



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

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

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο διάστημα μεταξύ Οκτωβρίου 2021 και Φεβρουαρίου 2022 στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών της σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Ως την ελάχιστη δυνατή μνεία, με την παρούσα παράγραφο οφείλουμε να ευχαριστήσουμε όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνησή της και ιδιαίτερα:

Τους επιβλέποντες καθηγητές μας, κο Κουτσογιάννη Δημήτρη και κο Μαμάση Νίκο, για την πολύτιμη υποστήριξή τους, τις παραγωγικές υποδείξεις τους και το πολύ καλό κλίμα συνεργασίας που διαμόρφωσαν συμβάλλοντας στα μέγιστα για την κατάρτιση της εργασίας μας.

Τους καθηγητές μας κο Ευστρατιάδη Ανδρέα, για τις πολύωρες συζητήσεις, διορθώσεις, επεξηγήσεις και οδηγίες που μας έδωσε σε όλο αυτό το ταξίδι, καθώς και τον κο Μαρίνο Βασίλη και την κα Πανταζίδου Μαρίνα για την συνεισφορά τους σε ζητήματα γεωτεχνικής φύσεως που προέκυψαν.

Την πολυαγαπημένη μας συνάδελφο και υποψήφια διδάκτωρ κα Σακκή Τζωρτζίνα, η οποία κατέβαλε κάθε δυνατή προσπάθεια για την ολοκλήρωση και τελειοποίηση της παρούσας μελέτης.

Επίσης, ευχαριστίες απευθύνουμε στην ομότιμη καθηγήτρια του Ε.Μ.Π. κα Κασίρη Αλεξάνδρα, στην κοινότητα της Σίφνου καθώς και στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και στο τμήμα Διεύθυνσης Διαχείρισης Νησιών του Διαχειριστή του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους τους συναδέλφους μας, προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές, για τις ανταλλαγές απόψεων, το ειλικρινές ενδιαφέρον τους και για τη σημαντική βοήθειά τους σε όλα τα στάδια της εργασίας.

Τα μέλη της ομάδας.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	2
1. Εισαγωγή.....	6
1.1 Γενικά.....	6
1.2 Υπό εξέταση μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε).....	7
1.2.1. Ηλιακή Ενέργεια.....	7
1.2.2 Αιολική Ενέργεια.....	8
1.3 Συστήματα αποθήκευσης Ενέργειας.....	9
1.3.1 Σύστημα Αντλησοταμίευσης.....	9
1.3.2 Συσσωρευτές.....	10
1.4 Η ελληνική πραγματικότητα στα υβριδικά συστήματα.....	11
1.4.1 Αστυπάλαια.....	11
1.4.2 Τήλος.....	12
1.4.3 Ικαρία.....	12
1.5 Αντικείμενο Μελέτης.....	13
1.6 Δομή Εργασίας.....	13
2. Η περιοχή μελέτης.....	15
2.1 Ιστορικά Στοιχεία.....	15
2.2 Κοινωνικά και οικονομικά στοιχεία.....	15
2.3 Θέση , γεωγραφία και γεωμορφολογία.....	16
2.1.4 Αρχαιολογικοί χώροι και εκκλησίες.....	18
2.1.5 Εθνικό σύστημα προστατευόμενων περιοχών.....	19
3. Πληθυσμιακά, ενεργειακά και ανεμολογικά δεδομένα.....	21
3.1 Πληθυσμιακά δεδομένα.....	21
3.1.1 Τρέχοντα πληθυσμιακά δεδομένα.....	21

3.1.2 Μεθοδολογία πρόβλεψης μόνιμου πληθυσμού	21
3.1.3 Εποχιακός Πληθυσμός	21
3.2 Ενεργειακά δεδομένα.....	22
3.2.1 Τρέχοντα ενεργειακά δεδομένα	22
3.2.2 Μελλοντική ζήτηση ενέργειας	22
3.3 Ανεμολογικά δεδομένα	23
3.3.1 Ανεμολογικός Σταθμός Σίφνου	23
4. Τα εξεταζόμενα σενάρια	24
4.1 Μηδενική λύση.....	24
4.1.1 Υφιστάμενα ενεργειακά συστήματα.....	24
4.1.2 Οικονομική ανάλυση μηδενικής λύσης	24
4.2 Σύστημα αντλησοταμίευσης με χρήση γλυκού νερού.....	26
4.2.1 Πλεονεκτήματα συστήματος αντλησοταμίευσης με γλυκό νερό	26
4.2.2 Μειονεκτήματα συστήματος αντλησοταμίευσης με γλυκό νερό	26
4.3 Σύστημα Αντλησοταμίευσης με θαλασσινό νερό	27
4.3.1 Πλεονεκτήματα συστήματος αντλησοταμίευσης με θαλασσινό νερό	27
4.3.2 Μειονεκτήματα συστήματος αντλησοταμίευσης με θαλασσινό νερό	27
4.4 Τελική επιλογή εναλλακτικής λύσης.....	27
5. Σχεδιασμός του έργου	28
5.1 Προκλήσεις.....	28
5.1.1 Τεκμηρίωση επιλογής θέσης	28
5.1.2 Αγωγοί θαλασσινού νερού	29
5.1.3 Αντλίες και στρόβιλοι	29
5.1.4 Ανεμογεννήτριες.....	30
5.1.5 Στεγανοποίηση Ταμιευτήρα	32
5.1.6 Αγωγός Βαρύτητας	33
5.2 Προσομοιώσεις	33

5.2.1 Παράμετροι σχεδιασμού	33
5.2.2 Προσομοίωση ταμιευτήρα με πλήρη ενεργειακή αυτονομία	35
5.2.2 Προσομοίωση υβριδικού έργου σε συνδυασμό με λειτουργία έργου βάσης (συμβατικός θερμικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρική ενέργειας) .	36
5.3 Σχεδιασμός ταμιευτήρα.....	38
5.3.1 Διαστασιολόγηση ταμιευτήρα.....	38
5.3.2 Έλεγχος φέρουσας ικανότητας βραχόμαζας.....	38
5.4 Έργο θωράκισης ακτής	41
5.4.1 Κυματικό κλίμα στα ανοιχτά.....	41
5.4.2 Κυματικό κλίμα στη γραμμή θραύσης.....	42
5.4.3 Διαστασιολόγηση έργου θωράκισης	43
6. Οικονομική μελέτη εναλλακτικών σεναρίων της προτεινόμενης λύσης	44
6.1 Οικονομική μελέτη υβριδικού έργου με πλήρη ενεργειακή αυτονομία	44
6.2 Οικονομική μελέτη συνδυασμού υβριδικού έργου με έργο βάσης (συμβατικό θερμικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρική ενέργειας)	47
6.3 Σύγκριση, επιλογή τελικής λύσης και συμπεράσματα.....	51
7. Σχέδια	52
7.1.1 Γενική διάταξη	52
7.1.2 Λεπτομέρειες γενικής διάταξης	53
7.1.3 Τομή ταμιευτήρα	54
7.1.4 Μηκοτομή αγωγού βαρύτητας.....	55
7.1.5 Όψεις ανεμογεννητριών	56
7.1.6 Διατομή θωράκισης ακτής.....	57
Παράρτημα 1 : Αναλυτικός υπολογισμός όγκου εκσκαφών και απαιτούμενου όγκου σκυροδέματος ταμιευτήρα.....	58
Παράρτημα 2 : Αναλυτικός υπολογισμός απαιτούμενης επιφάνειας γεωμεμβρανών	61
Παράρτημα 3: Αναλυτικός υπολογισμός λοιπών απαιτούμενων τμημάτων του έργου πλήρους ενεργειακής αυτονομίας.....	62
Βιβλιογραφία	63

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Με την πάροδο του χρόνου οι ενεργειακές ανάγκες του ανθρώπου αυξάνονται συνεχώς. Η εξέλιξη σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας είναι αυτή που οδήγησε και συνεχίζει να οδηγεί μεγάλο μέρος της επιστημονικής κοινότητας στην αναζήτηση λύσεων για την κάλυψη αυτών των αναγκών. Τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων, λόγω της μεγάλης και ολοένα αυξανόμενης ενεργειακής ζήτησης, αρχίζουν να φθίνουν. Έτσι, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στα πλεονεκτήματα που αυτές προσφέρουν.

Οι διαθέσιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που έχει εκμεταλλευτεί ο άνθρωπος είναι οι εξής:

- Αιολική
- Ηλιακή
- Υδραυλική
- Βιομάζα
- Γεωθερμική
- Θαλάσσια

Είναι προφανές ότι οι παραπάνω μορφές ενέργειας δημιουργούν μεγάλης κλίμακας αβεβαιότητα για την ποσότητα και την χρονική κατανομή της ενέργειας που προσφέρουν. Γι' αυτό το λόγο μία κρίσιμη παράμετρος για την ολική ένταξή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο, είναι η εύρεση ενός τρόπου μερικής αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειάς τους.

Εκτός των άλλων, ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει ο τρόπος με τον οποίο παρέχεται ενέργεια στα νησιά. Εκεί η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών εμφανίζει μεγαλύτερες δυσκολίες, λόγω της μη διασύνδεσής τους με την ηπειρωτική χώρα. Ζητήματα, όπως η μεταφορά και διάθεση των ορυκτών

καυσίμων σε αυτά, καθώς και η σωστή και επαρκής λειτουργία των τοπικών πετρελαϊκών σταθμών ενισχύουν το πρόβλημα. Επιπρόσθετα το κόστος προμήθειας πετρελαίου είναι αυξημένο σε σύγκριση με το αντίστοιχο κόστος εισαγωγής και διανομής στον ηπειρωτικό κορμό. Εκτός από το υψηλό κόστος, σημαντική είναι και η ρύπανση του περιβάλλοντος από τις εκπομπές της καύσης. Έτσι, η επένδυση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι αναγκαία τόσο στα ηπειρωτικά τμήματα, όσο και στα νησιωτικά συμπλέγματα του πλανήτη.

Πιο συγκεκριμένα, η μετάβαση στην καθαρή ενέργεια θα μπορούσε να βοηθήσει τα νησιά να γίνουν ενεργειακά ανεξάρτητα. Με αυτόν τον τρόπο, παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας ενός συστήματος αυτονομίας, με σκοπό την τοπική και αειφόρο εξέλιξη. Οι νέες θέσεις εργασίας θα ενισχύσουν οικονομικά τις τοπικές κοινωνίες.



1.2 Υπό εξέταση μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε)

1.2.1. Ηλιακή Ενέργεια

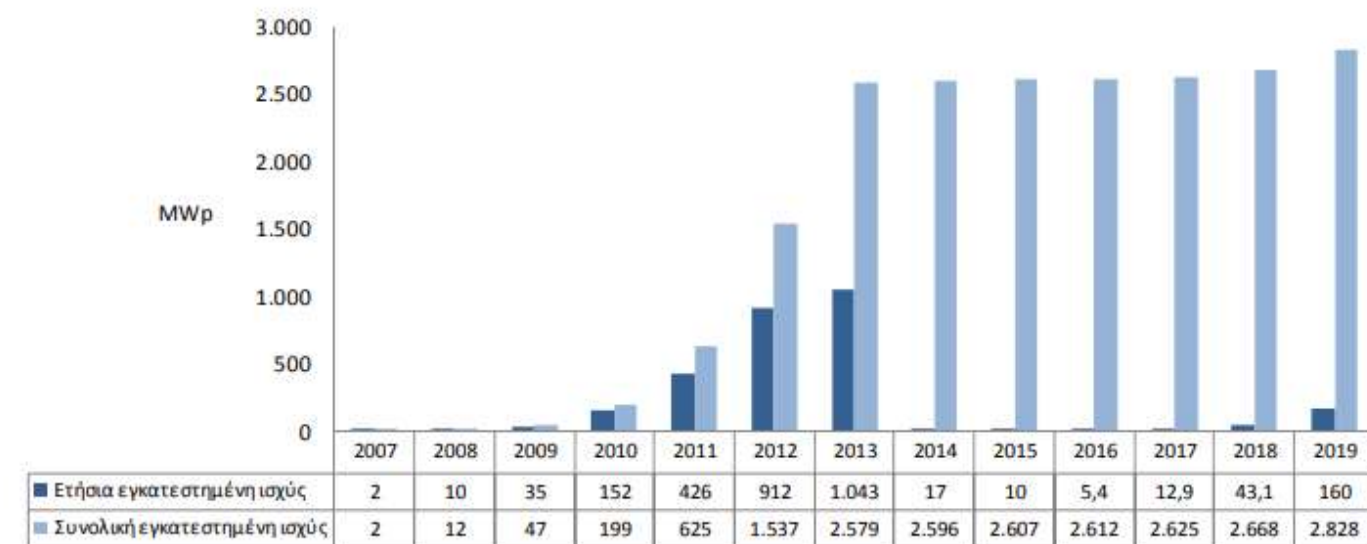
Ο ήλιος είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, η οποία μπορεί να μετατραπεί είτε άμεσα, είτε έμμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα εκμεταλλεύονται απευθείας την ηλιακή ενέργεια μετατρέποντάς την σε ηλεκτρική χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το υψηλό ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας καθιστά την αξιοποίηση της παραπάνω τεχνολογίας ιδιαίτερα αποδοτική. Μάλιστα, το Φ/Β πάρκο της Κύθνου, το οποίο δημιουργήθηκε το 1983, ήταν το πρώτο έργο του είδους που λειτούργησε στην Ευρώπη (ΔΕΗ).

Παράγοντες που συντελούν στην ανάπτυξη των Φ/Β στην Ελλάδα

Η Ελλάδα παρουσιάζει αξιοσημείωτες προϋποθέσεις για ανάπτυξη και εφαρμογή των Φ/Β συστημάτων. Οι λόγοι για την προώθηση της Φ/Β τεχνολογίας, της έρευνας και των εφαρμογών στην Ελλάδα συνοψίζονται ως ακολούθως:

- Αξιοποίηση μιας εγχώριας και ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που είναι σε αφθονία, με συμβολή στην ασφάλεια παροχής ενέργειας.
- Υποστήριξη του τουριστικού τομέα για ανάπτυξη φιλική προς το περιβάλλον και οικολογικό τουρισμό, ιδιαίτερα στα νησιά. Η ενεργειακή εξάρτηση των νησιωτικών σταθμών παραγωγής ενέργειας από το πετρέλαιο και το τεράστιο κόστος μεταφοράς της, έχουν άμεσο αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής των κατοίκων, στην τουριστική ανάπτυξη και στο κόστος παραγωγής ενέργειας, το οποίο τελικώς χρεώνεται η ΔΕΗ.
- Ενίσχυση του ηλεκτρικού δικτύου τις ώρες των μεσημβρινών αιχμών, όπου τα Φ/Β παράγουν το μεγάλο μέρος ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο που παρατηρείται έλλειψη ή πολύ υψηλό κόστος ενέργειας.

- Μείωση των απωλειών του δικτύου, με την παραγωγή ενέργειας στον τόπο της κατανάλωσης, ελάφρυνση των γραμμών και χρονική μετάθεση των επενδύσεων στο δίκτυο.
- Περιορισμός του ρυθμού ανάπτυξης νέων κεντρικών σταθμών ισχύος συμβατικής τεχνολογίας. Συμβολή στη μείωση των διακοπών ηλεκτροδότησης λόγω υπερφόρτωσης του δικτύου ΔΕΗ.
- Σταδιακή απεξάρτηση από το πετρέλαιο και κάθε μορφής εισαγόμενη ενέργεια και εξασφάλιση της παροχής ενέργειας μέσω αποκεντρωμένης παραγωγής.



Εικόνα 1: Εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα (Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών)

Το 2019, τα φωτοβολταϊκά κάλυψαν περίπου το 7% των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια, φέρνοντας την Ελλάδα στην τέταρτη θέση διεθνώς (μετά από Ονδούρα, Ιταλία και Γερμανία) σε ότι αφορά στη συμβολή των φωτοβολταϊκών στη συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών).

1.2.2 Αιολική Ενέργεια

Ο άνεμος προκαλείται από τρία γεγονότα: α) την θέρμανση της ατμόσφαιρας από τον ήλιο, β) την περιστροφή της γης και γ) την ανομοιογένεια της επιφάνειας της γης. Ο αέρας σε συνθήκες υψηλής πίεσης κινείται προς περιοχές με χαμηλή πίεση -όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά στην πίεση, τόσο πιο γρήγορα ρέει ο αέρας και τόσο δυναμώνει ο άνεμος. Η ανεμογεννήτρια μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρισμό. Οι ανεμογεννήτριες ποικίλουν ανάλογα με το σχήμα και το μέγεθός τους. Ο πιο συνηθισμένος τύπος είναι εκείνος με τα τρία πτερύγια τοποθετημένα σε έναν οριζόντιο άξονα.

Τρεις μεταβλητές καθορίζουν πόση ενέργεια μπορεί να παράγει μια ανεμογεννήτρια:

1. Η ταχύτητα του ανέμου. Συνήθως, οι ανεμογεννήτριες παράγουν ηλεκτρισμό σε εύρη ταχυτήτων ανέμου 4 – 25 m/s.
2. Το μήκος πτερυγίων. Όσο πιο μεγάλα είναι τα πτερύγια, (μεγάλη επιφάνεια σάρωσης αέρα) ,τόσο περισσότερος ηλεκτρισμός μπορεί να παραχθεί.
3. Η πυκνότητα του αέρα. Ο πυκνός αέρας κινεί πιο εύκολα τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας. Η πυκνότητα του αέρα εξαρτάται από το υψόμετρο, τη θερμοκρασία και την πίεση του αέρα.

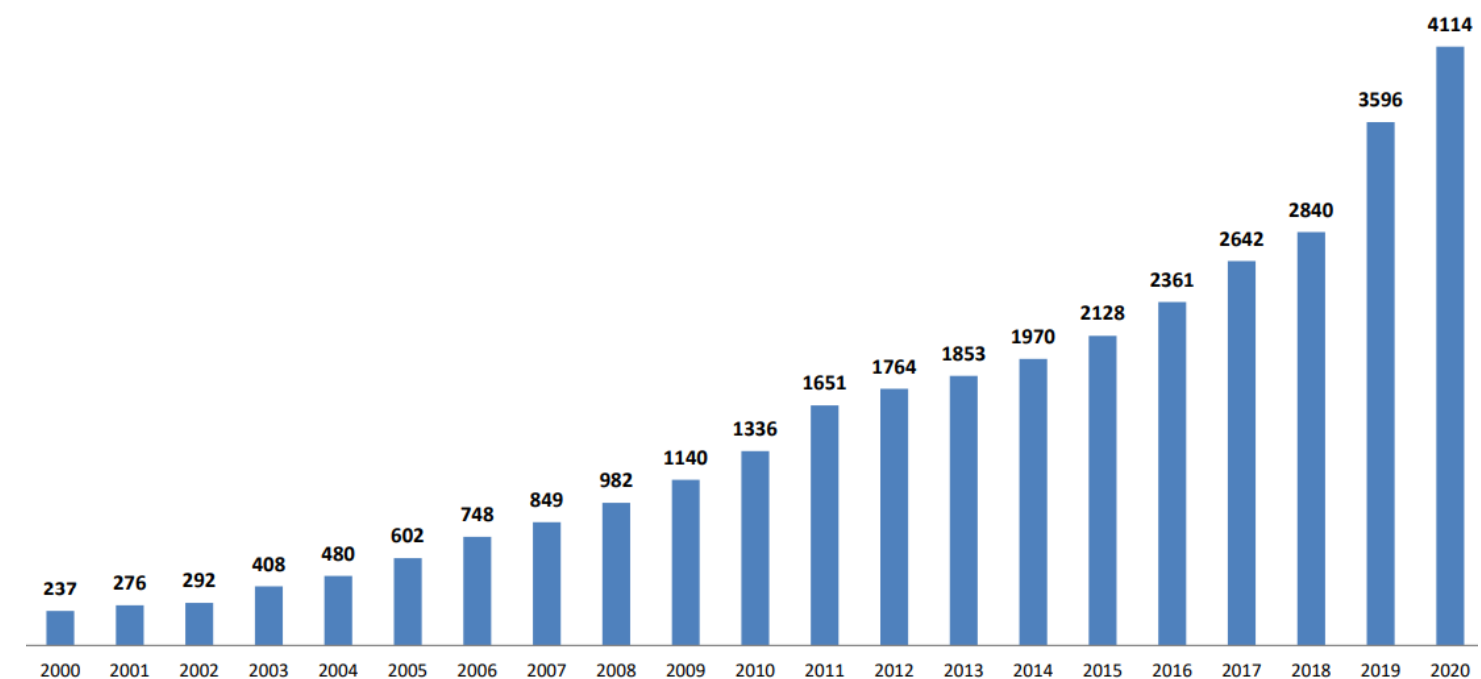
Τα πλεονεκτήματα αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας μέσω των ανεμογεννητριών συνοψίζονται παρακάτω:

- Η Αιολική Ενέργεια προέρχεται από μια φυσική και ανεξάντλητη πηγή, είναι καθαρή καθώς δεν παράγει εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, δεν εκπέμπει καθόλου ατμοσφαιρικούς ρύπους και χρησιμοποιεί ελάχιστο νερό.
- Οι τεχνολογίες εκμετάλλευσής τους είναι πλέον ανεπτυγμένες, καθιστώντας τόσο την εγκατάσταση όσο και το κόστος λειτουργίας τους χαμηλότερο από αυτό των άλλων Α.Π.Ε.

- Πρόκειται για καθαρή μορφή ενέργειας, η οποία καταλαμβάνει ελάχιστο χώρο, με μικρή επιρροή στην χλωρίδα και την πανίδα της περιοχής στην οποία εγκαθίσταται η ανεμογεννήτρια.
- Συνεισφέρει στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς ενέργειας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το 2019, τα 4,11 GW συνολικής εγκατεστημένης ισχύος ανεμογεννητριών στην Ελλάδα κάλυψαν το 15% της συνολικής ετήσιας ζήτησης σε ενέργεια της χώρας.

Total capacity to the grid (MW) per year



Εικόνα 2: Εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος ανεμογεννητριών στην Ελλάδα (HWEA , Wind Energy Statistics – 2020)

1.3 Συστήματα αποθήκευσης Ενέργειας

Η αποθήκευση της ενέργειας (energy storage) αποτελεί με τον έναν ή τον άλλο τρόπο τόσο μια φυσική διεργασία (δημιουργία ορυκτών καυσίμων), όσο και μια τεχνητή μέθοδο για την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών του ανθρώπου. Η ταξινόμηση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας είναι αρκετά περίπλοκη. Συγκεκριμένα, μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με το σκοπό του συστήματος (π.χ. παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ή θερμότητας), ανάλογα με τη μορφή της ενέργειας που αποθηκεύεται ή ανάλογα με το αν τα συστήματα αυτά είναι κινητά ή σταθερά.

Στην σημερινή εποχή, η αποθήκευση ενέργειας, αποτελεί μείζονος σημασίας θέμα, διότι:

- i. Αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για να γίνει δυνατή η αξιοποίηση των περισσότερων ΑΠΕ και, ιδιαίτερα, της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας.

Μόνο με αξιόπιστα συστήματα αποθήκευσης της ενέργειας μπορούν να λειτουργήσουν τα αυτόνομα συστήματα ΑΠΕ, αλλά και να επιτευχθεί η ενσωμάτωση σε μεγάλη κλίμακα της ηλεκτρικής ισχύος από τις ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο.

- ii. Είναι σημαντική για την εξισορρόπηση της ηλεκτρικής ισχύος από τις εταιρίες ηλεκτροπαραγωγής.

Οι σταθμοί παραγωγής λειτουργούν αποδοτικότερα με σταθερή παραγωγή και για να καλύψουν ώρες αιχμής θα ήταν επιθυμητή η αποθήκευση της περίσσειας στα χρονικά διαστήματα με μικρότερη κατανάλωση. Η αποθήκευση ηλεκτρισμού μπορεί να μειώσει το λειτουργικό κόστος μιας μονάδας ηλεκτροπαραγωγής. Επιπλέον βοηθά στο πρόβλημα της «ποιότητας» του ηλεκτρισμού, δηλαδή να μειώνει τις

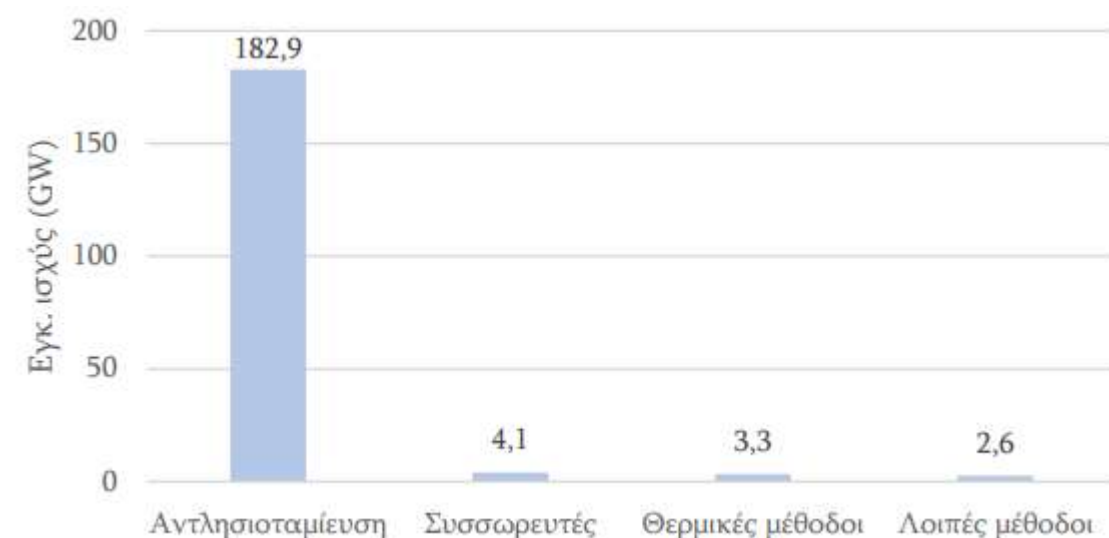
διακυμάνσεις του δυναμικού, της έντασης ή της συχνότητας του ηλεκτρικού ρεύματος.

- iii. Μπορεί να καλύψει τους καταναλωτές σε περιπτώσεις διακοπών (συστήματα UPS) και για τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας στις ώρες αιχμής, όταν και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλότερο.

Ωστόσο, η βέλτιστη μέθοδος αποθήκευσης της ενέργειας για κάθε περίπτωση εξαρτάται από την ποσότητα της ενέργειας που πρέπει να αποθηκευτεί (ενεργειακή πυκνότητα του υλικού), τη χρονική διάρκεια αποθήκευσης, τη μορφή της ενέργειας που απαιτείται για αποθήκευση και την απόδοση με την οποία ανακτάται η ενέργεια.

1.3.1 Σύστημα Αντλησοταμίευσης

Κυρίαρχη τεχνολογία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι σήμερα είναι η αντλησιοταμίευση, με εγκατεστημένη ισχύ παγκοσμίως περί τα 183 GW.



Εικόνα 3: Εγκατεστημένη ισχύς ανά τεχνολογία αποθήκευσης (Στοιχεία Ο.Δ.Ε. Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας της ΓΓΕΟΠΥ/ΥΠΕΝ Απόφ. ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/118233/4341/8.12.2021 - ΦΕΚ 5619, τ.Β, 21.12.2020)

Τα συστήματα αντλησοταμίευσης εφαρμόζονται από το 1929 στις Η.Π.Α. και σήμερα ακόμη παραμένουν ουσιαστικά τα κυριότερα, συστήματα αποθήκευσης της ενέργειας. Η μεγαλύτερη εγκατάσταση στον κόσμο βρίσκεται στη λίμνη Michigan (1,5x10⁷ kWh).

Η τυπική διάταξη ενός αντλησιοταμιευτικού σταθμού διαθέτει δύο ταμιευτήρες σε υψομετρική διαφορά εκατοντάδων μέτρων. Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με άντληση νερού από τη χαμηλότερη δεξαμενή στην υψηλότερη, ενώ για την επαναπόδοση της ενέργειας στο δίκτυο πραγματοποιείται η αντίστροφη ροή, σε λειτουργία όμοια με αυτή ενός υδροηλεκτρικού σταθμού.

Οι σταθμοί αντλησοταμίευσης αποτελούν εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας ισχύος και ενέργειας, κατάλληλες για εξυπηρέτηση αναγκών των ηλεκτρικών συστημάτων με άμεση απόκριση, καθώς η εκκίνηση και διακοπή λειτουργίας του συστήματος είναι γρήγορη (μέσα σε 30 δευτερόλεπτα). Η λειτουργία τέτοιων εγκαταστάσεων επί πολλές δεκαετίες καθιστά την τεχνολογία αυτή την πλέον ώριμη τεχνολογία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Με σημερινά δεδομένα κόστους, η αντλησοταμίευση αποτελεί επίσης την πιο οικονομική τεχνολογία αποθήκευσης μεγάλης χωρητικότητας (η χωρητικότητα των έργων γενικά υπερβαίνει τις 6 ώρες λειτουργίας σε ονομαστική ισχύ). Πρόσθετο πλεονέκτημά της είναι η πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής των υποδομών, η οποία συνήθως υπερβαίνει τα 50 έτη.

Από την άλλη πλευρά, οι ιδιαίτερες γεωμορφολογικές απαιτήσεις περιορίζουν την ευχέρεια γενικευμένης ανάπτυξης νέων έργων, ενώ η κλίμακα μεγέθους των έργων επιβάλλει μεγάλους χρόνους ωρίμανσης και κατασκευής.

1.3.2 Συσσωρευτές

Οι πρώτοι συσσωρευτές μόλυβδου-οξέος εφευρέθηκαν το 1859 από τον Gaston Planté και χρησιμοποιούνται ακόμη ευρύτατα στο μεταφορικό τομέα και για αποθήκευση ηλιακής ενέργειας.

Οι περιορισμοί τους είναι:

- 1) Απαιτούν συχνή συντήρηση για αντικατάσταση του νερού που χάνεται
- 2) Είναι σχετικά ακριβά για ευρεία χρήση στα ΦΒ συστήματα και
- 3) Είναι σχετικά μεγάλου βάρους, καθώς χρησιμοποιούν μόλυβδο.

Τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και υπάρχουν διαθέσιμα στο εμπόριο σε μεγάλη ποικιλία.

Την τελευταία δεκαετία σημειώνεται ταχύτατη αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος συστημάτων συσσωρευτών (μπαταριών) στα ηλεκτρικά συστήματα διεθνώς. Μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών μπαταριών που είναι σήμερα διαθέσιμες για βιομηχανική χρήση, οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου (Li-ion) αποτελούν την κυρίαρχη επιλογή για νέες εγκαταστάσεις, με το κόστος τους να μειώνεται διαρκώς, κυρίως λόγω των εφαρμογών στην ηλεκτροκίνηση. Κύρια πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής για χρήσεις ηλεκτρικών συστημάτων είναι η εξαιρετικά γρήγορη απόκριση, ο υψηλός βαθμός απόδοσης πλήρους κύκλου, η ευχέρεια ανάπτυξης σε σταθμούς όλων των μεγεθών (από λίγα kW, έως εκατοντάδες MW). Ωστόσο, υπάρχει ανάγκη για ανάπτυξη αξιόπιστων συσσωρευτών, ανώτερης ποιότητας από τα συμβατικά συστήματα των συσσωρευτών που θα διαρκούν για περισσότερους από 2000 κύκλους φόρτισης-αποφόρτισης.

