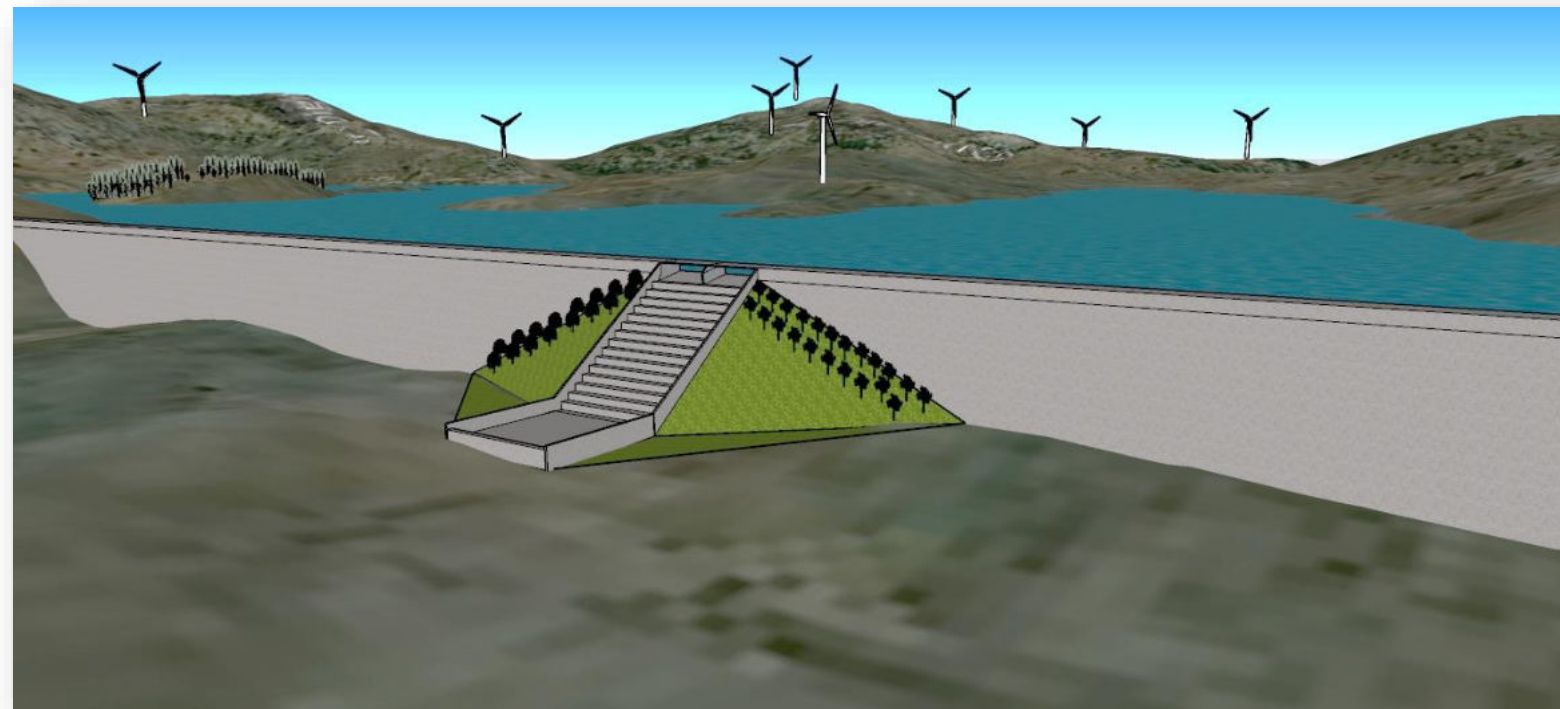




*Ολοκληρωμένη πρόταση Υβριδικού Συστήματος Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
στην περιοχή των Οροπεδίων Λασιθίου και Καθαρού*



Αθήνα, Μάρτιος 2021

Επιβλέποντες Καθηγητές

Κουτσογιάννης Δημήτριος
Μαμάσης Νικόλαος
Νάνου – Γιάνναρου Αικατερίνη
Σαργέντης Γεώργιος – Φοίβος

Ομάδα Μελέτης

Ζαβραδινού Μαρία Κλαίρη (cn16004)
Καραϊσά Χριστίνα (cn16046)
Λαγός Αριστοκλής (cn16002)
Μπουκογιάννης Ευστράτιος (cn16434)

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του μαθήματος «Ολοκληρωμένο Θέμα Υδραυλικού Σχεδιασμού» της σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Στο σημείο αυτό θέλουμε να εκφράσουμε τις θερμές ευχαριστίες μας σε όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Αρχικά, να ευχαριστήσουμε τους επιβλέποντες καθηγητές μας κ.κ. Κουτσογιάννη Δημήτριο, Μαμάση Νικόλαο και Νάνου-Γιάνναρου Αικατερίνη για την αμέριστη υποστήριξη, την συνεχή καθοδήγηση και τις ουσιώδεις συμβουλές που μας παρείχαν σε όλο αυτό το διάστημα.

Τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μας οφείλουμε και στους κ.κ. Ρωμανό Ιωαννίδη και Σαργέντη Φοίβο για το ενδιαφέρον τους και την πολύτιμη βοήθειά τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή	7
1.1 Αντικείμενο της μελέτης	7
1.2 Στόχος – σκοπιμότητα του έργου	7
1.3 Γενικά για τα υβριδικά συστήματα	7
1.4 Περιοχή μελέτης	8
1.4.1 Οροπέδιο Καθαρού	8
1.4.2 Οροπέδιο Λασιθίου	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Υδρολογική μελέτη λειτουργίας ταμιευτήρα	12
2.1 Δεδομένα υδρομετεωρολογικών σταθμών	12
2.2 Επεξεργασία βροχομετρικών δεδομένων	12
2.3 Εκτίμηση βροχόπτωσης σχεδιασμού με πιθανοτική ανάλυση ακραίων βροχοπτώσεων – Όμβριες Καμπύλες	14
2.3.1 Δεδομένα.....	14
2.3.2 Γενική περιγραφή της μεθόδου.....	14
2.3.3 Εκτίμηση παραμέτρων όμβριων καμπυλών – Τελική έκφραση εξίσωσης.....	14
2.3.4 Σύγκριση με όμβριες καμπύλες άλλων περιοχών.....	15
2.3.5 Σύγκριση με τις δημοσιευμένες παραμέτρους του ΥΠΕΚΑ.....	16
2.4 Τελικές τιμές εφαρμογής – Επιφανειακή αναγωγή	17
2.5 Μετεωρολογικές παράμετροι λεκάνης	17
2.5.1 Θερμοκρασία	17
2.5.2 Σχετική υγρασία.....	18
2.5.3 Ηλιοφάνεια.....	18
2.5.4 Άνεμος	18
2.5.5 Εξατμοδιαπνοή.....	19
2.6. Εκτίμηση εισροών στον ταμιευτήρα	20
2.7 Εκτίμηση πλημμύρας σχεδιασμού – Μοναδιαίο υδρογράφημα	21
2.8 Καταιγίδα σχεδιασμού	23
2.9 Απώλειες – Ωφέλιμη Βροχή	23
2.10 Υπολογισμοί και αποτελέσματα	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ανοικτά κανάλια συλλογής νερού από γειτονικές υπολεκάνες και μεταφορά στον κύριο ταμιευτήρα	25
3.1 Υδρολογικά χαρακτηριστικά γειτονικών λεκανών	25
3.2 Διαστασιολόγηση διατομής των ανοικτών καναλιών	25
3.3 Συμβολή των αγωγών στο σημείο «Σ»	27

