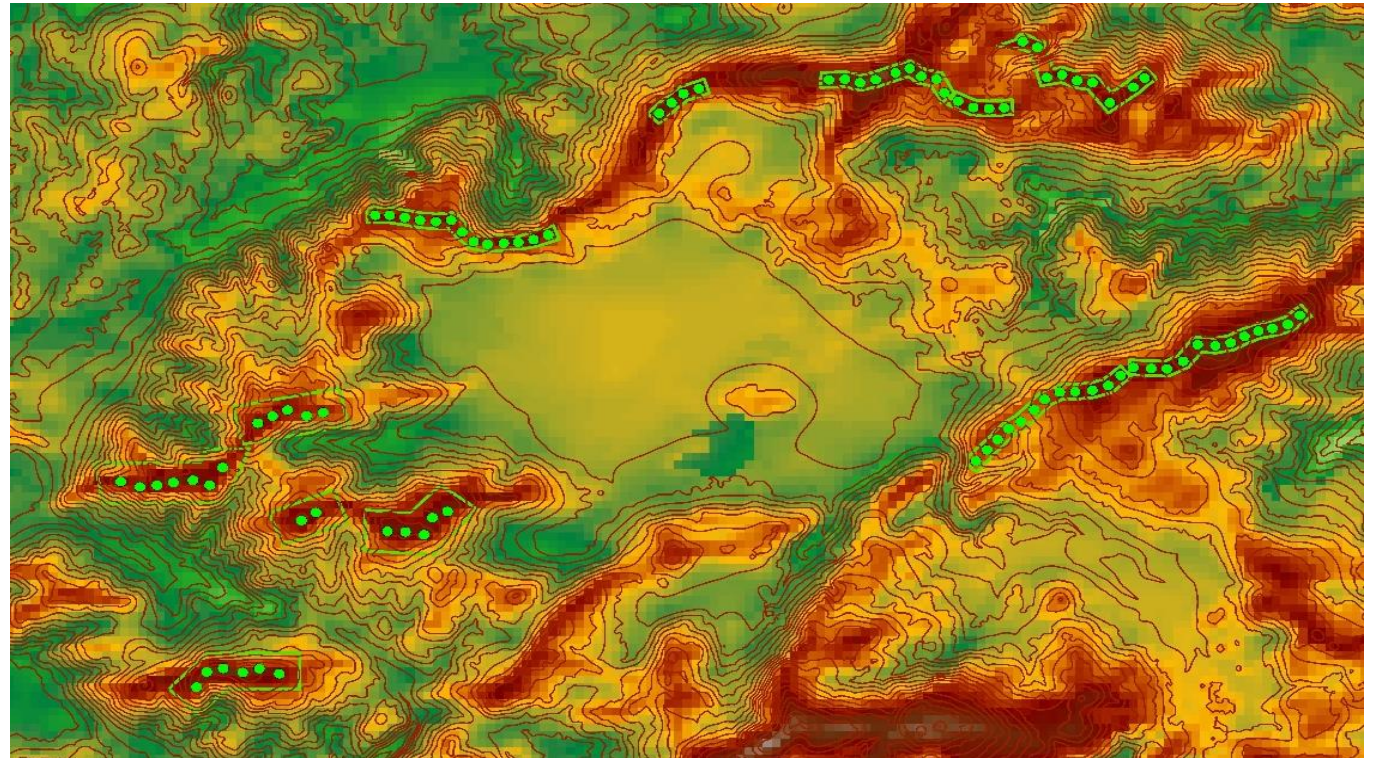
Στρόβιλοι

- Τύπος: Francis (λειτουργία αντλησιοταμίευσης)
- Ισχύς: 66 MW (2 x 33 MW)
- Απόδοση: 95%
- Χαρ/κα: Δίδυμοι στρόβιλοι με παροχή $Q_0/2 = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ έκαστος
- $P_{\text{παραγωγή}} = 56,57 \text{ MW}$
- $P_{\text{κατανάλωση}} = 65,36 \text{ MW}$



Ανεμογεννήτριες - Εισαγωγή

- Μεγάλη Ιστορία του Οροπεδίου Λασιθίου με τους ανεμόμυλους, στις αρχές του 19^{ου} αιώνα → 12.000 ανεμόμυλοι
- Πρόκειται για περιοχή με σημαντικό αιολικό δυναμικό με μέση ταχύτητα πνοής ανέμων $> 10 \text{ m/s}$



Ανεμογεννήτριες-Τεχνικά χαρακτηριστικά

- Τύπος: Vestas V52
- Ύψος στύλου: 44 m
- Ισχύς: 850 kW (72,25 MW συνολικά)
- Πλήθος: 85
- Χωροθέτηση σε σημεία υψηλού δυναμικού → αυχένες των γύρω ορεινών όγκων



Ανεμογεννήτριες-Συλλογή Ανάλυση Δεδομένων ✓

- Συλλέχθηκαν δεδομένα από:
- Πιο αξιόπιστα θεωρήθηκαν τα δεδομένα της **EMY**
- Για τους σκοπούς της προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα της **NASA** καθώς βασική προϋπόθεση ήταν τα δεδομένα να είναι συνεχή



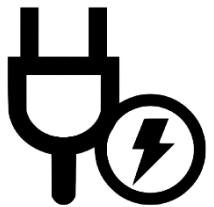
ΕΘΝΙΚΗ
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ
HELLENIC NATIONAL METEOROLOGICAL SERVICE ✓



ΡΑΕ
ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΗ ΑΡΧΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
REGULATORY AUTHORITY FOR ENERGY ✓



meteoblue® ✓



Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας (GWh)

207,79

Συντελεστής Δυναμικότητας (Capacity Factor)