Οι περιοχές ισχύος των συσσωρευτών κυμαίνονται ανάλογα με τη χρήση:

- i. 1-4 kW για οικιακή χρήση
- ii. 30-100 kW για εμπορική, βιομηχανική ή οικιστική χρήση
- iii. >1 MW για σύνδεση με το δίκτυο

1.4 Η ελληνική πραγματικότητα στα υβριδικά συστήματα

Τα υβριδικά συστήματα ισχύος είναι σχεδιασμένα για την παραγωγή και χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι συνήθως ανεξάρτητα από ένα μεγάλο, συγκεντρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο και ενσωματώνουν περισσότερους από έναν τύπους πηγών ενέργειας. Μπορούν να κυμαίνονται σε μέγεθος από μεγάλα νησιωτικά δίκτυα πολλών MW μέχρι και μεμονωμένα οικιακά τροφοδοτικά ισχύος της τάξης 1kW και συνεισφέρουν σημαντικά στην υλοποίηση των πολιτικών απομάκρυνσης από τα ορυκτά καύσιμα.

Η διαδικασία σχεδιασμού των υβριδικών ενεργειακών συστημάτων απαιτεί την επιλογή του καταλληλότερου συνδυασμού ενεργειακών πηγών, συσκευών ισχύος και συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, καθώς και την εφαρμογή μιας αποτελεσματικής στρατηγικής. Η επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού από ανανεώσιμες τεχνολογίες για τη δημιουργία ενός υβριδικού ενεργειακού συστήματος εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα των ανανεώσιμων πόρων στο χώρο όπου πρόκειται να εγκατασταθεί το υβριδικό σύστημα.

Για την δημιουργία ενός υβριδικού ενεργειακού συστήματος στο αρχικό στάδιο σχεδιασμού προσδιορίζονται τα παρακάτω:

- Το μίγμα και η αναλογία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε ένα σύστημα, καθώς και η μεταξύ του αλληλεπίδραση
- Ο αριθμός και η ισχύς των μονάδων ανανεώσιμης ενέργειας που πρόκειται να εγκατασταθούν

- Εάν στο σύστημα συμπεριληφθεί ένα εφεδρικό σύστημα παραγωγής ενέργειας όπως μια γεννήτρια ντίζελ, μια κυψέλη καυσίμου κτλ.
- Εάν η αποθήκευση ενέργειας θα ενσωματωθεί στο σύστημα

Τα υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές εκμεταλλεύονται με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο τα χαρακτηριστικά της κάθε τεχνολογίας ώστε να παραχθεί η ενέργεια.

Ιδιαίτερη σημασία έχουν τα υβριδικά συστήματα που λειτουργούν σε νησιά και συμβάλλουν στην ενεργειακή ανεξαρτησία τους από την ηπειρωτική χώρα. Παρακάτω θα γίνει αναφορά και περιγραφή τόσο υφιστάμενων όσο και προτεινόμενων υβριδικών συστημάτων σε ελληνικά νησιά.

1.4.1 Αστυπάλαια

Η Αστυπάλαια είναι νησί του Αιγαίου πελάγους με συνολική έκταση 96.8 km² και μόνιμο πληθυσμό 1334 κατοίκων (ΕΛΣΤΑΤ, 2012). Αποτελεί δημοφιλή τουριστικό προορισμό κι ως εκ τούτου, κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών ο πληθυσμός του και κατ' επέκταση οι ενεργειακές του ανάγκες αυξάνονται σημαντικά. Η μέγιστη κατανάλωση σημειώνεται τον Αύγουστο και είναι περίπου 2.5 φορές μεγαλύτερη συγκριτικά με την ελάχιστη (Νοέμβριος). Το ενεργειακό σύστημα του νησιού αποτελείται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από θερμικές μονάδες που χρησιμοποιούν πετρέλαιο (Diesel) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 5.1 MW. Επιπλέον, διαθέτει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα παραγωγής με ονομαστική ισχύ 0.32 MW. Το μέσο ποσοστό συμμετοχής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή ανήλθε σε 8.4% για το έτος 2019 (ΔΕΔΔΗΕ, 2020).

Πίνακας 1: Συγκεντρωτικά δεδομένα ηλεκτροπαραγωγής Αστυπάλαιας για το έτος 2019 (ΔΕΔΔΗΕ,2020)

Μήνες	Ενέργεια Μονάδων ΑΠΕ (MWh)	Ενέργεια Θερμικών Μονάδων (MWh)	Σύνολο Ηλεκτροπαραγωγής (MWh)	Ποσοστό ΑΠΕ στην Ηλεκτροπαραγωγή	Κόστος Ενέργειας (€/MWh)
Ιανουάριος	22.21	540.43	562.64	3.95%	462.30
Φεβρουάριος	31.44	445.63	477.07	6.59%	463.72
Μάρτιος	48.09	420.26	468.35	10.27%	483.36
Απρίλιος	55.06	413.77	468.83	11.74%	537.23
Μάιος	64.52	432.71	497.23	12.98%	498.51
Ιούνιος	69.14	617.95	687.09	10.06%	463.60
Ιούλιος	64.73	928.27	993	6.52%	376.74
Αύγουστος	64.27	1,077.51	1141.78	5.63%	360.32
Σεπτέμβριος	56.82	622.91	679.73	8.36%	425.75
Οκτώβριος	49.45	422.89	472.34	10.47%	513.98
Νοέμβριος	32.79	378.13	410.92	7.98%	554.46
Δεκέμβριος	29	436.22	465.22	6.23%	514.53
	587.52	6,736.68	7,324.20	8.40%	471.21

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δημιουργίας υβριδικού συστήματος προκύπτει πως το προτεινόμενο βέλτιστο σύστημα αποτελείται από 1.67 MW φωτοβολταϊκών, 2 ανεμογεννήτριες συνολικής ονομαστικής ισχύος 1.6 MW, 2.04 MW γεννητριών Diesel, σύστημα αποθήκευσης συσσωρευτών ιόντων λιθίου (Li-ion) χωρητικότητας 2.1 MWh και μετατροπείς ισχύος 1.49 MW. Το κλάσμα ανανεώσιμης ενέργειας ανέρχεται σε 78.9% και η περίσσεια ενέργειας σε 37.6% («Εξυπνα Υβριδικά Συστήματα Παραγωγής Ενέργειας σε Ελληνικά Νησιά», Δημήτριος Μακρής,2021)

1.4.2 Τήλος

Η Τήλος είναι ένα από τα Δωδεκάνησα, το έβδομο σε φθίνουσα κατάταξη έκτασης. Η έκτασή της είναι 61,487 km² ενώ ο μόνιμος πληθυσμός της, είναι 780 κάτοικοι (ΕΛΣΤΑΤ,2012).

Το υβριδικό σύστημα της Τήλου αποτελείται από:

- Ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 800 kW
- Φωτοβολταϊκά ονομαστικής ισχύος 160 kWp

- Αναστροφείς ονομαστικής ισχύος 20 kW
- Συστοιχίες μπαταριών ονομαστικής αποδιδόμενης ενέργειας 2.8 MWh

Το συγκεκριμένο υβριδικό σύστημα είναι ικανό να καλύψει κατ' ελάχιστο το 60 έως 70% των συνολικών ενεργειακών αναγκών του νησιού.

1.4.3 Ικαρία

Η Ικαρία είναι ένα νησί του ανατολικού Αιγαίου έκτασης 255 km² και μόνιμου πληθυσμού 8423 κατοίκων (ΕΛΣΤΑΤ,2012). Το υβριδικό έργο της Ικαρίας, ο «Ναέρας», συνολικής ισχύος 6,85 MW, εγκαινιάστηκε στις 5 Ιουνίου του 2019. Το σύνολο του έργου έχει συνδεθεί με το ηλεκτρικό δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ και λειτουργεί από τις αρχές του έτους 2019. Η αυτοματοποιημένη λειτουργία του έργου αναμένεται να ολοκληρωθεί εντός του 2021. Επισημαίνεται ότι η παραγωγή του το 2020 ανήλθε στις 2 GWh (ΔΕΗ,2020).

Ο Ναέρας αποτελείται από τα εξής επιμέρους τμήματα:

1. Το Αιολικό Πάρκο (Α/Π) στην περιοχή του λόφου Στραβοκουντούρα, με τρεις ανεμογεννήτριες των 900 kW η καθεμία.
2. Τον Μικρό Υδροηλεκτρικό Σταθμό (ΜΥΗΣ) Προεσπέρας, με έναν υδροστρόβιλο ισχύος 1,05 MW, ο οποίος αξιοποιεί μόνο την περίσσεια νερών του ταμιευτήρα του Φράγματος στο Πέζι (αφού πρώτα καλυφθούν οι υποχρεώσεις για οικολογική παροχή και οι αναγκές ύδρευση και άρδευση).
3. Τον ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας, με δύο υδροστρόβιλους ισχύος 3,1 MW συνολικά, που αξιοποιεί τόσο την περίσσεια νερών του ταμιευτήρα όσο και τα νερά που προέρχονται από αντλησιοταμίευση (υβριδική ενέργεια).
4. Δύο δεξαμενές νερού χωρητικότητας 80.000 m³ έκαστη στις περιοχές Προεσπέρας και Κάτω Προεσπέρας, που θα εξυπηρετούν τις ανάγκες

της αντλιοσταμείωσης για την απορρόφηση της αιολικής ενέργειας και έναν ταμιευτήρα νερού συνολικού όγκου περίπου 910.000 m³ στο Πέζι.

5. Το Αντλιοστάσιο Κάτω Προεσπέρας, με 12 αντλίες ονομαστικής ισχύος 250 kW έκαστη, εκ των οποίων οι 4 είναι μεταβλητών στροφών.
6. Τα Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας και Κατανομής Φορτίου του Ναέρα και της Ικαρίας, που θα εγκατασταθούν σε χώρο εντός του Τοπικού Σταθμού Παραγωγής στον Άγιο Κήρυκο, εξασφαλίζοντας τόσο την επικοινωνία μεταξύ των επιμέρους τμημάτων του Έργου όσο και την ενεργειακή ασφάλεια του νησιού και την αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος.

Ο Ναέρας θα προσφέρει άμεσα και έμμεσα σημαντικά οφέλη στο νησί της Ικαρίας, όπως την μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων CO₂, την ενίσχυση της ενεργειακής επάρκειας του νησιού και την οικονομική και τουριστική ανάπτυξη της τοπικής κοινωνίας.

1.5 Αντικείμενο Μελέτης

Η Σίφνος αποτελεί έναν από τους πλέον τουριστικούς προορισμούς των νησιών του Αιγαίου, προσελκύοντας δεκάδες χιλιάδες επισκέπτες ετησίως. Συνεπώς, οι ενεργειακές ανάγκες του νησιού ενδέχεται να αυξηθούν, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες.

Αντικείμενο της μελέτης είναι ο σχεδιασμός ενός υβριδικού έργου που θα εκμεταλλεύεται τις ΑΠΕ και, σε συνδυασμό με σύστημα αντλιοσταμείωσης, το οποίο θα αποθηκεύει ενέργεια κατά τις περιόδους όπου θα υπάρχει περίσσεια, θα μπορεί να ανταπεξέλθει τόσο στις αιχμές ζήτησης του καλοκαιριού, όσο και στην γενικότερη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Τελικό στόχο της ομάδας μελέτης αποτελεί η διαμόρφωση ενός ολοκληρωμένου, οικονομικά βιώσιμου και τεχνικά τεκμηριωμένου έργου, προσφέροντας πλήρη ενεργειακή αυτονομία στο νησί της Σίφνου. Το βασικό πλάνο σχεδιασμού είναι σύμφωνο με τις σύγχρονες αντιλήψεις ως προς την κάλυψη ενεργειακών αναγκών και την αειφόρο ανάπτυξη, αλλά και τις κοινωνικοοικονομικές ανάγκες της ευρύτερης περιοχής.

1.6 Δομή Εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από επτά (7) κεφάλαια τα οποία αντικατοπτρίζουν πλήρως και τις επτά (7) επιμέρους θεματικές ενότητες.

Πρώτη Θεματική Ενότητα: Εισάγονται οι έννοιες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της αποθήκευσης ενέργειας, περιγράφονται τα σημερινά δεδομένα των ΑΠΕ στην Ελλάδα και παρουσιάζονται παραδείγματα υβριδικών συστημάτων που βρίσκονται σε νησιά.

Δεύτερη Θεματική Ενότητα: Περιγράφεται η περιοχή μελέτης, και αναλύονται τα ιστορικά, πολιτισμικά, κοινωνικά, φυσικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της. Επιπρόσθετα, ορίζονται οι προστατευόμενες περιοχές natura.

Τρίτη Θεματική Ενότητα: Γίνεται αναφορά στα σημερινά πληθυσμιακά, ενεργειακά και ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής μελέτης. Στην συνέχεια, επεξηγείται η πρόβλεψη του μελλοντικού πληθυσμού και της ενεργειακής ζήτησης του νησιού σε χρονικό ορίζονται ίσο με το χρόνο ζωής του προβλεπόμενου έργου.

Τέταρτη Θεματική Ενότητα: Περιγράφονται διεξοδικά τα εναλλακτικά προτεινόμενα σενάρια και στο τέλος επιλέγεται αυτό που υπερτερεί των υπόλοιπων, έτσι ώστε να αναλυθεί παρακάτω.

Πέμπτη Θεματική Ενότητα: Σχεδιασμός του έργου. Σε αυτήν την θεματική ενότητα αναλύονται οι δυο διαφορετικές προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν, σχεδιάζονται δύο διαφορετικά έργα, με αναλυτική παρουσίαση των τεχνικών τους χαρακτηριστικών. Τέλος, γίνεται αναφορά στον μηχανολογικό εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί, καθώς και στα απαιτούμενα συνοδά έργα (λιμενικό έργο προστασίας αγωγού).

Έκτη Θεματική Ενότητα: Η έκτη ενότητα περιέχει την οικονομική μελέτη των δύο έργων που περιγράφηκαν προηγουμένως, καθώς και την επιλογή του οικονομικά προσφορότερου εκ των δύο.

Έβδομη Θεματική Ενότητα: Στην τελευταία ενότητα επεξηγείται η χωροθέτηση των στοιχείων του έργου και παρέχονται τα αντίστοιχα σχέδια.

2. Η περιοχή μελέτης

2.1 Ιστορικά Στοιχεία

Την ονομασία «Σίφνος» το νησί την οφείλει στον Σίφνο, γιο του Αττικού ήρωα Σούνιου και πρώτου οικιστή του νησιού, ή, σύμφωνα με άλλη εκδοχή, στο επίθετο «σιφνός» που σημαίνει «κενός» - «κούφιος» και παραπέμπει στην ύπαρξη πολυάριθμων στοών, αποτέλεσμα της έντονης μεταλλευτικής δραστηριότητας.

Από νεότερα στοιχεία της αρχαιολογικής έρευνας συνάγεται ότι η πρώτη κατοίκηση στο νησί έγινε τουλάχιστον την τρίτη χιλιετία π.Χ. . Ως πρώτοι κάτοικοι αναφέρονται οι Πελασγοί και αργότερα οι Φοίνικες.

Το νησί γνώρισε μεγάλη ακμή και αναδείχθηκε σε κέντρο του πρωτοκυκλαδικού πολιτισμού κατά την 3η χιλιετία π.Χ. .Το νησί υπήρξε ένα από τα πλουσιότερα μέρη του αρχαίου κόσμου, χάρη στα χρυσωρυχεία, τα αργυρορυχεία και την ανάπτυξη της κεραμικής τέχνης. Οι Σιφνιοί ήταν οι πρώτοι που έκοψαν χρυσό νόμισμα και οι πρώτοι που χάραξαν και τις δύο όψεις των νομισμάτων.

Κατά τους περσικούς πολέμους η Σίφνος έλαβε μέρος στη ναυμαχία της Σαλαμίνας και αργότερα έγινε μέλος της Α΄ και Β΄ Αθηναϊκής Συμμαχίας.

Κατά την πρώιμη βυζαντινή περίοδο η Σίφνος ανήκε διοικητικά στην επαρχία Αχαΐας του Ανατολικού Ιλλυρικού και συμμετείχε στο μικρό στόλο των Κυκλάδων, ενώ κατά τη μέση βυζαντινή περίοδο η εμπορική της σημασία ενισχύθηκε και ταυτόχρονα πολλοί πνευματικοί άνθρωποι και κληρικοί βρήκαν καταφύγιο στη Σίφνο, συμβάλλοντας έτσι στην πνευματική της ανάπτυξη.

Μετά τη Σταυροφορία του 1204 η Σίφνος -όπως και όλα τα νησιά των Κυκλάδων- εντάχθηκε στο Δουκάτο της Νάξου. Καθ' όλη τη διάρκεια του 13ου και του 14ου αιώνα η Σίφνος μαστίζεται από πειρατικές επιδρομές που την πλήττουν δημογραφικά.

Κατά την εποχή της Τουρκοκρατίας , η Σίφνος απέκτησε προνόμια την εποχή του σουλτάνου Μουράτ Γ΄ (1580) και Ιμπραήμ (1646). Στα προνόμια αυτά συγκαταλέγονταν ότι δικαιούνταν να επισκευάσουν τις εκκλησίες τους και δεν συμπεριλαμβάνονταν στο παιδομάζωμα . Με τους ευνοϊκούς όρους που δημιουργήθηκαν από τους ορισμούς των Σουλτάνων τα επόμενα χρόνια, σημειώθηκε στο νησί μεγάλη οικονομική και πνευματική ανάπτυξη. Η οικονομία της Σίφνου στηρίχθηκε στη γεωργία, στην κτηνοτροφία και στο εμπόριο, και υπήρξε σημαντική, όπως αποδεικνύεται από την ύπαρξη στο νησί προξενείων της Γαλλίας, της Αγγλίας και της Ολλανδίας.

Στον αγώνα κατά της Τουρκοκρατίας η Σίφνος μπήκε ενεργά με εκστρατευτικό σώμα που οργάνωσε ο Νικόλαος Χρυσόγελος και δραστηριοποιήθηκε κυρίως στην Πελοπόννησο. Η προσφορά των Σιφνίων, τόσο σε έμπυχο υλικό, όσο και σε χρήματα για τον αγώνα, κυρίως από τα μοναστήρια του τόπου, ήταν ανεκτίμητη.

Οι Σιφνιοί έλαβαν μέρος και στα μεγάλα πολεμικά γεγονότα του 20ού αιώνα όπου και όταν τους κάλεσε η πατρίδα υπηρέτησαν πιστά και με όλες τους τις δυνάμεις σε όλους τους αγώνες που έδωσε αυτός ο τόπος για την ελευθερία του.

2.2 Κοινωνικά και οικονομικά στοιχεία

Παραγωγική διάρθρωση τοπικής οικονομίας

Στον πρωτογενή τομέα απασχολείται το 16% του συνόλου των απασχολούμενων, από τους οποίους οι περισσότεροι είναι γεωργοί και κτηνοτρόφοι, ενώ πολλοί λίγοι ασχολούνται με την αλιεία και με τη λατομική δραστηριότητα. Η γεωργική δραστηριότητα στο νησί συνίσταται στην καλλιέργεια κηπευτικών ,σιτηρών (κυρίως κριθαριού), ελαιώνων και αμπελώνων. Η καλλιέργεια των σιτηρών γίνεται κυρίως σε αναβαθμίδες και λόγω αδυναμίας πρόσβασης των γεωργικών μηχανημάτων σε αυτά τα

σημεία, εφαρμόζεται ο παραδοσιακός τρόπος οργώματος, θερίσματος και αλωνίσματος τους. Η παραγωγή των σιτηρών και των κριθαριών χρησιμοποιείται κυρίως για ιδιοκατανάλωση και ιδιαίτερα για ζωοτροφές.

Τα γεωργικά προϊόντα που μπορεί να βρει κανείς στην Σίφνο είναι:

- κηπευτικά (και όπως φαίνεται από στοιχεία ΕΣΥΕ 2008 μεγαλύτερη έκταση καλλιεργείται με ντομάτες, πατάτες ανοιξιιάτικες, καρπούζια, πεπόνια, κρεμμύδια ξερά και λιγότερο φασολάκια κ.α. λαχανοκομικά είδη).
- ελιές ελαιοποιήσιμες.
- σταφύλια που χρησιμοποιούνται κυρίως για οικιακή οινοποίηση & παραγωγή οίνου
- Σιτηρά κυρίως για παραγωγή σανού και λιγότερο παραγωγή καρπού.
- Εσπεριδοειδή & νωπά σύκα
- Όσπρια σε μικρότερη έκταση (ρεβίθια-λαθούρια-κουκιά).

Περισσότερο αναπτυγμένος είναι ο κλάδος της Ζωικής Παραγωγής στο νησί, ο οποίος περιλαμβάνει μικτής παραγωγικής κατεύθυνσης (δηλ. γάλα & κρέας) αιγοπροβατοτροφία, βοοτροφία, την χοιροτροφία και την μελισσοκομία.

Όσον αφορά το αλίευμα, χρησιμοποιείται κυρίως για τοπική κατανάλωση με δυνατότητα εξαγωγής μονάχα κατά τη χειμερινή περίοδο, και συγκεκριμένα κατά την περίοδο Νοεμβρίου-Ιανουαρίου όπου η τουριστική κίνηση είναι αισθητά μειωμένη.

Στον δευτερογενή τομέα ανεπτυγμένη είναι η μεταποίηση των αγροτικών προϊόντων και έχει επιδείξει σημαντική δραστηριότητα κυρίως στην παραγωγή-εμφιάλωση κρασιών, γαλακτοκομικών, ειδών ζαχαροπλαστικής.

Στο νησί υπάρχουν, το Δημοτικό Σφαγείο το οποίο βρίσκεται στη φάση της δοκιμαστικής λειτουργίας, δύο ελαιοτριβεία, και μία καθετοποιημένη

οινοποιητική-εμφιαλωτική μονάδα, δύο καθετοποιημένες επιχειρήσεις τυροκομείων, αγγειοπλαστεία. Τα παραδοσιακά είδη τυριών της Σίφνου (Μυζήθρα, η «γυλωμένη μανούρα», ξερό τυρί τυλιγμένο στη «λάσπη» του μούστου) παράγονται κυρίως από τους κτηνοτρόφους στις στάνες τους. Στις καθετοποιημένες επιχειρήσεις (τυροκομεία), παράγονται η «Μυζήθρα», η «Χλωρομανούρα», και η «Γυλωμένη Μανούρα».

Κυριότερα προϊόντα που παράγονται είναι το ελαιόλαδο, το κρασί, τα βαμβακερά υφαντά, τα είδη αγγειοπλαστικής, καθώς και κτηνοτροφικά προϊόντα. Περιζήτητα επίσης είναι τα σιφνέικα σπιτικά γλυκά, και βουτήματα όπως τα αμυγδαλωτά, τα μπουρέκια, το παστέλι, κουλούρες κ.α.

Στον τριτογενή τομέα απασχολείται περίπου το 49,66% του συνόλου των απασχολουμένων, κυρίως στον κλάδο του εμπορίου και του τουρισμού. Ένα από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του νησιού είναι η ύπαρξη μεγάλου ποσοστού επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται μόνο κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Η τουριστική υποδομή είναι αναπτυγμένη κυρίως στον Πλατύ Γιαλό, στις Καμάρες, στον Φάρο, στην Απολλωνία και στον Αρτεμώννα. Εκεί βρίσκονται τα περισσότερα τουριστικά καταλύματα, ταβέρνες και άλλα καταστήματα που εξυπηρετούν τους τουρίστες.

2.3 Θέση, γεωγραφία και γεωμορφολογία

Θέση

Η Σίφνος ανήκει στην περιφέρεια του νοτίου Αιγαίου και είναι νησί στα δυτικά του νησιωτικού συμπλέγματος των Κυκλάδων. Βρίσκεται μεταξύ Σερίφου και Κιμώλου και απέχει περίπου 130 χιλιόμετρα ή 80 ναυτικά μίλια από τον Πειραιά. Έχει έκταση σχεδόν 74 km² με την ακτογραμμή της να είναι περίπου 70 km². Περιμετρικά του νησιού δεν υπάρχουν άλλα

μικρότερα νησιά εκτός από την ακατοίκητη νησίδα της κίτρινης στο νότιο άκρο κοντά στο Ακρωτήριο Κοντός.

Μορφολογία και Τοπιολογικά Χαρακτηριστικά

Το ορεινό νησί της Σίφνου βρίσκεται στο κέντρο του αρχιπελάγους του Αιγαίου. Το νησί αποτελείται από πλήθος λόφων και εύφορων κοιλάδων, κατάφυτες από ελαιόδεντρα, αμπέλια και δημητριακά. Η γεωμορφολογία συμπληρώνεται από γραφικούς όρμους που σχηματίζουν τις ακτές του νησιού, ενώ στο κέντρο του δεσπόζει η ψηλότερη κορυφή του Προφήτη Ηλία, σε υψόμετρο 678 m με το ομώνυμο μοναστήρι.

Στο δυτικό και νότιο τμήμα υπάρχει αρκετή βλάστηση ενώ στα βόρεια το τοπίο γίνεται πιο άγριο και η βλάστηση λιγοστεύει. Χαρακτηριστικό στοιχείο του Σιφναϊκού τοπίου συνιστούν οι ξερολιθιές και οι πυκνές σειρές αναβαθμών που με τη γεωμετρική τους διάταξη προσαρμοσμένη στη γεωλογική ιδιομορφία του εδάφους διαμορφώνουν ένα πλούσιο ανάγλυφο στο χώρο.

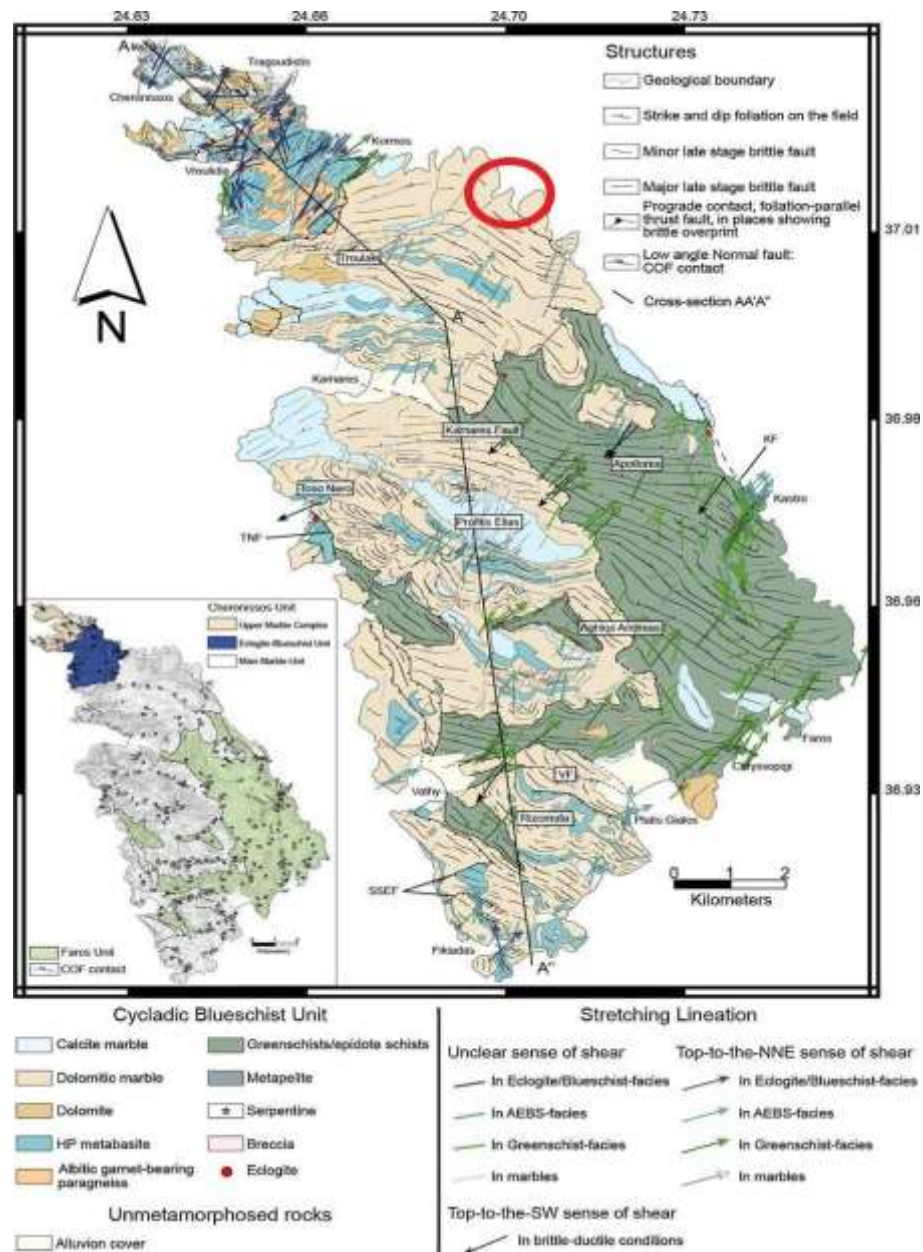
Οι σημαντικότεροι οικισμοί όπως η Απολλωνία, η σημερινή πρωτεύουσα της Σίφνου, ο Αρτεμώνας, η Καταβάτη και τα Εξάμπελα βρίσκονται στο ανατολικό τμήμα και αναπτύσσονται σε μία ιδιότυπη γραμμική διάταξη που αποτελεί μοναδικό φαινόμενο στον κυκλαδικό χώρο. Στα ανατολικά του νησιού βρίσκεται επίσης και ο ιστορικός οικισμός του Κάστρου το «άστυ» της αρχαιότητας που διατηρεί όμως το μεσαιωνικό του χαρακτήρα.

Γεωλογία

Γεωλογικά η Σίφνος παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον αφού τοπικά εντοπίζονται μεταλλεύματα χρυσού, σιδήρου, μόλυβδου και αργύρου, χάρη στα οποία μάλιστα το νησί γνώρισε ιδιαίτερη ακμή κατά την αρχαιότητα. Επίσης, τα άφθονα κοιτάσματα αργίλου σε πολλές περιοχές του νησιού βρίσκουν ευρύτατη χρήση στην εγχώρια αγγειοπλαστική.

Η Σίφνος αποτελείται κατά κύριο λόγο από δύο κατηγορίες πετρωμάτων : τεταρτογενείς αποθέσεις από άμμους και κροκάλες στα πεδινά και στις παράκτιες περιοχές και κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα σε όλο το υπόλοιπο νησί. Η επιλεγμένη περιοχή εγκατάστασης του έργου αποτελείται από μάρμαρο που προέρχεται από δολομίτη. Ο δολομίτης είναι ένας περατός σχηματισμός που χαρακτηρίζεται από υψηλή υδροπερατότητα ενώ ταυτόχρονα είναι έντονα τεκτονισμένος και καρστικοποιημένος.





Εικόνα 4: Γεωλογικός Χάρτης Σίφνου (Aravadinou et al., 2015)

2.1.4 Αρχαιολογικοί χώροι και εκκλησίες

Αρχαιολογικοί χώροι

Οι τέσσερις αρχαίες μυκηναϊκές ακροπόλεις της Σίφνου ανήκουν στους σημαντικότερους αρχαιολογικούς χώρους του νησιού. Οι ακροπόλεις αυτές αποτελούν στοιχείο της οικονομικής άνθησης που γνώρισε το κυκλαδίτικο νησί, μέσω των αρχαίων μεταλλείων του:

1. Ακρόπολη Κάστρου: Η αρχαία Ακρόπολη του Κάστρου βρίσκεται στον ομώνυμο γραφικό οικισμό της Σίφνου, στη νοτιοανατολική πλευρά του νησιού.
2. Ακρόπολη Αγίου Νικήτα: Η Ακρόπολη του Αγίου Νικήτα βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα της Σίφνου, στην περιοχή «Σελάδι» στο λόφο του Άντρι.
3. Ακρόπολη Αγίου Ανδρέα: Η Ακρόπολη του Αγίου Ανδρέα είναι από τους σημαντικότερους αρχαιολογικούς χώρους της Σίφνου. Βρίσκεται νοτιότερα της Καταβατής στο δρόμο Απολλωνία-Βαθύ.
4. Ακρόπολη Προφήτη Ηλία Τρουλλακίου

Κατά μήκος του νησιού βρίσκονται 76 αρχαίοι πύργοι. Όλοι είναι στρογγυλοί και χτίστηκαν μεταξύ του 6ου και του 3ου αιώνα π.Χ., όπως αποδεικνύεται από τα θραύσματα αρχαίων αγγείων που βρέθηκαν στις περιοχές των πύργων, αλλά και από το μέγεθος και τον τύπο δόμησής τους. Τα ευρήματα μαρτυρούν επίσης ότι οι πύργοι ήταν τουλάχιστον διώροφοι με εσωτερικούς διαχωριστικούς τοίχους. Οι περισσότεροι μόλις διακρίνονται. Σε καλή κατάσταση βρίσκεται μέχρι σήμερα ο Άσπρος Πύργος στον Πλατύ Γιαλό, ο Μαύρος Πύργος στα Εξάμπελα καθώς και ο πύργος της Καταβατής.