3.4 Υδροληψίες	27
3.5 Όγκος εκσκαφών	28
3.6 Ετήσια υδρολογική συνεισφορά	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Κατασκευή φράγματος στο Οροπέδιο Καθαρού	29
4.1 Επιλογή της θέσης του άξονα του φράγματος	29
4.2 Επιλογή τύπου φράγματος	31
4.3 Χαρακτηριστικές στάθμες του ταμιευτήρα	31
4.4 Έργα υπερχείλισης	32
4.4.1 Υπερχείλιστής.....	32
4.4.2 Έργα καταστροφής ενέργειας	33
4.5 Έργα εκτροπής της ροής του ποταμού	34
4.5.1 Πρόφραγμα	34
4.5.2 Αγωγός εκτροπής.....	34
4.5.3 Βασικές παράμετροι σχεδιασμού.....	34
4.5.4 Υδραυλικός σχεδιασμός έργων εκτροπής.....	35
4.5.5 Έμφραξη σήραγγας εκτροπής.....	36
4.6 Υδροληψία	36
4.7 Τοπική διατομή και κατασκευαστικές λεπτομέρειες	37
4.8 Γενική διάταξη έργων σε οριζοντιογραφία	37
4.9 Χρήσεις φράγματος – Ταμιευτήρας πολλαπλού σκοπού	38
4.9.1 Ύδρευση κοντινών οικισμών	38
4.9.2 Άρδευση γειτονικών καλλιεργούμενων εκτάσεων	42
4.9.3 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας – Έργο αντλιοσταμείωσης	45
4.10 Αισθητική του τοπίου και αρχιτεκτονική του φράγματος	51
4.10.1 Τεχνητή λίμνη	51
4.10.2 Αναδυόμενο νησί	51
4.10.3 Διασύνδεση με υφιστάμενες περιπατητικές διαδρομές	52
4.10.4 Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός φράγματος	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Κατασκευή αιολικού πάρκου	54
5.1 Αιολική Ενέργεια	54
5.2 Ιστορική αναδρομή – Ανεμόμυλοι	54
5.3 Ανεμογεννήτριες – Αιολικά Πάρκα	54
5.3.1 Θεωρητική αιολική ισχύς.....	55
5.3.2 Αιολικά Πάρκα	55
5.4 Μελέτη και αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού	56

Μέρος Α: Διαδικασία εκτίμησης αιολικού δυναμικού	57	7.3.2 Ηλιακά - Ανεμολογικά δεδομένα.....	72
5.4.A1 Μελέτη και αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού με δεδομένα της EMY.....	57	7.3.3 Δεδομένα ηλεκτρικής ζήτησης.....	72
5.4.A2 Αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού με δεδομένα της ΠΑΕ.....	57	7.4 Παράμετροι προσομοίωσης	73
5.4.A3 Μελέτη και αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού με δεδομένα της NASA.....	57	7.4.1 Έλεγχοι στάθμης ταμιευτήρα.....	73
5.4.A4 Επαλήθευση των μετρήσεων με πρόγραμμα του Danish Wind Industry Association.....	57	7.4.2 Έλεγχοι στάθμης λιμνοδεξαμενών.....	73
Μέρος Β: Αποτελέσματα εκτίμησης αιολικού δυναμικού	58	7.4.3 Λειτουργία αντλησιοταμίευσης.....	73
5.4.B1 Αποτελέσματα μελέτης του αιολικού δυναμικού με δεδομένα της EMY.....	58	7.4.4 Λειτουργία τάφρων συλλογής.....	74
5.5.Τεκμηρίωση τοποθέτησης και χαρακτηριστικών του Αιολικού Πάρκου	59	7.4.5 Στόχος παραγωγής ενέργειας.....	74
5.5.1 Τεκμηρίωση επιλογής ύψους στύλου ανεμογεννήτριας.....	60	7.4.6 Μέτρα επίδοσης συστήματος – Στόχος αξιοπιστίας.....	74
5.5.2 Παρουσίαση χωροθέτησης Α/Γ πάνω σε υπόβαθρο αιολικού δυναμικού.....	60	7.5 Γενική περιγραφή προσομοίωσης	74
5.6 Ενεργειακή μελέτη αιολικού πάρκου	61	7.6. Αποτελέσματα προσομοίωσης	75
5.7 Συνοδά Έργα (Προκαταρκτική μελέτη πρόσβασης και μεταφοράς)	62	7.7 Αξιολόγηση - αποτίμηση αποτελεσμάτων	77
5.7.1 Έργα πρόσβασης (Οδοποιίας).....	62	7.8 Όφελος κατά την λειτουργία	78
5.7.2 Διασυνδεδετικό δίκτυο μέσης τάσης (Μ.Τ.) και υποσταθμός (Υ/Σ).....	63	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Ενδεικτικός προϋπολογισμός φράγματος και συνοδών έργων	79
5.8. Ενδεικτικός προϋπολογισμός αιολικού πάρκου	63	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις των Κύριων Έργων του Συστήματος	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Κατασκευή αγροφωτοβολταϊκού πάρκου	64	9.1 Εισαγωγή	82
6.1 Ηλιακή ενέργεια και εφαρμογές	64	9.2 Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων	82
6.2 Ηλιακή ακτινοβολία	64	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: Οικονομική ανάλυση του έργου	95
6.3 Φωτοβολταϊκά πάνελ	65	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	97
6.3.1 Εισαγωγή.....	65	Ελληνική βιβλιογραφία	97
6.3.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	65	Ξένη βιβλιογραφία	99
6.3.3 Τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	65		
6.3.4 Χωροθέτηση - ενεργειακή απολαβή πάνελ.....	66		
6.4 Τεχνική ανάλυση κατασκευής φωτοβολταϊκού σταθμού στο Οροπέδιο Λασιθίου	66		
6.4.1 Γενικά στοιχεία φ/β πάρκου.....	66		
6.4.2 Χωροθέτηση.....	66		
6.4.3 Ενεργειακή μελέτη.....	67		
6.4.4 Επιλογή βέλτιστης κλίσης.....	68		
6.4.5 Εγκατάσταση αγροφωτοβολταϊκού σταθμού.....	68		
6.5 Οικονομική ανάλυση κατασκευής φωτοβολταϊκού σταθμού στο Οροπέδιο Λασιθίου	70		
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Προσομοίωση λειτουργίας υβριδικού συστήματος	71		
7.1 Γενικά για την προσομοίωση	71		
7.2 Εισαγωγή στην προσομοίωση του υβριδικού συστήματος	71		
7.3 Δεδομένα προσομοίωσης	71		
7.3.1 Δεδομένα εισροών.....	71		

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της μελέτης

Στην παρούσα μελέτη εξετάζεται η κατασκευή και λειτουργία υβριδικού συστήματος, το οποίο θα περιλαμβάνει υδροηλεκτρικό έργο με ταμιευτήρα στο Οροπέδιο του Καθαρού, αιολικό πάρκο στις κορυφογραμμές της περιοχής και, τέλος, φωτοβολταϊκό πάρκο, που θα λειτουργεί με μια καινοτόμα τεχνολογία, αυτή των αγροφωτοβολταϊκών, στο Οροπέδιο του Λασιθίου.

