



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

# Ολοκληρωμένο Θέμα Υδραυλικού Σχεδιασμού

**ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΠΛΗΡΗ ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΣΙΦΝΟΥ**

ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

---

ΔΙΑΜΑΝΤΑ ΜΑΡΙΑΝΝΑ  
ΖΗΣΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ  
ΚΟΝΤΑΞΟΠΟΥΛΟΥ ΑΝΝΑ  
ΚΟΥΤΣΟΥΡΑΔΗ ΙΦΙΓΕΝΕΙΑ  
ΠΑΝΤΑΖΗ ΜΑΡΙΑ-ΕΛΕΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΜΑΜΑΣΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΥΠΟΨΗΦΙΑ ΔΙΔΑΚΤΩΡ:

ΣΑΚΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ – ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ



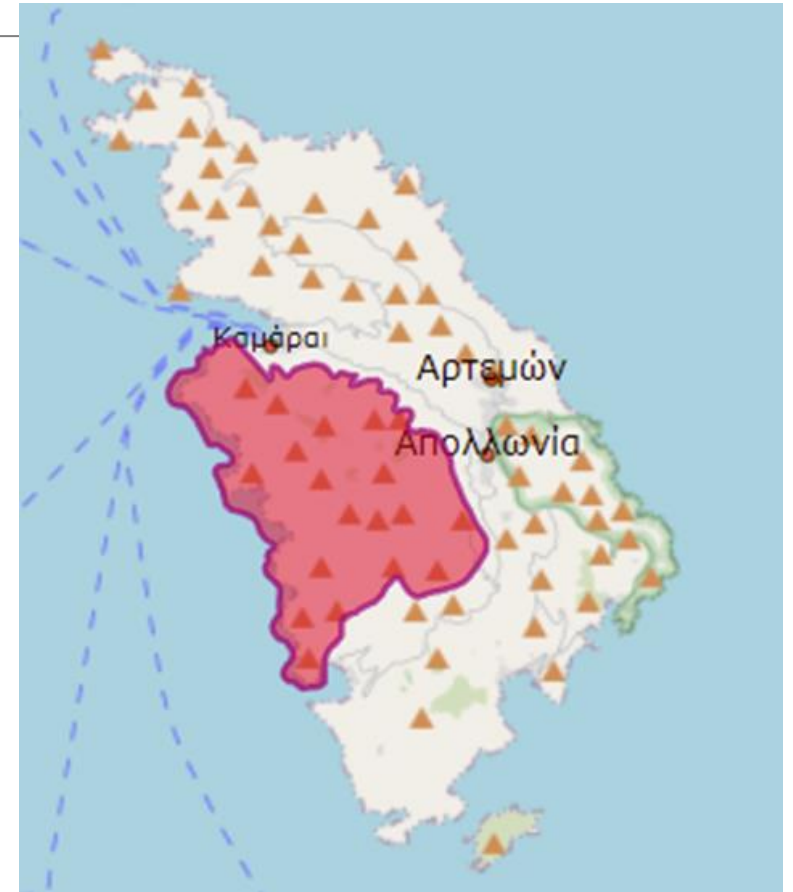
# Προστατευόμενες περιοχές

---

Natura 2000:

Κωδικός: GR4220008

19 σημαντικά, κυρίως ενδημικά, σπάνια ή προστατευόμενα είδη φυτών και ζώων.

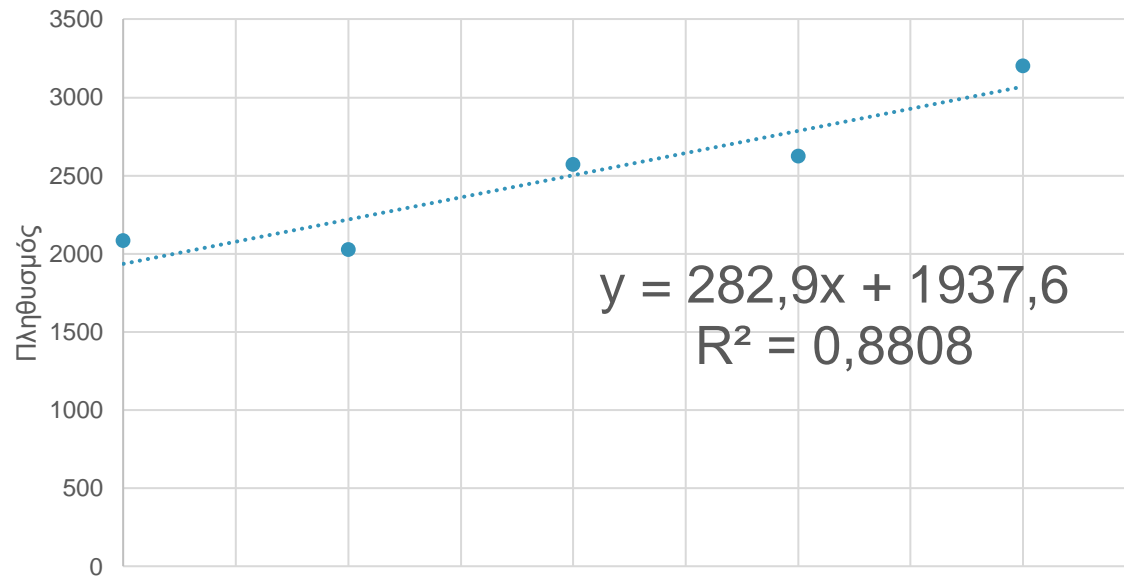


# Πληθυσμιακά δεδομένα

2021:

*3.203 μόνιμοι κάτοικοι*

*10.410 εποχιακοί κάτοικοι*



2041:

- 3635 μόνιμοι κάτοικοι
- 11.814 εποχιακοί κάτοικοι
- Πληθυσμός ημέρα αιχμής: 15.449 κάτοικοι

# Ενεργειακά δεδομένα

---

Υφιστάμενη ενεργειακή κατάσταση Σίφνου:

- 1 Συμβατικός Θερμικός Σταθμός Παραγωγής, ισχύος 9 MW
- 1 Αιολικό Πάρκο, ισχύος 1,2 MW
- 2 Φ/Β Σταθμοί, συνολικής ισχύος 0,203 MW

**Συνολική ετήσια ζήτηση:** 17,30 GWh

**Αιχμή:** 5,40 MW

**Αιχμή σχεδιασμού έργου: 8 MW**



# Μηδενική λύση

Συμβατικός Θερμικός Σταθμός Παραγωγής:

- ❑ Χρησιμοποιεί ως καύσιμο το diesel
- ❑ 9 μονάδες τύπου Mitsubishi S16R-PTA ονομαστικής ισχύος 1 MW

Μικρή συνεισφορά στο ενεργειακό μίγμα του νησιού προέρχεται από ΑΠΕ



Ενεργειακό μίγμα Σίφνου για το έτος 2020	
Συνολική Ζήτηση (MWh)	17.299,57
Αποδιδόμενη Ενέργεια από Ανεμογεννήτριες (MWh)	3.679,2
Αποδιδόμενη Ενέργεια από Φωτοβολταϊκά (MWh)	546,62
Αποδιδόμενη Ενέργεια από συμβατικό σταθμό παραγωγής (MWh)	13.073,75

# Κόστος μηδενικής λύσης



Τα παρακάτω στοιχεία κόστους λαμβάνονται από την μελέτη «*ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΙΦΝΟΥ*» (ΔΕΔΔΗΕ, 2021).