33%

Κατασκευή φωτοβολταϊκού πάρκου

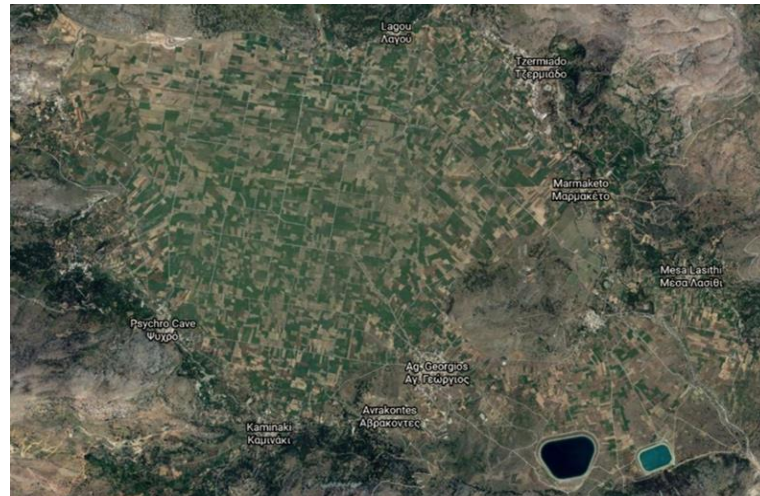
Χωροθέτηση Φ/Β Πάρκου

Ηλιακό Δυναμικό Περιοχής Μελέτης

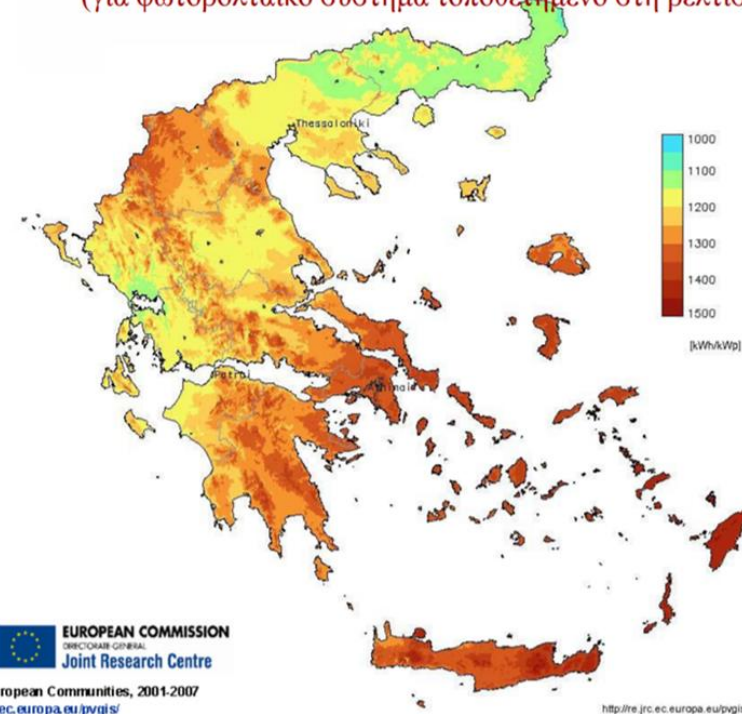


Κάμπος Οροπεδίου Λασιθίου
Έκταση 25 km²

Έκταση φ/β πάρκου
300 στρέμματα (0,30 km²)



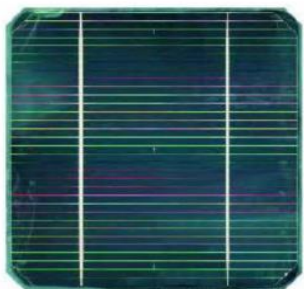
Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (kWh/ kWp)
(για φωτοβολταϊκό σύστημα τοποθετημένο στη βέλτιστη κλίση)



Κρήτη 1950 kWh/m²
(έναντι 1600 kWh/m² μέση τιμή για την Ελλάδα)

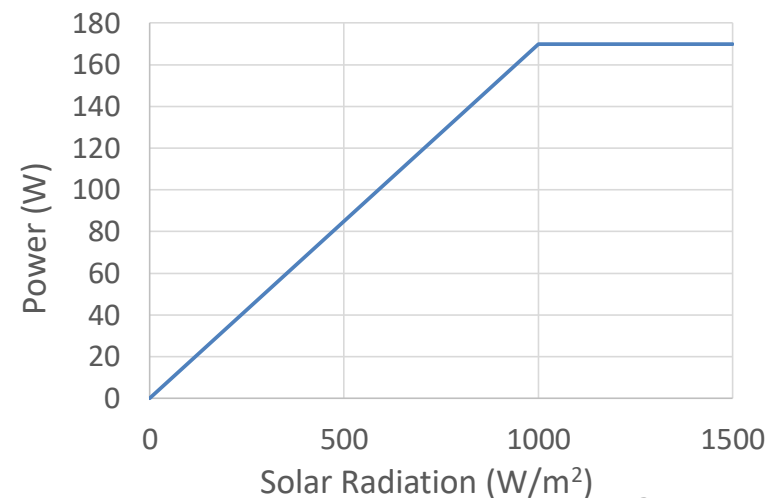
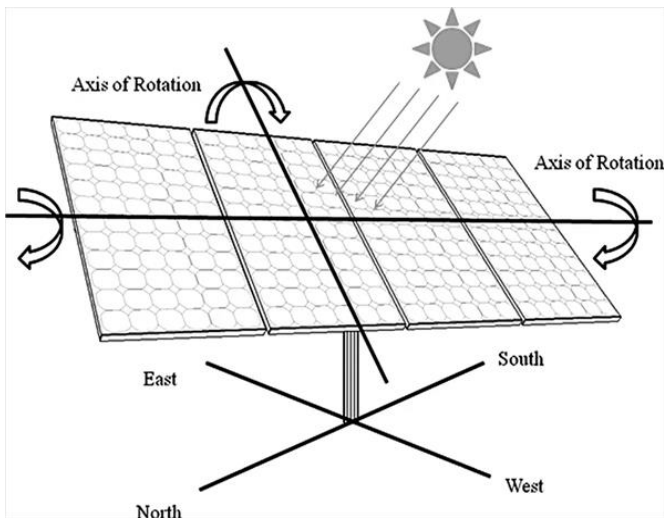


Φωτοβολταϊκά Πάνελ



- Πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου
- Έδραση σε μεταλλικές βάσεις περιστρεφόμενες στον άξονα Βορρά – Νότου με υδραυλικά μέσα
 - Σχεδόν οριζόντια Ιουν-Ιουλ
 - $\approx 60^\circ$ Δεκ-Ιαν
- Εγκατεστημένη ισχύς: 170 W (αδειοδότηση ΡΑΕ για Ν. Λασιθίου)

Φωτοβολταϊκά Πάνελ	
Διάσταση (mm)	1476
Διάσταση (mm)	670
Επιφάνεια (m ²)	1,00
Ονομαστική Ισχύς P (W)	170
Συντελεστής Απόδοσης	17 %