Εκκλησίες

Η θρησκευτική παράδοση των Σιφνίων είναι ενδεικτική από τον αριθμό των εκκλησιών και μοναστηριών που υπάρχουν στο νησί. Συγκεκριμένα υπάρχουν περισσότεροι από 237 θρησκευτικοί χώροι, αριθμός

μεγαλύτερος από κάθε άλλο νησί των Κυκλάδων, αναλογικά με τη συνολική έκταση του νησιού. Πολλές από τις εκκλησίες και τα μοναστήρια της Σίφνου έχουν χαρακτηριστεί ιστορικά μνημεία και έχουν τεράστιο θρησκευτικό και αρχιτεκτονικό ενδιαφέρον.

2.1.5 Εθνικό σύστημα προστατευόμενων περιοχών

Τα κυρίαρχα στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος του νησιού, είναι η φρυγανώδης βλάστηση, εκεί όπου το έδαφος καλλιεργείται σαν βοσκοτόπι και οι αναβαθμοί (πεζούλες), όπου καλλιεργούνται σιτηρά, αμπελώνες ή λίγες ελιές. Επιπλέον, συναντώνται δασάκια από θαμνοκυπάρισσα, πικροδάφνες και αρμυρίκια. Στο βυθό του θαλάσσιου περιβάλλοντος του νησιού, σχηματίζονται αποικίες από το γνωστό θαλάσσιο φυτό ποσειδωνία (*poseidonia oceanica*), που προστατεύεται από την ευρωπαϊκή νομοθεσία.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα πτυχή του φυσικού περιβάλλοντος της Σίφνου είναι τα παλαιά ορυχεία που υπόκεινται σε αργή φθορά, και φαίνονται από διάφορα σημεία του νησιού (π.χ. το παλιό ορυχείο των Καμαρών που φαίνεται πανοραμικά από τα βόρειο-ανατολικά, από το δρόμο που οδηγεί στη Μονή του Αγίου Γαλατίου).

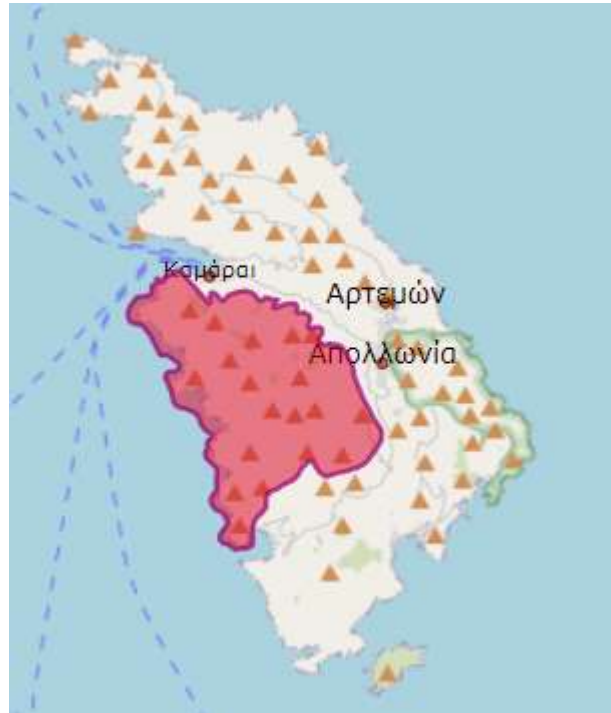
Το νησί της Σίφνου έχει εξ ολοκλήρου χαρακτηριστεί ως Τοπίο Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους (ΤΙΦΚ). Σ' αυτό το χώρο περιλαμβάνεται και η περιοχή «ΦΥΣΗ» της Σίφνου, η οποία αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους, όχι μόνο του φυσικού, αλλά και του κοινωνικού περιβάλλοντος του νησιού, καθώς σ' αυτήν υπάρχουν πολλοί φυσικοί πόροι που υποστηρίζουν τον πληθυσμό. Με βάση το ευρωπαϊκό σύστημα έχει κωδικό NATURA 2000: GR220008 και σύμφωνα με το εθνικό καθεστώς προστασίας είναι χαρακτηρισμένο ως «Καταφύγιο Θηραμάτων». Στο δίκτυο, έχει ενταχθεί το δυτικό μέρος του νησιού που προσδιορίζεται βόρεια από τον όρμο των Καμαρών, νότια από τον όρμο του Βαθιού, ανατολικά από το οδικό δίκτυο που ενώνει το τρίγωνο Καμάρες –

Απολλωνία - Βαθύ, και δυτικά απ' όλο το μήκος της ακτογραμμής από το Βαθύ μέχρι τον όρμο των Καμαρών. Γεωγραφικά ορίζεται μεταξύ του Γεωγραφικού μήκους 24' 41 και Γεωγραφικού Πλάτους 36' 157. Το μέσο υψόμετρό της είναι 150 m, ενώ το υψηλότερο σημείο της 600 m.

Η περιοχή φιλοξενεί 19 σημαντικά, κυρίως ενδημικά, σπάνια ή προστατευόμενα είδη φυτών και ζώων. Έχει επίσης καταγραφεί η παρουσία 2 ειδών ερπετών. Πλέον, έχουν καταγραφεί και 39 είδη πτηνών, 16 από τα οποία είναι είδη του Παραρτήματος Ι της Οδηγίας 79/409/ΕΟΚ καθώς και 23 μεταναστευτικά είδη. Στην περιοχή συναντώνται αρκετοί τύποι ενδιαιτημάτων που περιλαμβάνονται στο Παράρτημα Ι της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ. Μεταξύ άλλων, σε υψηλή κάλυψη παρουσιάζονται δενδροειδείς λόχμες με σκληρόφυλλη βλάστηση *Juniperus* spp. (κωδ. 5210), φρύγανα από *Sarcopoterium spinosum* (κωδ. 5420), δάση με *Olea* και *Ceratonia* (κωδ. 9320), θερμομεσογειακές και προερημικές λόχμες (κωδ. 5330). Υποθαλάσσια στο τμήμα της περιοχής ΦΥΣΗ συναντώνται εκτάσεις βλάστησης Ποσειδωνίας (*Poseidonia Oceanicae*), που είναι τύπος με προτεραιότητα (κωδ. 1120) και ύφαλοι (κωδ. 1170). Επίσης, συναντώνται σε μικρότερη κάλυψη, παρόχθια δάση στοές της θερμής μεσογείου (κωδ. 92D0), ασβεστολιθικά βράχη με χασμοφυτική βλάστηση (κωδ. 8210), ποταμοί της Μεσογείου με περιοδική ροή από *Raspail-Argostidion* (κωδ. 3290), καθώς και απόκρημνες βραχώδεις ακτές με βλάστηση και ενδημικά *Limonium* spp.

Πλέον, έχουν αναγνωριστεί και καταγραφεί αρκετά είδη αμφιβίων ερπετών και ασπόνδυλων. Ενδεικτικό είναι το είδος προτεραιότητας *Vipera Lebetina*, με βάση το Παράρτημα ΙΙ της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ, το οποίο περιλαμβάνεται στο Εθνικό κόκκινο βιβλίο ως τρωτό. Τέλος τα είδη ερπετών *Cyrtodactylus kotschy*, και *rodarcis erhardii* προστατεύονται από την ελληνική νομοθεσία (Προεδρικό Διάταγμα 67/81).

Η Σίφνος αποτελεί πέρασμα για τα μεταναστευτικά πουλιά, όπως ο ερωδιός, τα παρυδάτια, ο συκοφάγος (*oriolus oriolus*), ο μελισσοφάγος, το τρυγόνι και πολλά υδρόβια πουλιά.



Εικόνα 5: Περιοχή Natura στην Σίφνο (GR4220008) (Φιλότης)

3. Πληθυσμιακά, ενεργειακά και ανεμολογικά δεδομένα

3.1 Πληθυσμιακά δεδομένα

3.1.1 Τρέχοντα πληθυσμιακά δεδομένα

Στην τελευταία απογραφή που διενεργήθηκε από την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία το 2011, καταμετρήθηκαν 2625 μόνιμοι κάτοικοι στο νησί. Ωστόσο, το έργο σχεδιάζεται για χρονικό ορίζοντα 20 ετών. Για αυτόν τον λόγο, κρίνεται σκόπιμη η εκτίμηση του μελλοντικού πληθυσμού του νησιού για τις επόμενες δύο δεκαετίες. Η εκτίμηση αυτή θα αποτρέψει τυχόν μελλοντικές αστοχίες κάλυψης ενεργειακών αναγκών από το έργο, σε περίπτωση αύξησης του πληθυσμού.

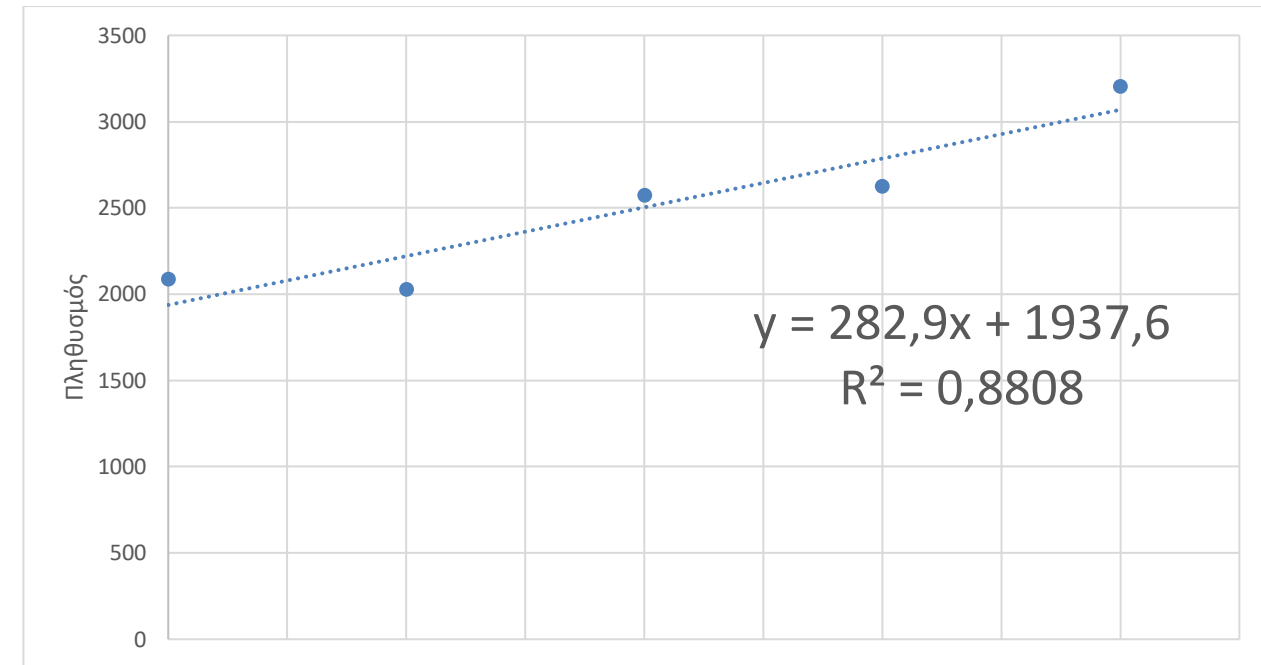
3.1.2 Μεθοδολογία πρόβλεψης μόνιμου πληθυσμού

Για την πρόβλεψη του πληθυσμού της Σίφνου σε χρονικό ορίζοντα 20 ετών, χρησιμοποιήθηκαν τόσο τα δεδομένα προηγούμενων απογραφών της ΕΛΣΤΑΤ (για τα έτη 1981,1991,2001,2011) όσο και μια εκτίμηση που πραγματοποιήθηκε για τον πληθυσμό το 2021 («ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΝΗΣΟΥ ΣΙΦΝΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΙΑΣ», ΚΑΡΑΒΗ ΑΡΙΣΤΗ & ΚΑΔΟΓΛΟΥ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ)

Πίνακας 2: Δεδομένα πληθυσμού της Σίφνου

Έτος Μέτρησης	Πληθυσμός
1981	2.087
1991	2.028
2001	2.754
2011	2.625
2021	3.203

Από τις παραπάνω μετρήσεις εξάγουμε γραμμική σχέση για την εκτίμηση του μελλοντικού πληθυσμού ανά δεκαετία:



Εικόνα 6: Εξίσωση εξέλιξης πληθυσμού της Σίφνου

Παρατηρούμε ότι στην παραπάνω σχέση ο συντελεστής συσχέτισης R^2 είναι μεγάλος. Συνεπώς, η παραδοχή χρήσης ενός γραμμικού μοντέλου για την αναπαράσταση της εξέλιξης του πληθυσμού είναι αποδεκτή.

Αντικαθιστώντας στην παραπάνω εξίσωση την επιθυμητή δεκαετία ($x=6$ στην προκειμένη περίπτωση), προκύπτουν 3635 μόνιμοι κάτοικοι για το έτος 2041.

3.1.3 Εποχιακός Πληθυσμός

Η σωστή εκτίμηση του εποχιακού πληθυσμού είναι πολύ σημαντική. Ο εποχιακός πληθυσμός, σε συνδυασμό με τον μόνιμο, μας δίνουν την δυνατότητα να προσδιορίσουμε τις ενεργειακές ανάγκες την ημέρα αιχμής, η οποία εμφανίζεται κατά τους θερινούς μήνες και είναι η παράμετρος που καθορίζει την διαστασιολόγηση του έργου.

Πίνακας 3: Εκτίμηση εποχικού πληθυσμού («ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΝΗΣΟΥ ΣΙΦΝΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΙΑΣ», ΚΑΡΑΒΗ ΑΡΙΣΤΗ & ΚΑΔΟΓΛΟΥ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ)

Δ.Κ/Τ.Κ	Μόνιμος πληθυσμός		Παραθεριστές										Τουρίστες		Εποχικός πληθυσμός Αιχμής			
	2011	2021	Νέες Κατοικίες 1991-2000	Νέες Κατοικίες 2001-2005	Μέσος Αριθμός Νέων κατοικιών/έτος (1991-2005)	Νέοι παραθεριστές 2001-2021	Νέοι παραθεριστές 2001-2021	Εξοχικές Κατοικίες 2011	Παραθεριστές 2011	Παραθεριστές 2021	Κλίνες Ξενοδοχείων 2011	Κλίνες Ξενοδοχείων 2021	Κλίνες Ενοικ. Δωμ. ΕΟΤ 2011	Κλίνες Ενοικ. Δωμ. ΕΟΤ 2021	Τουρίστες 2011	Τουρίστες 2021	2011	2021
Απολλωνιάς	1.691	2.063	322	163	35	346	831	770	3.080	3.911	615	677	1.670	2.069	2.285	2.746	5.365	6.657
Αρτεμώνα	934	1.139	81	32	8	81	194	432	1.728	1.922	410	451	1.113	1.380	1.523	1.831	3.251	3.753
Δήμος Σίφνου	2.625	3.203	403	195	43	427	1.025	1.202	4.088	5.833	1.025	1.128	2.783	3.449	3.808	4.577	8.616	10.410

Λαμβάνοντας ίδια προσαύξηση του εποχιακού πληθυσμού με αυτή του μόνιμου (δηλαδή 13% αύξηση μεταξύ του 2021 και του 2041) προκύπτει ότι το 2041 ο εποχικός πληθυσμός αιχμής θα είναι 11.814.

Συνεπώς, ο συνολικός πληθυσμός της Σίφνου την ημέρα αιχμής, η οποία αναμένεται κατά τους θερινούς μήνες (Ιούνιο έως και Αύγουστο) θα είναι 15.449.

3.2 Ενεργειακά δεδομένα

3.2.1 Τρέχοντα ενεργειακά δεδομένα

Στο αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Σίφνου υφίσταται ένας Συμβατικός Θερμικός Σταθμός Παραγωγής, ο ΤΣΠ Σίφνου. Επίσης, σήμερα είναι σε λειτουργία ένα (1) Αιολικό Πάρκο, ισχύος 1,2 MW και δύο (2) Φ/Β Σταθμοί, συνολικής ισχύος 0,203 MW (δεν συμπεριλαμβάνονται τα Φ/Β στέγης).

Σύμφωνα με μελέτη της ΔΕΔΔΗΕ που πραγματοποιήθηκε το 2021, για το έτος 2020 η συνολική ετήσια ζήτηση της Σίφνου ήταν 17,30 GWh , ενώ η αιχμή ήταν 5,40 MW.

3.2.2 Μελλοντική ζήτηση ενέργειας

Η εκτίμηση της εξέλιξης της ζήτησης φορτίου του αυτόνομου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας Σίφνου παρουσιάζεται παρακάτω:

Πίνακας 4: Εκτίμηση εξέλιξης ζήτησης ενέργειας Σίφνου (ΔΕΔΔΗΕ,2021)

Έτος	Αιχμή Ζήτησης (MW)
2021	6,290
2022	6,380
2023	6,480
2024	6,580
2025	6,650

Για τον σχεδιασμό του έργου υπο μελέτη, επιλέχθηκε η τιμή των 8 MW ως ζήτηση αιχμής.

3.3 Ανεμολογικά δεδομένα

3.3.1 Ανεμολογικός Σταθμός Σίφνου

Τα ανεμολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον σχεδιασμό του έργου πάρθηκαν από τον σταθμό της Σίφνου με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Κωδικός σταθμού: 437
- Υψόμετρο σταθμού: 5m
- Γεωγραφικό πλάτος: 36,98907° N
- Γεωγραφικό μήκος: 24,67485° E

4. Τα εξεταζόμενα σενάρια

4.1 Μηδενική λύση

4.1.1 Υφιστάμενα ενεργειακά συστήματα

Ως πρώτο ενδεχόμενο μελετάται η υφιστάμενη κατάσταση του νησιού, χωρίς καμία επιπλέον επέμβαση. Η Σίφνος σήμερα παράγει σχεδόν το σύνολο των ενεργειακών της αναγκών στον Συμβατικό Θερμικό Σταθμό Παραγωγής που χρησιμοποιεί diesel ως καύσιμο. Η εγκατεστημένη ισχύς του σταθμού είναι 9 MW. Συγκεκριμένα, το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από 9 μονάδες τύπου Mitsubishi S16R-PTA ονομαστικής ισχύος 1 MW. Παρακάτω παρουσιάζονται σε πίνακα τα χαρακτηριστικά των εγκατεστημένων θερμικών μονάδων, ο τύπος του καυστήρα, η ονομαστική ισχύς καθώς και η ειδική κατανάλωση.

Πίνακας 5: Μέγιστη δυναμικότητα, τεχνικό ελάχιστο, σειρά ένταξης και ειδική κατανάλωση των συμβατικών μονάδων (ΔΕΔΔΗΕ, 2020)

ΤΣΠ ΣΙΦΝΟΥ											
Α/Α	Τύπος Μονάδας	Μέγιστη Δυναμικότητα / Ισχύς (MW)	Τεχνικό Ελάχιστο / Ισχύς (MW)	Καύσιμο	Σειρά Ένταξης ⁽¹⁾	Ειδική κατανάλωση (kg/MWh) ⁽²⁾			Κατανάλωση εκκίνησης (kg) ⁽²⁾		
						50%	75%	100%	Ψυχ.	Ενδ.	Θερ.
1	MITSUBISHI S16R-PTA	1	0,637	DIESEL	1Α	227,76	219,02	217,56	5	5	5
2	MITSUBISHI S16R-PTA	1	0,637	DIESEL	1Β	227,76	219,02	217,56	5	5	5
3	MITSUBISHI S16R-PTA	1	0,637	DIESEL	1Γ	227,76	219,02	217,56	5	5	5
4	MITSUBISHI S16R-PTA	1	0,637	DIESEL	1Δ	227,76	219,02	217,56	5	5	5
5	MITSUBISHI S16R-PTA	1	0,637	DIESEL	1Ε	227,76	219,02	217,56	5	5	5
6	MITSUBISHI S16R-PTA	1	0,637	DIESEL	1ΣΤ	227,76	219,02	217,56	5	5	5
7	MITSUBISHI S16R-PTA	1	0,637	DIESEL	1Ζ	227,76	219,02	217,56	5	5	5
8	MITSUBISHI S16R-PTA	1	0,637	DIESEL	1Η	227,76	219,02	217,56	5	5	5
9	MITSUBISHI S16R-PTA	1	0,637	DIESEL	1Θ	227,76	219,02	217,56	5	5	5
	ΣΥΝΟΛΟ	9									

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

(1) Η σειρά ένταξης καθορίζεται από τον αριθμό. Μονάδες με τον ίδιο αριθμό αλλά με γράμμα που ακολουθεί σημαίνει πως είναι πρακτικά ισοδύναμες στη σειρά ένταξης.

(2) 1 L καυσίμου diesel ισούται με 0,83 kg καυσίμου diesel, περίπου.

Μικρή συνεισφορά στο ενεργειακό μίγμα του νησιού προέρχεται από ΑΠΕ:

- Αιολικό πάρκο 2 ανεμογεννητριών συνολικής ισχύος 1,2 MW
- Φωτοβολταϊκή μονάδα ισχύος 142 kW (περιοχή Φιδωπού)
- Φωτοβολταϊκή μονάδα της ΔΕΗ ισχύος 60 kW
- 22 φωτοβολταϊκές μονάδες ισχύος 5 kW σε κατοικίες

4.1.2 Οικονομική ανάλυση μηδενικής λύσης

4.1.2.1 Εκτίμηση κόστους υφιστάμενης κατάστασης

Σημαντικός παράγοντας καθίσταται το υψηλό κόστος της ενέργειας στη Σίφνο σε σχέση με το κόστος στην ηπειρωτική χώρα, το οποίο και προκύπτει από την απαίτηση σε εισαγωγή ορυκτών. Παρακάτω θα γίνει οικονομική ανάλυση της μηδενικής λύσης.

Αρχικά, από την ετήσια ενεργειακή ζήτηση αφαιρούμε την ενέργεια που παράχθηκε από τις Α.Π.Ε.. Λόγω έλλειψης δεδομένων ετήσιας παραγωγής ενέργειας για τα υφιστάμενα συστήματα Α.Π.Ε., έχουν ληφθεί εύλογοι συντελεστές δυναμικότητας έτσι ώστε να εκτιμηθεί η συνεισφορά τους στο ενεργειακό μίγμα του νησιού.

➤ Ανεμογεννήτριες

Η συνολική ισχύς των ανεμογεννητριών είναι 1,2 MW. Λαμβάνοντας συντελεστή δυναμικότητας ίσο με 0,35 ο οποίος είναι αρκετά αντιπροσωπευτικός για τα δεδομένα της Ελλάδας, προκύπτει ότι η ετήσια παραγόμενη ενέργειά τους ανέρχεται στις 3.679,2 MWh.

➤ Φωτοβολταϊκά

Η συνολική ισχύς των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών στο νησί είναι ίση με 0,312 MW. Λαμβάνοντας συντελεστή δυναμικότητας ίσο με 0,20,

προκύπτει ότι η ετήσια παραγόμενη ενέργειά τους ανέρχεται στις 546,62 MWh.

Έχοντας υπολογίσει την συνολική ενέργεια που προέρχεται από τις ΑΠΕ και γνωρίζοντας την συνολική ετήσια ζήτηση, μπορούμε να υπολογίσουμε την ενέργεια που πρέπει να παραχθεί από τον συμβατικό σταθμό παραγωγής.

Πίνακας 6: Ενεργειακό μίγμα Σίφνου για το έτος 2020

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

Στην συνέχεια, μπορούμε να υπολογίσουμε την απαιτούμενη ποσότητα πετρελαίου για την παραγωγή ενέργειας ίση με αυτή που υπολογίστηκε παραπάνω, λαμβάνοντας υπόψιν ότι ο βαθμός απόδοσης μετατροπής θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική ισούται με 0,4:

Πίνακας 7: Απαιτούμενη ποσότητα πετρελαίου για την ενεργειακή κάλυψη των αναγκών από τον συμβατικό θερμικό σταθμό για το έτος 2020

Θερμογόνος δύναμη πετρελαίου (kJ/kg)	42.500
Θερμογόνος δύναμη πετρελαίου (kWh/kg)	11,8056
Απαιτούμενη ποσότητα πετρελαίου (kg)	3.076.175,5
Πυκνότητα πετρελαίου (tn/m ³)	0,83
Απαιτούμενη ποσότητα πετρελαίου (lt)	3.706.235,58

Εφόσον εκτιμήθηκε τόσο η ενέργεια που παράχθηκε στον συμβατικό θερμικό σταθμό για το έτος 2020, όσο και η απαιτούμενη ποσότητα πετρελαίου για την παραγωγή της προαναφερθείσας ποσότητας ενέργειας, μπορεί να γίνει η ανάλυση κόστους:

▽ Κόστος προμήθειας πετρελαίου

Το κόστος προμήθειας πετρελαίου ανέρχεται στα **779,88 €/klt.** Επισημαίνεται ότι η συγκεκριμένη τιμή αντιστοιχεί στη μέση τιμή προμήθειας για το έτος 2020-2021.

▽ Κόστος αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών CO₂

Το κόστος εκπομπών ορίστηκε στα **28,01 €/tn CO₂**. Σημειώνεται πως για κάθε kWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας εκπέμπονται **0,7 kg CO₂**.

▽ Σταθερό Κόστος λειτουργίας και συντήρησης συμβατικού σταθμού

Το συνολικό σταθερό κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συμβατικού σταθμού παραγωγής του συστήματος Σίφνου για το έτος 2020 με βάση τα προσωρινά στοιχεία των μηνιαίων εκκαθαρίσεων προέκυψε ίσο με **194,70 €/MWh.**

▽ Μεταβλητό κόστος λειτουργίας και συντήρησης

το μέσο ετήσιο πρόσθετο κόστος λειτουργίας και συντήρησης εκτιμήθηκε ίδιο για κάθε μονάδα και ίσο με **4,73 €/MWh.**

Επισημαίνεται πως όλα τα παραπάνω στοιχεία κόστους λαμβάνονται από την μελέτη «*ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΙΦΝΟΥ*» (ΔΕΔΔΗΕ,2021).

Τέλος, συντάσσεται ο συγκεντρωτικός πίνακας κόστους προμήθειας πετρελαίου και λειτουργίας του συμβατικού σταθμού για το 2020:

Πίνακας 8: Εκτίμηση συνολικού κόστους παραγωγής απαιτούμενης ενέργειας απο την συμβατικό σταθμό για το 2020

Κόστος προμήθειας πετρελαίου (€)	2.890.419
Κόστος αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών CO ₂ (€)	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

4.1.2.2 Εκτίμηση μελλοντικού κόστους μηδενικής λύσης

Για να γίνει κατάλληλη σύγκριση της μηδενικής λύσης με το υπό μελέτη υβριδικό έργο από οικονομική σκοπιά, θεωρείται αναγκαία η εκτίμηση του συνολικού κόστους λειτουργίας του συμβατικού σταθμού σε χρονικό ορίζοντα 20 ετών, δηλαδή για διάρκεια ίση με τον προβλεπόμενο χρόνο ζωής του υβριδικού έργου.

Η παρακάτω εκτίμηση κόστους 20ετίας είναι απλουστευμένη, καθώς υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα στην πρόβλεψη τόσο των ενεργειακών αναγκών της Σίφνου, όσο και της εξέλιξης της τιμής του πετρελαίου.

Λαμβάνοντας υπόψιν το συνολικό κόστος που προέκυψε για το 2020, το συνολικό κόστος λειτουργίας του συμβατικού σταθμού σε χρονικό ορίζοντα 20 ετών ανέρχεται στα **115.081.062 €**.

4.2 Σύστημα αντλησοταμίευσης με χρήση γλυκού νερού

Σε αυτήν την εναλλακτική λύση εξετάζεται το ενδεχόμενο λειτουργίας του υβριδικού έργου με σύστημα αντλησοταμίευσης που χρησιμοποιεί γλυκό νερό.

4.2.1 Πλεονεκτήματα συστήματος αντλησοταμίευσης με γλυκό νερό

- Πρόκειται για ώριμη τεχνολογία, η οποία εφαρμόζεται από το 1929,
- Οι δεξαμενές που πρέπει να κατασκευαστούν συνήθως καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο,
- Σε περίπτωση διαφυγών, δεν υπάρχει κίνδυνος υφαλμύρισης του υπόγειου υδροφορέα,
- Η πιθανότητα έμφραξης των αγωγών είναι μειωμένη σε αντίθεση με αν γινόταν χρήση θαλασσινού νερού,
- Σε περίπτωση που το έργο αντλησοταμίευσης συνδυαστεί με μονάδα αφαλάτωσης, υπάρχει δυνατότητα κάλυψης και λοιπών αναγκών του νησιού που απαιτούν γλυκό νερό (άρδευση, υδροδότηση των οικισμών).

4.2.2 Μειονεκτήματα συστήματος αντλησοταμίευσης με γλυκό νερό

- Σύμφωνα με την προτεινόμενη τοποθεσία του έργου, δεν υπάρχει επαρκής χώρος κατάντη δεξαμενής λόγω του ανάγλυφου
- Για την χρήση γλυκού νερού, απαιτείται η εγκατάσταση νέας μονάδας αφαλάτωσης. Οι ήδη υπάρχουσες μονάδες έχουν ανεπαρκή δυναμικότητα και βρίσκονται μακριά από την τοποθεσία του έργου
- Η εξάτμιση (ειδικά τους θερινούς μήνες) είναι σημαντική, με αποτέλεσμα την απώλεια μεγάλου όγκου νερού. Για να αναπληρωθεί το γλυκό νερό που εξατμίσθηκε, απαιτείται η περαιτέρω αφαλάτωση του αντίστοιχου όγκου νερού. Η πρακτική αυτή θεωρείται αντιοικονομική.

4.3 Σύστημα Αντλησοταμίευσης με θαλασσινό νερό

Σε αυτήν την εναλλακτική λύση εξετάζεται το ενδεχόμενο λειτουργίας του υβριδικού έργου με σύστημα αντλησοταμίευσης που χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό.

4.3.1 Πλεονεκτήματα συστήματος αντλησοταμίευσης με θαλασσινό νερό

- Απαιτείται η κατασκευή μόνο μιας δεξαμενής, καθώς ως κάτω δεξαμενή ορίζεται η θάλασσα,
- Δεν υπάρχει απαίτηση αφαλάτωσης του χρησιμοποιούμενου νερού, με αποτέλεσμα η εξάτμιση να μην θεωρείται σημαντικός παράγοντας απωλειών νερού σε σχέση με τις απώλειες στο σύστημα γλυκού νερού,
- Εξασφαλίζεται μεγαλύτερο ύψος πτώσης σε σχέση με το σύστημα γλυκού νερού, καθώς η κατάντη δεξαμενή (θάλασσα) βρίσκεται στο χαμηλότερο δυνατό υψόμετρο,
- Πρόκειται για ένα καινοτόμο έργο, το οποίο ενδέχεται να θεωρηθεί ως ορόσημο για την κατασκευή παρόμοιων συστημάτων με σκοπό την ενεργειακή αυτονομία των νησιών.