Κόστος προμήθειας πετρελαίου (€)	2.890.419
Κόστος αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών CO <sub>2</sub> (€)	256.336,94
Σταθερό Κόστος λειτουργίας και συντήρησης συμβατικού σταθμού (€)	2.545.458,35
Μεταβλητό κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€)	61.838,82
Συνολικό Κόστος (€)	5.754.053,11
Συνολικό Κόστος σε 20 έτη (€)	115.081.062

# Τεκμηρίωση επιλογής θέσης

---

- Ήπια επίδραση στο περιβάλλον
- Ο κοντινότερος οικισμός είναι σε απόσταση μεγαλύτερη των 4 km
- Η τοπογραφία της περιοχής είναι ήπια (μείωση στο κόστος των εκσκαφών)
- Απουσία φυσικών εμποδίων
- Ταχύτητες ανέμων εντός των ορίων ασφαλούς λειτουργίας
- Εκτός ορίων περιοχής Natura 2000





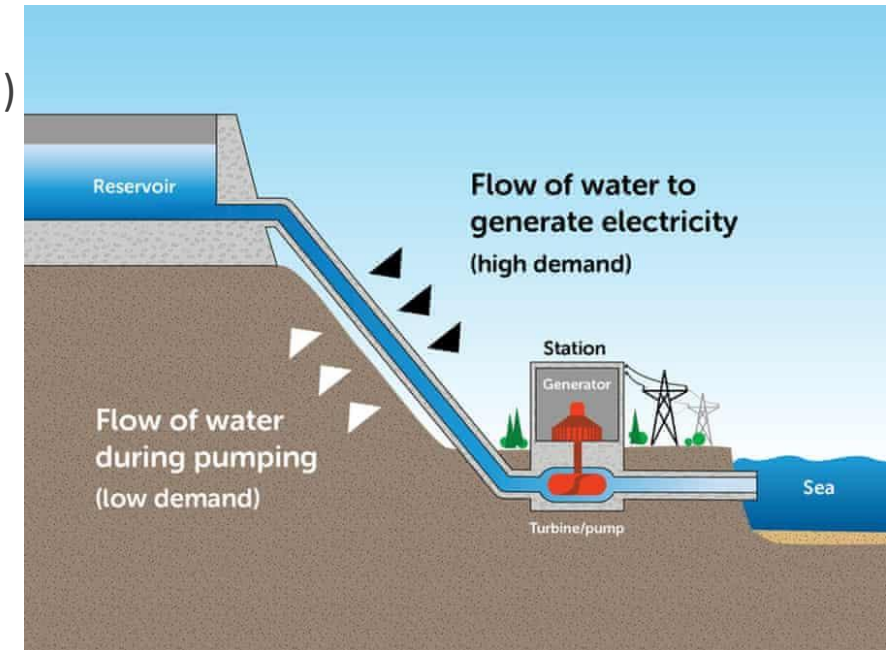
# Τεκμηρίωση επιλογής χρήσης θαλασσινού νερού

## *Μειονεκτήματα συστήματος αντλησοταμίευσης με γλυκό νερό*

- Μη επαρκής χώρος για κατάντη δεξαμενή λόγω του ανάγλυφου
- Απαίτηση εγκατάστασης νέας μονάδας αφαλάτωσης
- Απώλεια μεγάλου όγκου νερού λόγω εξάτμισης (αντιοικονομική πρακτική)

## *Πλεονεκτήματα συστήματος αντλησοταμίευσης με θαλασσινό νερό*

- Κατασκευή μόνο μιας δεξαμενής
- Μη απαίτηση αφαλάτωσης του χρησιμοποιούμενου νερού
- Μεγαλύτερο ύψος πτώσης
- Καινοτόμο έργο



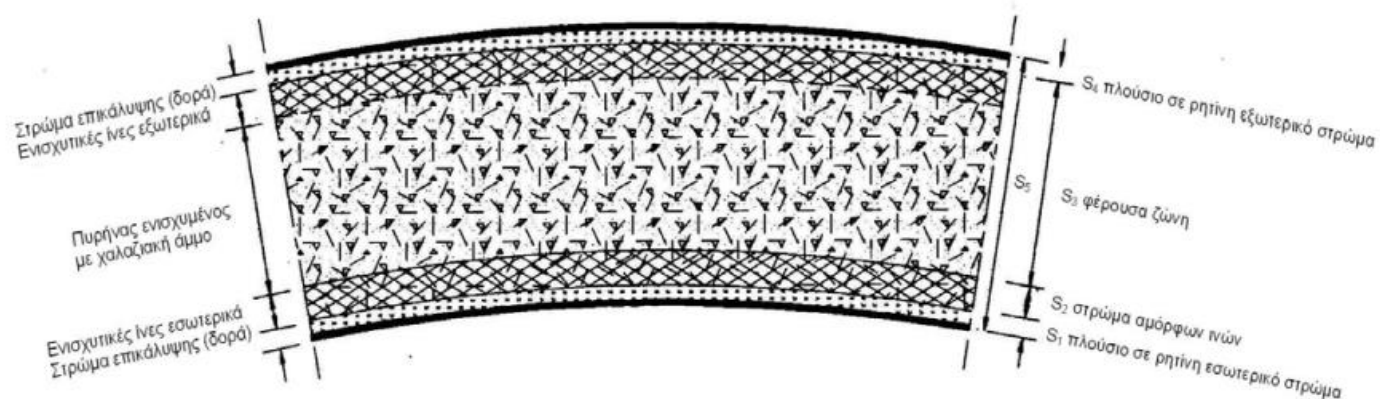


# Προκλήσεις από τη χρήση θαλασσινού νερού (2)

## Λύσεις:

Χρήση αγωγών GRP (glass fiber reinforced plastic) από ακόρεστες πολυεστερικές ρητίνες, ίνες γυαλιού και χαλαζιακή άμμο.

- ✓ Δεν υπάρχει απαίτηση επενδύσεων, επαλείψεων, ή καθοδικής προστασίας
- ✓ Πρακτικά αμετάβλητα υδραυλικά χαρακτηριστικά
- ✓ Χαμηλό ύψος τριβών λόγω της λείας εσωτερικής τους επιφάνειας.
- ✓ Υψηλή αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία
- ✓ Χαμηλό κόστος συντήρησης και μεγάλη διάρκεια ζωής



# Προκλήσεις από τη χρήση θαλασσινού νερού (3)

---

## *Λύσεις:*

Χρήση γεωμεμβράνων HDPE

- ✓ υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό, κρούση, σχίσιμο και διάτρηση.
- ✓ πολύ καλή αντοχή στην περιβαλλοντική καταπόνηση (ESCR) και σε χημικά
- ✓ Έχουν πλάτος 6 m και πάχος 2 mm.