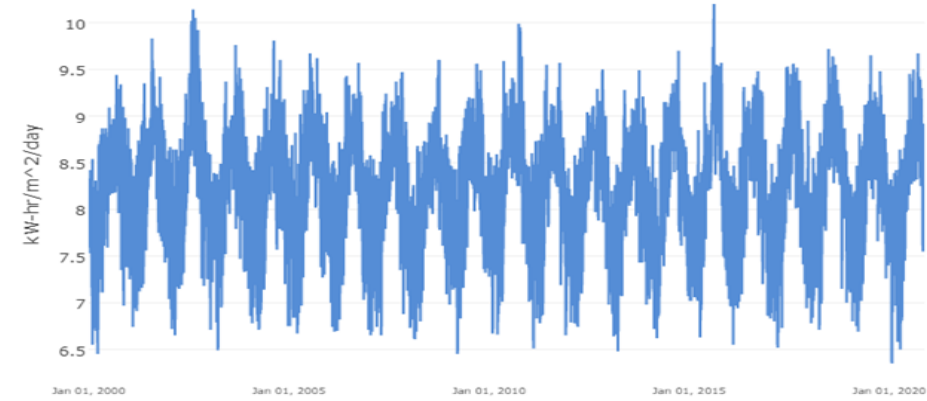




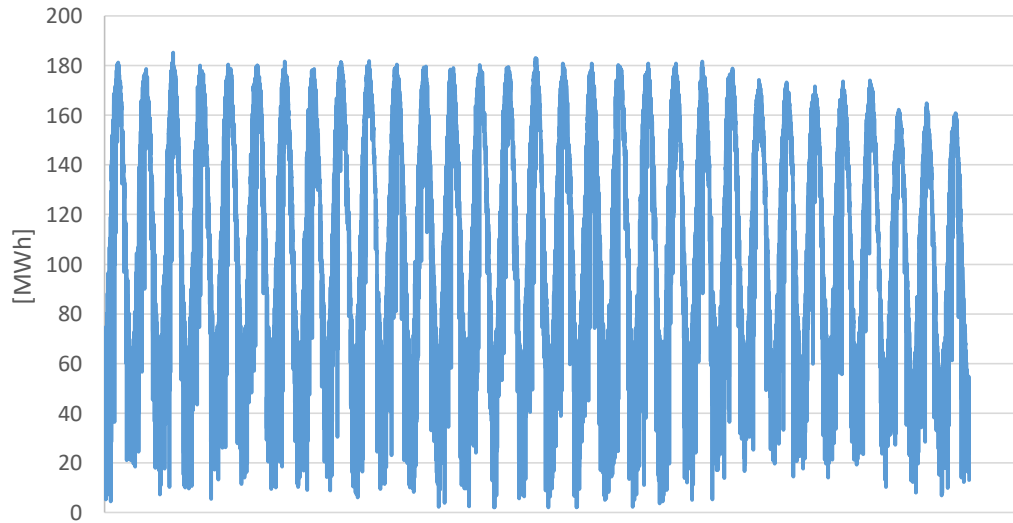
Ενεργειακή Μελέτη

Φωτοβολταϊκό Πάρκο	
Πλήθος Πάνελ	117700
Συνολική Έκταση (στρέμματα)	117
Ετήσια Παραγόμενη Ενέργεια (GWh/yr)	38,5
Μέση Ωριαία Παραγωγή Ενέργειας (GWh)	4,40
Συντελεστής Δυναμικότητας	22 %
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	20

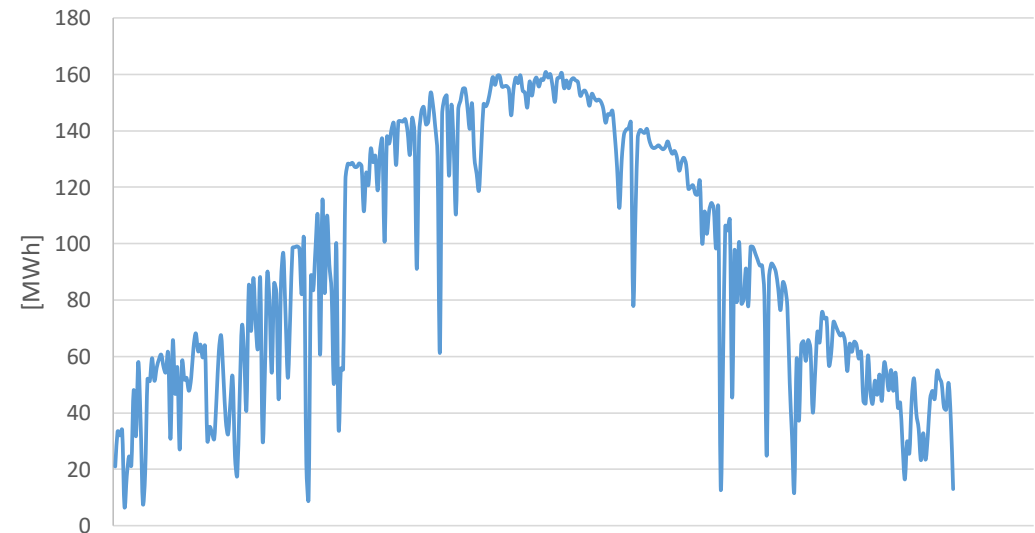
Δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας (KWh/m²)
NASA (1985-2015)



Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (1985-2015)



Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (2015)





Agrivoltaics

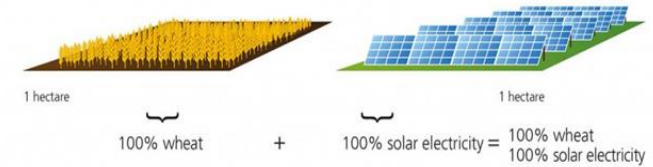
Adolf Goetzberger, 1981

- Πολλαπλές πηγές εσόδων από το ίδιο τεμάχιο γης
- Ιδανική τεχνική για περιοχές με υψηλή ηλιοφάνεια και περιορισμένο νερό

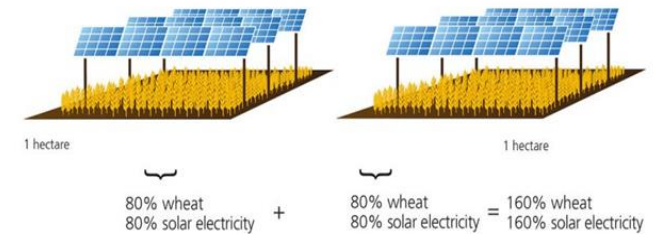
Οφέλη Αγροφωτοβολταικών

- Χαμηλότερη θερμοκρασία πάνελ (μικροκλίμα, παθητική ψύξη) → διατήρηση απόδοσης
- Εξοικονόμηση νερού
 - Σκίαση → περιορισμός εξάτμισης, διατήρηση υγρασίας εδάφους & θρεπτικών συστατικών
- Αύξηση αγροτικής παραγωγής (καλλιέργειες ευαίσθητες στις υψηλές θερμοκρασίες)