4.3.2 Μειονεκτήματα συστήματος αντλησοταμίευσης με θαλασσινό νερό

- Καθώς το θαλασσινό νερό έχει αυξημένη περιεκτικότητα σε άλατα σε σχέση με το γλυκό, υπάρχει κίνδυνος έμφραξης των αγωγών,
- Απαιτείται σχεδιασμός λιμενικού έργου για την προστασία των αγωγών που καταλήγουν στην θάλασσα,
- Σε περίπτωση διαφυγών, υπάρχει κίνδυνος υφαλμύρωσης του υπόγειου υδροφορέα. Επομένως, απαιτείται γεωτεχνική μελέτη για την στεγανοποίηση του εδάφους στο οποίο εδράζεται ο ταμιευτήρας,
- Το θαλασσινό νερό δεν μπορεί να διατεθεί για άλλες χρήσεις.

4.4 Τελική επιλογή εναλλακτικής λύσης

Αρχικά, προτείνουμε την απόρριψη της μηδενικής λύσης, καθώς αντιτίθεται τόσο στην ενεργειακή αυτονομία του νησιού όσο και στην αειφόρο ανάπτυξή του.

Παρόλο που η εναλλακτική λύση χρήσης αντλησοταμίευσης με γλυκό νερό θα μπορούσε να είναι εκμεταλλεύσιμη για την ύδρευση του νησιού τους χειμερινούς μήνες, προτείνουμε την απόρριψή της για λόγους χωροθέτησης. Το ανάγλυφο στην επιλεγμένη θέση κατασκευής του έργου, η οποία θα τεκμηριωθεί στην επόμενη ενότητα, δεν επιτρέπει την κατασκευή κατάντη δεξαμενής. Επιπλέον, η εκ νέου κατασκευή εγκατάστασης αφαλάτωσης, καθώς και η ίδια η αφαλάτωση του απαιτούμενου όγκου νερού που θα χρησιμοποιείται από το σύστημα αντλησοταμίευσης, είναι αρκετά αντιοικονομικές πρακτικές. Συνεπώς, επιλέγουμε τον σχεδιασμό υβριδικού έργου με σύστημα αντλησοταμίευσης που χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό.

5. Σχεδιασμός του έργου

Η χρήση του θαλασσινού νερού στο σύστημα αντλησοταμίευσης, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, εμφανίζει ορισμένες αδυναμίες. Σκοπός αυτής της ενότητας είναι να εστιάσουμε στις αδυναμίες αυτές και να τις επιλύσουμε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Στην συνέχεια, θα ακολουθήσει αναλυτική παρουσίαση όλων των τμημάτων του έργου, συμπεριλαμβανομένου τόσο του μηχανολογικού εξοπλισμού όσο και των συνοδών έργων.

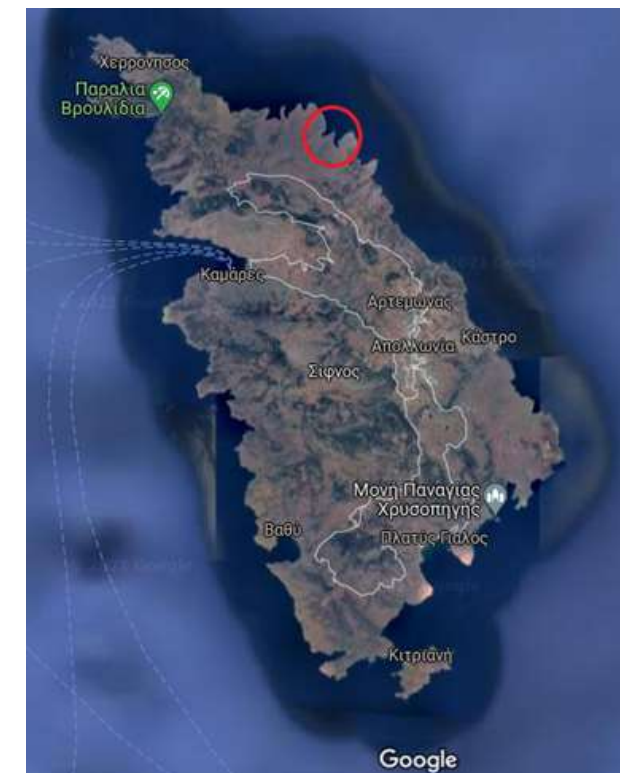
5.1 Προκλήσεις

5.1.1 Τεκμηρίωση επιλογής θέσης

Όλες οι εγκαταστάσεις του έργου επιλέχθηκαν να κατασκευαστούν στο βορειοανατολικό κομμάτι του νησιού. Η θέση είναι ευνοϊκή, διότι:

1. Η επίδραση στο περιβάλλον είναι ήπια, καθώς στην περιοχή δεν υπάρχουν παραθεριστικές ιστορικές ή θρησκευτικές τοποθεσίες και άρα δεν υπάρχει διατάραξη των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων.
2. Ο κοντινότερος οικισμός είναι σε απόσταση μεγαλύτερη των 4 km, ελαχιστοποιώντας ουσιαστικά την τυχόν οπτική και ακουστική όχληση, τόσο κατά την φάση της κατασκευής όσο και κατά την λειτουργία των έργων.
3. Η τοπογραφία της περιοχής και οι κλίσεις των πρανών στον εν λόγω κόλπο είναι ήπιες, με αποτέλεσμα το κόστος των χωματουργικών εργασιών να μειώνεται αισθητά.
4. Βορειότερα της συγκεκριμένης θέσης υπάρχει μόνο το πέλαγος, χωρίς φυσικά εμπόδια ή κοντινά νησιά που θα μείωναν την ένταση των ανέμων, με αποτέλεσμα στη περιοχή να πνέουν ισχυροί άνεμοι.

5. Οι ταχύτητες ανέμου δεν ξεπερνούν τα όρια της ασφαλούς λειτουργίας των ανεμογεννητριών ενώ ταυτόχρονα τους θερινούς μήνες που η ζήτηση είναι αυξημένη, παρατηρούνται ευνοϊκές για την παραγωγή ενέργειας τιμές.
6. Η συγκεκριμένη περιοχή δεν βρίσκεται στα όρια των περιοχών Natura 2000 που έχουν οριστεί στο νησί.

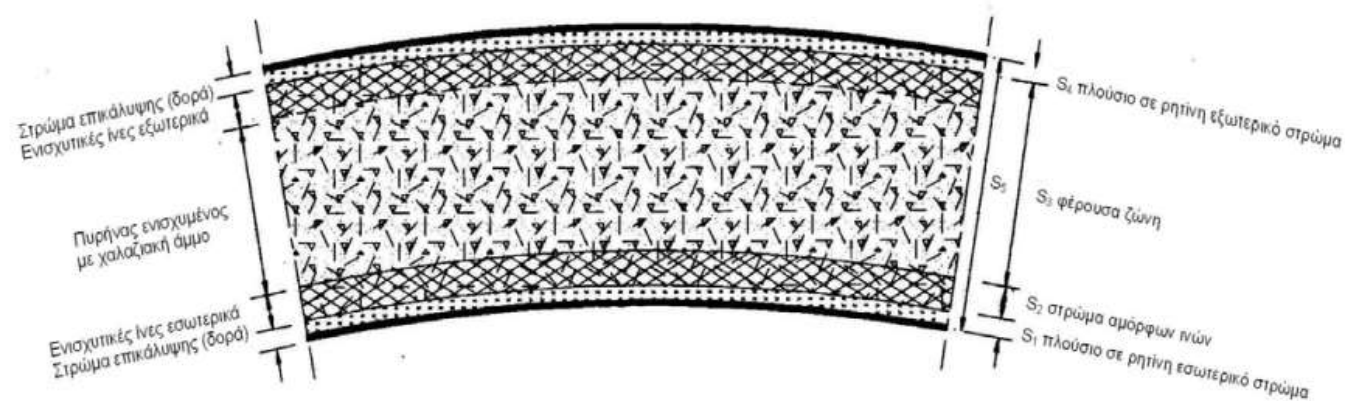


Εικόνα 7: Επιλεγμένη θέση κατασκευής του υβριδικού έργου

5.1.2 Αγωγοί θαλασσινού νερού

Η χρήση θαλασσινού νερού αποτελεί την μεγαλύτερη πρόκληση της συγκεκριμένης εναλλακτικής λύσης. Συγκεκριμένα, τα άλατα του θαλασσινού νερού συμβάλλουν τόσο στην διάβρωση των αγωγών, όσο και στην έμφραξή τους λόγω των επικαθίσεων.

Για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω, κρίνεται απαραίτητη η χρήση αγωγών GRP (glass fiber reinforced plastic). Πρόκειται για αγωγούς που αποτελούνται από ακόρεστες πολυεστερικές ρητίνες (ρητίνες PU κατά EN 1115-1:1997), ίνες γυαλιού και χαλαζιακή άμμο. Η ανθεκτικότητα του υλικού στις χημικές δράσεις εξαρτάται από τον τύπο της ρητίνης και την επεξεργασία της.



Εικόνα 8: Δομή τοιχώματος αγωγού GRP

Οι αγωγοί GRP προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα σε υδροηλεκτρικές εφαρμογές και σε αγωγούς μεταφοράς υπό πίεση:

- Είναι κατασκευασμένοι από αντιδιαβρωτικό υλικό, με αποτέλεσμα να μην απαιτούνται επενδύσεις, επαλείψεις, ή καθοδική προστασία
- Τα υδραυλικά τους χαρακτηριστικά παραμένουν ουσιαστικά αμετάβλητα με την πάροδο του χρόνου.

- Η απόδοσή τους είναι σταθερή σε εξαιρετικά θερμά και ψυχρά κλίματα.
- Εμφανίζουν χαμηλό ύψος τριβών εξαιτίας της λείας εσωτερικής επιφάνειάς τους.
- Η υπερπίεση που εμφανίζεται λόγω του υδραυλικού πλήγματος είναι 50% χαμηλότερη σε σύγκριση με τους χαλυβδοσωλήνες ή τους σωλήνες από ελατό χυτοσίδηρο σε παρόμοιες συνθήκες.
- Έχουν οικονομική και εύκολη εγκατάσταση, καθώς και απλό χειρισμό ακόμη και σε απαιτητικό έδαφος εξαιτίας του χαμηλού βάρους τους (περίπου 25% του βάρους των σωλήνων από ελατό χυτοσίδηρο και 10% του βάρους των τσιμεντοσωλήνων) και των προσυναρμοσμένων συνδέσμων με παρεμβύσματα.
- Οι σύνδεσμοι ακρίβειας με ελαστικά παρεμβύσματα επιτρέπουν την εύκολη εγκατάσταση και αποτρέπουν τις διαφυγές και τις διεισδύσεις.
- Έχουν υψηλή αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία
- Έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης και μεγάλη διάρκεια ζωής

5.1.3 Αντλίες και στρόβιλοι

Η επιλογή του κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού είναι μια σημαντική διαδικασία, καθώς πρέπει να ικανοποιούν τόσο την υπολογισμένη παροχή σχεδιασμού, όσο και το διαθέσιμο ενεργειακό υψόμετρο. Ωστόσο, ο εξοπλισμός αυτός πρέπει να κατασκευαστεί με συγκεκριμένες προδιαγραφές και από συγκεκριμένα υλικά, έτσι ώστε να μην μπορεί να διαβρωθεί από το θαλασσινό νερό.

Συγκεκριμένα, ο ανοξείδωτος χάλυβας εμφανίζει υψηλή αντοχή στη διάβρωση από το θαλασσινό νερό. Μάλιστα, μελέτη των Francis R. και S. Hebdon (*The Selection of Stainless Steels for Seawater Pumps*, CORROSION 2015, paper no. 5446. Houston, TX: NACE International, 2015) απέδειξε πως

η δημιουργία κραμάτων χάλυβα με χρώμιο, νικέλιο και μολυβδαίνιο παρουσιάζουν αυξημένο δείκτη PREN (pitting resistance equivalent number), ο οποίος ορίζεται ως μέτρο αντοχής σε διάβρωση.

Πίνακας 9: Ονομαστική σύνθεση κοινώς χρησιμοποιούμενων κραμάτων ανοξειδωτού χάλυβα (Francis R., and S. Hebdon. "The Selection of Stainless Steels for Seawater Pumps." CORROSION 2015, paper no. 5446. Houston, TX: NACE International, 2015)

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	CK3MCuN	Bal	20	18	6	0.2	0.7	--	43
Duplex	J93372	Grade 1B*	Bal	25	5	2	0.14	--	--	34
	J92205	Grade 4A*	Bal	22	5.5	3	0.16	--	--	35
	J93404	Grade 5A*	Bal	25	7	4	0.3	--	--	41
	J93380	Grade 6A*	Bal	25	8	3.5	0.25	0.7	0.7	41
Bal = Balance										
Grade designations in ASTM A995										

Τέλος, σύμφωνα με τα Νορβηγικά πρότυπα NORSOK, ως ελάχιστη αποδεκτή τιμή PREN για χρήση ανοξειδωτού χάλυβα σε έργα θαλασσινού νερού θεωρείται το 40.

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 3.2.2 , ως αιχμή ζήτησης ενέργειας ορίζονται τα 8 MW. Χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο της ενέργειας, βρίσκουμε πώς η απαιτούμενη παροχή στροβίλου είναι τα 3,41 m³/s :

$$En = \frac{n \cdot \gamma \cdot Q \cdot Hn}{3600}, \text{ όπου:}$$

- n=0,8 (παραδοχή)
- γ=9,81 kN/m³
- Hn=299m

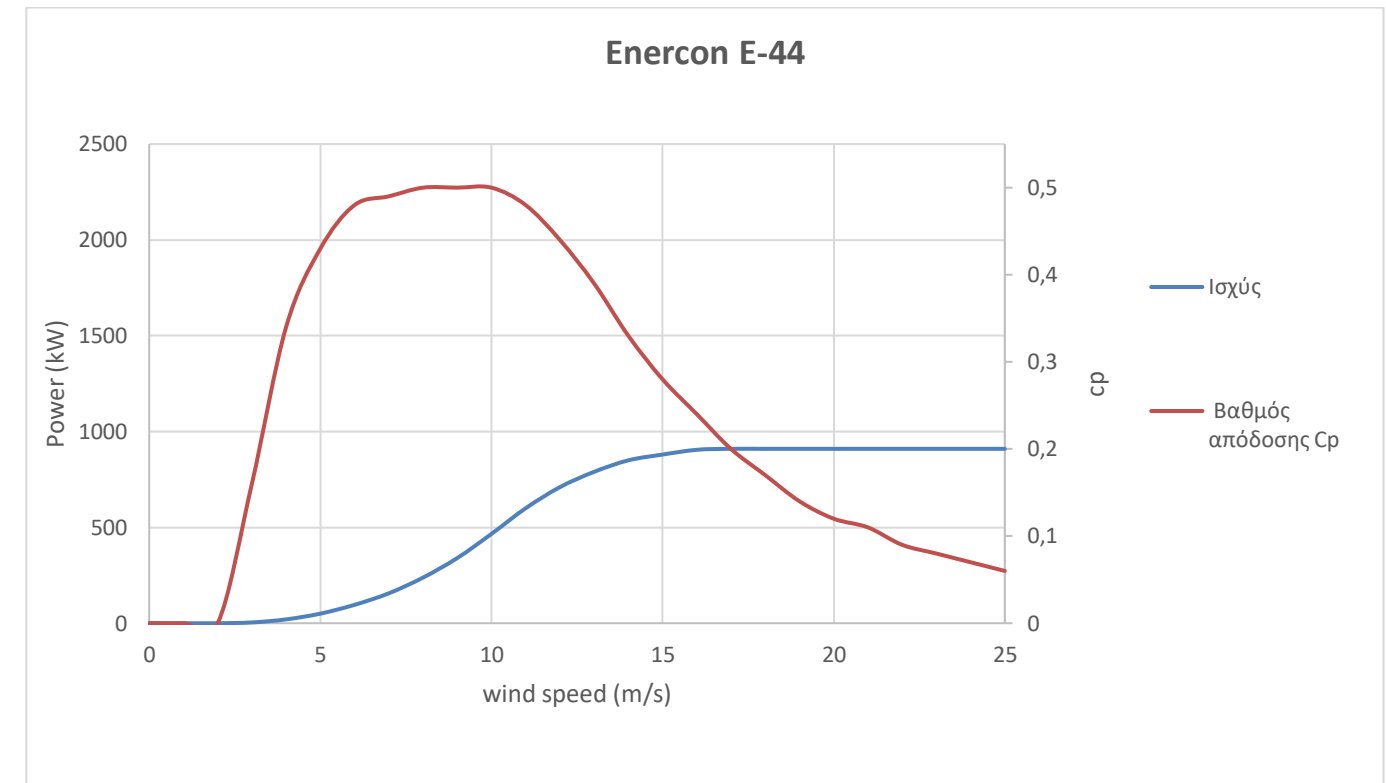
Για αυτόν τον λόγο, λαμβάνουμε την απαιτούμενη παροχή της αντλίας και του στροβίλου ίση με 3.5 m³/s . Το μανομετρικό ύψος της αντλίας θα είναι 329 m. Ως στρόβιλος επιλέγεται τύπου Pelton , διότι το καθαρό ύψος πτώσης υπολογίστηκε ίσο με 299 m.

5.1.4 Ανεμογεννήτριες

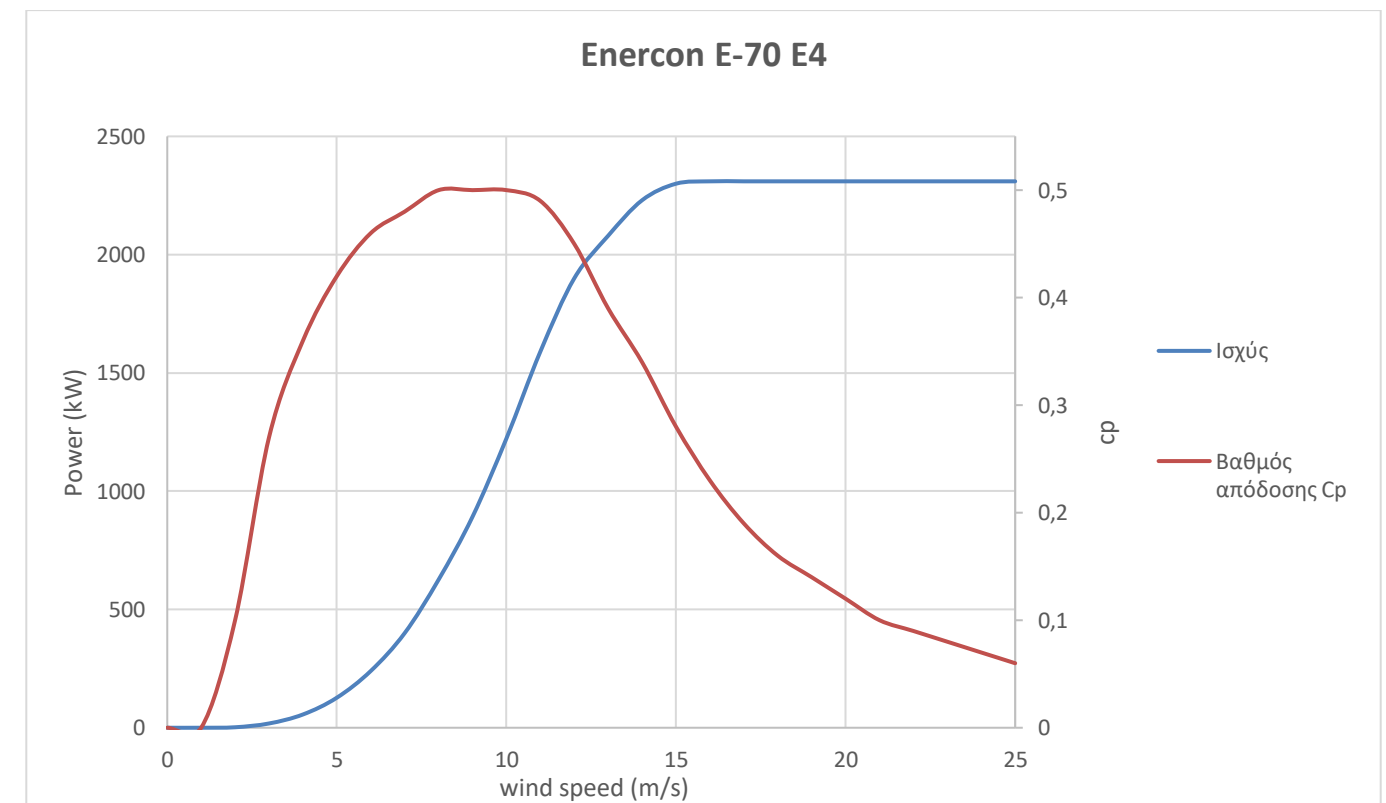
Το νησί της Σίφνου χαρακτηρίζεται από ισχυρό αιολικό δυναμικό και από μεγάλο εύρος ανέμων. Για την μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας από τον άνεμο, επιλέχθηκε η χρήση δύο διαφορετικών ανεμογεννητριών στο υβριδικό έργο, μίας που λειτουργεί βέλτιστα σε σχετικά ασθενείς ανέμους και μίας που λειτουργεί βέλτιστα σε ισχυρούς ανέμους. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί πως επιλέχθηκαν όσο το δυνατόν μικρότερου ύψους ανεμογεννήτριες, καθώς σε μεγάλα ύψη πτερωτής οι ανηγμένες ταχύτητες ανέμου υπολογίστηκαν μεγαλύτερες από την μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα λειτουργίας (25 m/s). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την μη παραγωγή ενέργειας για σημαντικό ποσοστό του χρόνου κατά τον οποίο η αιολική ενέργεια ήταν αξιοποιήσιμη. Παρακάτω παρουσιάζονται οι επιλεγμένες ανεμογεννήτριες καθώς και οι αντίστοιχες καμπύλες ισχύος.

Πίνακας 10: Βασικά χαρακτηριστικά επιλεγμένων 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
Rotor		
Diameter	44,0 m	71,0 m
Swept area	1.521 m ²	3959 m ²
Number of blades	3	3
Power density 1	591,7 W/m ²	581 W/m ²
Power density 2	1,7 m ² /kW	1,7 m ² /kW
Generator		
Voltage	690 V	2.000 V
Grid frequency	50 Hz	50 Hz



Εικόνα 9: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας Enercon E-44



Εικόνα 10: : Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας Enercon E-70 E4

5.1.5 Στεγανοποίηση Ταμιευτήρα

Η στεγανοποίηση του ταμιευτήρα κρίνεται απαραίτητη διαδικασία, καθώς, σε περίπτωση διαφυγών του θαλασσινού νερού, υπάρχει κίνδυνος απρόβλεπτων ελλειμμάτων καθώς και πιθανή υφαλμύρωση του υπόγειου υδροφορέα. Η στεγανοποίηση επιτυγχάνεται με την χρήση γεωμεμβράνων. Στο υπό μελέτη έργο έχει προβλεφθεί η κατασκευή ταμιευτήρα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι γεωμεμβράνες θα τοποθετηθούν εντός του ταμιευτήρα, έτσι ώστε να αποφευχθεί η διάβρωσή του από το θαλασσινό νερό και ,εν συνεχεία, η ρωγμάτωσή του.

Οι προαναφερθείσες μεμβράνες είναι κατασκευασμένες από HDPE. Προσφέρουν την υψηλότερη αντοχή σε εφελκυσμό, κρούση, σχίσσιμο και διάτρηση. Έχουν πολύ καλή αντοχή στην περιβαλλοντική καταπόνηση (ESCR) και παρουσιάζουν την υψηλότερη αντοχή σε χημικά. Διατίθενται σε πλάτος 6 m και πάχος 2 mm.

Λόγω της μεγάλης έκτασης του ταμιευτήρα, απαιτείται συγκόλληση των επιμέρους μεμβρανών. Η συγκόλληση των μεμβρανών γίνεται από εξειδικευμένο προσωπικό με ειδικά μηχανήματα αυτογενούς συγκόλλησης θερμού αέρα (hot air) ή θερμού πυρήνα (hot-wedge). Ενώσεις και επιδιορθώσεις γίνονται με extruder χειρός και ηλεκτρόδιο κατασκευασμένο από το ίδιο πολυμερές με την μεμβράνη.

Η συγκόλληση θερμού πυρήνα είναι μια θερμική τεχνική όπου οι δύο αντιτιθέμενες επιφάνειες μεμβράνης που θα συγκολληθούν τήκονται με πέρασμα θερμής μεταλλικής κεφαλής μεταξύ τους. Στη συγκόλληση θερμού αέρα, εισάγεται αέρας υψηλής θερμοκρασίας μεταξύ των δύο επιφανειών για να επιτευχθεί επιφανειακή τήξη. Και στις δυο περιπτώσεις, ασκείται πίεση ταυτόχρονα ενώνοντας τις δύο επιφάνειες, για να σχηματίσει ένας συνεχής σύνδεσμος. Η συγκόλληση με extruder χειρός είναι συγκόλληση τήξης. Με τη χρήση θερμότητας τήκεται το ηλεκτρόδιο

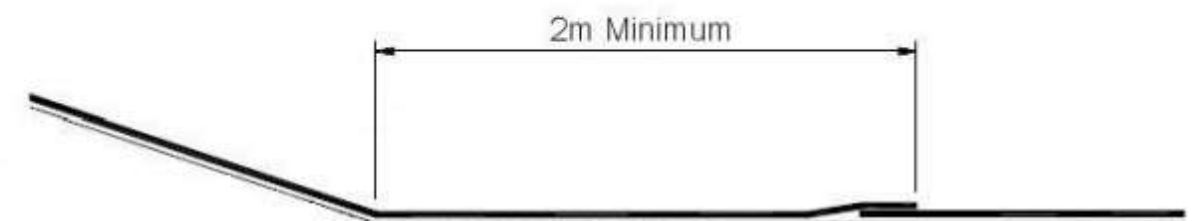
και η κόλληση επιτυγχάνεται με την πλήρωση του διακένου μεταξύ των γεωμεμβρανών.

Η ποιότητα των συγκολλήσεων επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία συγκόλλησης, την ταχύτητα συγκόλλησης, την πίεση συγκόλλησης και τις εξωτερικές συνθήκες (ιδιαίτερα τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος). Αυτές οι παράμετροι έχουν μια σημαντική επίδραση στην μακροπρόθεσμη συμπεριφορά των συγκολλήσεων. Η σωστή συγκόλληση δεν πρέπει να προκαλεί τη μείωση της αντοχής στον εφελκυσμό σε όλο το μήκος της συγκόλλησης καθώς τα συγκολλημένα φύλλα αναμένεται να συμπεριφερθούν σαν ένα ενιαίο φύλλο μεμβράνης. Συνολικά θα τοποθετηθεί μια διπλή στρώση μεμβράνης.

Οι μεμβράνες θα τοποθετηθούν με τον τρόπο που παρουσιάζεται παρακάτω, λαμβάνοντας υπόψιν ότι ο ταμιευτήρας μας είναι τραπεζοειδούς μορφής:

- Στις 4 γωνίες τα τμήματα που περισσεύουν διπλώνονται σε μορφή τριγώνου
- Η ομαλή μετάβαση από το κεκλιμένο τμήμα στο οριζόντιο πραγματοποιείται όπως στην παρακάτω εικόνα:

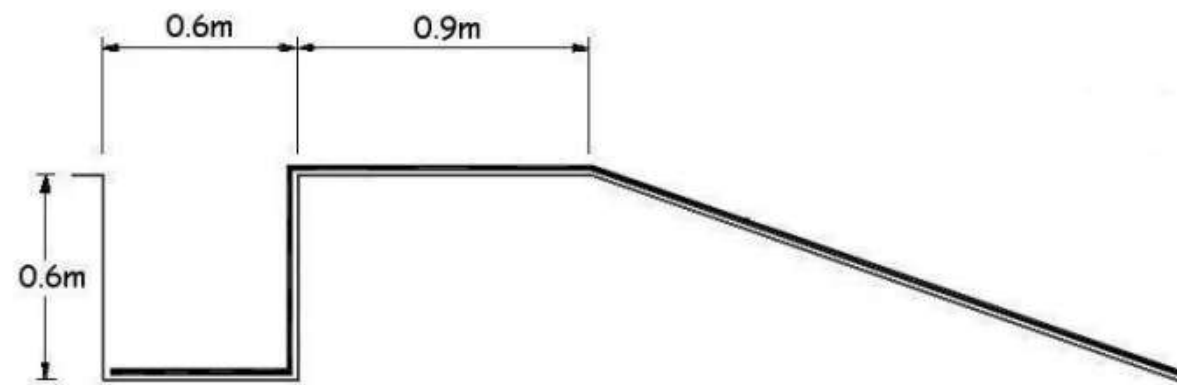
Slope Transition



Εικόνα 11: Μετάβαση από κεκλιμένο τμήμα σε οριζόντιο κατά την τοποθέτηση των μεμβρανών

- Περιμετρικά του ταμιευτήρα, πραγματοποιείται εκσκαφή τάφρου. Η μεμβράνη απλώνεται έως την τάφρο και ύστερα πακτώνεται αφού η τάφρος επανεπιχωθεί.

Anchor Trench



Εικόνα 12: Μέθοδος πάκτωσης των μεμβρανών

5.1.6 Αγωγός Βαρύτητας

Ο αγωγός βαρύτητας υλικού GRP διαστασιολογήθηκε με βάση την παροχή σχεδιασμού 3,5 m³/s. Σύμφωνα με το σχεδιασμό που έχει επιλεγεί οι αναμενόμενες μέγιστες ταχύτητες είναι πολύ ικανοποιητικές, ενώ συγχρόνως οι σωλήνες GRP παρουσιάζουν πολύ καλύτερη αντίσταση στη δημιουργία επιστρώσεων λόγω της πολύ λείας επιφάνειας που διαθέτουν. Συνεπώς, ως ισοδύναμη τραχύτητα ks λαμβάνεται η τιμή 1,5 mm. Ύστερα από υδραυλικούς υπολογισμούς, προκύπτει ότι η διάμετρος του αγωγού είναι 1,2m, ενώ το διαθέσιμο ύψος πτώσης τους εντάσσει στην κλάση των 32 bar.

Ο αγωγός χωρίζεται σε 6 επιμέρους τμήματα, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 11: Διαχωρισμός του αγωγού σε επιμέρους τμήματα

A/A	Μήκος (m)
Τμήμα 1	34
Τμήμα 2	83,8
Τμήμα 3	165,5
Τμήμα 4	274
Τμήμα 5	247
Τμήμα 6	100,5
Σύνολο	904,8

Επισημαίνεται πως το τμήμα 1 του αγωγού είναι οριζόντιο και τοποθετείται ύστερα από εκσκαφή σήραγγας. Τα τμήματα 2 έως 5 εφάπτονται στο έδαφος με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο, ενώ το τμήμα 6 είναι υποθαλάσσιο.

5.2 Προσομοιώσεις

Για τον ακριβή σχεδιασμό ενός υβριδικού συστήματος, το οποίο διέπεται από αξιοπιστία, είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός μοντέλου προσομοίωσης που θα λαμβάνει υπόψιν όλες τις απαραίτητες παραμέτρους σχεδιασμού με σκοπό τη σωστή λειτουργία του έργου.

5.2.1 Παράμετροι σχεδιασμού

Οι βασικές παράμετροι για την υλοποίηση της προσομοίωσής μας είναι οι εξής:

- Ανεμολογικά δεδομένα
- Ηλιακή ακτινοβολία
- Ζήτηση ενέργειας
- Διατομή ταμιευτήρα
- Βροχή και εξάτμιση

Επισημαίνεται πως τα παραπάνω δεδομένα λαμβάνονται σε ωριαία βάση, λόγω των διακυμάνσεων που εμφανίζει η ζήτηση ενέργειας και της αβεβαιότητας του συστήματος σε μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες.