# Προκλήσεις από τη χρήση θαλασσινού νερού (4)

## Χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού από ανοξείδωτου χάλυβα

- Υψηλή αντοχή στη διάβρωση από το θαλασσινό νερό.
- Τα κράματα χάλυβα με χρώμιο, νικέλιο και μολυβδαίνιο παρουσιάζουν αυξημένο δείκτη PREN (pitting resistance equivalent number), ο οποίος ορίζεται ως μέτρο αντοχής σε διάβρωση.
- Σύμφωνα με τα Νορβηγικά πρότυπα Norsok, ως ελάχιστη αποδεκτή τιμή PREN σε έργα θαλασσινού νερού θεωρείται το 40.

Type	UNS No.	Generic name	Nominal Composition (wt%)							PREN
			Fe	Cr	Ni	Mo	N	Cu	W	
Austenitic	J92900	316	Bal	18	10	2	--	--	--	24
	J94651	CN3MN	Bal	20	24	6	0.2	--	--	43
	J93254	CK3MCu N	Bal	20	18	6	0.2	0. 7	--	43
Duplex	J93372	Grade 1B*	Bal	25	5	2	0.1 4	--	--	34
	J92205	Grade 4A*	Bal	22	5.5	3	0.1 6	--	--	35
	J93404	Grade 5A*	Bal	25	7	4	0.3	--	--	41
	J93380	Grade 6A*	Bal	25	8	3.5	0.2 5	0. 7	0.7	41

Bal = Balance

Grade designations in ASTM A995

# Παράμετροι σχεδιασμού

## Αιχμή ζήτησης ενέργειας 8 MW

Παροχή σχεδιασμού 3,50 m<sup>3</sup>/s

### Δεδομένα σχεδιασμού αγωγού

- Ισοδύναμη τραχύτητα  $k_s = 1,50$  mm
- Διάμετρος του αγωγού είναι 1,20 m
- Πίεση 32 bar
- Μήκος αγωγού 904,80 m
- Απώλειες αγωγού 8,66 m



# Μηκοτομή αγωγού



# Ανεμολογικά και Ηλιακά Δεδομένα

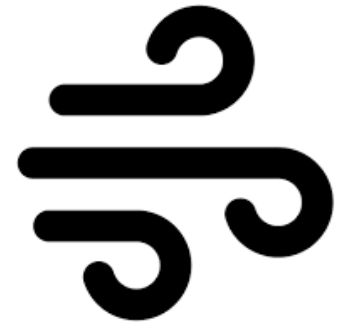
---

## *Ωριαία ανεμολογικά δεδομένα*

- Μετρήσεις από το σταθμό στη Σίφνο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών
- Μέγιστη ταχύτητα του ανέμου 52,6 m/s.
- Κατάλληλη αναγωγή του ανέμου στο ύψος των πτερωτών, με συντελεστή τραχύτητας των ταχυτήτων ανέμου της τάξης των 2 cm.

## *Ωριαία δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας των νησιών του Αιγαίου*

- Μέγιστη ακτινοβολία: 1.016 W/m<sup>2</sup>





# Δεδομένα βροχής και εξάτμισης

---

## Εισροές από τη βροχή και απώλειες λόγω εξάτμισης.

- Δεδομένα βροχής και ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας σε ημερήσια κλίμακα λήφθηκαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών σε ημερήσια βάση.
- Για την εξάτμιση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Hargreaves
- Αναγωγή τους σε ωριαία βάση μέσω του λογισμικού «Υδρογνώμων»



# Προσομοίωση

---

2 εξεταζόμενα σενάρια:

➤ **Προσομοίωση ταμιευτήρα με πλήρη ενεργειακή αυτονομία**

Παραγωγή ενέργειας αποκλειστικά με τη χρήση ΑΠΕ, σε συνδυασμό με το έργο αντλησοταμείωσης

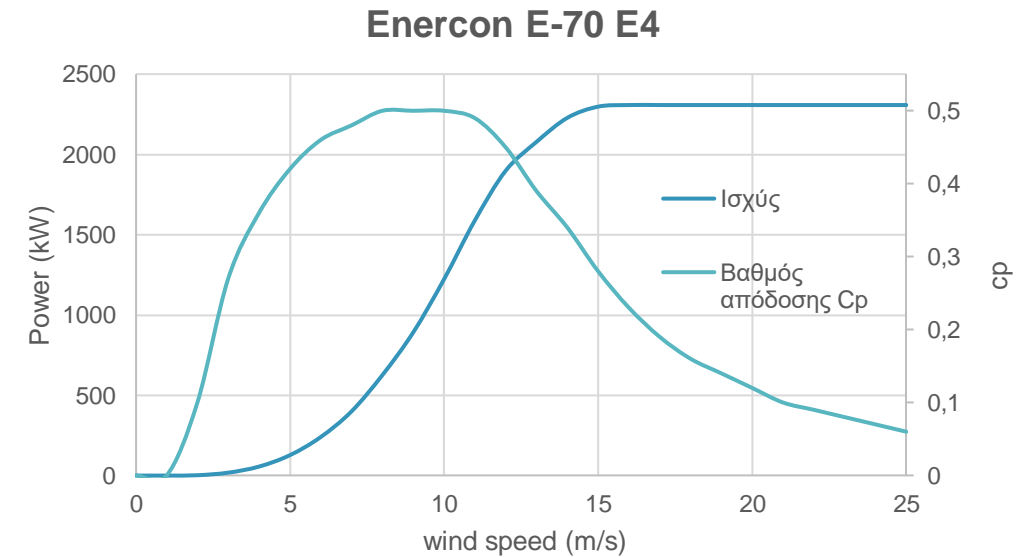
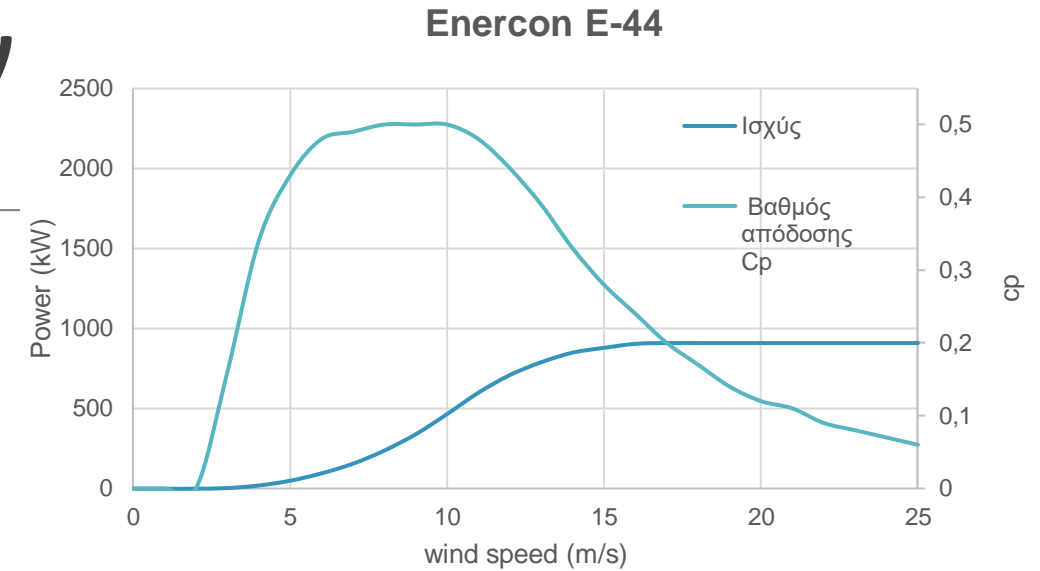
➤ **Προσομοίωση υβριδικού έργου σε συνδυασμό με λειτουργία έργου βάσης**