Separate Land Use on 2 Hectare Cropland



Combined Land Use on 2 Hectare Cropland: Efficiency increases over 60%

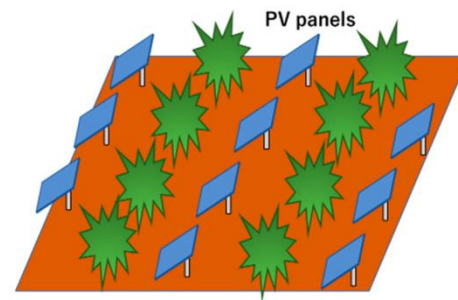
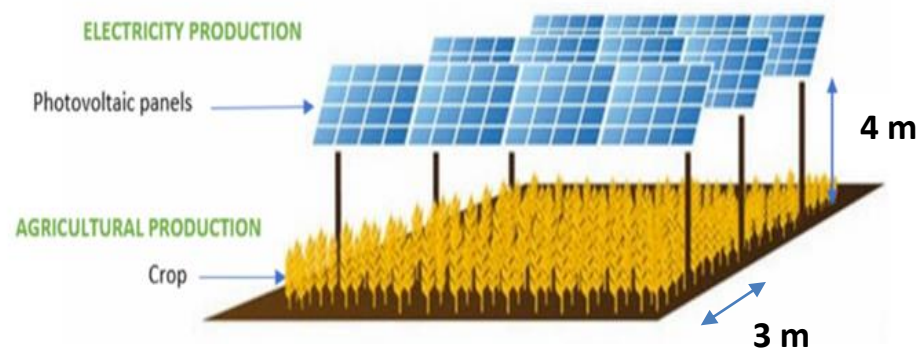


Agrivoltaics

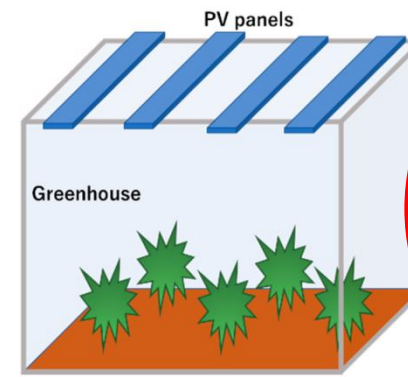


- **Κατηγορίες Εδαφών:** καλλιεργήσιμη γη, βοσκότοποι, υγρότοποι
- Ιδανική τεχνική για: **φυλλώδεις καλλιέργειες** (μαρούλι, σπανάκι), **καλλιέργειες κάτω από το έδαφος** (πατάτες, ραπανάκι, παντζάρι, καρότα)
- **Δεν** ενδείκνυται για ψηλές καλλιέργειες (καλαμπόκι, σπυροφόρα δένδρα)

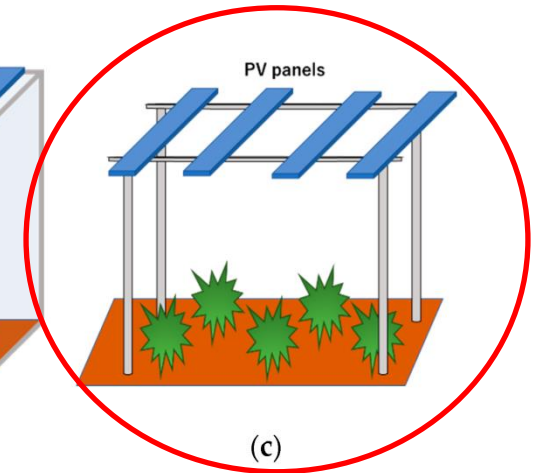
Οροπέδιο Λασιθίου: πατάτες, κηπευτικά (κολοκύθια, λάχανα, ντομάτες), ελαιόδενδρα, αμπελοκαλλιέργειες, όσπρια, σιτηρά, δένδρα (αχλαδιές, μηλιές, αμυγδαλιές, κερασιές, δαμασκηνιές)



(a)



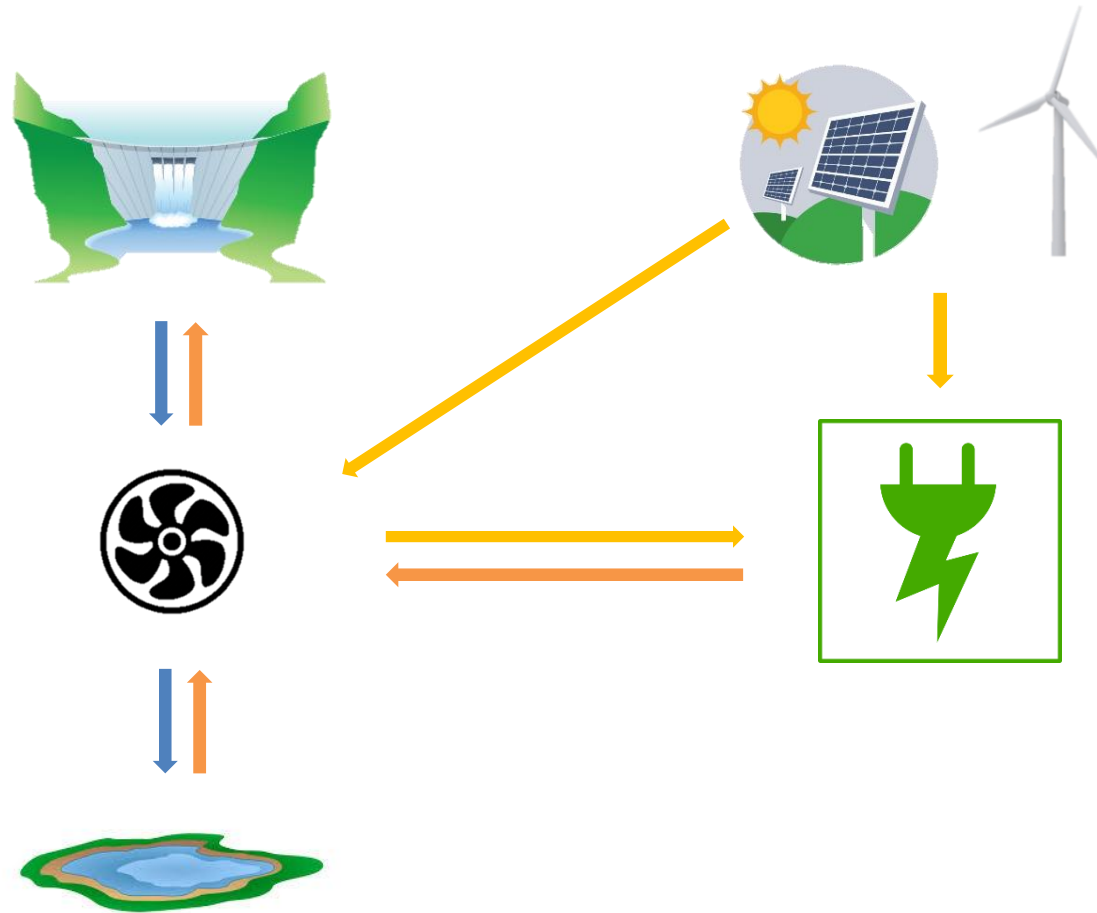
(b)