5.2.1.1 Ανεμολογικά δεδομένα

Τα ωριαία ανεμολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο αφορούν συγκεκριμένα το νησί της Σίφνου και πάρθηκαν από σταθμό που λειτουργεί στο νησί το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (Ε.Α.Α.) από το 2019. Η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου που καταγράφηκε από το ανεμόμετρο είναι 52,6 m/s.

Το ανεμόμετρο βρίσκεται σε υψόμετρο 5m από το έδαφος, ενώ οι πτερωτές των ανεμογεννητριών στα 45m και 58m αντίστοιχα. Όπως είναι λογικό, με την αύξηση του υψομέτρου σημειώνεται και αύξηση των ταχυτήτων του ανέμου. Συνεπώς, χρήζει αναγκαία η κατάλληλη αναγωγή του ανέμου στο ύψος των πτερωτών:

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)}$$

όπου στο υψόμετρο $z_1=5m$ εμφανίζονται οι ταχύτητες u_1 και z_2 το υψόμετρο της πτερωτής της κάθε ανεμογεννήτριας. Η παράμετρος z_0 ονομάζεται παράμετρος τραχύτητας και λαμβάνεται ίση με 2 cm (ήπιο ανάγλυφο με χαμηλή βλάστηση).

5.2.1.2 Ηλιακή ακτινοβολία

Τα ωριαία δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο προσομοίωσης αφορούν την μέση ηλιακή ακτινοβολία των νησιών του Αιγαίου, η οποία δεν εμφανίζει σημαντικές μεταβολές από νησί σε νησί. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα της προσομοίωσης πάρθηκαν από το νησί της Αστυπάλαιας ως αντιπροσωπευτικό δείγμα. Η μέγιστη ακτινοβολία που εμφανίζεται είναι 1.016 W/m².

5.2.1.3 Ζήτηση ενέργειας

Ένα από τα πιο κρίσιμα κομμάτια της προσομοίωσης είναι τα δεδομένα πραγματικής ζήτησης ενέργειας, τα οποία βρίσκονται σε χρονική αντιστοιχία με τα ανεμολογικά δεδομένα. Έτσι, τα ωριαία δεδομένα ζήτησης ενέργειας που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο προσομοίωσης πάρθηκαν από τεχνική έκθεση της ΔΕΔΔΗΕ για το έτος 2020 («ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΙΦΝΟΥ», ΔΕΔΔΗΕ 2021). Η αιχμή της ζήτησης ενέργειας ισούται με 5,4 MW.

5.2.1.4 Διατομή ταμιευτήρα

Ο ταμιευτήρας είναι κατασκευασμένος από οπλισμένο σκυρόδεμα και έχει πάχος 0,5m και έχει τραπεζοειδή διατομή, έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτούμενες κατασκευαστικές διατάξεις που αφορούν την τοποθέτηση των γεωμεμβρανών για την στεγανοποίησή του, όπως παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 5.1.5. Ο ταμιευτήρας επιλέχθηκε και στα δύο υπό μελέτη σενάρια να έχει μήκος σταθερό και ίσο με 600m, σύμφωνα με την δεδομένη χωρική ευελιξία. Οι υπόλοιπες διαστάσεις (πλάτος, ύψος) προκύπτουν από την προσομοίωση, σύμφωνα με τον απαιτούμενο όγκο του ταμιευτήρα.

5.2.1.5 Βροχή και εξάτμιση

Για την ολοκληρωμένη προσομοίωση του ισοζυγίου του ταμιευτήρα, κρίνεται σκόπιμο να υπολογιστούν οι επιπλέον εισροές που προέρχονται από την βροχή, καθώς και οι αντίστοιχες απώλειες λόγω της εξάτμισης.

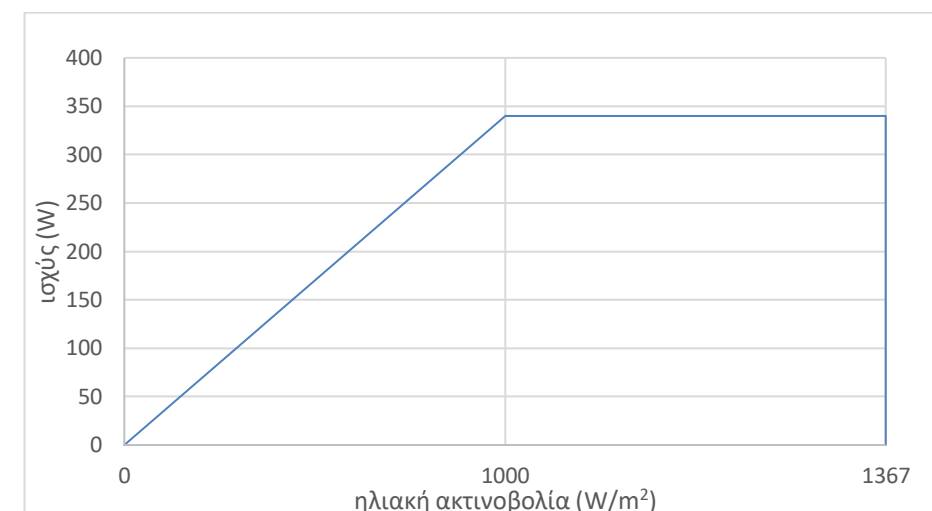
Τα δεδομένα βροχής λήφθηκαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (Ε.Α.Α.) σε ημερήσια βάση. Με τη βοήθεια του λογισμικού «Υδρογνώμων» έγινε η αναγωγή τους σε ωριαία βάση.

Για την εύρεση της εξάτμισης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Hargreaves. Τα απαιτούμενα δεδομένα της ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας σε ημερήσια κλίμακα πάρθηκαν από το Ε.Α.Α. Ύστερα, με τη βοήθεια του λογισμικού «Υδρογνώμων» έγινε αναγωγή σε ωριαία βάση.

5.2.2 Προσομοίωση ταμιευτήρα με πλήρη ενεργειακή αυτονομία

Στην προσομοίωση ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

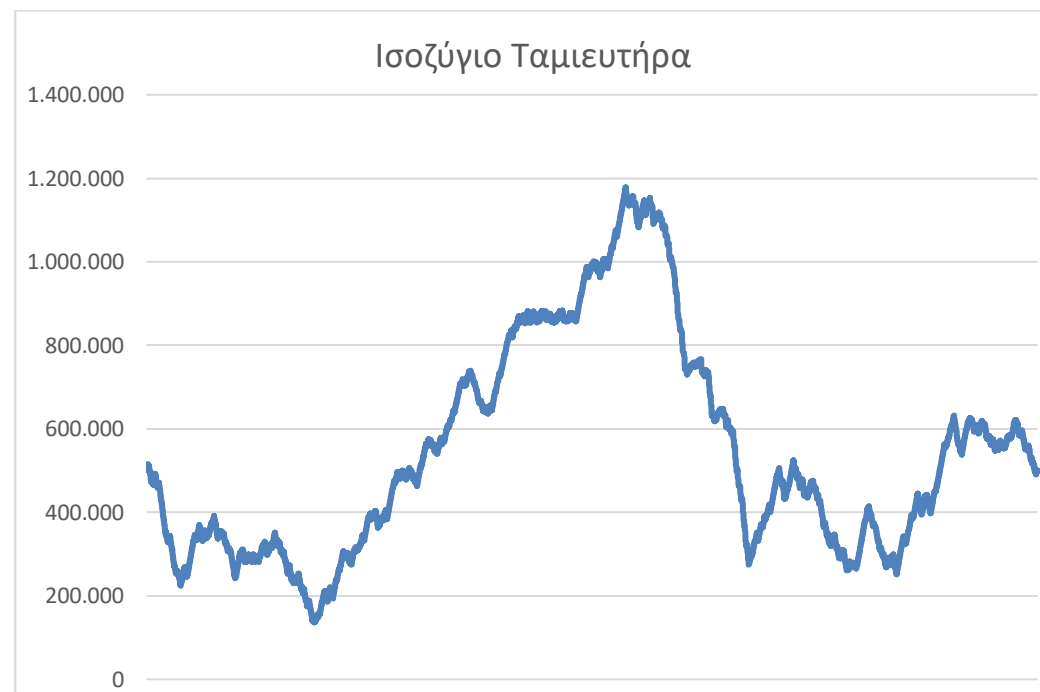
- i. Πραγματοποιείται αναγωγή των ανεμολογικών δεδομένων στις πτερωτές των ανεμογεννητριών.
- ii. Ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου και το εύρος λειτουργίας των ανεμογεννητριών, υπολογίζεται η παραγωγή ενέργειας για κάθε είδος ανεμογεννήτριας.
- iii. Μετατρέπεται η ηλιακή ακτινοβολία σε ηλιακή ενέργεια σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα, δεδομένου ότι η ισχύς των χρησιμοποιούμενων φωτοβολταϊκών πάνελ είναι 340W και διαστάσεων 1956 mm x 992 mm έκαστο.



Εικόνα 13: Διάγραμμα ηλιακής ακτινοβολίας – Ισχύος

- iv. Αθροίζονται οι παραγόμενες ενέργειες των ανεμογεννητριών και των φωτοβολταϊκών και προσδιορίζεται η συνολική ενέργεια.
- v. Σύμφωνα με την ζήτηση ενέργειας υπολογίζεται το έλλειμμα και η περίσσεια ανά ωριαίο βήμα προσομοίωσης.
- vi. Έπειτα από βελτιστοποίηση επιλέχθηκαν δύο ανεμογεννήτριες E-44 και μια E-70. Επίσης, στο ενεργειακό μίγμα προστίθενται 825 φωτοβολταϊκά πάνελ.
- vii. Έτσι, υπολογίζεται η συνολική παραγόμενη ενέργεια του συστήματος και προκύπτουν εκ νέου ελλείμματα και περίσσειες σύμφωνα με το βέλτιστο ενεργειακό μίγμα. Επισημαίνεται πως τις περιόδους που υπάρχει περίσσεια ενέργειας, ορίζεται πως η αντλία θα λειτουργεί με άνω όριο ισχύος τα 1 MW για την αποφυγή της υπερδιαστασιολόγησης του ταμιευτήρα. Διαφορετικά, το έργο θα ήταν αντιοικονομικό.
- viii. Υλοποιείται ισοζύγιο εισροών-εκροών του ταμιευτήρα. Ως εισροές ορίζονται ο όγκος άντλησης λόγω περίσσειας ενέργειας και η βροχή, ενώ ως εκροές ο απαιτούμενος όγκος νερού για παραγωγή ενέργειας και η εξάτμιση. Αναγκαίο για την σωστή λειτουργία του ταμιευτήρα είναι ο ορισμός αρχικού αποθέματος ίσο με 500.000 m³. Αυτό

εξηγείται από το γεγονός ότι κατά την έναρξη της προσομοίωσης εμφανίζονται συγκεντρωτικά πολλές τιμές ταχυτήτων ανέμου που υπερβαίνουν το όριο ασφαλούς λειτουργίας των ανεμογεννητριών, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται ελλείμματα, τα οποία, συνεπώς, πρέπει να καλυφθούν από το έργο της αντλησοταμίευσης. Η παραπάνω διαδικασία είναι επαναληπτική, αφού το ισοζύγιο αλλάζει δυναμικά κατά την μεταβολή των υπόλοιπων διαστάσεων του ταμιευτήρα (καθώς μεταβάλλεται η επιφάνεια του ταμιευτήρα, αλλάζουν οι αντίστοιχες τιμές της βροχής και της εξάτμισης). Η διαδικασία αυτή ολοκληρώνεται όταν το τελικό απόθεμα ισούται με το αρχικά ορισμένο.



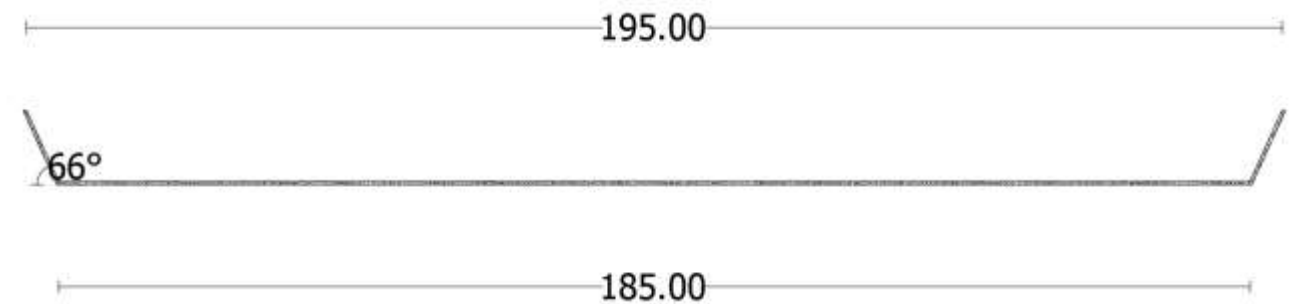
Εικόνα 14: Ισοζύγιο ταμιευτήρα

ix. Έπειτα από επαναληπτική διαδικασία προκύπτει ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρα ίσος με $1.178.234 \text{ m}^3$

x. Ορίζονται οι διαστάσεις του ταμιευτήρα:

- Μήκος 600 m
- Ύψος 11 m

- Βάση μικρή 185 m
- Βάση μεγάλη 195 m
- Κλίση πρανών 66°
- Επιφάνεια 117.000 m^2
- Όγκος $1.254.000 \text{ m}^3$



Εικόνα 15: Τομή ταμιευτήρα

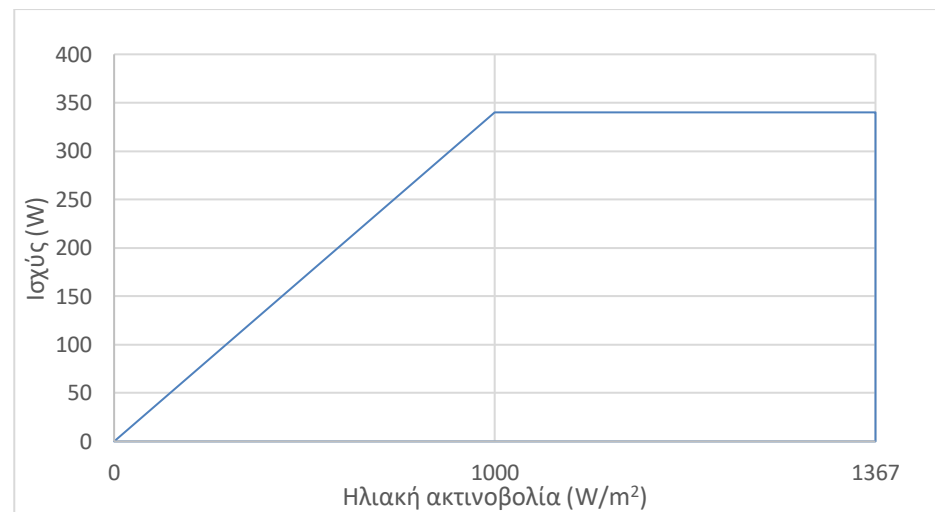
5.2.2 Προσομοίωση υβριδικού έργου σε συνδυασμό με λειτουργία έργου βάσης (συμβατικός θερμικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας)

Σκοπός της διερεύνησης αυτής της εναλλακτικής είναι η προσπάθεια μείωσης του όγκου του ταμιευτήρα μέσω της λειτουργίας συμβατικού θερμικού σταθμού καύσης πετρελαίου και διαφορετικού ενεργειακού μίγματος. Ο σταθμός θα λειτουργεί όλο το χρόνο με ισχύ 0,5 MW.

Στην προσομοίωση ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- Από την ωριαία ζήτηση ενέργειας αφαιρούνται τα 0,5 MW που παράγει ο θερμικός σταθμός.
- Πραγματοποιείται αναγωγή των ανεμολογικών δεδομένων στις πτερωτές των ανεμογεννητριών.
- Ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου και το εύρος λειτουργίας των ανεμογεννητριών, υπολογίζεται η παραγωγή ενέργειας για κάθε είδος ανεμογεννήτριας.

iv. Μετατρέπεται η ηλιακή ακτινοβολία σε ηλιακή ενέργεια σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα, δεδομένου ότι η ισχύς των χρησιμοποιούμενων φωτοβολταϊκών πάνελ είναι 340W και διαστάσεων 1956 mm x 992 mm έκαστο.

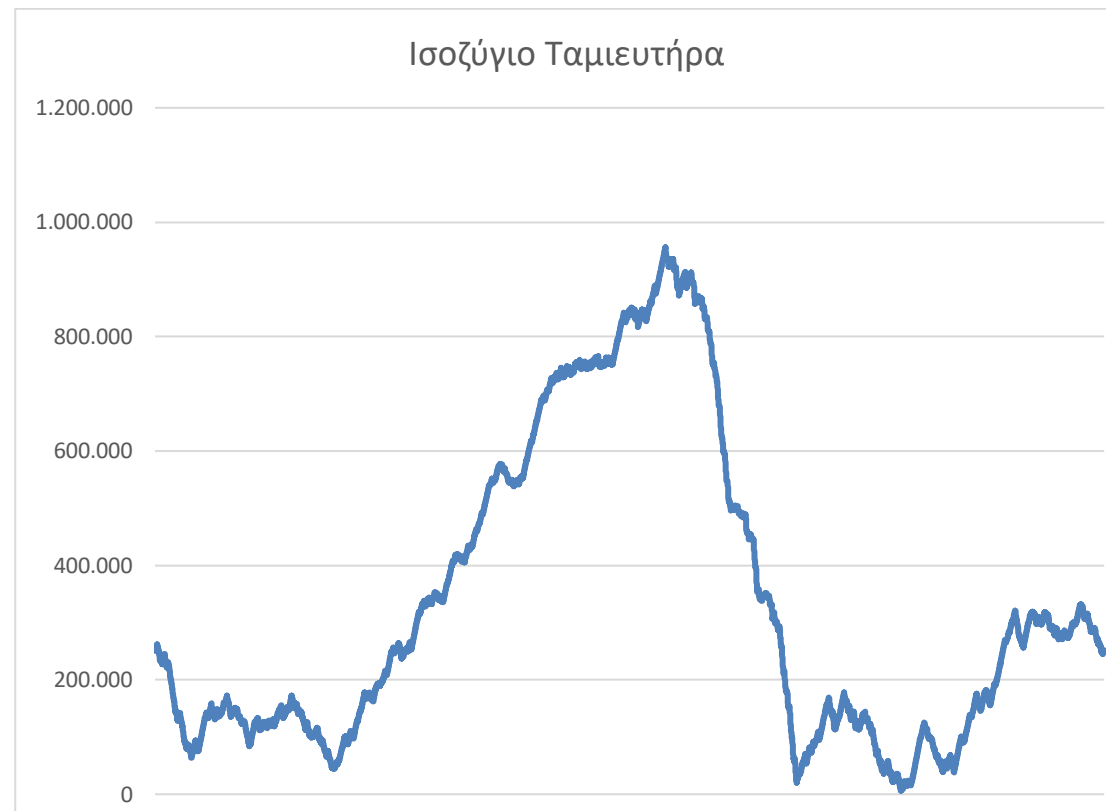


Εικόνα 16: Διάγραμμα ηλιακής ακτινοβολίας – Ισχύος

- v. Αθροίζονται οι παραγόμενες ενέργειες των ανεμογεννητριών και των φωτοβολταϊκών και προσδιορίζεται η συνολική ενέργεια.
- vi. Σύμφωνα με την ζήτηση ενέργειας υπολογίζεται το έλλειμμα και η περίσσεια ανά ωριαίο βήμα προσομοίωσης.
- vii. Έπειτα από βελτιστοποίηση επιλέχθηκαν μια ανεμογεννήτρια E-44 και μια E-70. Επίσης, στο ενεργειακό μίγμα προστίθενται 1770 φωτοβολταϊκά πάνελ.
- viii. Έτσι, υπολογίζεται η συνολική παραγόμενη ενέργεια του συστήματος και προκύπτουν εκ νέου ελλείμματα και περίσσειες σύμφωνα με το βέλτιστο ενεργειακό μίγμα. Επισημαίνεται πως τις περιόδους που υπάρχει περίσσεια ενέργειας, ορίζεται πως η αντλία θα λειτουργεί με άνω όριο ισχύος τα 0,7 MW για την αποφυγή της

υπερδιαστασιολόγησης του ταμιευτήρα. Διαφορετικά, το έργο θα ήταν αντιοικονομικό.

ix. Υλοποιείται ισοζύγιο εισροών-εκροών του ταμιευτήρα. Ως εισροές ορίζονται ο όγκος άντλησης λόγω περίσσειας ενέργειας και η βροχή, ενώ ως εκροές ο απαιτούμενος όγκος νερού για παραγωγή ενέργειας και η εξάτμιση. Αναγκαίο για την σωστή λειτουργία του ταμιευτήρα είναι ο ορισμός αρχικού αποθέματος ίσο με 250.000 m³. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι κατά την έναρξη της προσομοίωσης εμφανίζονται συγκεντρωτικά πολλές τιμές ταχυτήτων ανέμου που υπερβαίνουν το όριο ασφαλούς λειτουργίας των ανεμογεννητριών, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται ελλείμματα, τα οποία, συνεπώς, πρέπει να καλυφθούν από το έργο της αντλησοταμίευσης. Η παραπάνω διαδικασία είναι επαναληπτική, αφού το ισοζύγιο αλλάζει δυναμικά κατά την μεταβολή των υπόλοιπων διαστάσεων του ταμιευτήρα (καθώς μεταβάλλεται η επιφάνεια του ταμιευτήρα, αλλάζουν οι αντίστοιχες τιμές της βροχής και της εξάτμισης). Η διαδικασία αυτή ολοκληρώνεται όταν το τελικό απόθεμα ισούται με το αρχικά ορισμένο.



Εικόνα 17: Ισοζύγιο ταμιευτήρα

χ. Έπειτα από επαναληπτική διαδικασία προκύπτει ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρα ίσος με 956.121 m^3

χι. Ορίζονται οι διαστάσεις του ταμιευτήρα:

- Μήκος 600 m
- Ύψος 10 m
- Βάση μικρή 170 m
- Βάση μεγάλη 180 m
- Κλίση πρανών 63.4°
- Επιφάνεια 108.000 m^2
- Όγκος $1.050.000 \text{ m}^3$

5.3 Σχεδιασμός ταμιευτήρα

5.3.1 Διαστασιολόγηση ταμιευτήρα

Οι διαστάσεις του ταμιευτήρα προέκυψαν από την προσομοίωση με επαναληπτική μέθοδο και λαμβάνοντας υπόψιν την διαθέσιμη επιφάνεια του πλατώματος με σκοπό να αξιοποιηθεί το μέγιστο δυνατό ύψος πτώσης.

5.3.2 Έλεγχος φέρουσας ικανότητας βραχώμαζας

Γνωρίζοντας ότι ο ταμιευτήρας μας πρόκειται να εδραστεί σε καρστικοποιημένο δολομίτη, κρίνεται σκόπιμη η περαιτέρω γεωτεχνική μελέτη. Η έλλειψη των αναγκαίων γεωλογικών χαρτών για την εύρεση των επιφανειών αστοχίας περιορίζει σε μεγάλο βαθμό την αναλυτική γεωτεχνική ανάλυση. Ως εκ τούτου, πραγματοποιείται ένας στοιχειώδης έλεγχος ως προς την ευστάθεια της βραχώμαζας και συγχρόνως προτείνεται περαιτέρω διερεύνηση.

Για την εύρεση της αντοχής της βραχώμαζας, χρησιμοποιούμε το κριτήριο αστοχίας Hoek & Brown (2002). Από πίνακες, οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω, προκύπτουν οι τιμές των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν στο κριτήριο:

- $\sigma_{c,i} = 80 \text{ MPa}$ (δολομίτης)
- $m_i = 9 \pm 2$, επιλέγουμε την τιμή 9 (δολομίτης). Εξαρτάται από τον βαθμό αλληλοκλειδώματος των κόκκων.
- $GSI = 60$
- $D = 0$

Πίνακας 13: Δείκτης m_i (Hoek and Marinos 2000)

Πίνακας 12: Αντοχή άρρηκτου βράχου (Hoek and Marinos 2000)

Τιμές ανεμπόδιστης θλίψης $\sigma_{c,i}$ (UCS)		
Περιγραφή	σ_c (MPa)	Παραδείγματα
Πολύ υψηλή αντοχή	>200	Χαλαζίτης, δολερίτης, γάββρος, βασάλτης
Υψηλή αντοχή	100-200	Μάρμαρο, γρανίτης, γνέυσιος, ασβεστόλιθος
Μέση αντοχή	60-100	Ψαμμίτης, δολομίτης, μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος, μαργαϊκός ασβεστόλιθος
Χαμηλή αντοχή	20-60	Ψαμμίτης μέτρια συνεκτικός, τόφφος, ιλυόλιθος, αργιλικός σχιστόλιθος
Πολύ χαμηλή αντοχή	<20	Ιλυόλιθος, αργιλικός σχιστόλιθος, κρητίς, ορυκτό αλάτι, αποσαθρωμένα πετρώματα
	<20	Μαλακοί βράχοι
	<1	Έδαφος

Τύπος	Ομάδα	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ				
		Χονδρή	Μέση	Λεπτή	Πολύ λεπτή	
ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ	Κλαστικό	Κροκαλοπαγή *	Ψαμμίτες 17 ± 4	Ιλυόλιθοι 7 ± 2	Αργιόλιθοι 4 ± 2	
		Λατυποπαγή *		Γραουβάκες (18 ± 3)	Αργ.σχιστόλιθοι (8 ± 2) Μάργες (7 ± 2)	
	Μη κλαστικό	Ανθρακικά	Κρυσταλλικοί Ασβεστόλιθοι (12 ± 3)	Σπαρτικοί Ασβεστόλιθοι (10 ± 2)	Μικρικοί Ασβεστόλιθοι (9 ± 2)	Δολομίτες (9 ± 3)
		Εβαπορίτες		Γύψος 8 ± 2	Ανυδρίτης 12 ± 2	
	Οργανικά				Κρητίς 7 ± 2	
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ	Μη πτυχωμένα	Μάρμαρο 9 ± 3	Κερατόλιθοι (19 ± 4) Μεταψαμμίτες (19 ± 3)	Χαλαζίτες 20 ± 3		
	Ελαφρά πτυχωμένα	Μηγματίτες (29 ± 3)	Αμφιβολίτες 26 ± 6	Γνέυσιος 28 ± 5		
	Πτυχωμένα**		Σχιστόλιθοι 12 ± 3	Φυλλίτες (7 ± 3)	Σχίστες 7 ± 4	
Τύπος	Ομάδα	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ				
ΠΥΡΙΓΕΝΗ	Πλούτωνα	Ανοιχτό- χρωμα	Γρανίτης 32 ± 3	Διορίτης 25 ± 5		
		Σκοτεινό- χρωμα	Γάββρος 27 ± 3 Νορίτης 20 ± 5	Δολερίτης (16 ± 5)		
	Υποαβυσσικά	Πορφύρας (20 ± 5)		Διαβάσης (15 ± 5)	Περιδοίτης (25 ± 5)	
	Ηφαιστειακά	Λάβα		Ρυόλιθος (25 ± 5) Ανδεσίτης 25 ± 5	Δακίτης (25 ± 3) Βασάλτης (25 ± 5)	
		Πυροκλαστικά	Κροκαλοπαγή (19 ± 3)	Ηφ.Λατυποπαγή (19 ± 5)	Τόφφοι (13 ± 5)	

Πίνακας 14: Δείκτης γεωλογικής αντοχής GSI (Hoek and Marinos 2000)

ΔΟΜΗ	ΠΟΣΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΜΕΧΕΙΣΙΩΝ			
	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τριπλές, υψίς μη αποσπασμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τριπλές, κλειστά αποσπασμένες και οριζοντιώδεις επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Μέτρες, μετρίως αποσπασμένες και οριζοντιώδεις επιφάνειες	ΠΟΛΥ ΠΟΧΗ Πολύ λίγες, κατά περίπτωση οριζοντιώδεις επιφάνειες με σημαντική επιρρύπανση ή υλικό πλήρωσης με γυαλιστερό βραχώδη
ΑΡΡΗΚΤΗ Αρρηκτο βραχώδη τεμάχια ή δομικούς βράχους με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση	90			N/A
ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδελφωστή βραχώδη με πολύ καλά αλληλοκλειόμενα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζώνια από τρεις οριζοντιώδη ασυνέχειες	80	70		
ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μεγάλης διασπαρμένη βραχώδη με πολύ μικρά γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τριπλές ή περισσότερες οριζοντιώδεις ασυνέχειες		60		
ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πηλοειδή με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από οριζοντιώδεις ασυνέχειες. Εμφανή στρώσης ή στρωματοειδούς		50	40	
ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Στεγνό κρυσταλλίνη βραχώδη με πτωχά αλληλοκλειόμενα και με πυκνή παρουσία γωνιών και αστραγγιζόμενων τεμαχίων		30	20	
ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΗΜΕΝΗ Φυλλώδης ή στρωματοειδή και τεκτονικές διατημένη ασυνέχεια βραχώδη. Η φύλλωση επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οριζοντιώδους ασυνέχειας μεταδίδοντας την δημιουργία γωνιών τεμαχίων (η κλίση σε αυτή το κενά δεν συγκαταλέγεται με αυτή των άλλων ασυνεχειών)	N/A	N/A		10

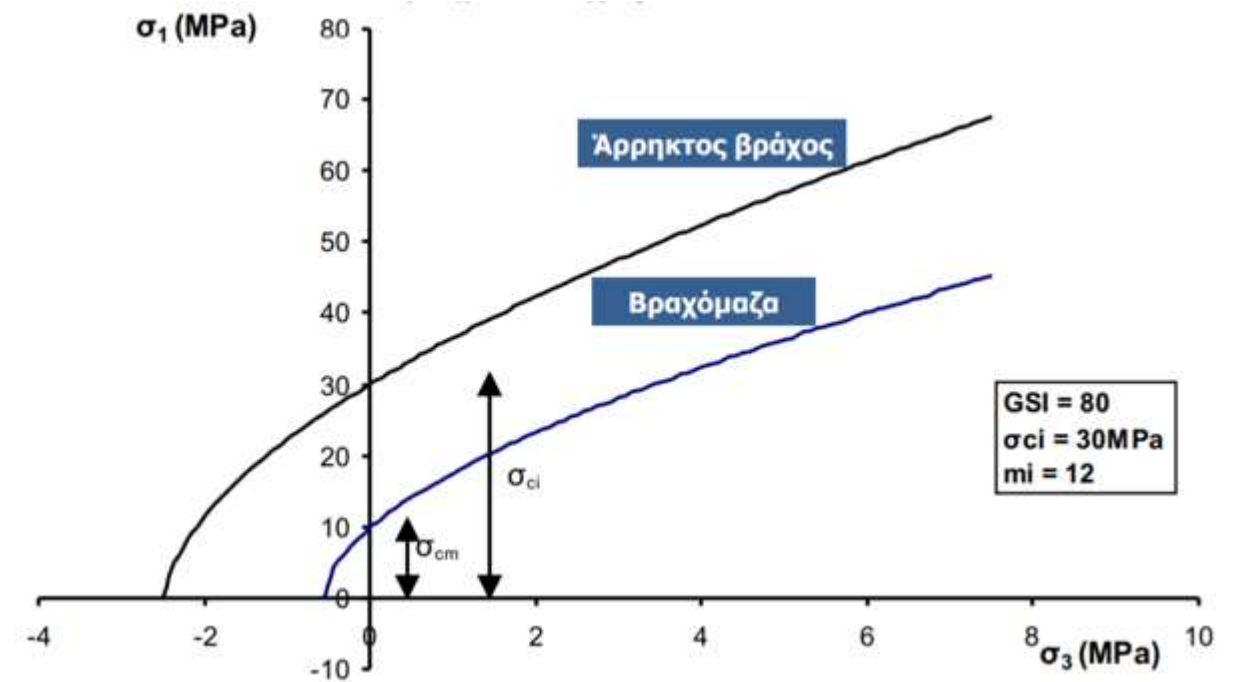
Οι σχέσεις που χρησιμοποιούνται για το κριτήριο Hoek & Brown 2002 για βραχώδεις είναι οι εξής:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{c,i} * \left(m_b * \frac{\sigma_3}{\sigma_{c,i}} + s \right)^a$$

$$m_b = m_i * e^{\frac{(GSI-100)}{(28-14*D)}}$$

$$s = e^{\frac{GSI-100}{9-3*D}}$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} * \left(e^{\frac{GSI}{15}} - e^{\frac{20}{3}} \right)$$



Εικόνα 18: Σύγκριση βράχου - βραχώμαζας στο κριτήριο Hoek & Brown

Σύμφωνα με τις παραπάνω σχέσεις και με την εικόνα 18, για $\sigma_3=0$ προκύπτει $\sigma_1=\sigma_{cm}$. Έτσι, $\sigma_{cm}=8,5$ MPa.