Παραγωγή ενέργειας με τη χρήση ΑΠΕ, σε συνδυασμό με τον συμβατικό θερμικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό τη μείωση του όγκου του ταμιευτήρα

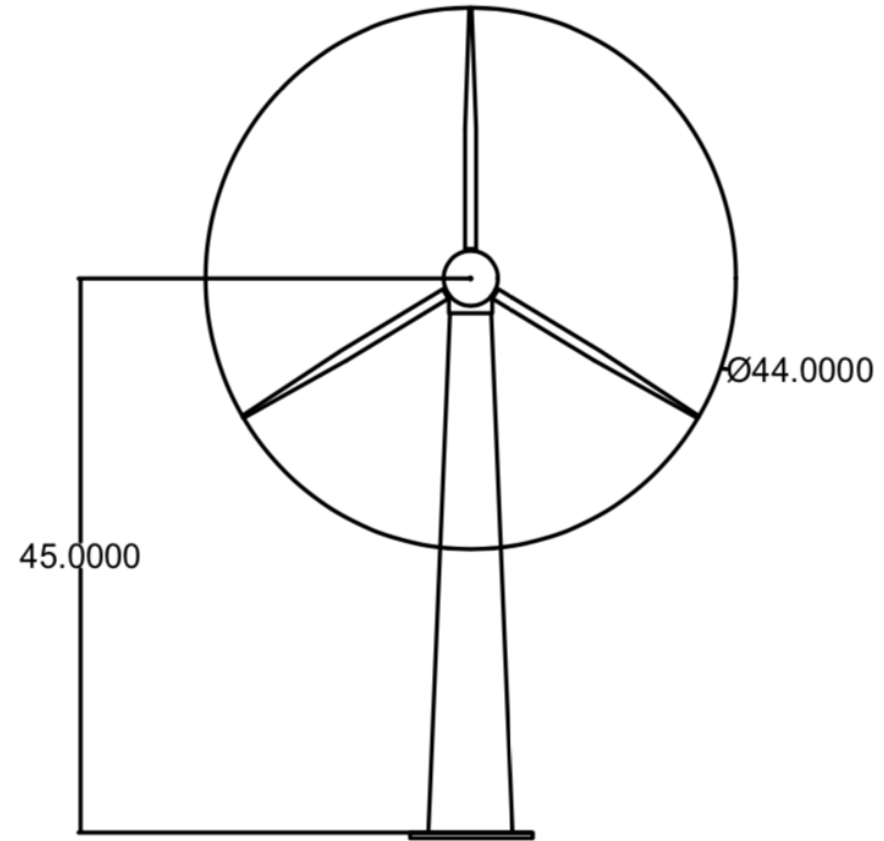
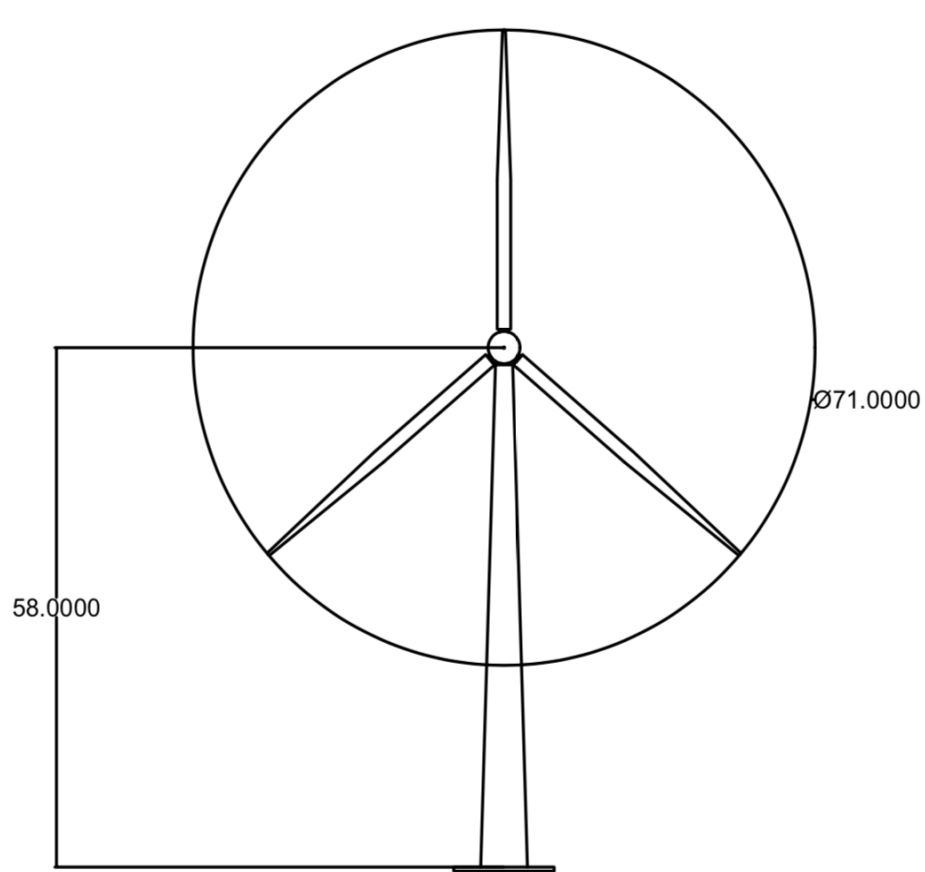


# Επιλογή ανεμογεννητριών

Wind turbine type	Enercon E-44	Enercon E-70 E4
Rated power	900,0 kW	2.300,0 kW
Cut-in wind speed	3,0 m/s	2,5 m/s
Rated wind speed	16,50 m/s	15,0 m/s
Cut-out wind speed	34,0 m/s	34,0 m/s
Survival wind speed	59,50 m/s	-
Tower height	45 m	58 m
<b>Rotor</b>		
Diameter	44,0 m	71,0 m
Swept area	1.521 m <sup>2</sup>	3959 m <sup>2</sup>
Number of blades	3	3
Power density 1	591,7 W/m <sup>2</sup>	581 W/m <sup>2</sup>
Power density 2	1,7 m <sup>2</sup> /kW	1,7 m <sup>2</sup> /kW
<b>Generator</b>		
Voltage	690 V	2.000 V
Grid frequency	50 Hz	50 Hz