Με την συλλογή και επεξεργασία των υδρολογικών δεδομένων δημιουργήθηκε μια πλήρης εικόνα του υδάτινου δυναμικού της περιοχής. Σύμφωνα με τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής και άλλους περιορισμούς, όπως τα κύρια ρήγματα και ο κίνδυνος κατολισθήσεων, επιλέχθηκε η θέση του φράγματος και του ευρύτερου υδροηλεκτρικού έργου. Αντικείμενο της μελέτης αποτελεί και η δημιουργία συστήματος αντλησιοταμίευσης, που θα παρέχει τη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας τις ώρες αιχμής και θα αποθηκεύει την πλεονάζουσα ενέργεια του δικτύου. Ως άνω ταμιευτήρας ορίζεται ο ταμιευτήρας που θα δημιουργηθεί από την κατασκευή του φράγματος, ενώ ως κάτω λιμνοδεξαμενή ορίζεται η λιμνοδεξαμενή του Αγίου Γεωργίου που βρίσκεται στο Οροπέδιο Λασιθίου. Παράλληλα, με την κατάλληλη μελέτη αποφασίστηκε και η χωροθέτηση του αιολικού και φωτοβολταϊκού πάρκου με απώτερο σκοπό την καλύτερη αξιοποίηση του αιολικού και ηλιακού δυναμικού.

Την προσομοίωση της λειτουργίας του υβριδικού συστήματος ακολούθησε η βελτιστοποίηση, προκειμένου το σύστημα να ανταποκρίνεται στις συνθήκες και τις ανάγκες της ευρύτερης περιοχής.

1.2 Στόχος – σκοπιμότητα του έργου

Όπως προαναφέρθηκε, η περιοχή προσφέρεται για την κατασκευή και λειτουργία υδροηλεκτρικού έργου από άποψης βροχοπτώσεων. Επιπλέον, για το δεδομένο υψόμετρο, το αιολικό δυναμικό της περιοχής ενδείκνυται για την εγκατάσταση αιολικού πάρκου. Το ίδιο συμβαίνει και με την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς η Κρήτη είναι από τις πιο ηλιόλουστες περιοχές της χώρας.

Επομένως, κύριος σκοπός του υπό μελέτη έργου είναι η δημιουργία ενός έργου, το οποίο θα διασφαλίζει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της ευρύτερης περιοχής και την αντιμετώπιση προβλημάτων που πλήττουν την περιοχή, όπως προβλήματα υδροδότησης οικισμών. Συγκεκριμένα, στην γειτονική Ιεράπετρα τα προβλήματα λειψυδρίας που παρατηρούνται κατά καιρούς δεν έχουν εξαλειφθεί, παρά τις συστηματικές επιδιορθώσεις στο δίκτυο. Για το λόγο αυτό, ορίζεται ως προτεραιότητα η ύδρευση των κοντινών αυτών οικισμών. Παράλληλα, παρά το γεγονός ότι τα Οροπέδια του Λασιθίου και του Καθαρού είναι από τις πιο πλούσιες σε βροχόπτωση περιοχές της Ελλάδας, η άρδευση των καλλιεργειών συνεχίζει να αποτελεί πρόβλημα για τους κατοίκους της περιοχής, αν και τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αρκετές βελτιώσεις. Αυτό συμβαίνει λόγω της γεωλογικής δομής του εδάφους, καθώς αξιοσημείωτες ποσότητες ύδατος διαφεύγουν προς το εξωτερικό της λεκάνης.

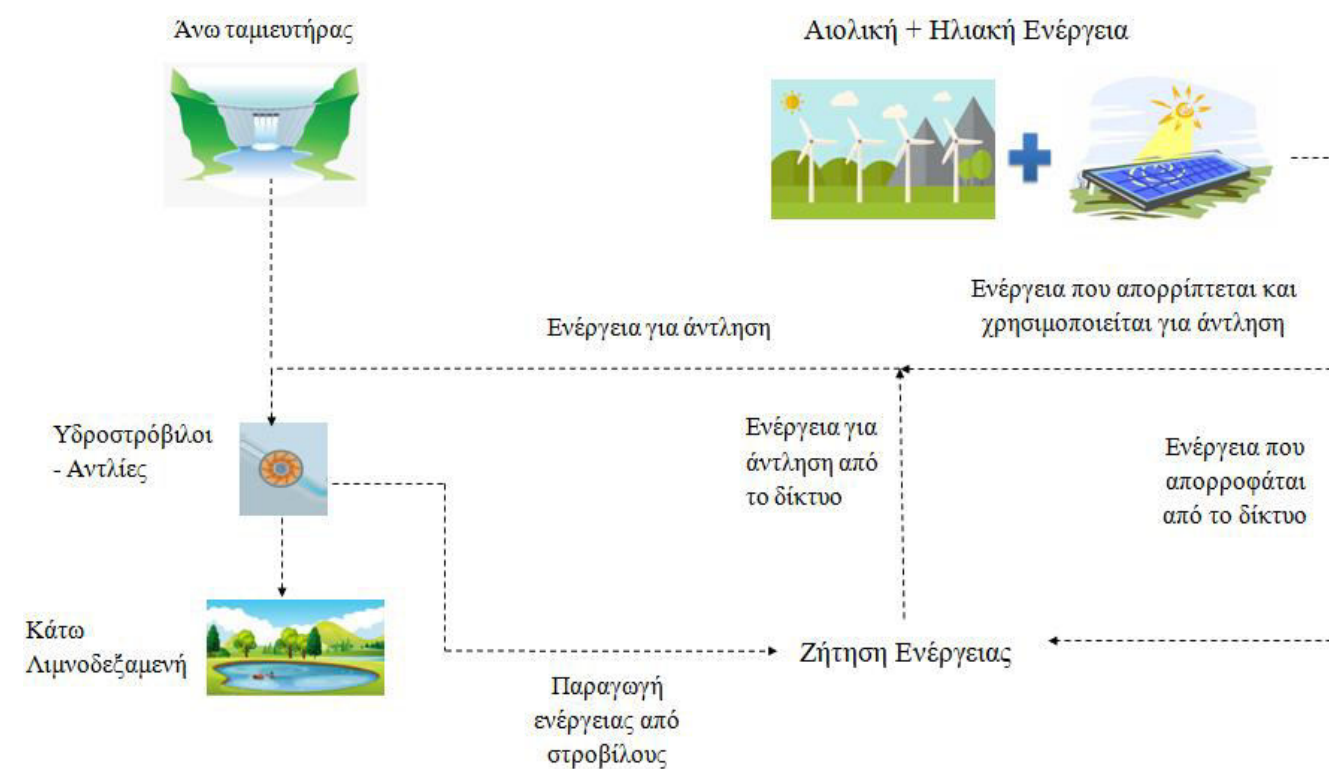
Ταυτόχρονα, όπως πρέπει να ισχύει σε κάθε έργο, πρωτεύον σκοπός είναι η προστασία του περιβάλλοντος και η διασφάλιση της βιωσιμότητας των οικοσυστημάτων που το αποτελούν σε συνδυασμό με την ομαλή προσαρμογή στις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες.

1.3 Γενικά για τα υβριδικά συστήματα

Ο συνδυασμός διαφορετικών τεχνολογιών συμβατικών ή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καλείται υβριδικό σύστημα.

Στο υπό μελέτη έργο, εξετάζεται ο συνδυασμός τριών διαφορετικών μορφών ΑΠΕ και συγκεκριμένα της αιολικής ενέργειας, της ηλιακής ενέργειας ως μονάδες ΑΠΕ του υβριδικού συστήματος και της υδροηλεκτρικής ενέργειας, ως μονάδας παραγωγής και αποθήκευσης του υβριδικού σταθμού. Η περίσσεια αιολικής και ηλιακής ενέργειας που απορρίπτεται από το δίκτυο, αξιοποιείται ώστε να αντληθεί το νερό από την κάτω λιμνοδεξαμενή στον άνω ταμιευτήρα και αποθηκεύεται παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια τη στιγμή που απαιτείται.

Στο παρακάτω Σχήμα 1.1 παρίσταται η λειτουργία του υβριδικού συστήματος που εξετάζεται στην παρούσα μελέτη.