Υπολογίζοντας τις πιέσεις του θαλασσινού νερού σε συνδυασμό με την στρώση του οπλισμένου σκυροδέματος, ο ταμιευτήρας ασκεί συνολικά πίεση ίση με 233,82 KPa. Συνεπώς, οι ασκούμενες ορθές πιέσεις του ταμιευτήρα είναι μικρότερες από την αντοχή της βραχόμαζας και δεν υπάρχει κίνδυνος αστοχίας φέρουσας ικανότητας της βραχόμαζας.

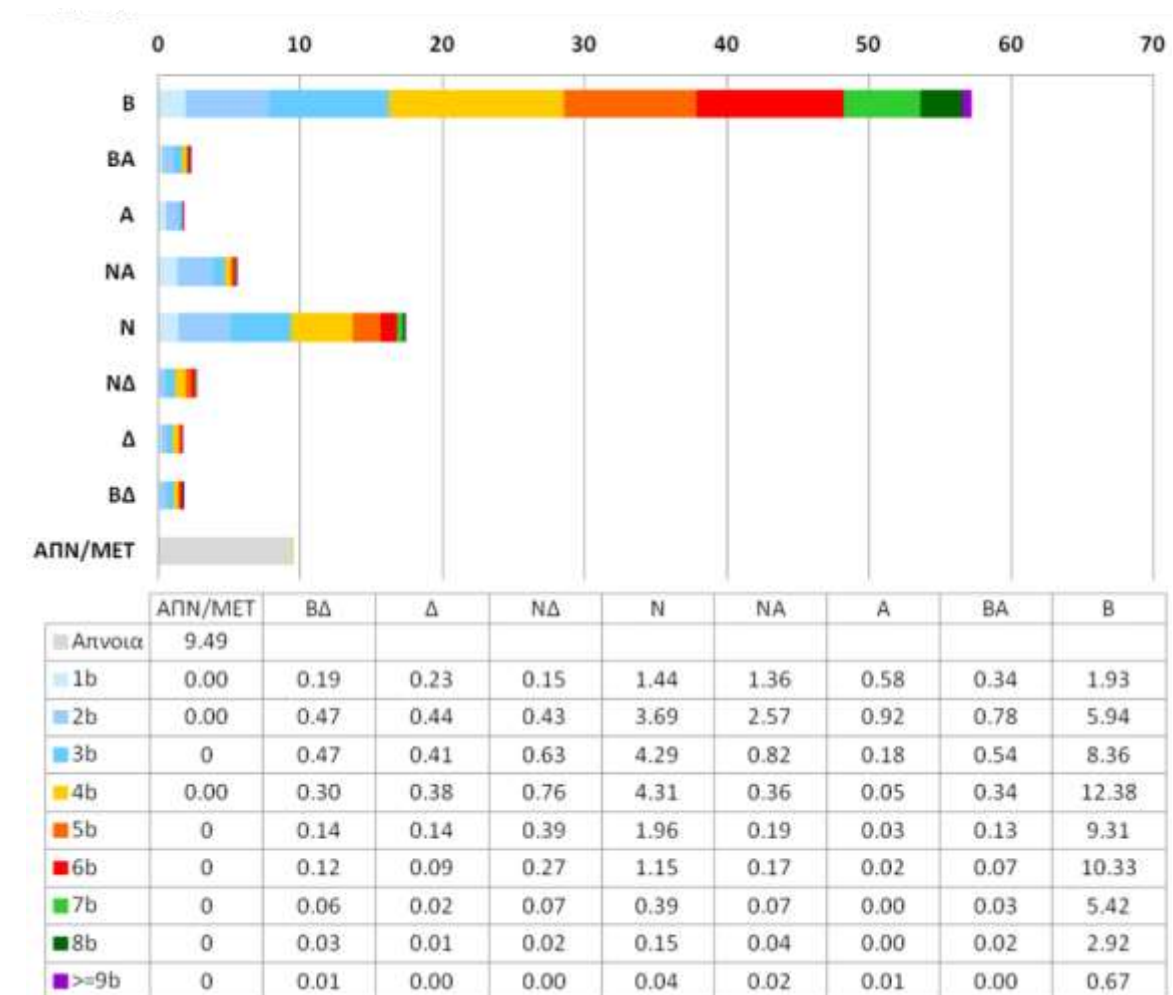
5.4 Έργο θωράκισης ακτής

Σκοπός του έργου θωράκισης είναι η προστασία του αγωγού από τυχόν φθορές λόγω των προσπιπτόντων κυματισμών.

5.4.1 Κυματικό κλίμα στα ανοιχτά

Οι επικρατέστεροι άνεμοι της περιοχής λήφθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ) για το νησί της Νάξου, λόγω έλλειψης ικανοποιητικού δείγματος ανεμολογικών δεδομένων για το νησί της Σίφνου. Οι ετήσιες συχνότητες εμφάνισης των ανέμων παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 15: Ετήσιες συχνότητες εμφάνισης ανέμων



Στην συνέχεια, υπολογίστηκαν τα fetch effective για τους κύριους ανέμους που πλήττουν την περιοχή (ανατολικοί, βορειοανατολικοί, βόρειοι). Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

$$F_{eff} = \frac{\sum f_i * \cos^2(\theta_i)}{\sum \cos(\theta_i)}$$

Πίνακας 16: Προσδιορισμός fetch effective

Προσανατολισμός ανέμων	Fetch effective (m)
Βόρειοι	51.776,16
Βορειοανατολικοί	93.691,73
Ανατολικοί	62.238,77

Για τον υπολογισμό της χαρακτηριστικής περιόδου και του χαρακτηριστικού ύψους κύματος στα βαθιά νερά ανά προσανατολισμό ανέμων με τη μέθοδο SMB:

$$\Phi = \frac{g * F_{eff}}{U^2}$$

$$t_{min} = 6.588 * e^{\sqrt{0,0161 * \ln(\Phi)^2 - 0,369 * \ln(\Phi) + 2,2024 + 0,8798 * \ln(\Phi)}} * \frac{U}{g}$$

Πίνακας 17: Υπολογισμός Φ , t

Προσανατολισμός ανέμων	Φ	t (sec)	t_{min} (sec)
Βόρειοι	994,45	21.1291,2	12.611,22
Βορειοανατολικοί	1.799,51	15.768	19.894,45
Ανατολικοί	1.195,40	3.153,6	14.524,35

5.4.2 Κυματικό κλίμα στη γραμμή θραύσης

Έπειτα από υπολογισμούς, προκύπτει ότι για τα 9 Beaufort, οι βορειοανατολικοί άνεμοι εμφανίζουν το μεγαλύτερο ύψος κύματος:

$$H_s = 0,283 * \tanh(0,0125 * \Phi^{0,42}) * \frac{U^2}{g},$$

$U=22,6$ m/s (ταχύτητα ανέμου για τα 9 Beaufort)

Με αντικατάσταση: $H_s=4,17$ m

Η χαρακτηριστική περίοδος T_p υπολογίζεται ως:

$$T_p = 7,54 * \tanh(0,077 * \Phi^{0,25}) * \frac{U}{g}$$

Με αντικατάσταση: $T_p=8,05$ sec

Σκοπός είναι να προσδιοριστεί το ύψος των κυματισμών κατά την θραύση, H_b , καθώς και το βάθος στο σημείο αυτό, d_b .

Έχοντας τις τιμές H_s , T_s , $\tan\beta$ (κλίση της ακτής) και θ_0 (γωνία που σχηματίζει η μεσοκάθετος της ακτής με την κύρια διεύθυνση του ανέμου) ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία υπολογισμού του H_b που περιγράφεται παρακάτω:

- Υποθέτουμε K_r . Έτσι έχουμε $H_s' = K_r * H_s$

- Βρίσκουμε το H_b από την σχέση $H_b = 0,56 * H_s' * \left(\frac{H_s'}{L_0}\right)^{-\frac{1}{5}}$

- Υπολογίζουμε τους συντελεστές α , b , γb :

$$\alpha = 43,8 * (1 - e^{-19 * \tan\beta})$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5 * \tan\beta})}$$

$$\gamma b = b - \alpha * \frac{H_b}{g * T_s^2}$$

- Υπολογίζουμε το βάθος θραύσης d_b και στην συνέχεια το μήκος κύματος για το βάθος αυτό L_b :

$$d_b = \frac{\gamma b}{H_b}$$

- Υπολογίζουμε την γωνία θραύσης θ_b :

$$\theta_b = \text{asin}\left(\frac{L_b}{L_0} * \sin(\theta_0)\right)$$

- Υπολογίζουμε νέο K_r' από την παρακάτω σχέση:

$$Kr' = \sqrt{\frac{\cos(\theta o)}{\cos(\theta b)}}$$

- Επαναλαμβάνουμε την παραπάνω διαδικασία έως ότου $Kr'-Kr < 0,01$

Από την παραπάνω διαδικασία προκύπτει $H_b=2,9m$ και $d_b=2,66m$.

5.4.3 Διαστασιολόγηση έργου θωράκισης

Στην συνέχεια, εφαρμόζουμε την μέθοδο της κυματικής αναρρίχησης (wave setup-wave run up) και προκύπτει μέγιστη υπερπήδηση $H=1,95m$. Ως εκ τούτου, επιλέγεται σαν μέθοδος προστασίας του αγωγού θωράκιση ύψους 2m με φυσικούς ογκολίθους.

Η ευστάθεια των λίθων θωράκισης απέναντι στις φορτίσεις των κυμάτων διασφαλίζεται στην πράξη με χρήση ημιεμπειρικών σχέσεων που δίνουν το βάρος των ογκολίθων. Χρησιμοποιήθηκε ο τύπος του Hudson που αναπτύχθηκε μετά από εργαστηριακή έρευνα στο Waterways Experiment Station των Η.Π.Α κατά την διάρκεια του 1950:

$$B = \frac{\gamma * H^3}{K_D * (\delta - 1)^3 * \cotan(\theta)}$$

B = το απαιτούμενο μέσο βάρος του ογκολίθου στη στρώση θωράκισης, με περίπου 50% του πλήθους των λίθων να ζυγίζουν πάνω από B

γ = ειδικό βάρος του πετρώματος των ογκολίθων

H = ύψος κύματος σχεδιασμού

K_D = συντελεστής ευστάθειας, ο οποίος εξαρτάται κυρίως από το σχήμα των ογκολίθων και τη δυνατότητα αλληλεμπλοκής των μονάδων θωράκισης, το θραυόμενο ή μη των κυματισμών και τη θέση της διατομής στο ακρομώλιο ή τον κορμό του έργου

δ = ο λόγος των ειδικών βαρών $\gamma/\gamma_{νερού}$

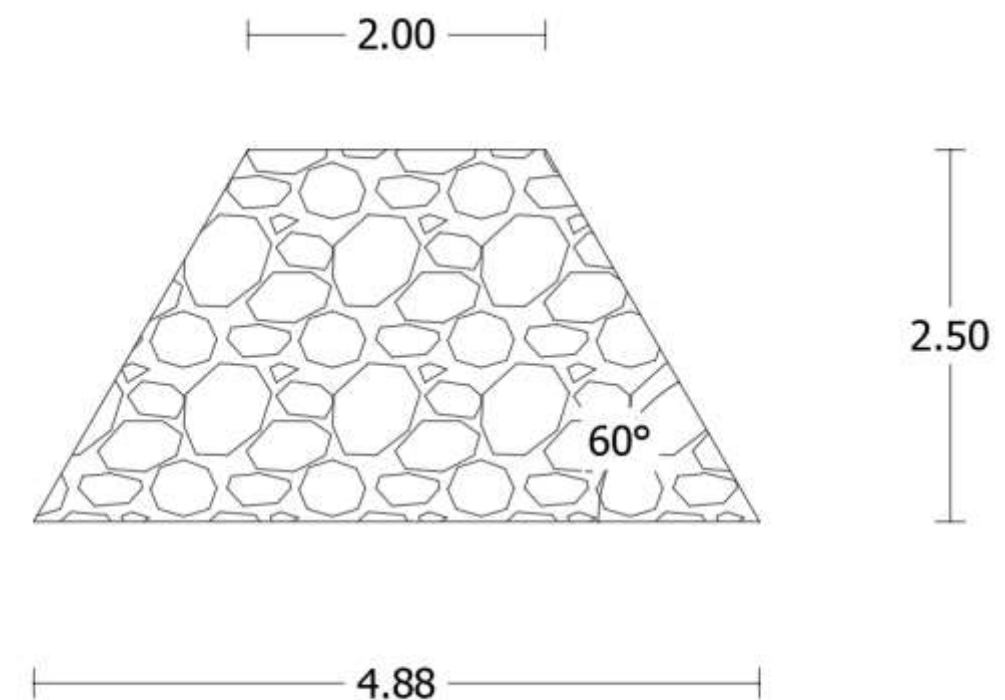
θ = η γωνία του πρανούς ως προς την οριζόντιο. Τιμές της $\cotan(\theta)$ μικρότερες από 1,5 δεν συστήνονται, ενώ ελάχιστες τιμές γύρω στο 2 είναι καταλληλότερες για προσήνεμα πρανή.

Οι παραπάνω παράμετροι παίρνουν τιμές και προκύπτει το απαιτούμενο βάρος των ογκολίθων για τη θωράκιση:

Πίνακας 18: Υπολογισμός βάρους ογκολίθων θωράκισης

γ (tn/m ³)	2,6
$\gamma_{νερού}$ (tn/m ³)	1,025
H (m)	2
K_D (φυσικοί ογκολίθοι)	2,8
δ	2,54
$\cotan(\theta)$	2
B (tn)	1,02

Η θωράκιση θα έχει μήκος 300m.



Εικόνα 19: Διατομή θωράκισης με φυσικούς ογκολίθους

6. Οικονομική μελέτη εναλλακτικών σεναρίων της προτεινόμενης λύσης

Σε αυτήν την ενότητα θα γίνει αναλυτική οικονομική μελέτη για τα σενάρια της επιλεγμένης λύσης που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Στην συνέχεια, θα συγκριθούν με σκοπό την τελική επιλογή του τεχνικοοικονομικά βέλτιστου.

6.1 Οικονομική μελέτη υβριδικού έργου με πλήρη ενεργειακή αυτονομία Εκσκαφές για την κατασκευή του ταμιευτήρα

Το εκσκαπτόμενο έδαφος υπάγεται στην κατηγορία των βραχωδών. Η τιμή μονάδας είναι 4 € / m³

Στην τιμή μονάδας περιλαμβάνονται:

- Η όρυξη με οποιοδήποτε μέσο ή και υπό οποιοσδήποτε συνθήκες,
- Η απομάκρυνση και αποστράγγιση των υδάτων, η μόρφωση των παρειών, των πρανών και του πυθμένα της σκάφης και ο σχηματισμός των αναβαθμών - η διάνοιξη διατηρημάτων γόμωσης,
- Η προμήθεια, μεταφορά, τοποθέτηση, πυροδότηση εκρηκτικών υλών με όλες τις απαιτούμενες εργασίες για ασφαλή έκρηξη και όλα τα απαιτούμενα υλικά (εκρηκτικές ύλες, θρυαλίδες, πυροκροτητές, επιβραδυντές κ.λ.π.),
- Η διαλογή, φύλαξη, φορτοεκφόρτωση σε οποιοδήποτε μεταφορικό μέσο και η μεταφορά των προϊόντων σε οποιαδήποτε απόσταση για τη χρησιμοποίησή τους στο έργο (π.χ. κατασκευή επιχωμάτων) ή για απόρριψη των πλεοναζόντων σε επιτρεπόμενες τελικές,
- Η εναπόθεση σε τελικές ή ενδιάμεσες θέσεις, η επαναφόρτωση από τις θέσεις προσωρινών αποθέσεων και η εκφόρτωση σε τελικές θέσεις, καθώς και η διάστρωση και διαμόρφωση των αποθέσεων σύμφωνα με τους περιβαλλοντικούς όρους του έργου,

- Η τυχόν απαιτούμενη αντιστήριξη των πρανών εκσκαφής καθώς και η εκθάμνωση, κοπή, εκρίζωση και απομάκρυνση δένδρων, ανεξαρτήτως περιμέτρου, σε οποιαδήποτε απόσταση.

Επισημαίνεται ακόμη ότι η τιμή είναι γενικής εφαρμογής, ανεξάρτητα από την εκτέλεση της εργασίας σε μία φάση ή περισσότερες, που υπαγορεύονται από το πρόγραμμα εκτέλεσης του έργου ή άλλους τοπικούς περιορισμούς. Χρήση εκρηκτικών επιτρέπεται υπό την προϋπόθεση ότι έχουν ληφθεί οι απαραίτητες εγκρίσεις για τη χρήση των εκρηκτικών και δεν απαγορεύεται η χρήση τους από τους περιβαλλοντικούς όρους του έργου.

Ο όγκος του ταμιευτήρα είναι ίσος με 1.254.000 m³. Ο όγκος των εκσκαφών, λαμβάνοντας ως στάθμη έδρασης του ταμιευτήρα τα 312,5 m και σύμφωνα με το ανάγλυφο του πλατώματος, ανέρχεται στα 2.000.800 m³. Στον όγκο εκσκαφών κρίνεται σκόπιμο να προστεθεί και η εκσκαφή της περιμετρικής τάφρου για την πάκτωση των γεωμεμβράνων σύμφωνα με τις διαστάσεις της εικόνας 12. Ο όγκος αυτός ισούται με 572,4 m³ επανεπιχώνεται, ύστερα από την τοποθέτηση των γεωμεμβράνων έτσι ώστε να πακτωθούν. Συνεπώς, ο συνολικός όγκος εκσκαφών θα είναι **2.001.372,4 m³**

Από τον όγκο αυτόν τα 2.000.800 m³ πρέπει να μεταφερθούν στον κοντινότερο οικισμό με σκοπό την ασφαλή απομάκρυνσή τους από την περιοχή που εκτελούνται έργα. Η τιμή μονάδας για την μεταφορά του εκσκαπτόμενου υλικού είναι 0,57 €/m³/km. Ο κοντινότερος οικισμός βρίσκεται στα 3 km.

Το συνολικό κόστος εκσκαφών παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 19: Υπολογισμός κόστους εκσκαφών και μεταφοράς εδαφικού υλικού

Όγκος εκσκαφής (m ³)	2.001.372,4
Όγκος μεταφοράς (m ³)	2.000.800
Τιμή μονάδας εκσκαφής (€/m ³)	4
Τιμή μονάδας μεταφοράς (€/m ³ /km)	0,57
Κόστος εκσκαφής (€)	8.005.489,6
Κόστος μεταφοράς (€)	1.140.456
Συνολικό κόστος (€)	9.145.945,6

Εκσκαφή σήραγγας για τον αγωγό

Για το τμήμα 1 του αγωγού πρέπει να γίνει εκσκαφή σήραγγας μήκους 30m και διαμέτρου 5m. Η τιμή μονάδας είναι 111,81 €/m³ και συμπεριλαμβάνει την εκσκαφή για την διάνοιξη της σήραγγας για βραχόμαζες με GSI ~ 60 και συμπεριλαμβάνει τα μέτρα προσωρινής και συνεχής υποστήριξης κατά τις εκσκαφές. Ο συνολικός όγκος εκσκαφής υπολογίζεται στα 294,5 m³ και το κόστος διάνοιξης της σήραγγας ανέρχεται στα **32.928,05 €**.

Αγωγός GRP

Η τιμή μονάδας του αγωγού GRP είναι 150 €/μ.μ . Το συνολικό μήκος του αγωγού υπολογίστηκε στα 904,8 m και η τελική τιμή προμήθειας και εγκατάστασης του αγωγού ανέρχεται στα **135.720€**.

Ταμιευτήρας από οπλισμένο σκυρόδεμα

Ο ταμιευτήρας έχει διατομή τραπεζοειδούς μορφής με πάχος 0,5 m και είναι κατασκευασμένος από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο συνολικός όγκος του απαιτούμενου σκυροδέματος υπολογίστηκε ίσος με 65.103,6 m³. Λαμβάνοντας τα 240€/m³ ως τιμή μονάδας προμήθειας και εργασιών οπλισμένου σκυροδέματος, προκύπτει πως το κόστος κατασκευής του ταμιευτήρα ανέρχεται στα **15.624.864 €**.

Γεωμεμβράνες

Ως γεωμεμβράνες επιλέγονται να τοποθετηθούν μεμβράνες υλικού HDPE πάχους 2mm. Η τιμή μονάδας ανέρχεται στα 2,38 €/m². Λαμβάνοντας υπόψιν την επιφάνεια του ταμιευτήρα, καθώς και τις απαιτούμενες κατασκευαστικές διατάξεις των μεμβρανών σύμφωνα με τις εικόνες 11 και 12, προκύπτει πως η συνολική επιφάνειά τους είναι 138.395,2 m². Συνεπώς, το συνολικό κόστος μεμβρανών ισούται με **329.380,58 €**.

Μηχανολογικός εξοπλισμός

Η ακριβής εκτίμηση κόστους μηχανολογικού εξοπλισμού (αντλιών και στροβίλων) δεν είναι εφικτή, καθώς ο εξοπλισμός αυτός θα πρέπει να είναι κατασκευασμένος από συγκεκριμένα υλικά. Ενδεικτικά, ως συνολικό κόστος μηχανολογικού εξοπλισμού (συμπεριλαμβανομένου και εφεδρικού, σε περίπτωση βλάβης) λαμβάνονται τα **40.000€**.

Ανεμογεννήτριες

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, για την λειτουργία του υβριδικού έργου έχουν επιλεγεί τρεις ανεμογεννήτριες , δύο εκ των οποίων έχουν ισχύ 0,9 MW και μία που έχει ισχύ 2,3 MW. Το κόστος εγκατάστασης καθώς και το κόστος συντήρησης των ανεμογεννητριών εκτιμάται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 20: Εκτίμηση κόστους εγκατάστασης και συντήρησης ανεμογεννητριών

Ανεμογεννήτριες	E44	E70
Ισχύς (MW)	0,90	2,30
Αριθμός ανεμογεννητριών	2	1
Συνολική ισχύς (MW)	1,80	2,30
Κόστος εγκατάστασης (€/MW)	1.148.800	1.148.800
Κόστος εγκατάστασης (€)	2.067.840	2.642.240
Ετήσιο Κόστος συντήρησης (€/παραγόμενη MW)	0,015	0,015
Ετήσιο κόστος συντήρησης (€)	82.782	105.777
Συνολικό κόστος εγκατάστασης (€)	4.710.080	
Συνολικό ετήσιο κόστος συντήρησης (€)	188.559	

Για την εκτίμηση του ετήσιου κόστους συντήρησης, έγινε η παραδοχή πως ο συντελεστής δυναμικότητας των ανεμογεννητριών είναι ίσος με 0,35.

Φωτοβολταϊκά

Από την προσομοίωση προέκυψε ότι χρησιμοποιούνται 825 πάνελ φωτοβολταϊκών ισχύος 340 W. Η εκτίμηση κόστους εγκατάστασης και συντήρησης παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 21: Εκτίμηση κόστους εγκατάστασης και συντήρησης φωτοβολταϊκών

Ισχύς πάνελ (W)	340
Αριθμός πάνελ	825
Συνολική ισχύς πάνελ (W)	280.500
Συνολική ισχύς πάνελ (MW)	0,2805
Κόστος εγκατάστασης (€/MW)	6.000.000
Ετήσιο κόστος συντήρησης (€/ παραγόμενη MWh)	0,015
Συνολικό κόστος εγκατάστασης (€)	1.683.000
Συνολικό ετήσιο κόστος συντήρησης (€)	7.371,54

Επισημαίνεται πως για την εκτίμηση του ετήσιου κόστους συντήρησης θεωρήθηκε συντελεστής δυναμικότητας των φωτοβολταϊκών ίσος με 0,2.

Λιμενικό έργο θωράκισης με ογκόλιθους

Το έργο αυτό υπάγεται στην κατηγορία της θωράκισης εξωτερικών λιμενικών έργων, σε οποιοδήποτε βάθος θάλασσας ή ύψος άνω αυτής, από φυσικούς λίθους προελεύσεως λατομείου, κατά ΕΛΟΤ EN 13383-1, σύμφωνα με την μελέτη και την ΕΤΕΠ 09-06-01-00 "Θωρακίσεις Πραγών Λιμενικών Έργων και Έργων προστασίας ακτών". Στην τιμή μονάδας περιλαμβάνεται η προμήθεια των φυσικών ογκολίθων, η φορτοεκφόρτωση και η χερσαία και θαλάσσια μεταφορά τους ανεξαρτήτως αποστάσεως, η βύθιση, η διάστρωση και η τακτοποίηση και διαμόρφωση της κεκλιμένης παρειάς με την βοήθεια δύτες. Η τιμή μονάδας ανέρχεται στα 32 €/m³. Ο συνολικός όγκος του έργου θωράκισης είναι 2.580 m³. Συνεπώς, το συνολικό κόστος του έργου θωράκισης θα είναι **82.560 €**.

Οδοποιία

Στο κόστος της οδοποιίας περιλαμβάνεται ο εμπλουτισμός του ήδη υπάρχοντος οδικού δικτύου καθώς και η επέκτασή του με σκοπό την πρόσβαση στο έργο. Οι κατασκευαζόμενες οδοί θα έχουν πλάτος 6m, διευρυνόμενο στα 8m γύρω από τις ανεμογεννήτριες έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα ελιγμών.

Η τιμή μονάδας ασφαλτικής στρώσης κυκλοφορίας, συμπυκνωμένου πάχους 0,05 m με χρήση κοινής ασφάλτου είναι 7,70 €/m² στρώσης.

Στην τιμή μονάδας περιλαμβάνονται:

- Η παραγωγή ή προμήθεια και μεταφορά των κατάλληλων αδρανών υλικών και της ασφάλτου μέχρι την εγκατάσταση

παραγωγής του ασφαλτομίγματος - η παραγωγή του ασφαλτομίγματος, σύμφωνα με την εγκεκριμένη μελέτη συνθέσεως

- Η μεταφορά του θερμού ασφαλτομίγματος επί τόπου, η διάστρωσή του με finisher
- Η σταλιά των μεταφορικών μέσων
- Η κυλίνδρωση του ασφαλτομίγματος (αρχική, ενδιάμεση - εντατική και τελική), ώστε να προκύψει η προδιαγραφόμενη επιφανειακή υφή και ομαλότητα
- Η πλήρης συμπύκνωση και επιμελής ισοπέδωση των διαμήκων και εγκάρσιων ενώσεων για την εξάλειψη των επιφανειακών ιχνών.

Η συνολική επιφάνεια ασφατικής στρώσης υπολογίστηκε ίση με 18.502 m². Συνεπώς, το κόστος προμήθειας και διάστρωσης της ασφάλτου ισούται με **142.465,4€**.

Παρακάτω παρουσιάζεται συγκεντρωτικός πίνακας εκτίμησης κόστους του έργου:

Πίνακας 22: Συνολική εκτίμηση κόστους του έργου

	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	142.465,4
Συνολικό κόστος	31.926.944
Συνολικό επιπρόσθετο ετήσιο κόστος	195.930,54
Συνολικό επιπρόσθετο ετήσιο κόστος για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου (20 έτη)	3.918.610,80
Συνολικό κόστος έργου	35.845.554,43

6.2 Οικονομική μελέτη συνδυασμού υβριδικού έργου με έργο βάσης (συμβατικό θερμικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας)

Στην παρακάτω υποενότητα θα αναλυθεί το κόστος ενός μικρότερου υβριδικού έργου σε συνδυασμό με την λειτουργία συμβατικού θερμικού σταθμού παραγωγής. Οι τιμές μονάδας που θα χρησιμοποιηθούν είναι αυτές που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 6.1

Εκσκαφές για την κατασκευή του ταμιευτήρα

Ο όγκος του ταμιευτήρα είναι ίσος με 1.050.000 m³. Ο όγκος των εκσκαφών, λαμβάνοντας ως στάθμη έδρασης του ταμιευτήρα τα 312,5 m και σύμφωνα με το ανάγλυφο του πλατώματος, ανέρχεται στα 1.846.000 m³. Στον όγκο εκσκαφών προστίθεται και η εκσκαφή της περιμετρικής τάφρου για την πάκτωση των γεωμεμβράνων σύμφωνα με τις διαστάσεις της εικόνας 12. Ο όγκος αυτός ισούται με 561,6 m³ επανεπιχώνεται, ύστερα από την τοποθέτηση των γεωμεμβράνων έτσι ώστε να πακτωθούν. Συνεπώς, ο συνολικός όγκος εκσκαφών θα είναι **1.846.561,6 m³**

Από τον όγκο αυτόν τα 1.846.000 m³ πρέπει να μεταφερθούν στον κοντινότερο οικισμό που απέχει 3 km με σκοπό την ασφαλή απομάκρυνσή τους από την περιοχή που εκτελούνται έργα.

Το συνολικό κόστος εκσκαφών παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 23: Υπολογισμός κόστους εκσκαφών και μεταφοράς εδαφικού υλικού

Όγκος εκσκαφής (m ³)	1.846.561,6
Όγκος μεταφοράς (m ³)	1.846.800
Τιμή μονάδας εκσκαφής (€/m ³)	4
Τιμή μονάδας μεταφοράς (€/m ³ /km)	0,19
Τιμή μονάδας μεταφοράς για απόσταση 3 km (€/m ³)	0,57
Κόστος εκσκαφής (€)	7.386.246,4
Κόστος μεταφοράς (€)	1.052.676
Συνολικό κόστος (€)	8.438.922,4

Εκσκαφή σήραγγας για τον αγωγό

Για το τμήμα 1 του αγωγού πρέπει να γίνει εκσκαφή σήραγγας μήκους 30m και διαμέτρου 5m. Η τιμή μονάδας είναι 111,81 €/m³ και συμπεριλαμβάνει την εκσκαφή για την διάνοιξη της σήραγγας για βραχώμαζες με GSI ~ 60 και συμπεριλαμβάνει τα μέτρα προσωρινής και συνεχής υποστήριξης κατά τις εκσκαφές. Ο συνολικός όγκος εκσκαφής υπολογίζεται στα 294,5 m³ και το κόστος διάνοιξης της σήραγγας ανέρχεται στα **32.928,05 €**.

Αγωγός GRP

Η τιμή μονάδας του αγωγού GRP είναι 150 €/μ.μ. Το συνολικό μήκος του αγωγού υπολογίστηκε στα 904,8 m και η τελική τιμή προμήθειας και εγκατάστασης του αγωγού ανέρχεται στα **135.720€**.