(c)



Προσομοίωση Υβριδικού Συστήματος



Κατάρτιση ημερήσιων εισροών

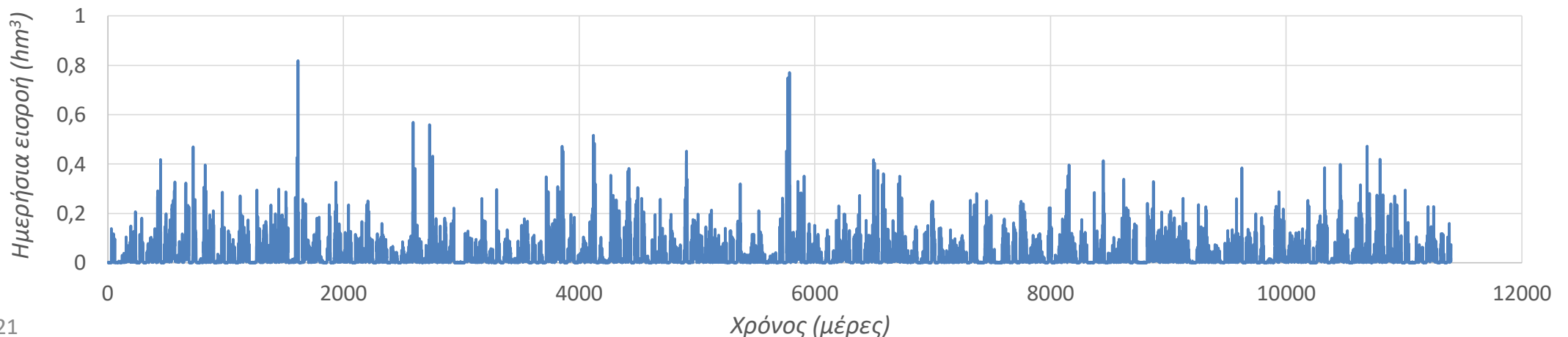
- Ανάγκη μετατροπής μηνιαίων δεδομένων εισροής σε ημερήσια
- Μη επαρκές δείγμα δεδομένων για την προσομοίωση



Στοχαστική μέθοδος κυλιόμενου μέσου SMA (Koutsoyiannis, 2000)

- Παραγωγή συνθετικών μηνιαίων χρονοσειρών διατηρώντας τον συντελεστή Hurst και τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ιστορικής χρονοσειράς
- Οι ημερήσιες εισροές ακολουθούν εκθετική κατανομή (ενδείκνυται για υδρολογικές μεταβλητές μικρής κλίμακας) με παράμετρο κλίμακας $\lambda = 1/\mu_x$, μ_x = μέση τιμή κάθε μήνα δια τις μέρες του

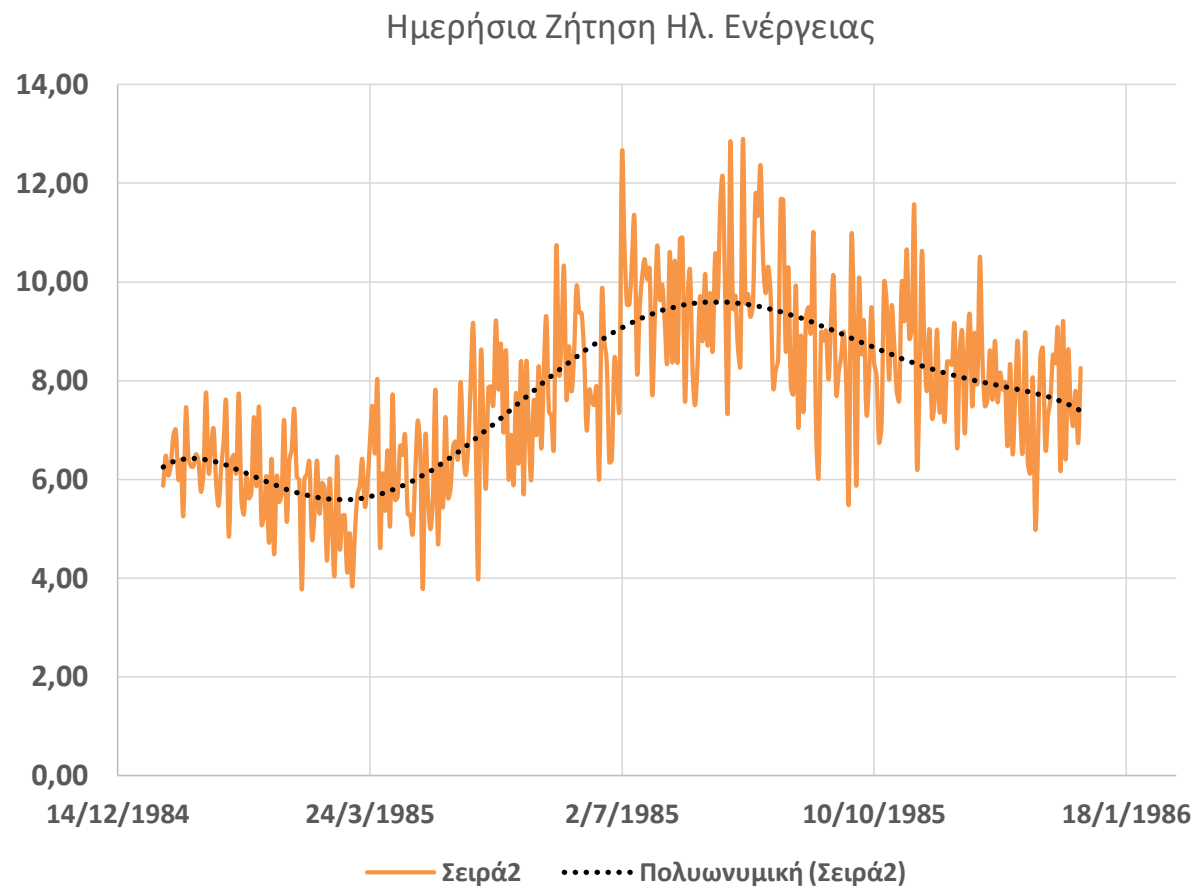
	<u>Ιστορική</u>	<u>Συνθετική</u>
<i>Μέση τιμή</i>	0,9	0,86
<i>Διασπορά</i>	1,16	1,17
<i>Hurst</i>	0,33	0,32