Σχήμα 1.1 Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας υβριδικού συστήματος

Η ενέργεια που παράγεται μέσω του αιολικού και φωτοβολταϊκού πάρκου οδηγείται είτε απευθείας στο δίκτυο, είτε στις αντλίες, ώστε να αποθηκευτεί. Όταν η ενέργεια στο δίκτυο δεν επαρκεί, οι υδροστροβίλοι παράγουν ενέργεια με τη μεταφορά νερού από τον άνω ταμιευτήρα στην κάτω λιμνοδεξαμενή.

1.4 Περιοχή μελέτης

1.4.1 Οροπέδιο Καθαρού

1.4.1.1 Γεωγραφική θέση και χαρακτηριστικά

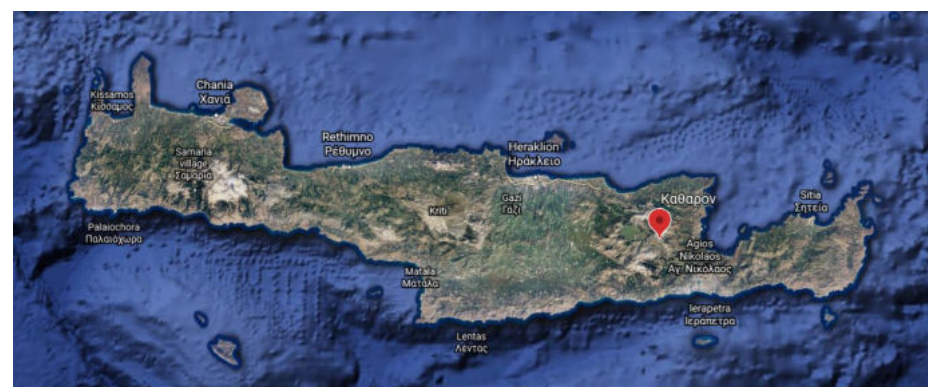
Το Οροπέδιο Καθαρού αποτελεί τμήμα της οροσειράς της Δίκτης. Αποτελείται από κοιλάδες περικλειόμενες από σειρές βουνών και ορέων και κείται προς το ΒΔ μέρος της Κριτσάς και ΝΑ της Επαρχίας Λασιθίου. Έχει συνολικό μήκος 4 km, πλάτος 1,5 km και μέσο υψόμετρο περίπου 1150 m. Η έκτασή του είναι συνολικά 60.000 στρέμματα εκ των οποίων τα 40.000 περίπου συνιστούν το πεδινό επίπεδο τμήμα του. Απέχει 16 km από τον οικισμό της Κριτσάς και 12 km από το Οροπέδιο Λασιθίου. Το γεωγραφικό του πλάτος και μήκος είναι 35,143° και 25,372°, αντίστοιχα. Τα νερά του οροπεδίου απορρέουν μέσω του χειμάρρου Χανγά και καταλήγουν στη λεκάνη του Οροπεδίου Λασιθίου, ενώ παράλληλα το Καθαρό αποτελεί λεκάνη απορροής για τον ποταμό Αποσελέμη.



Εικόνα 1.1 Γενική άποψη και ανάγλυφο Οροπεδίου Καθαρού (λήψη από Google Earth)

1.4.1.2 Διοικητική υπαγωγή και ιδιοκτησιακό καθεστώς

Το Καθαρό ανήκει στο νομό Λασιθίου Κρήτης και υπάγεται διοικητικά στο Δήμο Αγίου Νικολάου. Χαρακτηρίζεται από ένα ιδιαίτερο ιδιοκτησιακό καθεστώς της γης, καθώς όλη η έκτασή του ανήκει αποκλειστικά στο δημοτικό διαμέρισμα Κριτσάς, επιτρέποντας μόνο στους μόνιμους εγγεγραμμένους κατοίκους του χωριού να χτίσουν στο Καθαρό. Ως αντάλλαγμα παρέχεται το 4% της ετήσιας παραγωγής του οροπεδίου στην Κριτσά.



Εικόνα 1.2 Καθαρό, Νομός Λασιθίου (λήψη από Google Earth)

1.4.1.3 Πληθυσμός και ανθρώπινες δραστηριότητες

Τα έτη 1961, 1971 και 1981 απογράφεται με 0 κατοίκους, ενώ το 1991 μετρά μόνο 4. Στη νεότερη απογραφή του έτους 2011 καταγράφονται 18 κάτοικοι. Λόγω του υψηλού υψομέτρου του, το χειμώνα δεν κατοικείται, ενώ το καλοκαίρι μετρά περίπου 500 κατοίκους. Κατά τους θερινούς μήνες αυτοί είναι κυρίως κτηνοτρόφοι, οι οποίοι κινούν τα κοπάδια τους μέχρι το οροπέδιο από τις 15 Μαΐου και ζουν εκεί μέχρι τις πρώτες ημέρες του Νοεμβρίου, όταν αφήνουν τα κοπάδια στο οροπέδιο και μετακινούνται στη χαμηλότερη περιοχή της Κριτσάς. Η εύφορη γη της περιοχής καλλιεργείται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους με κηπευτικά όλων των ειδών, αλλά και φρούτα (αμπέλια, αχλαδιές, μηλιές, καρυδιές, κ.α.). Η άρδευση των αγροτικών εκτάσεων επιτυγχάνεται χάρη στις λιθόκτιστες δεξαμενές, οι οποίες συγκεντρώνουν το νερό της βροχής και των πηγών. Τέλος, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται με τη χρήση γεννητριών.

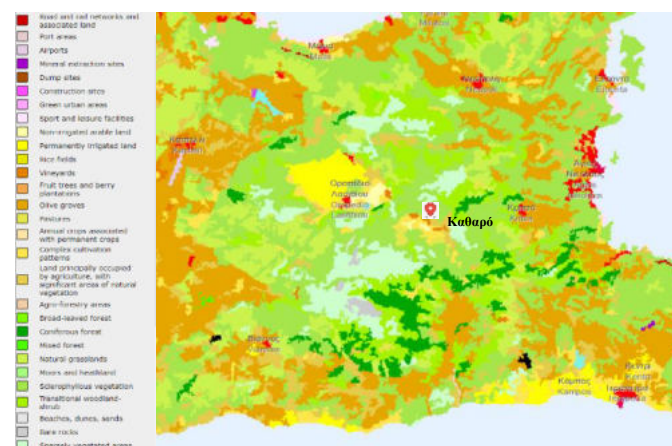
1.4.1.4 Κλιματικά χαρακτηριστικά

Το κλίμα της περιοχής είναι γενικά εύκρατο με τους χειμώνες να χαρακτηρίζονται από ακραία καιρικά φαινόμενα και συγκεκριμένα έντονες χιονοπτώσεις, οι οποίες δυσχεραίνουν την ανάπτυξη της χλωρίδας και πανίδας στο Καθαρό. Έντονες είναι και οι βροχοπτώσεις με την περιοχή να σημειώνει μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης της τάξης των 930 mm. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας είναι οι 12,1 °C, ενώ αγγίζει τους -6 °C το χειμώνα και τους 39 °C το καλοκαίρι. Οι άνεμοι κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 3 Bf, ενώ είναι πιθανό να φτάσουν και τα 8 Bf. Υψηλά, τέλος, είναι και τα ποσοστά υγρασίας με μέση τιμή 69,2 %.