# Όψεις ανεμογεννητριών



# Σενάριο πλήρους ενεργειακής αυτονομίας (1)

---

## ➤ Επιλογή ανεμογεννητριών:

2 ανεμογεννήτριες E-44

1 ανεμογεννήτρια E-70 E4

## ➤ Επιλογή φωτοβολταϊκών πάνελ:

825 φωτοβολταϊκά πάνελ με ισχύ 340 W και διαστάσεις 1956 mm x 992 mm έκαστο

➤ Συνολική εγκατεστημένη ισχύς: **4,38 MW**

➤ Συνολική παραγόμενη ενέργεια: **20,62 GWh**



# Σενάριο πλήρους ενεργειακής αυτονομίας (2)

## Ισοζύγιο ταμιευτήρα:

Αρχικό απόθεμα: 500.000 m<sup>3</sup>

Απαιτούμενος όγκος νερού : 1.178.234 m<sup>3</sup>

## Διαστασιολόγηση ταμιευτήρα:

Στρώση οπλισμένου σκυροδέματος πάχους 0,50 m

Μήκος 600 m

Ύψος 11 m

Βάση μικρή 185 m

Βάση μεγάλη 195 m

Κλίση πρανών 66°

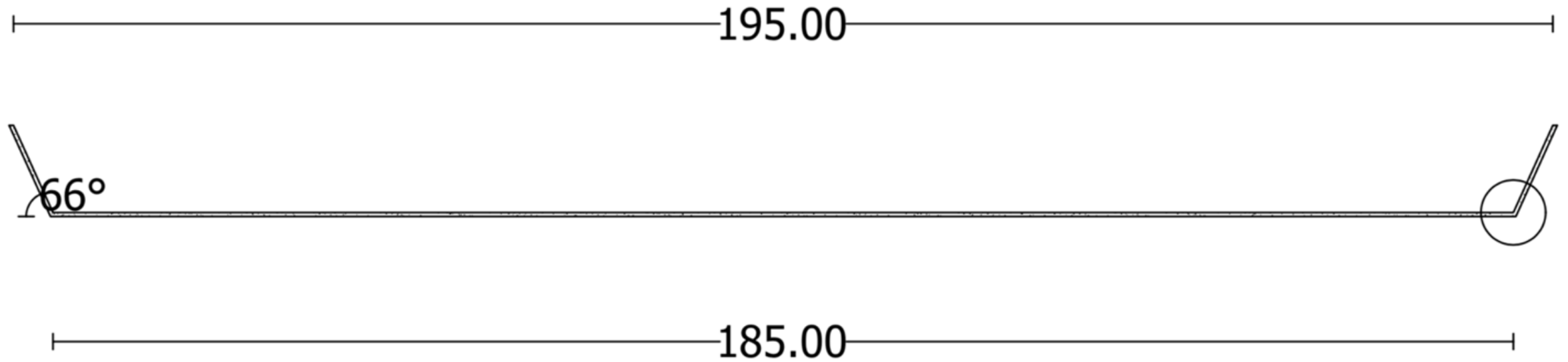
Επιφάνεια: 117.000 m<sup>2</sup>

Τελικός ωφέλιμος όγκος: 1.254.000 m<sup>3</sup>



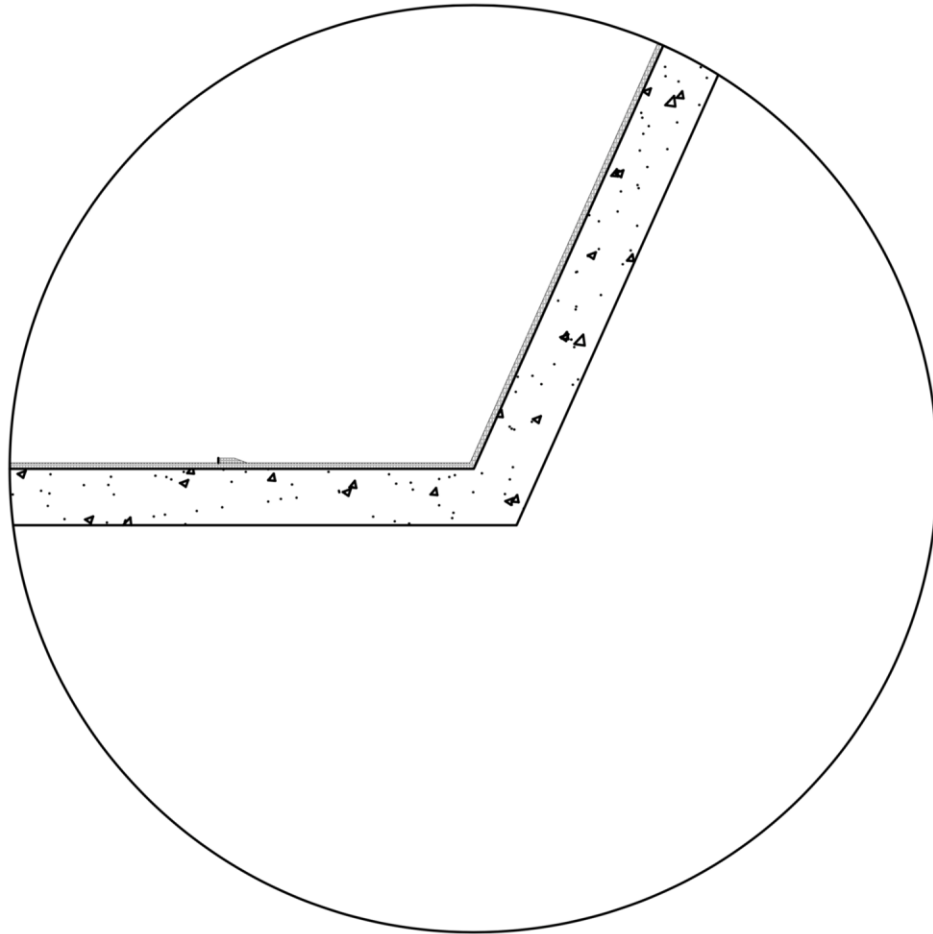
# Διατομή ταμιευτήρα

---



# Λεπτομέρεια ταμιευτήρα

---



ΥΠΟΜΝΗΜΑ:

 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

 ΜΕΜΒΡΑΝΗ



# Σενάριο υβριδικού έργου με έργο βάσης (1)

## □ Επιλογή ανεμογεννητριών:

1 ανεμογεννήτρια E-44

1 ανεμογεννήτρια E-70 E4

## □ Επιλογή φωτοβολταϊκών πάνελ:

1770 φωτοβολταϊκά πάνελ με ισχύ 340 W και διαστάσεις 1956 mm x 992 mm έκαστο

## □ Συμβατικός θερμικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρική ενέργειας:

Θα λειτουργεί όλο το χρόνο με ισχύ 0,5 MW

□ Συνολική εγκατεστημένη ισχύς: **3,80 MW**

□ Συνολική παραγόμενη ενέργεια: **21,18 GWh**



# Σενάριο υβριδικού έργου με έργο βάσης (2)

## Ισοζύγιο ταμιευτήρα:

Αρχικό απόθεμα: 250.000 m<sup>3</sup>

Απαιτούμενος όγκος νερού: 956.121 m<sup>3</sup>

## Διαστασιολόγηση ταμιευτήρα:

Στρώση οπλισμένου σκυροδέματος πάχους 0,50 m

Μήκος: 600 m

Ύψος: 10 m

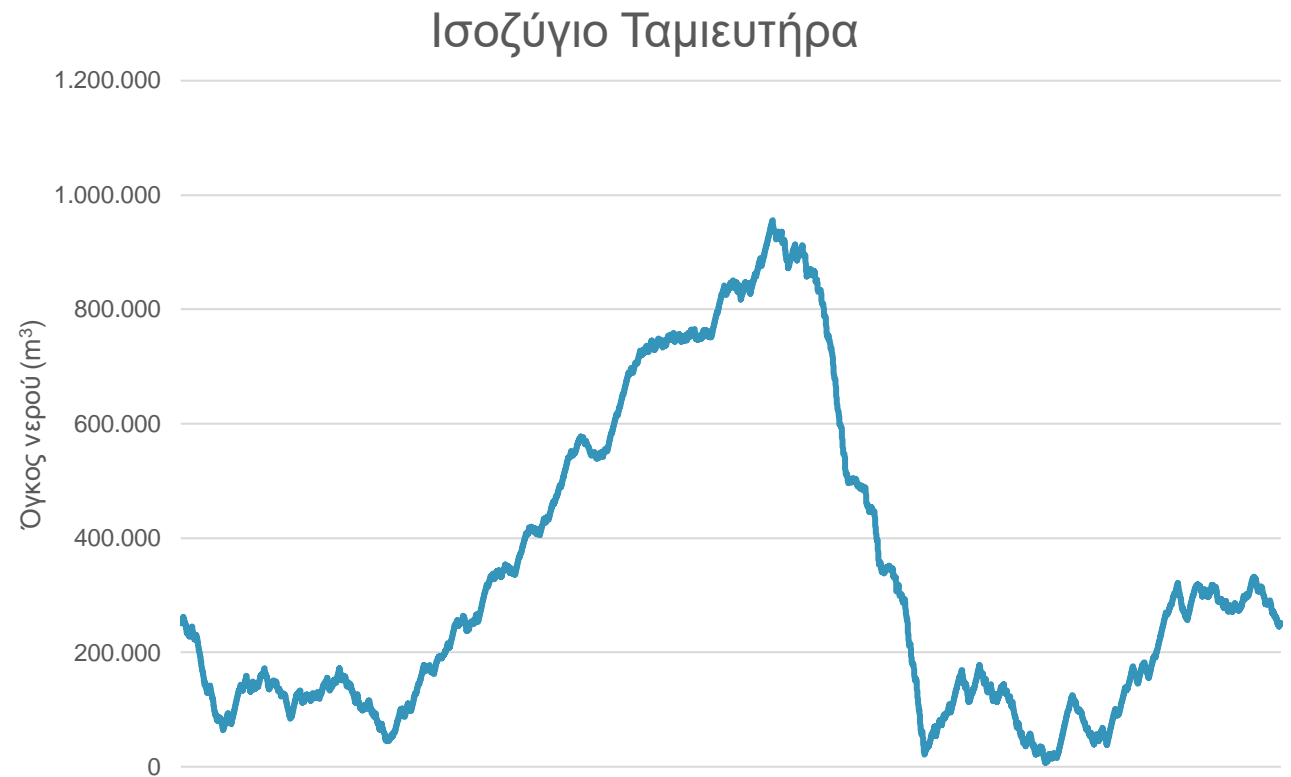
Βάση μικρή: 170 m

Βάση μεγάλη: 180 m

Κλίση πρανών: 63.4°

Επιφάνεια: 108.000 m<sup>2</sup>

Τελικός ωφέλιμος όγκος: 1.050.000 m<sup>3</sup>



# Εκτίμηση προϋπολογισμού έργου πλήρους ενεργειακής αυτονομίας

Εργασίες	Κόστος (€)
Εκσκαφές για την κατασκευή του ταμιευτήρα	9.145.945,6
Εκσκαφή σήραγγας για τον αγωγό	32.928,05
Αγωγός GRP	135.720
Ταμιευτήρας από οπλισμένο σκυρόδεμα	15.624.864
Γεωμεμβράνες	329.380,58
Μηχανολογικός Εξοπλισμός	40.000
Ανεμογεννήτριες	4.710.080
Ετήσιο κόστος συντήρησης ανεμογεννητριών	188.559
Φωτοβολταϊκά	1.683.000
Ετήσιο κόστος συντήρησης φωτοβολταϊκών	7.371,54
Λιμενικό έργο προστασίας αγωγού	82.560
Οδοποιία	142.465,40
Συνολικό κόστος	31.926.944
Συνολικό επιπρόσθετο ετήσιο κόστος	195.930,54
Συνολικό επιπρόσθετο ετήσιο κόστος για 20 έτη	3.918.610,80
<b>Συνολικό κόστος έργου</b>	<b>35.845.554,43</b>



# Εκτίμηση προϋπολογισμού υβριδικού έργου με έργο βάσης

Εργασίες	Κόστος (€)
Εκσκαφές για την κατασκευή του ταμιευτήρα	8.438.922,4
Εκσκαφή σήραγγας για τον αγωγό	32.928,05
Αγωγός GRP	135.720
Ταμιευτήρας από οπλισμένο σκυρόδεμα	14.332.896
Γεωμεμβράνες	303.385,26
Μηχανολογικός Εξοπλισμός	40.000
Ανεμογεννήτριες	3.676.160
Ετήσιο κόστος συντήρησης ανεμογεννητριών	147.168
Φωτοβολταϊκά	3.610.800
Ετήσιο κόστος συντήρησης φωτοβολταϊκών	15.815,30
Λιμενικό έργο προστασίας αγωγού	82.560
Οδοποιία	142.465,4
Ετήσιο κόστος λειτουργίας συμβατικού σταθμού παραγωγής	2.631.612
Συνολικό κόστος	30.795.837
Συνολικό επιπρόσθετο ετήσιο κόστος	2.794.595,30
Συνολικό επιπρόσθετο ετήσιο κόστος για 20 έτη	55.891.906,00
<b>Συνολικό κόστος έργου</b>	<b>86.687.743,11</b>



# Τελική επιλογή λύσης

---

**Υβριδικό έργο πλήρους  
ενεργειακής αυτονομίας**

Υβριδικό έργο σε  
συνδυασμό με συμβατικό  
θερμικό σταθμό  
παραγωγής ενέργειας

**Συνολικό κόστος (€)**

**35.845.554,43**

**86.687.743,11**



# Έλεγχος φέρουσας ικανότητας βραχώμαζας

## Χαρακτηριστικά Δολομίτη:

- $\sigma_{c,i} = 80 \text{ MPa}$
- $m_i = 9 \pm 2$  , επιλέγουμε την τιμή 9 που εξαρτάται από τον βαθμό αλληλοκλειδώματος των κόκκων.
- $GSI = 60$
- $\sigma_{cm} = 8,5 \text{ MPa} > \sigma_{\text{ταμ.}} = 233,82 \text{ KPa}$