Προσομοίωση - Ηλεκτρική Ζήτηση

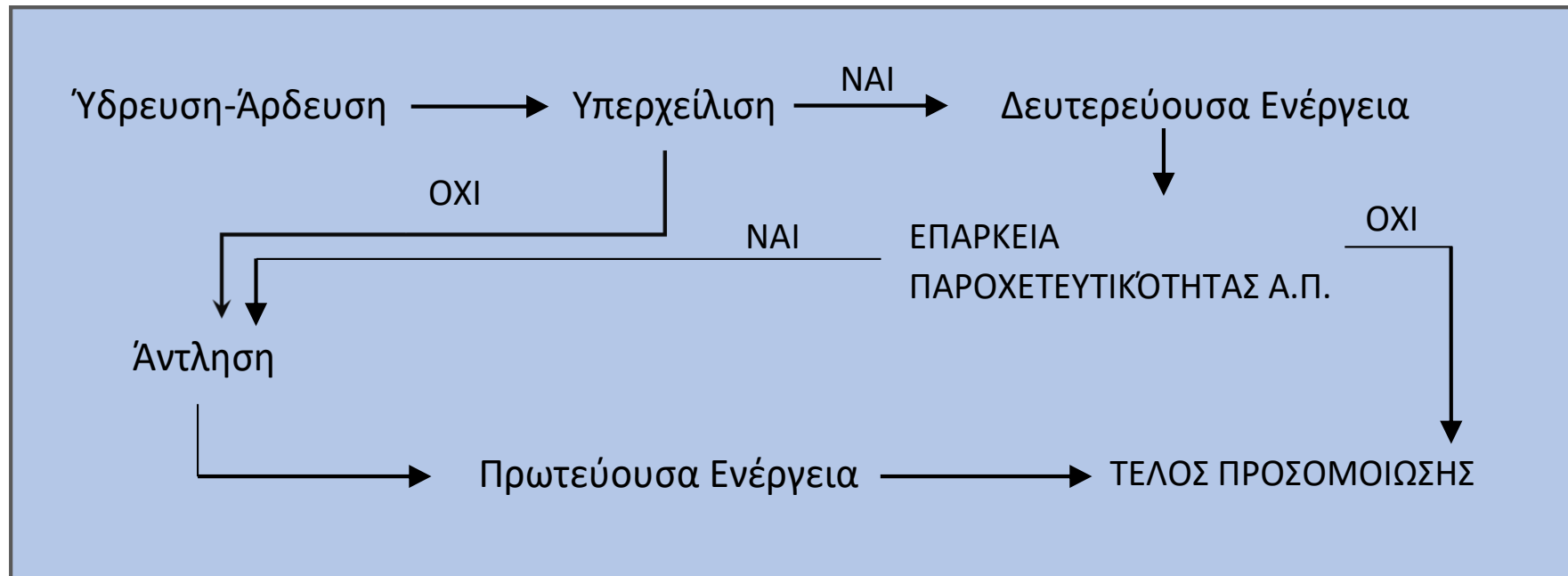
Παρατηρείται ημερήσια και ετήσια διακύμανση-περιοδικότητα

Μέση Τιμή	7,73 GWh
Τυπική Απόκλιση	1,69 GWh
Ελάχιστη Ημερήσια Ζήτηση	2,61 GWh
Μέγιστη Ημερήσια Ζήτηση	13,54 GWh



Προσομοίωση-Γενική περιγραφή

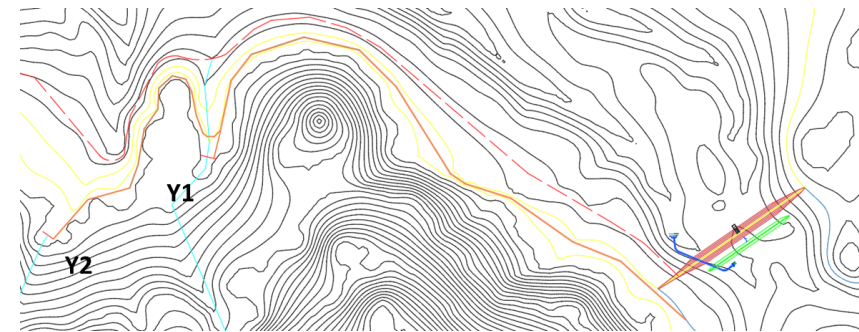
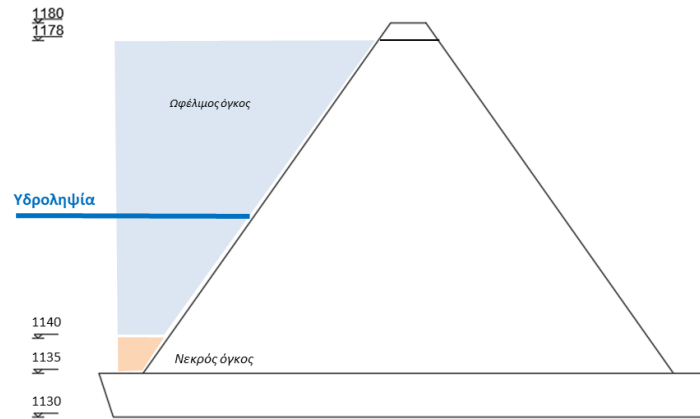
- Περιοριστικός Παράγοντας Συστήματος:
Παροχτευτικότητα Α.Π.