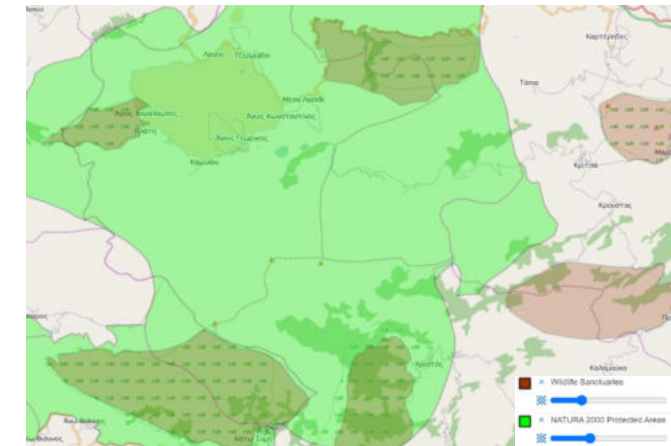
1.4.1.5 Φυσικό περιβάλλον

Από άποψη οικοσυστήματος το οροπέδιο είναι πλούσιο σε πανίδα και χλωρίδα. Λαγοί, αγριόγατοι, και ασβόι είναι μόνο μερικά από τα άγρια ζώα που συνιστούν την τοπική πανίδα των θηλαστικών. Οι πέρδικες, οι μεκατότσες, και οι τσίγλες είναι τα πουλιά που συναντώνται συχνότερα στις βουνοκορφές και στον κάμπο του Καθαρού. Σε αυτά θα πρέπει βέβαια να προστεθούν τα γεράκια και οι βιτσύλες, που ανήκουν στην οικογένεια των αρπακτικών. Στο Οροπέδιο του Καθαρού ζουν επίσης πολλά ερπετά όπως η κρητική οχιά, το λιακόνη, η σαύρα κ.α. Όσον αφορά τη χλωρίδα, συχνή είναι η παρουσία των πρίνων και των λιόπρινων, ενώ στα ακάλυπτα μέρη φύονται μικροί θάμνοι, όπως αστιβίδες, αγκαραθιές, θρίμπες κ.λπ. Αγριολούλουδα συναντώνται, επίσης, σε μεγάλη αφθονία και ποικιλία, όπως οι παπαρούνες και οι ορχιδέες. Έντονη, τέλος, είναι και η παρουσία των αρωματικών βοτάνων, όπως η ρίγανη και ο δίκταμος.

Στο χάρτη της Εικόνας 1.3 παρουσιάζονται οι χρήσεις γης του Καθαρού και της ευρύτερης περιοχής. Αξίζει, δε, να σημειωθεί πως το Όρος της Δίκτης συγκαταλέγεται στο δίκτυο προστατευόμενων περιοχών Natura 2000, όπως παρουσιάζεται και στο χάρτη της Εικόνας 1.4. Τέλος, στον περίγυρο του Καθαρού αναπτύσσονται Καταφύγια Αγρίας Ζωής (Κ.Α.Ζ, βλ. Εικόνα 1.4).



Εικόνα 1.3 Χρήσεις γης Καθαρού (Πηγή: Corine Land Cover, 2018)



Εικόνα 1.4 Δίκτυο NATURA 200 και Καταφύγια Αγρίας Ζωής (Πηγή: www.geodata.gov.gr)

1.4.1.6 Ιστορικό ενδιαφέρον

Αξίζει να σημειωθεί ότι το οροπέδιο αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό σημείο για έρευνα από τους παλαιοντολόγους, καθώς απολιθώματα ελεφάντων και νάνων-ιπποπόταμων, τα οποία χρονολογούνται περίπου πριν από 540.000 χρόνια, έχουν βρεθεί ήδη από τον 19^ο αιώνα. Το γεγονός αυτό διατηρεί την πεποίθηση ότι το Καθαρό ήταν κάποτε μια λίμνη γύρω από την οποία ζούσαν αυτά τα ζώα.



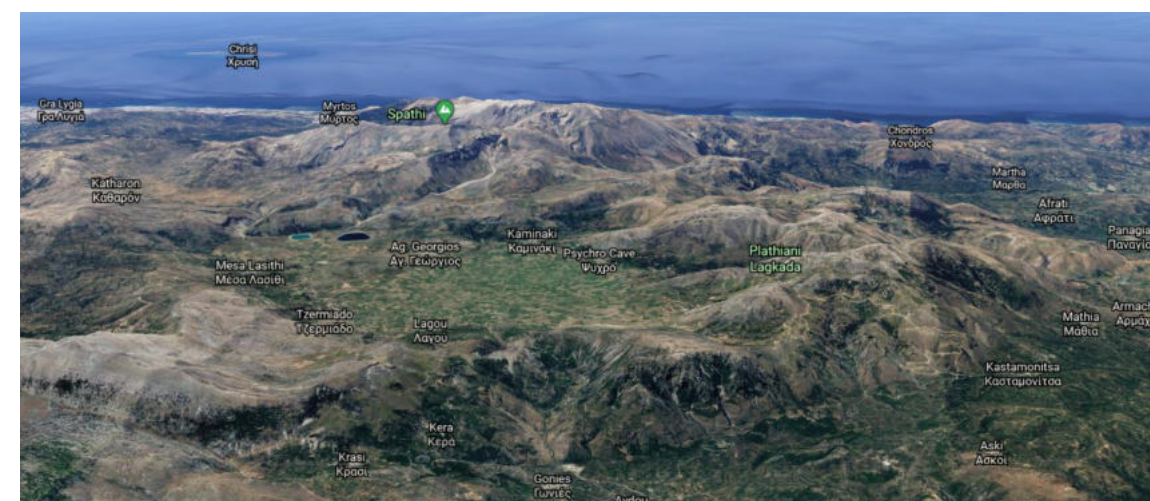
Εικόνες 1.5 & 1.6 Οροπέδιο Καθαρού

1.4.2 Οροπέδιο Λασιθίου

1.4.2.1 Γεωγραφική θέση και χαρακτηριστικά

Το Οροπέδιο Λασιθίου αποτελεί μια γραφική πεδιάδα περικλειόμενη από βουνά. Βρίσκεται στο νομό Λασιθίου περίπου 25 km νότια από τα Μάλια και 70 km ανατολικά του Ηρακλείου. Καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της δυτικής πλευράς του ορεινού συγκροτήματος της Δίκτης, ενώ στους πρόποδες του είναι χτισμένα 18 χωριά. Συνορεύει ανατολικά με τους Δήμους Ιεράπετρας και Αγ. Νικολάου, νότια με τον Δήμο Βιάννου, δυτικά με τον Δήμο Καστελλίου, και βόρεια με τον Δήμο Χερσονήσου και την Κοινότητα Βραχασίου.

Το οροπέδιο έχει μέσο υψόμετρο τα 840 m, ενώ εκτείνεται σε μήκος 10 km και έχει πλάτος 4-5 km. Η συνολική του έκταση αγγίζει τα 30 km², γεγονός που το καθιστά το μεγαλύτερο οροπέδιο της Κρήτης. Στην ανατολική του πλευρά υψώνεται ως νησίδα μέσα στην πεδιάδα ο λόφος της Κεφάλα, ο οποίος επιμερίζει το οροπέδιο σε δυο τμήματα. Το ανατολικό τμήμα δε διαθέτει υπόγεια ύδατα, ενώ το δυτικό, που είναι πολύ μεγαλύτερης έκτασης, έχει άφθονα υπόγεια νερά σε βάθος 8-18 m ανάλογα με την τοποθεσία. Η ορεινή ζώνη του οροπεδίου αποτελείται από μια σειρά 20 και πλέον υψωμάτων με το ύψος τους να ξεκινά από τα 1163 m (ύψωμα Λουλουδάκι) και να φθάνει τα 2148 m (κορυφή Σπαθί της Δίκτης). Μεταξύ των υψωμάτων σε πολλά σημεία δημιουργούνται μικρές εύφορες κοιλάδες και ορεινές διαβάσεις (Σελιά).