Περιγραφή	$\sigma_c$ (MPa)	Παραδείγματα
Πολύ υψηλή αντοχή	>200	Χαλαζίτης, δολερίτης, γάββρος, βασάλτης
Υψηλή αντοχή	100-200	Μάρμαρο, γρανίτης, γνεύσιος, ασβεστόλιθος
Μέση αντοχή	60-100	Ψαμμίτης, δολομίτης, μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος, μαργαϊκός ασβεστόλιθος
Χαμηλή αντοχή	20-60	Ψαμμίτης μέτρια συνεκτικός, τόφφος, αργιλικός σχιστόλιθος
Πολύ χαμηλή αντοχή	<20	Ιλυόλιθος, αργιλικός σχιστόλιθος, κρητίς, ορυκτό αλάτι, αποσαθρωμένα πετρώματα
	<20	Μαλακοί βράχοι
	<1	Έδαφος

# Έργο θωράκισης ακτής

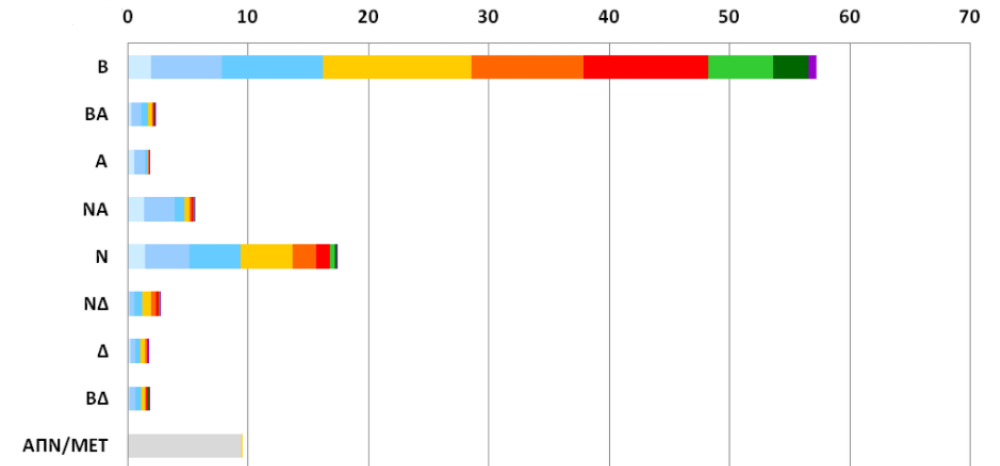
Προσανατολισμός ανέμων	Fetch effective (m)	$\Phi$	t (sec)	$t_{min}$ (sec)
B	51.776,16	994,45	21.1291,2	12.611,22
BA	93.691,73	1.799,51	15.768	19.894,45
A	62.238,77	1.195,40	3.153,6	14.524,35

## Ύψος κύματος για δυσμενέστερο άνεμο (BA):

- $H_b=2,9m$  και  $d_b=2,66m$

## Διαστασιολόγηση έργου θωράκισης:

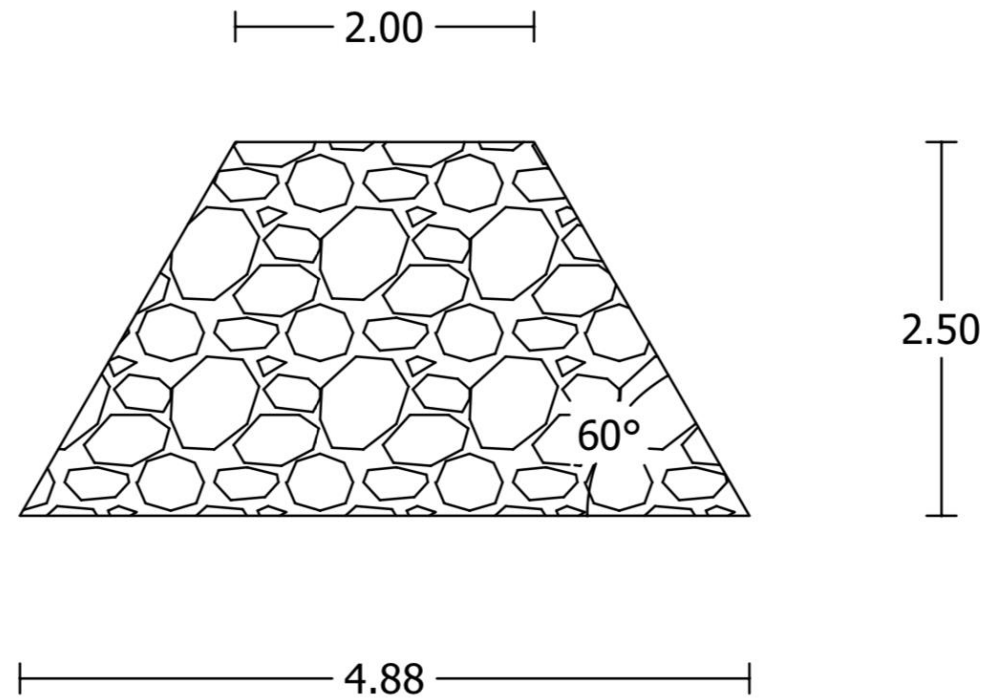
- Ίχνος θωράκισης στον πυθμένα: 4,88 m
- Πλάτος στέψης: 2,00 m
- Ύψος θωράκισης: 2,50 m
- Μήκος θωράκισης: 300 m
- Βάρος κάθε ογκόλιθου: 1,02 tn



	ΑΠΝ/ΜΕΤ	ΒΔ	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α	ΒΑ	Β
■ Απνοια	9.49								
■ 1b	0.00	0.19	0.23	0.15	1.44	1.36	0.58	0.34	1.93
■ 2b	0.00	0.47	0.44	0.43	3.69	2.57	0.92	0.78	5.94
■ 3b	0	0.47	0.41	0.63	4.29	0.82	0.18	0.54	8.36
■ 4b	0.00	0.30	0.38	0.76	4.31	0.36	0.05	0.34	12.38
■ 5b	0	0.14	0.14	0.39	1.96	0.19	0.03	0.13	9.31
■ 6b	0	0.12	0.09	0.27	1.15	0.17	0.02	0.07	10.33
■ 7b	0	0.06	0.02	0.07	0.39	0.07	0.00	0.03	5.42
■ 8b	0	0.03	0.01	0.02	0.15	0.04	0.00	0.02	2.92
■ >=9b	0	0.01	0.00	0.00	0.04	0.02	0.01	0.00	0.67