Ταμιευτήρας από οπλισμένο σκυρόδεμα

Ο ταμιευτήρας έχει διατομή τραπεζοειδούς μορφής με πάχος 0,5 m και είναι κατασκευασμένος από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο συνολικός όγκος του απαιτούμενου σκυροδέματος υπολογίστηκε ίσος με 59.720,4 m³. Λαμβάνοντας τα 240€/m³ ως τιμή μονάδας προμήθειας και εργασιών

οπλισμένου σκυροδέματος, προκύπτει πως το κόστος κατασκευής του ταμιευτήρα ανέρχεται στα **14.332.896 €**.

Γεωμεμβράνες

Ως γεωμεμβράνες επιλέγονται να τοποθετηθούν μεμβράνες υλικού HDPE πάχους 2mm. Λαμβάνοντας υπόψιν την επιφάνεια του ταμιευτήρα, καθώς και τις απαιτούμενες κατασκευαστικές διατάξεις των μεμβρανών σύμφωνα με τις εικόνες 11 και 12, προκύπτει πως η συνολική επιφάνειά τους είναι 127.472,8 m². Συνεπώς, το συνολικό κόστος μεμβρανών ισούται με **303.385,26 €**.

Μηχανολογικός εξοπλισμός

Η ακριβής εκτίμηση κόστους μηχανολογικού εξοπλισμού (αντλιών και στροβίλων) δεν είναι εφικτή, καθώς ο εξοπλισμός αυτός θα πρέπει να είναι κατασκευασμένος από συγκεκριμένα υλικά. Ενδεικτικά, ως συνολικό κόστος μηχανολογικού εξοπλισμού (συμπεριλαμβανομένου και εφεδρικού, σε περίπτωση βλάβης) λαμβάνονται τα **40.000€**.

Ανεμογεννήτριες

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, για την λειτουργία του υβριδικού έργου έχουν επιλεγεί δύο ανεμογεννήτριες εκ των οποίων η μία έχει ισχύ 0,9 MW και η άλλη 2,3 MW. Το κόστος εγκατάστασης καθώς και το κόστος συντήρησης των ανεμογεννητριών εκτιμάται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 24: Εκτίμηση κόστους εγκατάστασης και συντήρησης ανεμογεννητριών

Ανεμογεννήτριες	E44	E70
Ισχύς (MW)	0,90	2,30
Αριθμός ανεμογεννητριών	1	1
Συνολική ισχύς (MW)	0,90	2,30
Κόστος εγκατάστασης (€/MW)	1.148.800	1.148.800
Κόστος εγκατάστασης (€)	1.033.920	2.642.240
Ετήσιο Κόστος συντήρησης (€/παραγόμενη MWh)	0,015	0,015
Ετήσιο κόστος συντήρησης (€)	41.391	105.777
Συνολικό κόστος εγκατάστασης (€)	3.676.160	
Συνολικό ετήσιο κόστος συντήρησης (€)	147.168	

Για την εκτίμηση του ετήσιου κόστους συντήρησης, έγινε η παραδοχή πως ο συντελεστής δυναμικότητας των ανεμογεννητριών είναι ίσος με 0,35.

Φωτοβολταϊκά

Από την προσομοίωση προέκυψε ότι χρησιμοποιούνται 1770 πάνελ φωτοβολταϊκών ισχύος 340 W. Η εκτίμηση κόστους εγκατάστασης και συντήρησης παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 25: Εκτίμηση κόστους εγκατάστασης και συντήρησης φωτοβολταϊκών

Ισχύς πάνελ (W)	340
Αριθμός πάνελ	1770
Συνολική ισχύς πάνελ (W)	601.800
Συνολική ισχύς πάνελ (MW)	0,6018
Κόστος εγκατάστασης (€/MW)	6.000.000
Ετήσιο κόστος συντήρησης (€/παραγόμενη MWh)	0,015
Συνολικό κόστος εγκατάστασης (€)	3.610.800
Συνολικό ετήσιο κόστος συντήρησης (€)	15.815,30

Επισημαίνεται πως για την εκτίμηση του ετήσιου κόστους συντήρησης θεωρήθηκε συντελεστής δυναμικότητας των φωτοβολταϊκών ίσος με 0,2.

Λιμενικό έργο θωράκισης με ογκόλιθους

Το έργο αυτό υπάγεται στην κατηγορία της θωράκισης εξωτερικών λιμενικών έργων, σε οποιοδήποτε βάθος θάλασσας ή ύψος άνω αυτής, από φυσικούς λίθους προελεύσεως λατομείου, κατά ΕΛΟΤ EN 13383-1, σύμφωνα με την μελέτη και την ΕΤΕΠ 09-06-01-00 "Θωρακίσεις Πρανών Λιμενικών Έργων και Έργων προστασίας ακτών". Στην τιμή μονάδας περιλαμβάνεται η προμήθεια των φυσικών ογκολίθων, η φορτοεκφόρτωση και η χερσαία και θαλάσσια μεταφορά τους ανεξαρτήτως αποστάσεως, η βύθιση, η διάστρωση και η τακτοποίηση και διαμόρφωση της κεκλιμένης παρειάς με την βοήθεια δύτες. Η τιμή μονάδας ανέρχεται στα 32 €/m³. Ο συνολικός όγκος του έργου θωράκισης είναι 2.580 m³. Συνεπώς, το συνολικό κόστος του έργου θωράκισης θα είναι **82.560 €**.

Οδοποιία

Στο κόστος της οδοποιίας περιλαμβάνεται ο εμπλουτισμός του ήδη υπάρχοντος οδικού δικτύου καθώς και η επέκτασή του με σκοπό την πρόσβαση στο έργο. Οι κατασκευαζόμενες οδοί θα έχουν πλάτος 6m, διευρυνόμενο στα 8m γύρω από τις ανεμογεννήτριες έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα ελιγμών.

Η συνολική επιφάνεια ασφατικής στρώσης υπολογίστηκε ίση με 18.502 m². Συνεπώς, το κόστος προμήθειας και διάστρωσης της ασφάλτου ισούται με **142.465,4€**.

Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον συμβατικό σταθμό

Ο σταθμός θα παράγει 4.392 MWh ετησίως. Θεωρώντας βαθμό απόδοσης του σταθμού ίσο με 0,9 υπολογίζουμε την ετήσια απαιτούμενη ποσότητα πετρελαίου, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 26: Εκτίμηση απαιτούμενης ετήσιας ποσότητας πετρελαίου για την λειτουργία του συμβατικού θερμικού σταθμού

Θερμογόνος δύναμη πετρελαίου (kJ/kg)	42.500
Θερμογόνος δύναμη πετρελαίου (kWh/kg)	11,8056
Απαιτούμενη ποσότητα πετρελαίου (kg)	999.570,50
Πυκνότητα πετρελαίου (tn/m ³)	0,83
Απαιτούμενη ποσότητα πετρελαίου (lt)	1.204.301,80

Για τον υπολογισμό τόσο του κόστους προμήθειας πετρελαίου, όσο και του κόστους λειτουργίας του συμβατικού σταθμού, λαμβάνονται ως τιμές οι προαναφερόμενες του κεφαλαίου 4.1.2 («ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΙΦΝΟΥ» ,ΔΕΔΔΗΕ 2021).

Πίνακας 27: Εκτίμηση ετησίου κόστους λειτουργίας συμβατικού θερμικού σταθμού

Κόστος προμήθειας πετρελαίου (€)	1.669.162,29
Κόστος αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών CO ₂ (€)	86.113,94
Σταθερό Κόστος λειτουργίας και συντήρησης συμβατικού σταθμού (€)	855.122,40
Μεταβλητό κόστος λειτουργίας και συντήρησης (€)	21.213,36
Συνολικό ετήσιο κόστος (€)	2.631.612

Παρακάτω παρουσιάζεται συγκεντρωτικός πίνακας εκτίμησης κόστους του έργου:

Πίνακας 28: Συνολική εκτίμηση κόστους του έργου

	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 όλη τη διάρκεια ζωής του έργου (20 έτη)	55.891.906,00
Συνολικό κόστος έργου	86.687.743,11

6.3 Σύγκριση, επιλογή τελικής λύσης και συμπεράσματα

Το συνολικό κόστος του έργου για τα δύο σενάρια συγκρίνεται με σκοπό την επιλογή της οικονομικά προσφορότερης λύσης:

Πίνακας 29: Σύγκριση κόστους εναλλακτικών σεναρίων

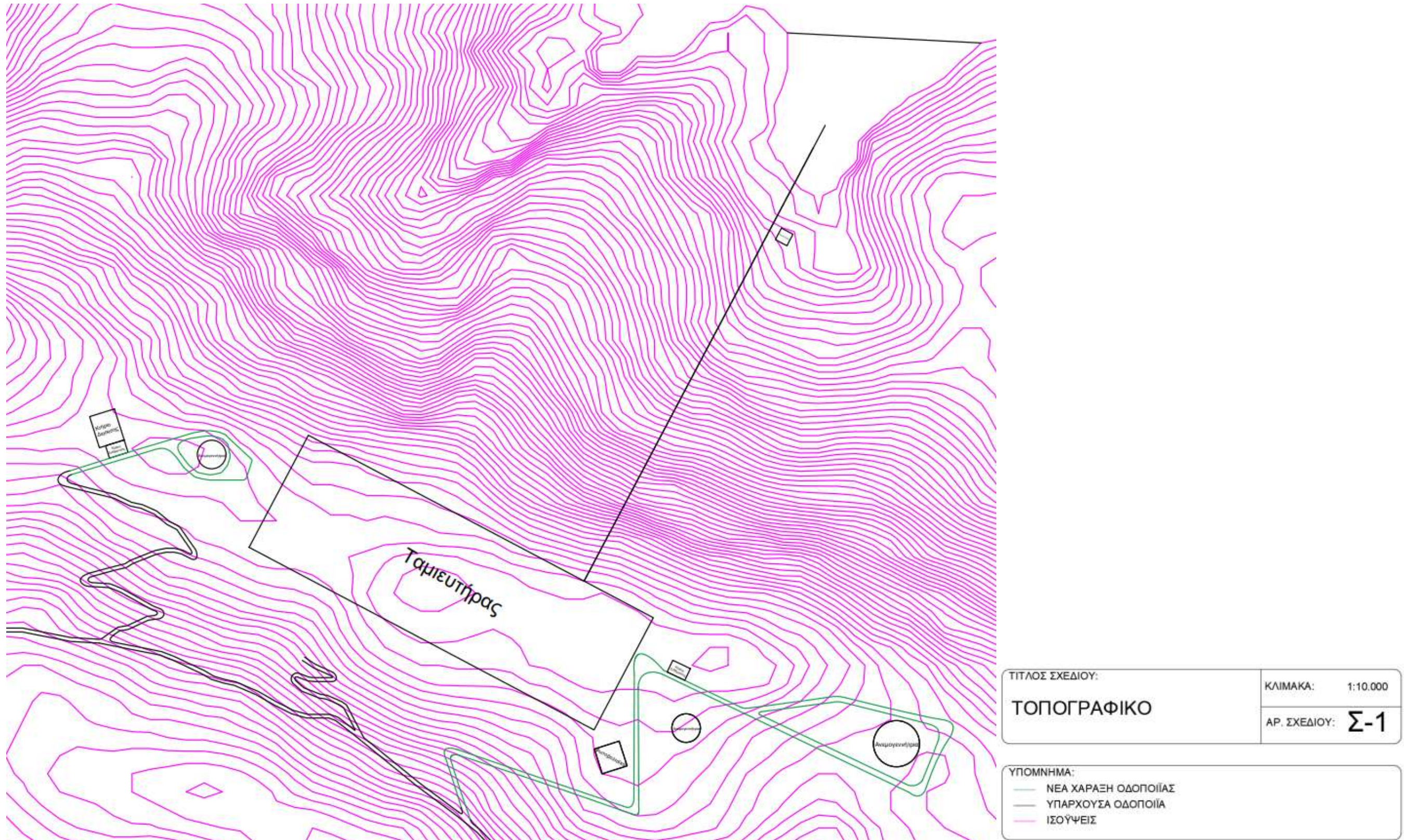
	Υβριδικό έργο πλήρους ενεργειακής αυτονομίας	Υβριδικό έργο σε συνδυασμό με συμβατικό θερμικό σταθμό παραγωγής ενέργειας
Συνολικό κόστος (€)	35.845.554,43	86.687.743,11

Ωστόσο, το υπό μελέτη υβριδικό έργο πλήρους ενεργειακής αυτονομίας δεν είναι μόνο οικονομικά προσφορότερο, αλλά επίσης είναι σύμφωνο με τις σύγχρονες αντιλήψεις ως προς την κάλυψη ενεργειακών αναγκών και την αειφόρο ανάπτυξη, αποτελώντας ορόσημο για την ενεργειακή αυτονομία όλων των μη συνδεδεμένων νησιών. Ειδικότερα, πολλά ελληνικά νησιά διαθέτουν θέσεις αντίστοιχου ενδιαφέροντος, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν για παραγωγή πράσινης ενέργειας και αποτελέσουν μέρος μιας προσπάθειας για απαλλαγή από την χρήση ορυκτών καυσίμων. Τέλος, η χρήση θαλασσινού νερού σε συστήματα αντλησοταμίευσης μπορεί σε πρώτο στάδιο να μην θεωρηθεί βιώσιμη, λόγω των πολλών περιορισμών που τίθενται κατά την κατασκευή και λειτουργία αυτών των έργων. Όμως, όπως αποδείχθηκε από την παραπάνω μελέτη, το αρχικό κόστος κατασκευής του έργου σε βάθος χρόνου είναι σημαντικά μικρότερο σε σχέση με την χρήση ορυκτών

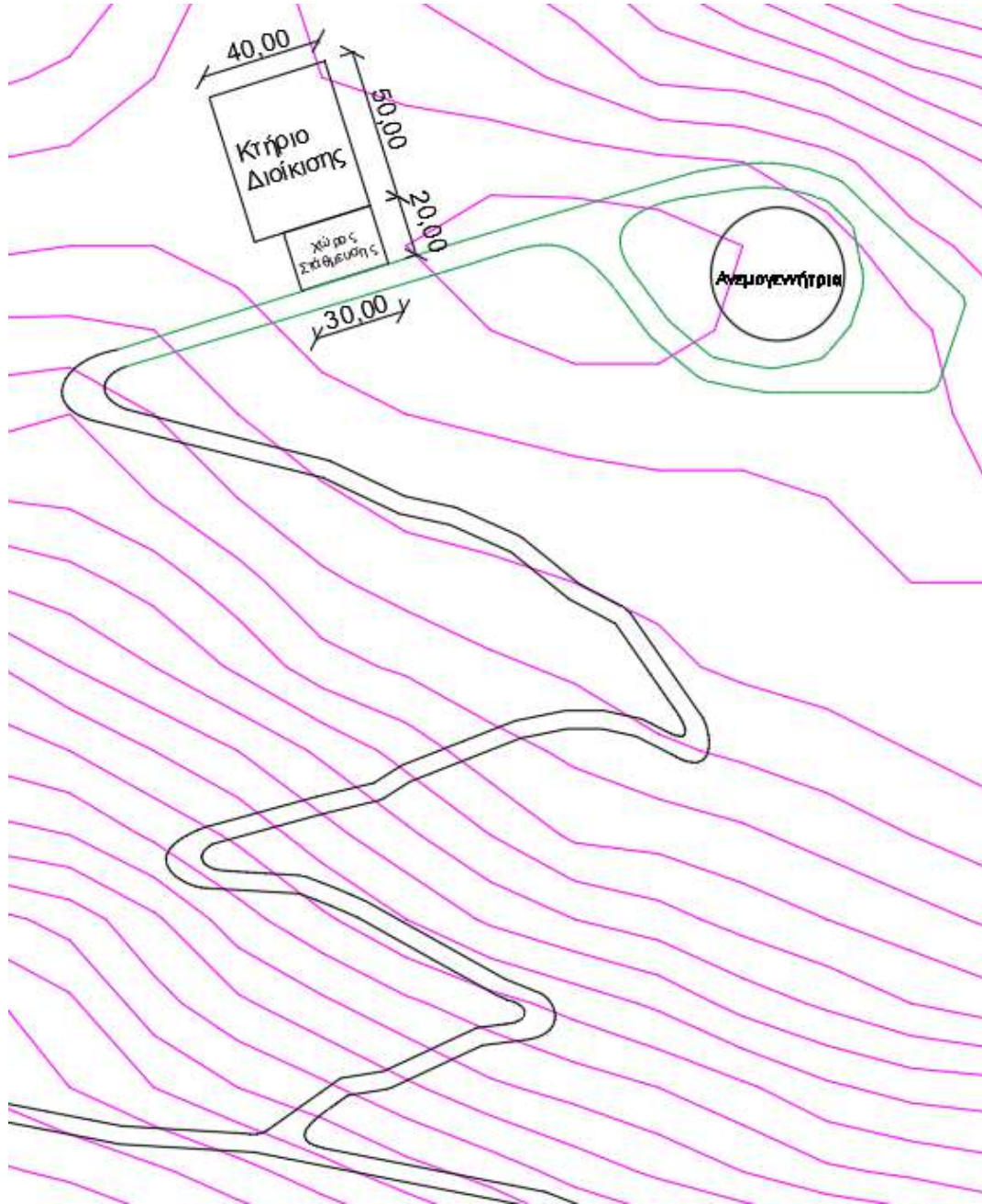
καυσίμων, παρέχοντας εξίσου υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών.

7. Σχέδια

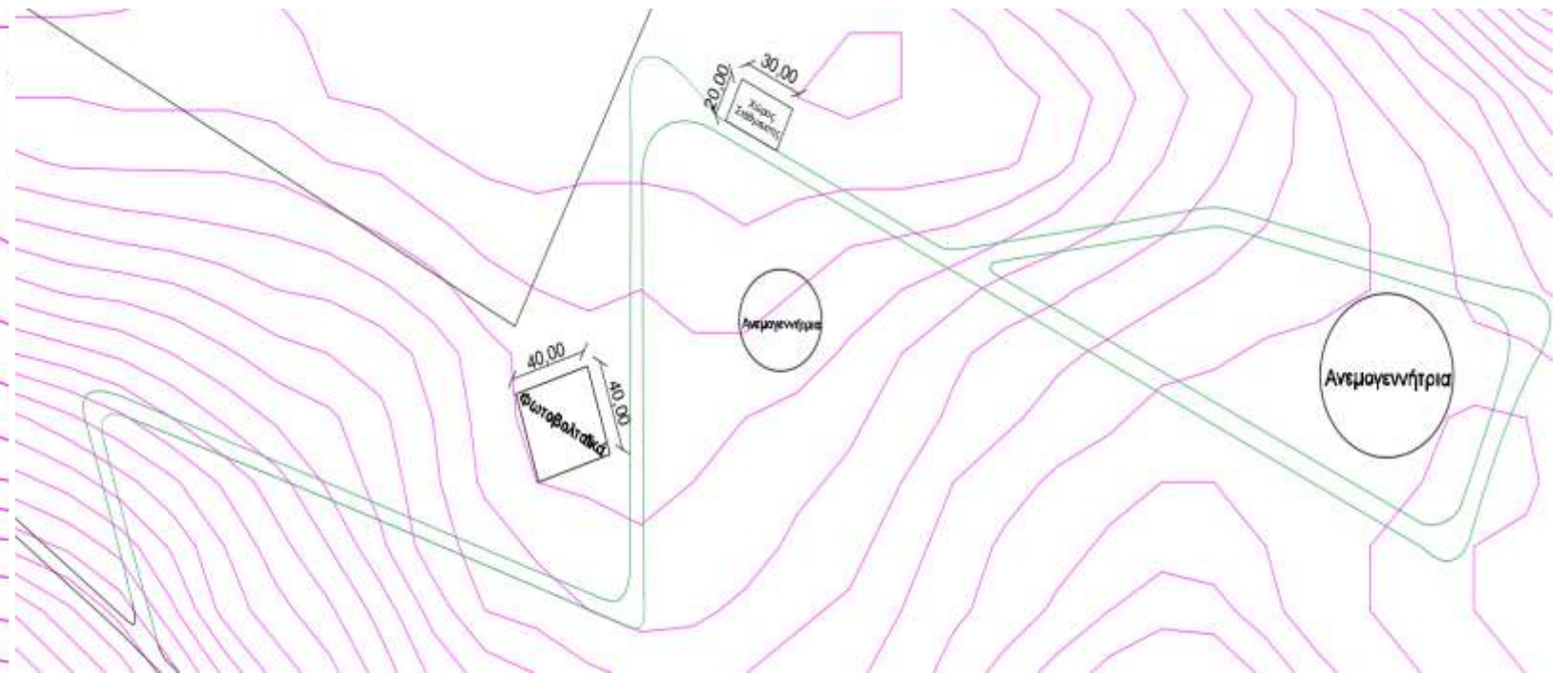
7.1.1 Γενική διάταξη



7.1.2 Λεπτομέρειες γενικής διάταξης

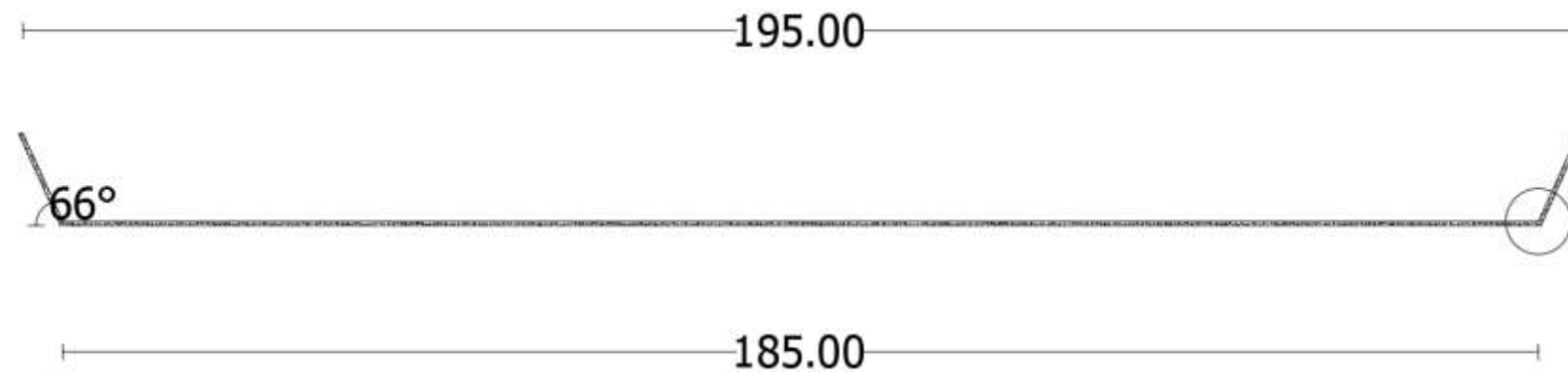


Λεπτομέρεια 1: Δυτική λεπτομέρεια



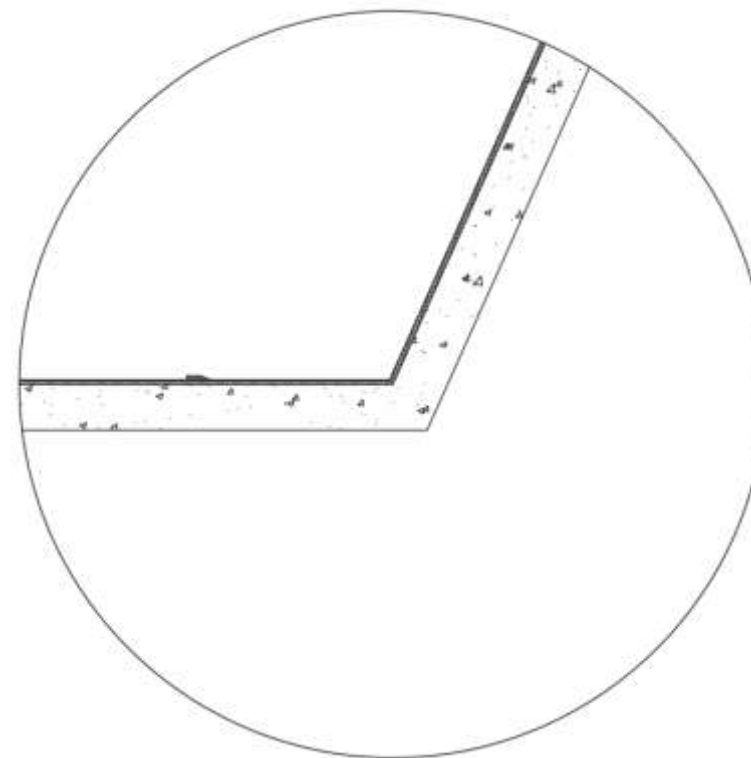
Λεπτομέρεια 2: Ανατολική λεπτομέρεια

7.1.3 Τομή ταμειυτήρα



ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ:	ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:1
ΤΟΜΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: Σ-2

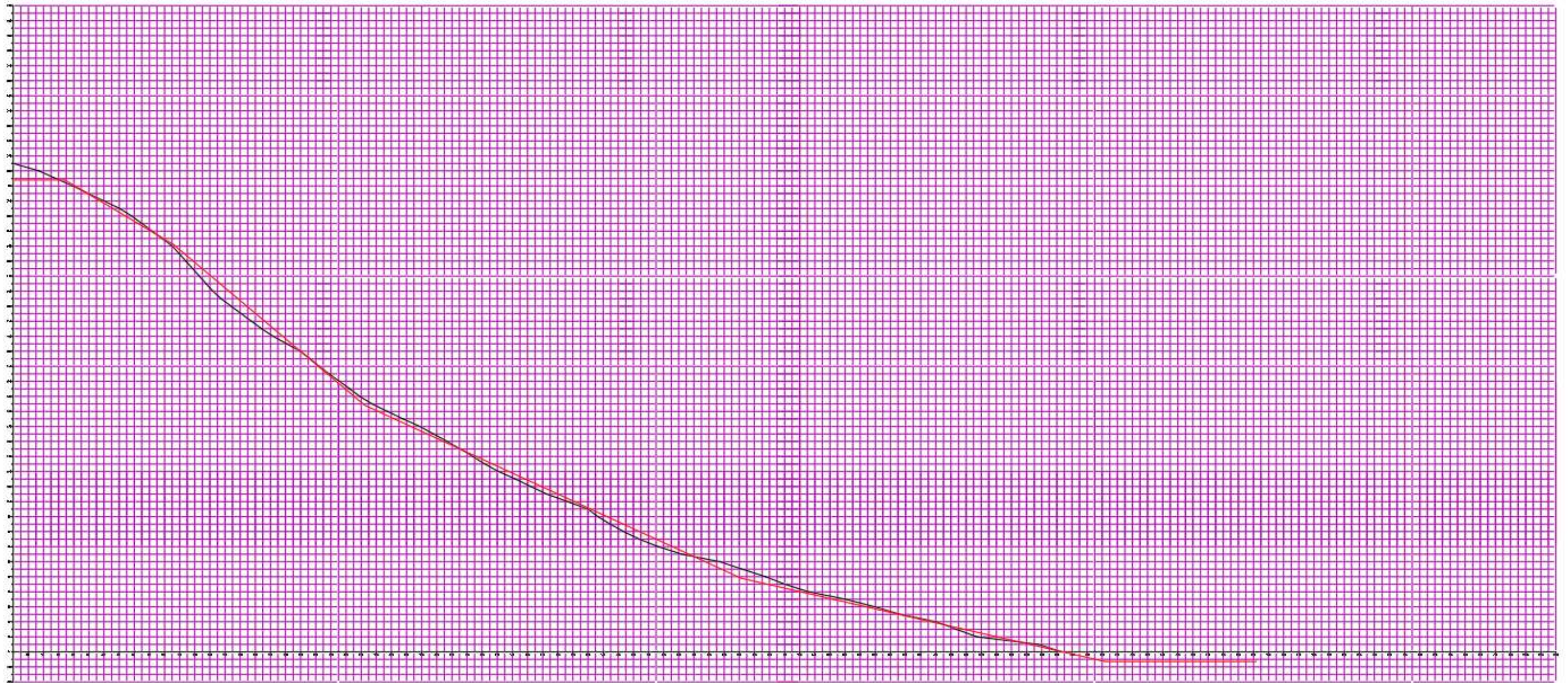
ΥΠΟΜΝΗΜΑ:
<input type="checkbox"/> ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ



ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ:	ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:1
ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: Σ-3

ΥΠΟΜΝΗΜΑ:
<input checked="" type="checkbox"/> ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ
<input checked="" type="checkbox"/> ΜΕΜΒΡΑΝΗ