Εικόνα 1.7 Γενική άποψη και ανάγλυφο Οροπεδίου Λασιθίου (λήψη από Google Earth)

1.4.2.2 Διοικητική υπαγωγή

Ο Δήμος Οροπεδίου Λασιθίου είναι ένας από τους οκτώ Δήμους του Νομού Λασιθίου. Ο κατοδιστριακός Δήμος Οροπεδίου Λασιθίου προήλθε από την συνένωση των παλιών κοινοτήτων της τέως επαρχίας Λασιθίου, έχει έντεκα τοπικά συμβούλια, και έδρα του είναι το Τζερμιάδο. Παλαιότερα, το έτος 1879, όταν η διοικητική διαίρεση της Κρήτης προέβλεπε τη δημιουργία Δήμων, στην τότε επαρχία Λασιθίου συγκροτήθηκαν ο Δήμος Τζερμιάδων και ο Δήμος Ψυχρού, με το σχήμα αυτό να διατηρείται και επί Κρητικής Πολιτείας. Είναι ο μόνος δήμος νησιωτικής περιφέρειας που δεν εφάπτεται με την θάλασσα, η οποία στο πιο κοντινό σημείο (Μάλια) απέχει σε ευθεία γραμμή περί τα 8 km.

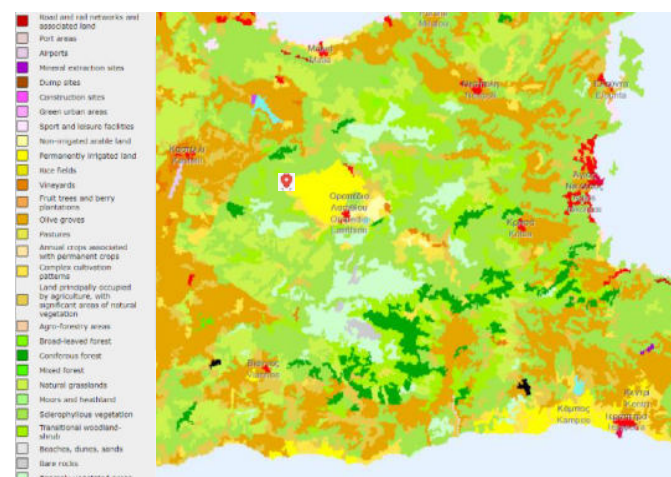
1.4.2.3 Πληθυσμός και ανθρώπινες δραστηριότητες

Σύμφωνα με την απογραφή του 2011 ο Δήμος Οροπεδίου Λασιθίου μετρά συνολικά 2387 κατοίκους (με το καλοκαίρι να φθάνει έως και τους 10000), ενώ είναι από τις λίγες περιοχές της Μεσογείου με μόνιμους κατοίκους σε υψόμετρο μεγαλύτερο των 800 m. Η τοπική οικονομία στηρίζεται κυρίως στην αγροτική παραγωγή και δευτερευόντως στην κτηνοτροφία. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο Οροπέδιο Λασιθίου παράγεται περίπου το 2% του συνολικού γεωργικού προϊόντος της χώρας.

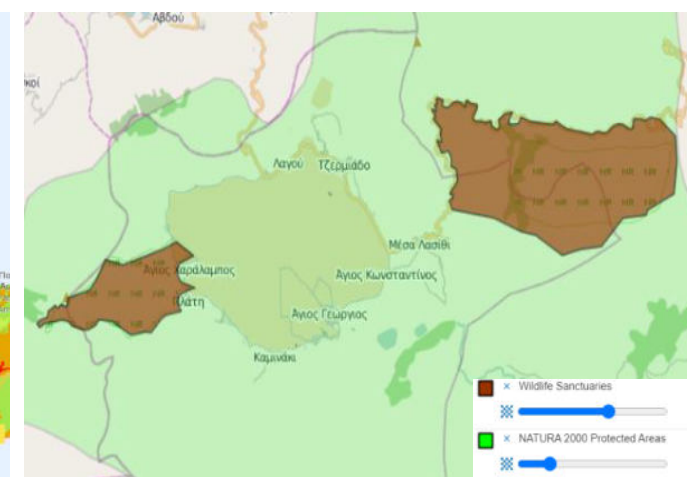
Η βασικότερη παραγωγή είναι αυτή του ελαιολάδου, ενώ το Λασιθί επίσης φημίζεται για την καλλιέργεια της πατάτας. Μεγάλη είναι η ποικιλία των υπαίθριων κηπευτικών (ντομάτες, πιπεριές, κολοκύθια, φασόλια, ρεβίθια), αλλά και των φρούτων (μήλα, αχλάδια, καρπούζια, κ.λπ.). Ανεπτυγμένη είναι και η κτηνοτροφία, γεγονός που καθιστά δυναμική την παρουσία των γαλακτοκομικών προϊόντων και ιδιαίτερα των τυροκομικών. Η μελισσοκομία είναι μια ακόμα ασχολία των κατοίκων, καθώς από τα πευκοδάση του όρους της Δίκτης παράγεται υψηλής ποιότητας μέλι. Χαρακτηριστικό παράδειγμα παραδοσιακής ασχολίας είναι η υφαντουργία με πρώτη ύλη το μαλλί, το λινάρι, το μετάξι ή το βαμβάκι, ενώ τέλος ως εποχιακή ασχολία θεωρείται η παραγωγή ρακής.



Εικόνα 1.8 Καλλιεργούμενες εκτάσεις Οροπεδίου Λασιθίου (λήψη από Google Earth)



Εικόνα 1.9 Χρήσεις γης Λασιθίου (Πηγή: Corine Land Cover, 2018)



Εικόνα 1.10 Δίκτυο Natura 200 και Καταφύγια Άγριας Ζωής (Πηγή: www.geodata.gov.gr)

1.4.2.4 Κλιματικά χαρακτηριστικά

Το κλίμα στο οροπέδιο είναι κυρίως εύκρατο, μεσογειακό, με ορισμένα χαρακτηριστικά ορεινού κλίματος λόγω του μεγάλου υψομέτρου. Σε σχέση με τις υπόλοιπες πεδινές περιοχές της Κρήτης, ο χειμώνας είναι βαρύν με αρκετά χιόνια και βροχές. Αντίθετα, κατά τους θερινούς μήνες υψηλή είναι η ηλιοφάνεια και η θερμοκρασία στη διάρκεια της μέρας, ενώ αισθητή είναι η πτώση της κατά τη διάρκεια της νύχτας.

1.4.2.5 Φυσικό περιβάλλον

Ιδιαίτερα πλούσια είναι η χλωρίδα της περιοχής με τη γεωγραφική διαμόρφωση και τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν να συντελούν στην ανάπτυξη της μακίας, δηλαδή της θαμνώδους βλάστησης. Παράλληλα, όμως, χαρακτηριστική είναι η παρουσία και άλλων ποικίλων φυτικών οργανισμών, όπως τα χόρτα-φρύγανα και οι δασικοί θάμνοι, καθώς και τα αρωματικά φυτά (μελισσόχορτο, ρίγανη, φασκόμηλο, χαμόμηλο, τίλιο, δάφνη, μέντα, δυόσμος, λεβάντα, δενδρολίβανο). Στα δάση κυριαρχεί το πουρνάρι, ενώ δε λείπουν μικρότερα ορεινά δάση ασφεντάμων και αζηλάκων.