# Διατομή θωράκισης ακτής

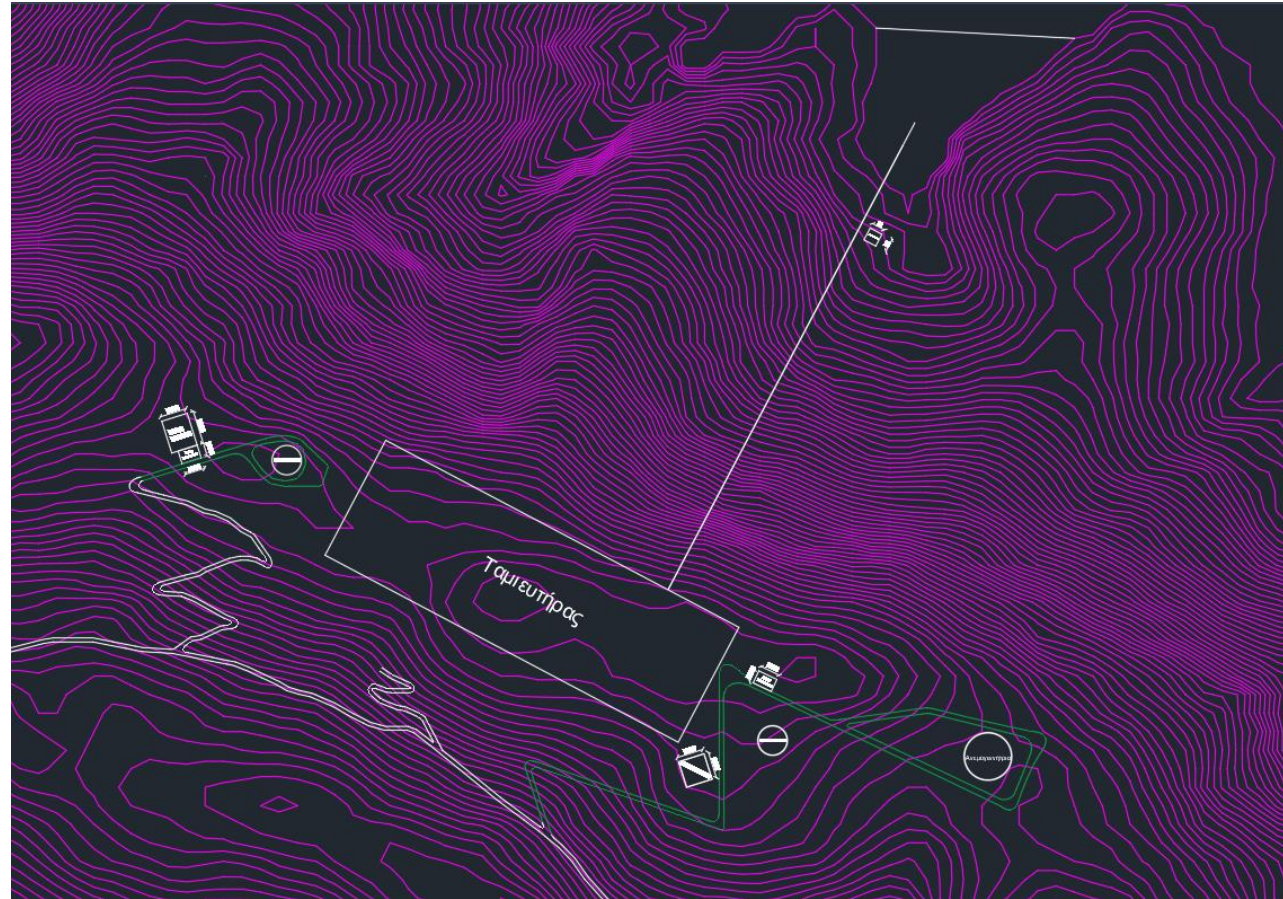
---





# Γενική διάταξη έργων

---



# Δυτική λεπτομέρεια

---



# Ανατολική λεπτομέρεια

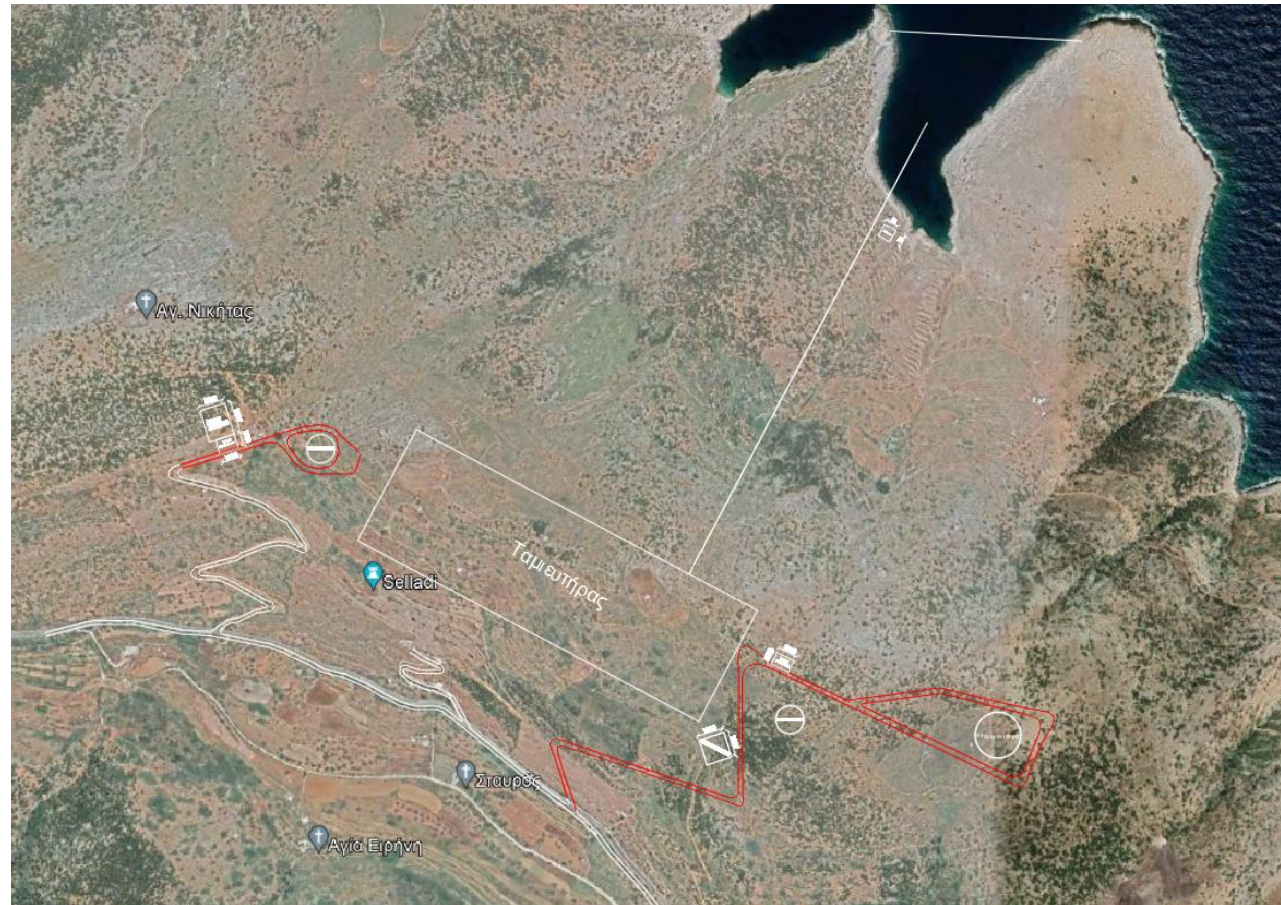


# Βόρεια λεπτομέρεια

---



# Γενική διάταξη έργων



Ευχαριστούμε για την προσοχή σας!