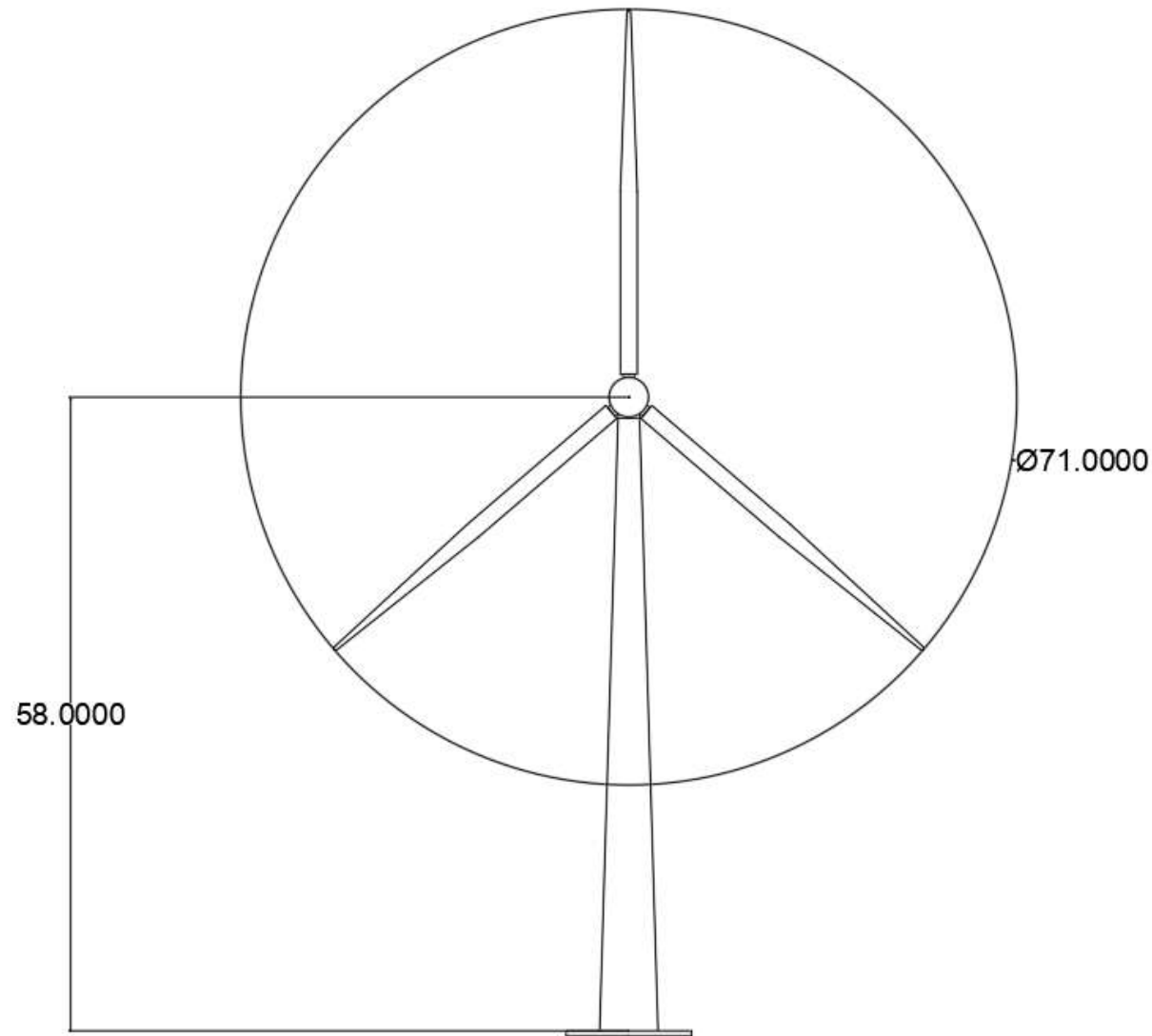
7.1.4 Μηκοτομή αγωγού βαρύτητας



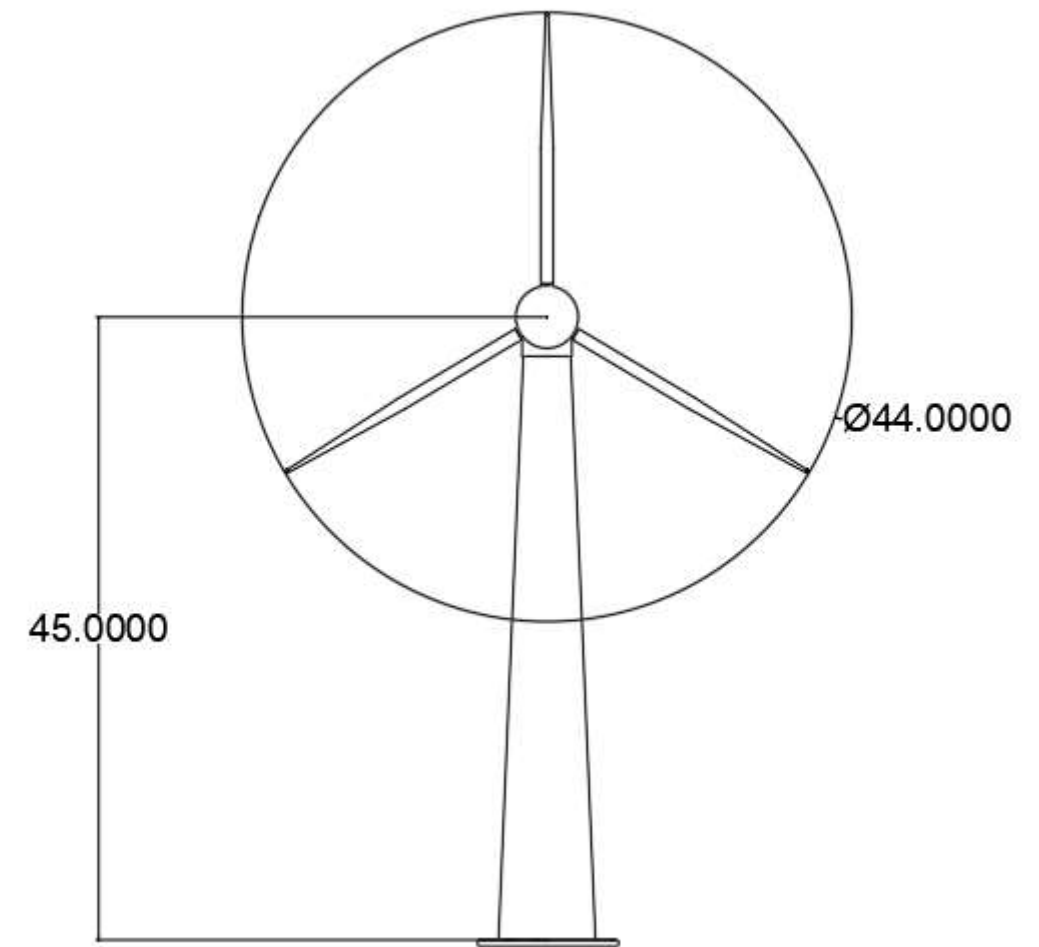
ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ:	ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:1
ΜΗΚΟΤΟΜΗ ΑΓΩΓΟΥ	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: Σ-4

ΥΠΟΜΝΗΜΑ:
— ΑΝΑΓΛΥΦΟ ΕΔΑΦΟΥΣ
— ΑΓΩΓΟΣ

7.1.5 Όψεις ανεμογεννητριών

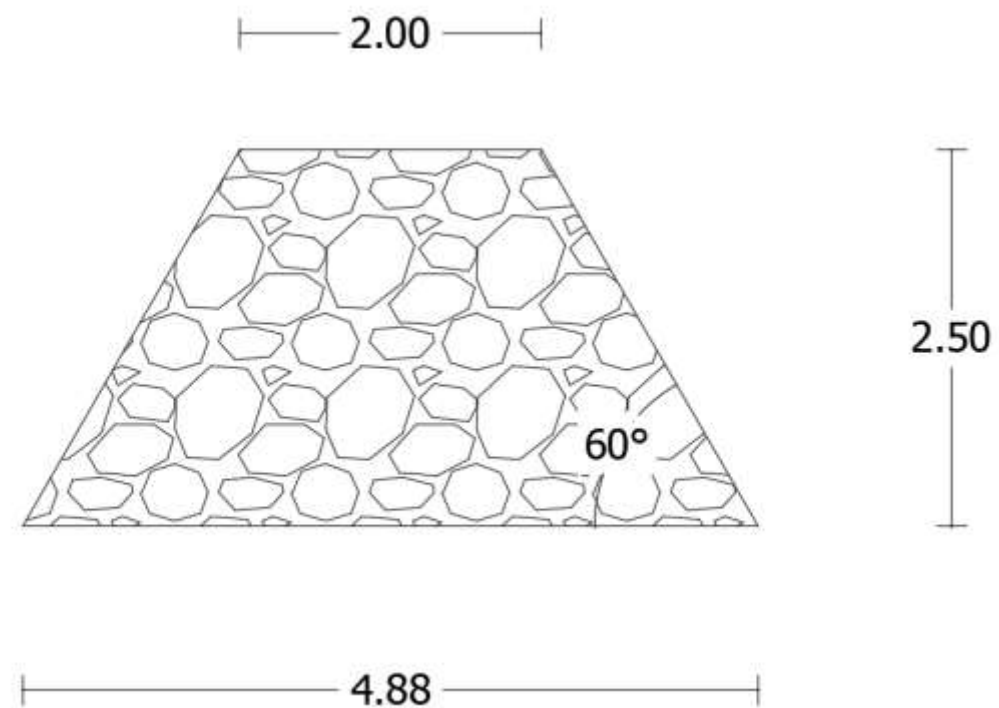


ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ:	ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:1
ΟΨΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ENERCON E-70 E4	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: Σ-5



ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ:	ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:1
ΟΨΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ENERCON E-44	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: Σ-6

7.1.6 Διατομή θωράκισης ακτής



ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ: ΤΟΜΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ	ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:1
	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: Σ-7

ΥΠΟΜΝΗΜΑ: <input checked="" type="checkbox"/> ΦΥΣΙΚΟΙ ΟΓΚΟΛΙΘΟΙ

Παράρτημα 1 : Αναλυτικός υπολογισμός όγκου εκσκαφών και απαιτούμενου όγκου σκυροδέματος ταμιευτήρα

Εκσκαφές (έργο πλήρους ενεργειακής αυτονομίας)

Εκσκαφές ταμιευτήρα

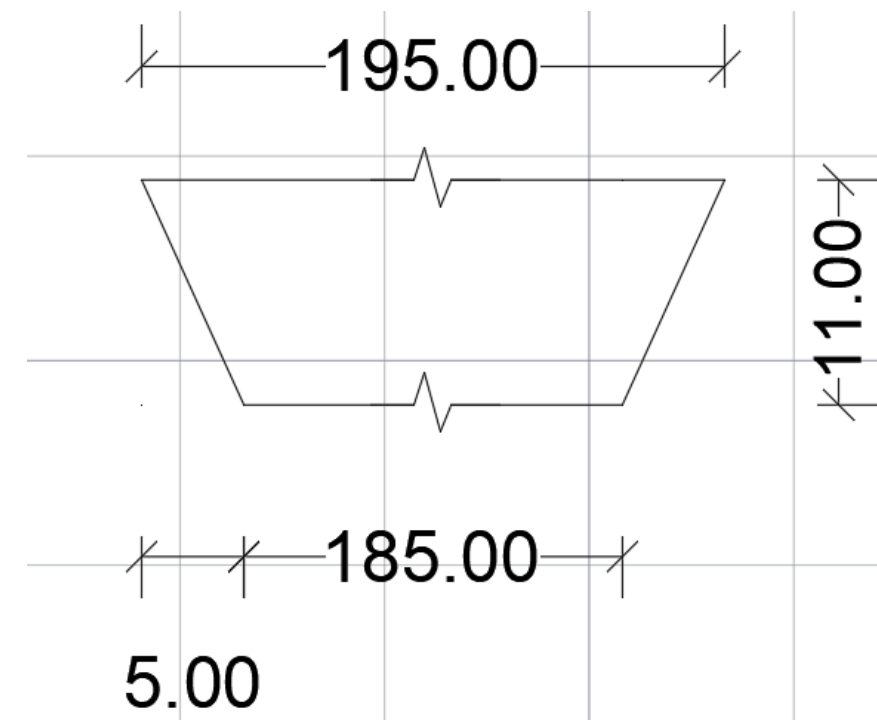
Ο ταμιευτήρας εδράζεται στα 312,5 m. Η τιμή αυτή επιλέχθηκε από το γεγονός ότι διαθέσιμο ύψος πτώσης και ,συνεπώς, η εκροή του αγωγού από τον ταμιευτήρα βρίσκεται στα 314 m. Ο ταμιευτήρας είναι κατασκευασμένος από στρώση οπλισμένου σκυροδέματος πάχους 0,5 m. Το υπολειπόμενο 1m αφήνεται ως περιθώριο ασφαλείας σε περίπτωση που υπάρξουν επικαθίσεις στον πυθμένα του ταμιευτήρα.

Λόγω της πολυπλοκότητας του αναγλύφου της περιοχής κατασκευής του έργου, έχει ακολουθηθεί η απλοποιητική προσέγγιση χωρισμού του πλατώματος σε «ζώνες», στις οποίες το υψόμετρο του εδάφους είναι πρακτικά σταθερό. Το πλάτος των ζωνών είναι ίσο με το πλάτος του ταμιευτήρα, ενώ το μήκος τους είναι:

Πίνακας 30: Χωρισμός πλατώματος σε ισοϋψείς ζώνες

A/A Ζώνης	Μήκος (m)	Υψόμετρο εδάφους (m)
1	330	327
2	270	333
Εντός της ζώνης 2 για 100m x 100m	-	337

Ο ταμιευτήρας έχει μήκος 600m. Οι υπόλοιπες διαστάσεις συνοψίζονται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 20: Διατομή ταμιευτήρα

Έχοντας τις παραπάνω διαστάσεις, μπορούμε να υπολογίσουμε τον εκσκαπτόμενο όγκο:

Ζώνη 1

$$V = (327 - 312,5) * 185 * 330 + 5 * (327 - 312,5) * 330 = 909.150 \text{ m}^3$$

Ζώνη 2

$$V = (333 - 312,5) * 185 * 270 + 5 * (333 - 312,5) * 270 = 1.051.650 \text{ m}^3$$

Ισοϋψής εντός ζώνης 2

$$V = 100 * 100 * (337 - 333) = 40.000 \text{ m}^3$$

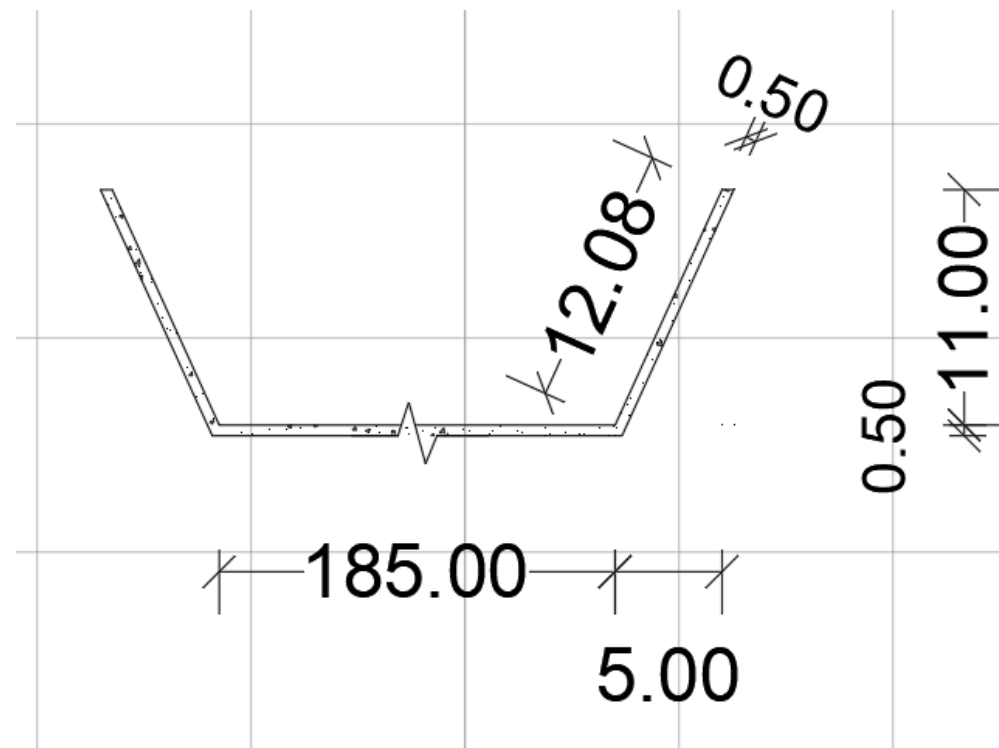
Εκσκαφές περιμετρικής τάφρου για την πάκτωση των μεμβρανών

Σύμφωνα με την εικόνα 12, η περιμετρική τάφρος θα έχει διαστάσεις:

- 0,6m πλάτος
- 0,6m ύψος

$$V = (0,6 * 0,6 * 600 + 0,6 * 0,6 * 195) * 2 = 572,4 \text{ m}^3$$

Όγκος σκυροδέματος ταμιευτήρα



Εικόνα 21: Διατομή ταμιευτήρα οπλισμένου σκυροδέματος

$$V = 185 * 600 * 0,5 + 12,08 * 600 * 0,5 * 2 + 12,08 * 195 * 0,5 * 2 = 65.103,6 \text{ m}^3$$

Εκσκαφές (υβριδικό έργο σε συνδυασμό με συμβατικό θερμικό σταθμό)

Εκσκαφές ταμιευτήρα

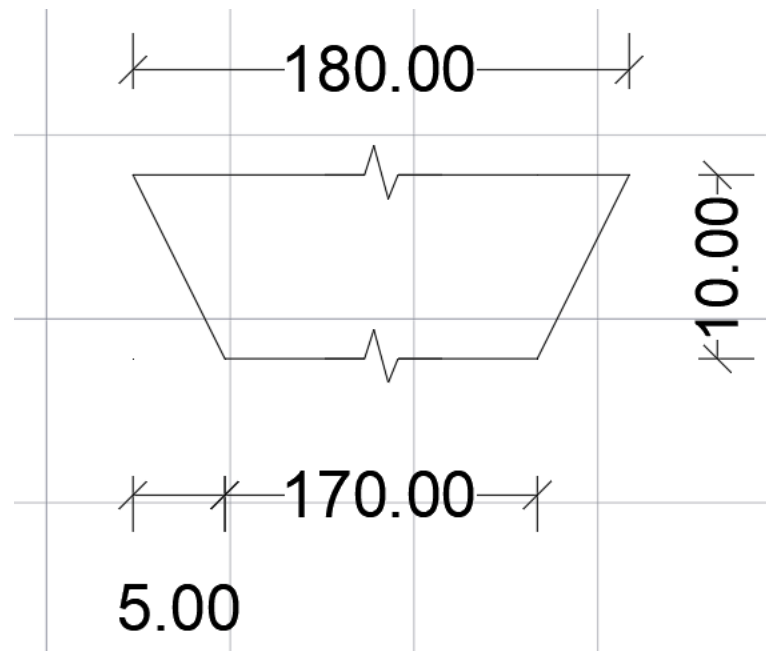
Ο ταμιευτήρας εδράζεται στα 312,5 m. Η τιμή αυτή επιλέχθηκε από το γεγονός ότι διαθέσιμο ύψος πτώσης και, συνεπώς, η εκροή του αγωγού από τον ταμιευτήρα βρίσκεται στα 314 m. Ο ταμιευτήρας είναι κατασκευασμένος από στρώση οπλισμένου σκυροδέματος πάχους 0,5 m. Το υπολειπόμενο 1m αφήνεται ως περιθώριο ασφαλείας σε περίπτωση που υπάρξουν επικαθίσεις στον πυθμένα του ταμιευτήρα.

Λόγω της πολυπλοκότητας του αναγλύφου της περιοχής κατασκευής του έργου, έχει ακολουθηθεί η απλοποιητική προσέγγιση χωρισμού του πλατώματος σε «ζώνες», στις οποίες το υψόμετρο του εδάφους είναι πρακτικά σταθερό. Το πλάτος των ζωνών είναι ίσο με το πλάτος του ταμιευτήρα, ενώ το μήκος τους είναι:

Πίνακας 31: Χωρισμός πλατώματος σε ισοϋψείς ζώνες

A/A Ζώνης	Μήκος (m)	Υψόμετρο εδάφους (m)
1	330	327
2	270	333
Εντός της ζώνης 2 για 100m x 100m	-	337

Ο ταμιευτήρας έχει μήκος 600m. Οι υπόλοιπες διαστάσεις συνοψίζονται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 22: Διατομή ταμιευτήρα

Έχοντας τις παραπάνω διαστάσεις, μπορούμε να υπολογίσουμε τον εκσκαπτόμενο όγκο:

Ζώνη 1

$$V = (327 - 312,5) * 170 * 330 + 5 * (327 - 312,5) * 330 = 837.375 \text{ m}^3$$

Ζώνη 2

$$V = (333 - 312,5) * 170 * 270 + 5 * (333 - 312,5) * 270 = 968.625 \text{ m}^3$$

Ισοϋψής εντός ζώνης 2

$$V = 100 * 100 * (337 - 333) = 40.000 \text{ m}^3$$

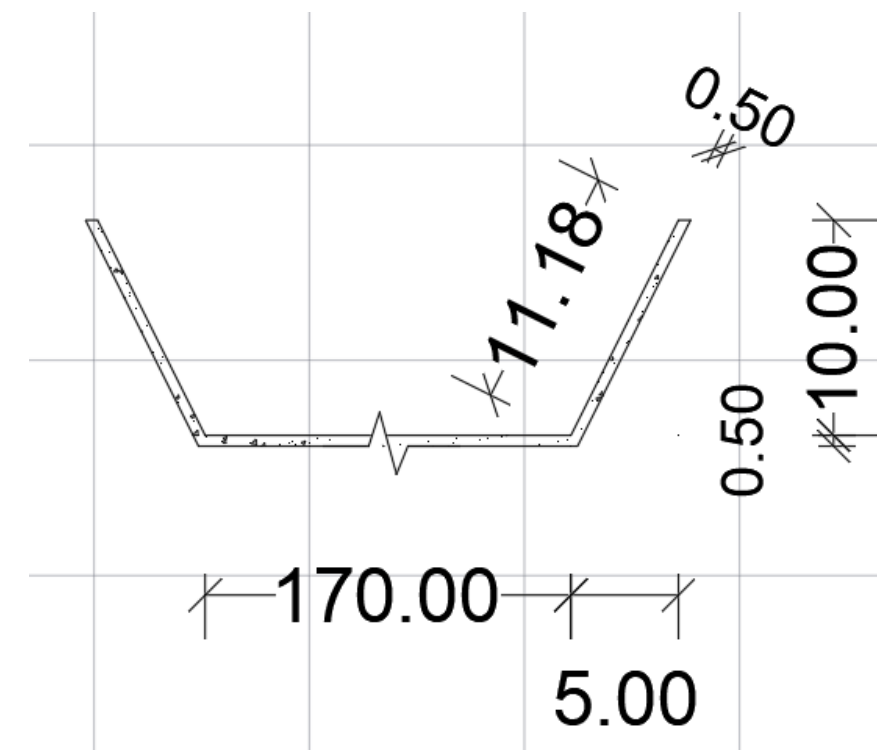
Εκσκαφές περιμετρικής τάφρου για την πάκτωση των μεμβρανών

Σύμφωνα με την εικόνα 12, η περιμετρική τάφρος θα έχει διαστάσεις:

- 0,6m πλάτος
- 0,6m ύψος

$$V = (0,6 * 0,6 * 600 + 0,6 * 0,6 * 180) * 2 = 561,6 \text{ m}^3$$

Όγκος σκυροδέματος ταμιευτήρα



Εικόνα 23: Διατομή ταμιευτήρα οπλισμένου σκυροδέματος

$$V = 170 * 600 * 0,5 + 11,18 * 600 * 0,5 * 2 + 11,18 * 180 * 0,5 * 2 = 59.720,4 \text{ m}^3$$

Παράρτημα 2 : Αναλυτικός υπολογισμός απαιτούμενης επιφάνειας γεωμεμβρανών

Έργο πλήρους ενεργειακής αυτονομίας

Η απαιτούμενη επιφάνεια για να καλυφθεί ο ταμιευτήρας είναι ίση με:

$$A = 185 * 600 + 2 * 12,08 * 600 + 2 * 12,08 * 195 = 130.207,2 \text{ m}^2$$

Η απαιτούμενη επιφάνεια για να πακτωθούν οι μεμβράνες στο έδαφος, σύμφωνα με την εικόνα 12 είναι ίση με:

$$A = (0,6 * 600 * 2 + 0,6 * 195 * 2) * 2 = 1.908 \text{ m}^2$$

Η απαιτούμενη επιφάνεια επικαλυπτόμενων μεμβρανών σύμφωνα με την εικόνα 11 είναι ίση με:

$$A = (2 * 600 * 2 + 2 * 185 * 2) * 2 = 6.280 \text{ m}^2$$

Υβριδικό έργο σε συνδυασμό με συμβατικό θερμικό σταθμό

Η απαιτούμενη επιφάνεια για να καλυφθεί ο ταμιευτήρας είναι ίση με:

$$A = 170 * 600 + 2 * 11,18 * 600 + 2 * 11,18 * 180 = 119.440,8 \text{ m}^2$$

Η απαιτούμενη επιφάνεια για να πακτωθούν οι μεμβράνες στο έδαφος, σύμφωνα με την εικόνα 12 είναι ίση με:

$$A = (0,6 * 600 * 2 + 0,6 * 180 * 2) * 2 = 1.872 \text{ m}^2$$

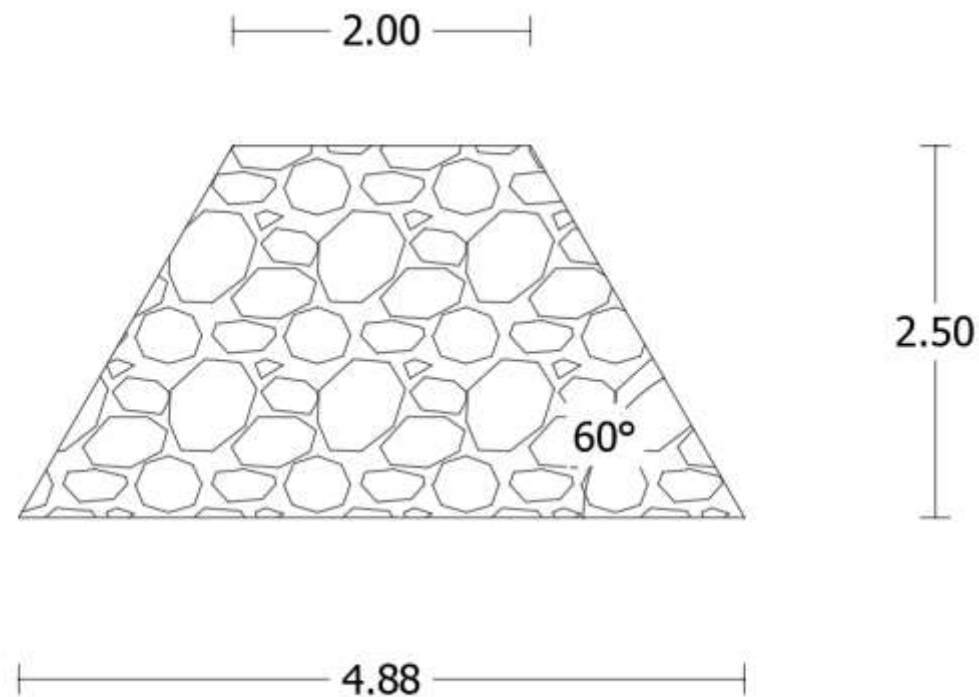
Η απαιτούμενη επιφάνεια επικαλυπτόμενων μεμβρανών σύμφωνα με την εικόνα 11 είναι ίση με:

$$A = (2 * 600 * 2 + 2 * 170 * 2) * 2 = 6.160 \text{ m}^2$$

Παράρτημα 3: Αναλυτικός υπολογισμός λοιπών απαιτούμενων τμημάτων του έργου πλήρους ενεργειακής αυτονομίας

Όγκος έργου θωράκισης ακτής με φυσικούς ογκόλιθους

Το έργο έχει μήκος 300m και διαστάσεις σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 24: Διαστάσεις διατομής λιμενικού έργου

Ο συνολικός όγκος που καταλαμβάνουν οι φυσικοί ογκόλιθοι υπολογίζεται ως εξής:

$$V = (2 + 4,88) * \frac{2,50}{2} * 300 = 2580 \text{ m}^3$$

Όγκος εκσκαφών σήραγγας αγωγού

Η σήραγγα έχει μήκος 30m και διάμετρο 5m

Ο απαιτούμενος όγκος εκσκαφών είναι:

$$V = \pi * \frac{5^2}{8} * 30 = 294,5 \text{ m}^3$$

Υπολογισμός πιέσεων που ασκούνται από τον ταμιευτήρα στην βραχώμαζα

Στην βραχώμαζα ασκούνται 2 είδη ορθών πιέσεων:

1. Η πίεση της στρώσης του οπλισμένου σκυροδέματος
2. Οι υδροστατικές πιέσεις του θαλασσινού νερού

Οι πιέσεις που ασκεί ο ταμιευτήρας υπολογίζονται ως:

$$\sigma_{\text{μπετού}} = \gamma_{\text{μπετού}} * 0,5 = 25 * 0,5 = 12,5 \text{ kPa}$$

Οι πιέσεις που ασκούνται από το θαλασσινό νερό υπολογίζονται ως

$$\sigma_{\text{νερού}} = \gamma_{\text{θαλασσινού}} * \left(11 + \frac{1}{2} * 11 * 2 \right) = 10,06 * 22 = 221,32 \text{ kPa}$$

Οι συνολικές ορθές πιέσεις που ασκούνται είναι $\sigma = 233,82 \text{ kPa}$.

Βιβλιογραφία

1. Roche, V., Laurent, V., Cardello, G. L., Jolivet, L., & Scaillet, S. (2016). Anatomy of the Cycladic Blueschist Unit on Sifnos Island (Cyclades, Greece). *Journal of Geodynamics*, 97, 62-87.
2. Τζεκάκης, Γ. Ν. (2019). ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΟΥΣ (No. GRI-2019-24134). Aristotle University of Thessaloniki.
3. Al Katsaprakakis, D., & Voumvoulakis, M. (2018). A hybrid power plant towards 100% energy autonomy for the island of Sifnos, Greece. Perspectives created from energy cooperatives. *Energy*, 161, 680-698.
4. Ανδρίτσος, Ν. (2008). Ενέργεια και περιβάλλον. Διδακτικές σημειώσεις, Βόλος.
5. A. Efstratiadis, I. Tsoukalas, G.-K. Sakki, N. Mamassis & D. Koutsoyiannis (2020). Renewable Energy & Hydroelectric Works. Educational Notes. Department of Water Resources & Environmental Engineering, NTUA.
6. Μακρής, Δ. (2021). Έξυπνα υβριδικά συστήματα παραγωγής ενέργειας σε ελληνικά νησιά (Master's thesis, Πανεπιστήμιο Πειραιώς).
7. Κονιώτη Μαρία, Μπαζίνη Ελένη (2005). «Σίφνος». Πολιτιστική Πύλη του Αρχιπελάγους του Αιγαίου. Available online: <https://mysifnos.gr/η-ιστορία-της-σίφνου/>
8. Καράβη, Α., & Καδόγλου, Σ. (2020). Βιώσιμη διαχείριση υδατικών αποθεμάτων νήσου Σίφνου και προτάσεις ενεργειακής αυτονομίας (No. GRI-2020-28304). Aristotle University of Thessaloniki.
9. Manfrida, G., & Secchi, R. (2014). Seawater pumping as an electricity storage solution for photovoltaic energy systems. *Energy*, 69, 470-484.
10. Παρασκευοπούλου, Χ. Π. (2011). Ανάλυση Κόστους Εκσκαφής και Προσωρινής Υποστήριξης Ελληνικών Οδικών Σηράγγων (Master's thesis).
11. Larsen, K. R. (2016). Selecting Stainless Steels for Seawater Pumps Choosing the Correct Grade Is Crucial for Corrosion Control. *Materials Performance*, 55(3), 28-32.
12. V. Tsoukala. (2021) Maritime Hydraulics & Harbour Works, Offshore Wave Prediction. Educational Notes. Laboratory of Harbour Works, National Technical University of Athens.
13. HWEA Wind Energy Statistics – 2020. Available online: <https://eletaen.gr/wp-content/uploads/2021/01/2021-01-26-2020-HWEA-Statistics-Greece.pdf>

14.Hellenic Association of Photovoltaic Companies Statistics-2019. Available online: https://helapco.gr/wp-content/uploads/pv-stats_greece_2019_2Apr2020.pdf

15.Hellenic Statistical Authority (ELSTAT)

16.Amiantit Pipes. Συστήματα από υαλοπλισμένους σωλήνες πολυεστέρα (GRP) τεχνολογίας Flowtite Για υδροηλεκτρικές εφαρμογές και εφαρμογές αγωγών μεταφοράς υπό πίεση. Available online: <https://docplayer.gr/1339274-Systimata-apo-yaloplismenouys-solines-polyestera-grp-tehnologias-flowtite-gia-ydroilektrikes-efarmoges-kai-efarmoges-agogon-metaforas-ypro-piesi.html>

17.ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.(2006). ΠΡΟΣΩΡΙΝΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ (ΠΕΤΕΠ) Δίκτυα από Υαλοπλισμένους Πλαστικούς Σωλήνες (GRP) - Έκδοση Μάιος 2006

18.Plastic Kritis S.A. GEOMEMBRANE FIELD INSTALLATION. Available online: https://www.plastikakritis.com/assets/uploads/files/KRITIFLEX_GEOMEMBRANE_Installation_Manual.pdf

19.Marsh, J.(2022) How much do solar panels cost in 2022?. energysage.

20.Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου-Γενική Διεύθυνση Περιφερειακής Αγροτικής Οικονομίας και Κτηνιατρικής.(2014) Επιχειρησιακό Σχέδιο Αγροτικής Ανάπτυξης 2014-2020, Σίφνος.

21.FILOTIS - Database for the Natural Environment of Greece. Code GR4220008.

22.ΑΕΙΦΟΡΟΣ – ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΟΤΑ & ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ.(2012) Επιχειρησιακό Πρόγραμμα (Ε.Π.) Δήμου Σίφνου (2012-2014).

23.Ιστορία της Σίφνου. e-sifnos. Available online: <https://e-sifnos.com/sifnos-information/sifnos-history.php>

24.ΥΠΕΝ(2020). Ο.Δ.Ε. Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας της ΓΓΕΟΠΥ/ΥΠΕΝ

Απόφ. ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/118233/4341/8.12.2021-ΦΕΚ 5619, τ.Β, 21.12.2020

25.ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε.(2022) Ανανεώσιμες Πηγές. Available online: <https://ppcr.gr/el/solar-general-info>

26.Eunice Energy Group (EEG).(2021) The TILOS Project. Available online: <https://eunice-group.com/gr/projects/tilos-project/>