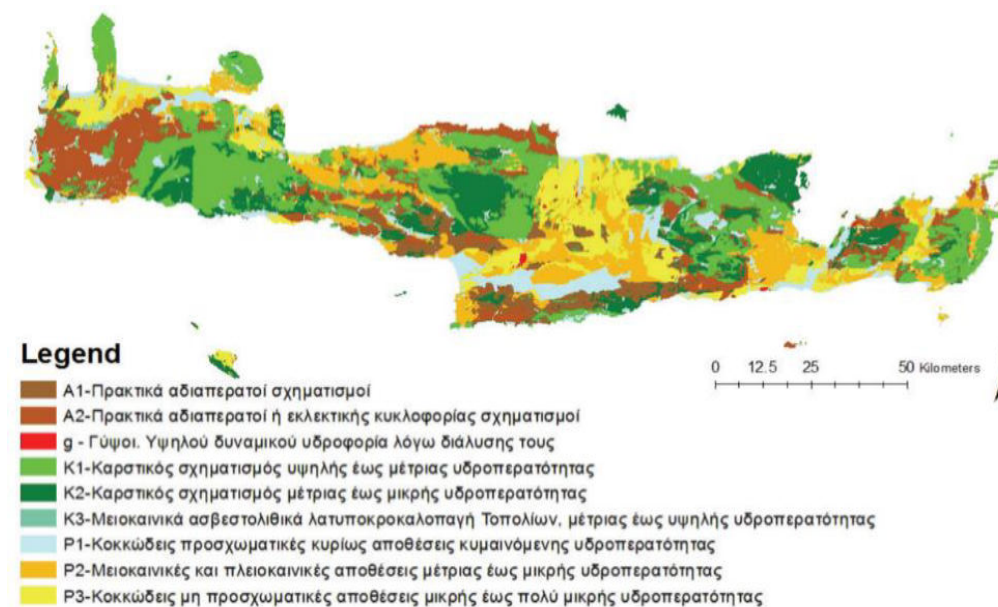
Αντίστοιχη είναι η ποικιλομορφία της περιοχής στον τομέα του ζωικού βασιλείου. Φιλοξενούνται συνολικά 107 είδη πτηνών, από τα οποία ξεχωρίζουν ο μαυροπελαργός, τα 4 είδη κίρκων, ο σταυραετός, το ορτύκι, κ.α. Παρατηρούνται, ακόμη, είδη υγροτοπικών περιοχών, όπως πάπιες και χαραδριόμορφα. Στις γεωργικές δραστηριότητες χρησιμοποιούνται άλογα, μουλάρια και γαϊδούρια, ενώ η κτηνοτροφία βασίζεται κυρίως στα αιγοπρόβατα. Η άγρια ζωή περιλαμβάνει αετούς, γύπες, πέρδικες, κουνάβια, νυφίτσες, σκαντζόχοιρους, λαγούς κ.λπ., καθώς και μεγάλη ποικιλία εντόμων.

Το σύνολο της ορεινής περιοχής της Δίκτης (GR 4320002) έχει ενταχθεί στο οικολογικό δίκτυο Natura 2000 (βλ. Εικόνα 1.9). Συγκεκριμένα, το Οροπέδιο Λασιθίου ανήκει στις λεγόμενες «Ζώνες Ειδικής Προστασίας» (ΖΕΠ) που έχουν θεσμοθετηθεί σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης για την προστασία της φύσης. Πράγματι, η περιοχή έχει μεγάλη οικολογική και αισθητική αξία λόγω της ύπαρξης ενός φάσματος τύπων οικοτόπων. Εκτός από την ένταξή της στο δίκτυο Natura 2000, η περιοχή έχει χαρακτηριστεί και ως καταφύγιο άγριων θηραμάτων (βλ. Εικόνα 1.10).

1.4.2.6 Γεωλογικά χαρακτηριστικά

Το ορεινό συγκρότημα της Δίκτης αποτελείται από ένα πυρήνα σκληρού πορώδους ασβεστόλιθου που περιβάλλεται από χαμηλότερα όρη φυλλιτικής και χαλαζιακής σύστασης. Απαντώνται σε αυτό όλοι οι γεωλογικοί σχηματισμοί της Κρήτης από τους αρχαιότερους γνωστούς κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, μέχρι και τις νεότερες αποθέσεις. Οι απότομοι ασβεστολιθικοί κρημνοί και τα γυμνά πετρώματα έρχονται σε αντίθεση με τους ομαλούς και συνήθως δασωμένους «φυλλιτικούς λόφους».

Στον κάμπο του Οροπεδίου Λασιθίου τα εδάφη έχουν προκύψει ως αποτέλεσμα της διάβρωσης των πετρωμάτων του φλύσχη. Κατά συνέπεια, τα εδάφη είναι πλούσια τόσο σε οξείδια μετάλλων, όσο και σε αργίλιο και διοξείδιο του πυριτίου, καθιστώντας τα, έτσι, τα πιο εύφορα στην ευρύτερη περιοχή.



Εικόνα 1.11 Υδρολιθολογικός χάρτης Κρήτης (Πηγή: ypeka.gr)

1.4.2.7 Ιστορικό ενδιαφέρον

Μεγάλη αρχαιολογική αξία προσφέρουν στο οροπέδιο τα σπήλαια Δίκταιο Άντρο και Κρόνιο ή Σπήλαιο Τράπεζας. Το Δίκταιο Άντρο, όπου η Ρέα γέννησε το Δία, βρίσκεται πάνω από το χωριό Ψυχρό. Πρόκειται για αρχαίο τόπο λατρείας, του οποίου τα ευρήματα φυλάσσονται στο αρχαιολογικό μουσείο του Ηρακλείου. Όσο για το Κρόνιο Σπήλαιο, το οποίο βρίσκεται πλησίον του οικισμού Τζερμιάδο, η παράδοση αναφέρει ότι σε αυτό ζούσε ο Θεός Κρόνος. Χρησιμοποιήθηκε ως κατοικία κατά τη νεολιθική περίοδο και την πρωτομινωική περίοδο, ενώ αργότερα αξιοποιήθηκε για την ταφή των νεκρών.

Το εύφορο έδαφος του οροπεδίου, λόγω των αλλουβιακών αποθέσεων από το λιώσιμο του χιονιού, προσέλκυσε κατοίκους ήδη από τη Νεολιθική εποχή (6000 π.Χ.). Ακολούθησαν οι Μινωίτες και οι Δωριείς με το οροπέδιο να κατοικείται συνεχώς έκτοτε, εκτός από την περίοδο της Ενετοκρατίας στην Κρήτη. Στις αρχές του 15^{ου} αιώνα, για την εξασφάλιση της καλής αποστράγγισης του εδάφους, σχεδιάστηκε από τους Ενετούς ένα μεγάλο σύστημα αποχετευτικών τάφρων (λίνιες), το οποίο εξακολουθεί να χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα για την άρδευση των καλλιεργειών. Οι λίνιες μεταφέρουν το νερό στο Χώνο, μια καταβόθρα στο δυτικό άκρο του οροπεδίου, που τροφοδοτεί τον ποταμό Αποσελέμη.

Το οροπέδιο είναι, τέλος, ευρέως γνωστό για τους γραφικούς πια ανεμόμυλους. Τις δεκαετίες του '50 και του '60 αποτέλεσα ένα από τα πρώτα αιολικά πάρκα της Ευρώπης. Υπήρχαν περίπου 10-13 χιλιάδες ανεμόμυλοι που αντλούσαν τα υπόγεια ύδατα, με τα οποία οι κάτοικοι πότιζαν τις καλλιέργειές τους.