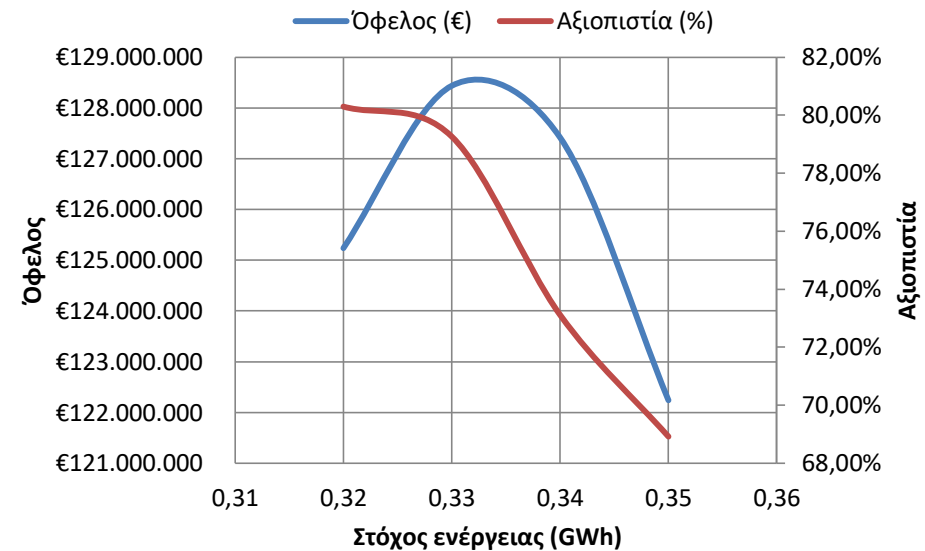
Παράμετροι Προσομοίωσης

- Έλεγχοι στάθμης ταμιευτήρα
- Έλεγχοι στάθμης λιμνοδεξαμενής
- Λειτουργία αντλησιοταμίευσης
 - Παροχτετευτικότητα αγωγού προσαγωγής
 - Ημερήσιοι όγκοι άντλησης
- Λειτουργία τάφρων συλλογής
- Στόχος παραγωγής ενέργειας
- Μέτρα επίδοσης συστήματος (Αξιοπιστία)
 - Ύδρευση σε πρώτη προτεραιότητα



Αποτελέσματα – Συνολικό Όφελος

Αντλησιοταμίευση	
Άντληση	5 ώρες
Ημερήσιος στόχος παραγωγής ενέργειας	0,33 GWh
Όφελος (30 χρόνια)	128.443.540 €
Αξιοπιστία	79,5 %
Κατώτατη στάθμη λειτουργίας	+ 1165 m

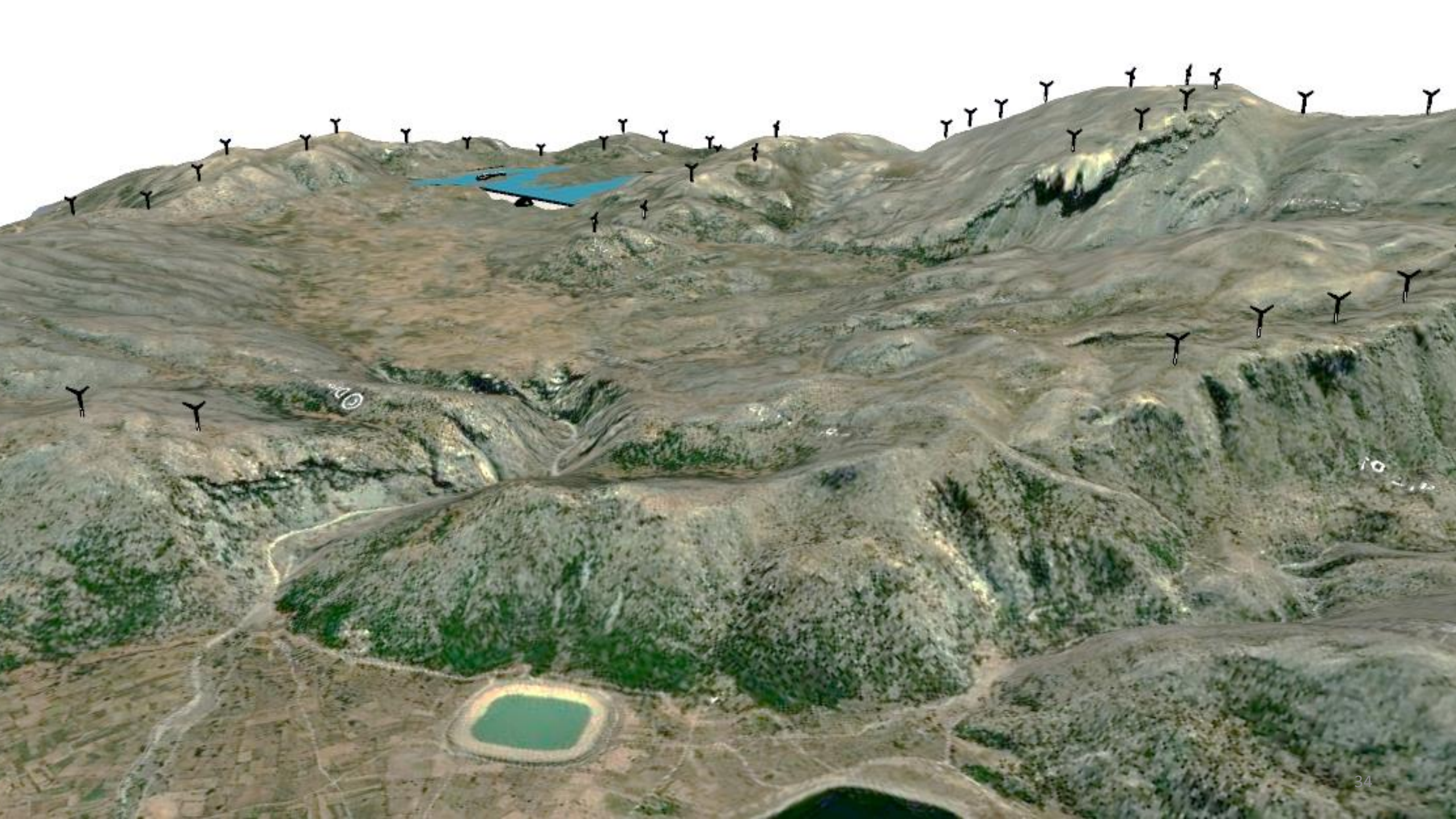


Όφελος σε ετήσια βάση	
Ενεργειακή Παραγωγή	4.280.000 €
Αιολικό & Φωτοβολταϊκό Πάρκο	14.730.000 €
Ύδρευση - Άρδευση	244.000 €
Συνολικό Κέρδος	19.263.269 €

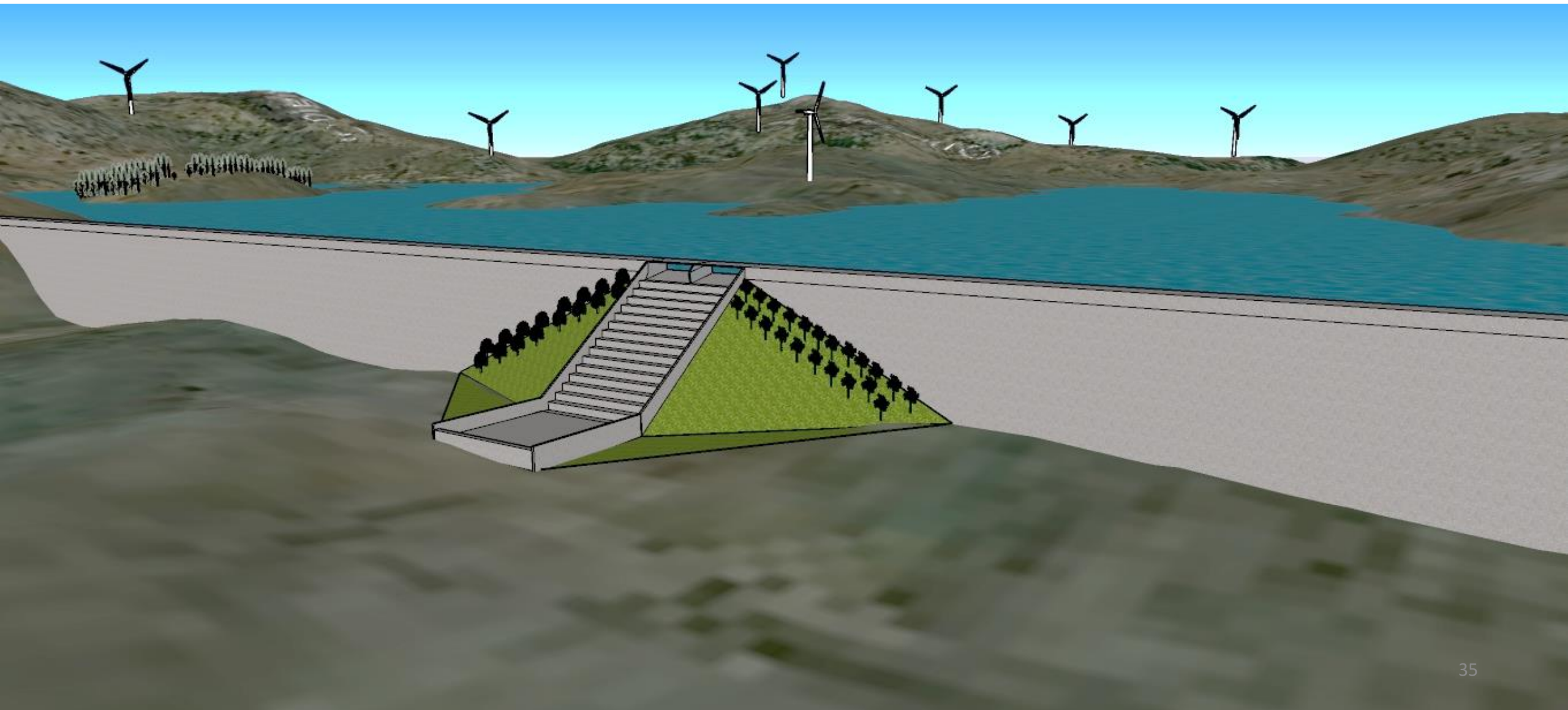


Σε 20 χρόνια το σύστημα θα έχει όφελος 385.000.000 €

Ο προϋπολογισμός εκτιμήθηκε στα 135.000.000 €

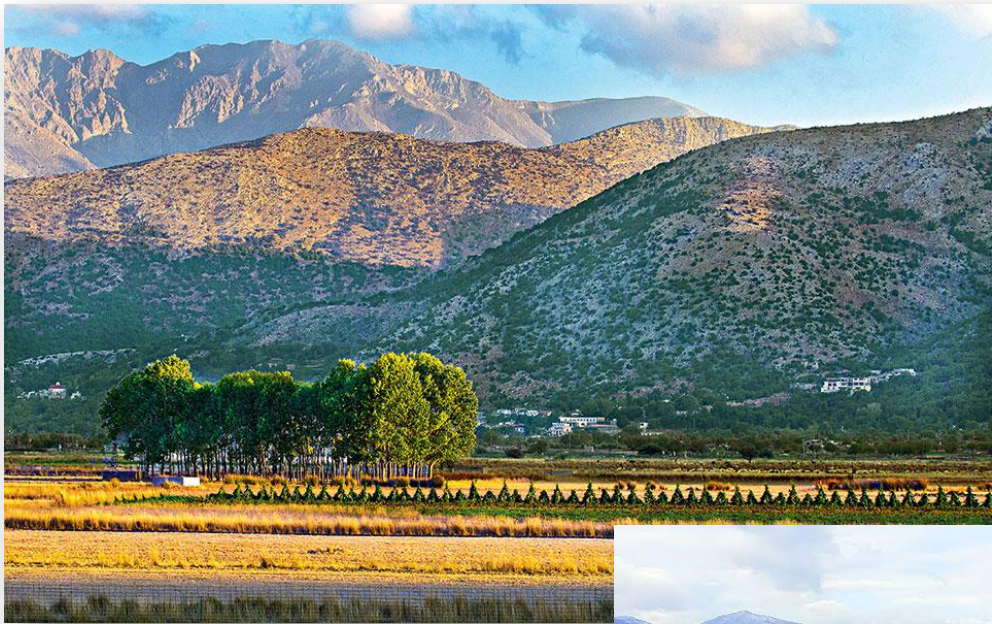


Γενική άποψη κατάντη πρηνούς φράγματος



Γενική άποψη αναδυόμενης φυσικής νήσου στον ταμιευτήρα





Ευχαριστούμε για την προσοχή σας!