Εικόνα 1.12 Ιστορικοί ανεμόμυλοι Οροπεδίου Λασιθίου



Εικόνα 1.13 Οροπέδιο Λασιθίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Υδρολογική μελέτη λειτουργίας ταμιευτήρα

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται η επεξεργασία των μετρήσεων των υδρομετεωρολογικών σταθμών της περιοχής μελέτης. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα επόμενα:

- Συμπλήρωση και επέκταση των μηνιαίων δειγμάτων βροχής
- Δημιουργία αρχικών γεωγραφικών επιπέδων (υδρογραφικό δίκτυο, λεκάνες απορροής, ψηφιακό μοντέλο εδάφους, υδρομετεωρολογικοί σταθμοί)
- Υπολογισμός των γεωγραφικών χαρακτηριστικών των λεκανών απορροής (έκταση, μέσο υψόμετρο, πολύγωνα Thiessen)
- Υπολογισμός των επιφανειακών μηνιαίων βροχοπτώσεων με βάση σημειακά δείγματα

Στη συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των υδρομετεωρολογικών σταθμών (Ενότητα 2.2) και οι διάφορες επεξεργασίες που τελούνται (Ενότητα 2.3).

2.1 Λεδομένα υδρομετεωρολογικών σταθμών

Στην περιοχή λειτουργούν βροχομετρικοί και υδρομετρικοί σταθμοί της ΥΕΒ, της ΕΜΥ, του ΥΠΓΕ και του ΥΠΕΧΩΔΕ. Αρχικά, έγινε επεξεργασία των σταθμών που βρίσκονται περιμετρικά του Οροπεδίου Λασιθίου, ώστε να εξαχθούν δεδομένα για το Λασιθί και στη συνέχεια για το Οροπέδιο Καθαρού που αποτελεί την περιοχή μελέτης του έργου. Τα χαρακτηριστικά των σταθμών παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 2.1.

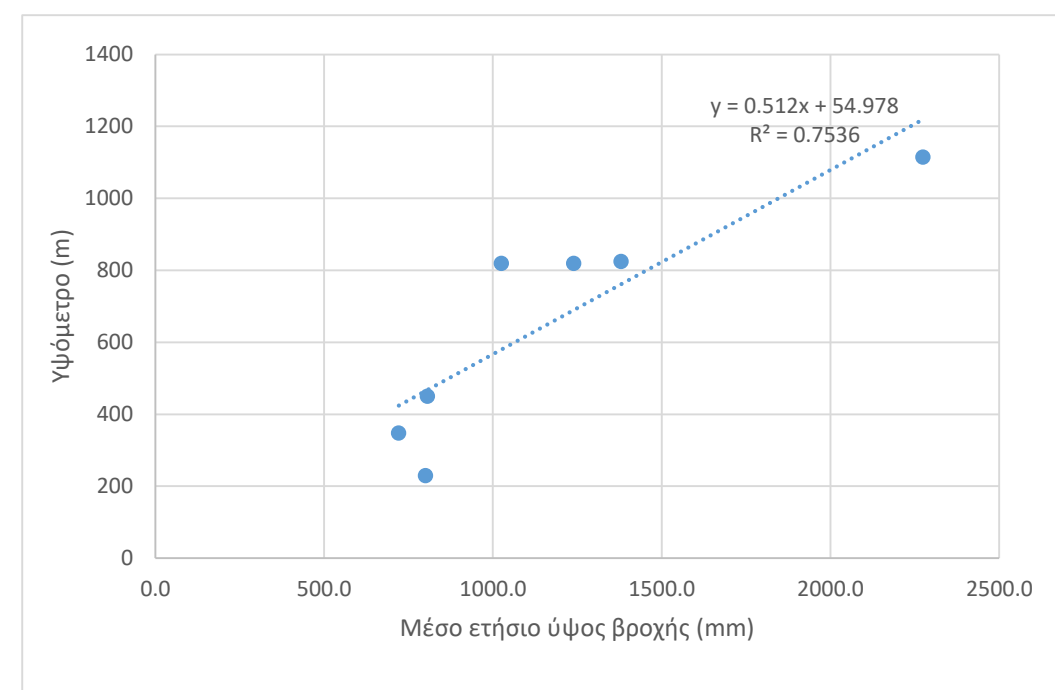
Θέση	Τύπος	Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος	Υψόμετρο (m)	Περίοδος Λειτουργίας	Φορέας
Έξω Ποτάμοι	B	35° 12'	25° 32'	825	1931 - σήμερα	ΥΕΒ
Αβδού	B	35° 14'	25° 26'	230	1964 - σήμερα	ΥΕΒ
Αρμάχα	B	35° 10'	25° 21'	450	1963 - σήμερα	ΥΕΒ
Αγ. Γεώργιος	B	35° 10'	25° 29'	820	1953 - σήμερα	ΥΠΕΧΩΔΕ
Τζερμιάδο	B	35° 12'	25° 29'	820	1936 - σήμερα	ΕΜΥ
Μάλλες	B	35° 05'	25° 35'	590	1963 - σήμερα	ΥΕΒ
Καθαρό	A.B.	35° 14'	25° 37'	1150	1968 - σήμερα	ΥΠΓΕ

2.2 Επεξεργασία βροχομετρικών δεδομένων

Η συμπλήρωση των σημειακών δειγμάτων των σταθμών που είχαν ελλείψεις έγινε με βάση τα αντίστοιχα δείγματα γειτονικών σταθμών με τους οποίους υπήρχε στατιστικά σημαντική συσχέτιση. Ως μέθοδος συμπλήρωσης υιοθετήθηκε η απλή γραμμική παλινδρόμηση. Μόνο ο σταθμός στο Καθαρό παρουσίαζε ελλείψεις, οπότε και έγινε γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ αυτού και του Οροπεδίου Λασιθίου, που προέκυψε από επεξεργασία των υπόλοιπων σταθμών, όπως θα αναλυθεί παρακάτω.

Λεκάνη	Εμβαδόν (km ²)	M.Y.A. (m)	M.Y.Σ. (m)	Σ.Υ.Α. (m)
Οροπέδιο Λασιθίου	130,1	1114,6	791,8	1,158

Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm)	Συντελεστής Thiessen
Έξω Ποταμοί	825	1379,9	0,19
Αβδού	230	800,6	0,04
Αρμάχα	450	806,4	0,02
Τζερμιάδο	820	1239,6	0,21
Αγ. Γεώργιος	820	1025,8	0,54



Διάγραμμα 2.1 Εκτίμηση βροχοβαθμίδας Οροπεδίου Λασιθίου

Η υψομετρική αναγωγή των αρχικών επιφανειακών μηνιαίων βροχοπτώσεων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του συντελεστή υψομετρικής αναγωγής. Ο συντελεστής υψομετρικής αναγωγής εκτιμάται από την σχέση:

$$\mu = \frac{H_r + a(Z_\lambda + Z_r)}{H_r}$$

όπου H_r το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στη λεκάνη σε m, Z_λ το μέσο υψόμετρο της λεκάνης σε m (υπολογίζεται από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους), Z_r το μέσο υψόμετρο των σταθμών σε m (υπολογιζόμενο από τα επιμέρους υψόμετρα με εφαρμογή των συντελεστών Thiessen) και a η βροχοβαθμίδα σε mm/m.

Πίνακας 2.4 Εκτίμηση συντελεστή υψομετρικής αναγωγής		
Μέσο ετήσιο ύψος βροχής	H_r (mm)	1124,6
Βροχοβαθμίδα	a (mm/m)	0,512
Μέσο υψόμετρο σταθμών	Z_r (m)	789,95
Μέσο υψόμετρο λεκάνης	Z_λ (m)	1114,6
Συντελεστής υψ. αναγωγής	μ	1,158

Οι υψομετρικά ανηγμένες επιφανειακές βροχοπτώσεις προέκυψαν πολλαπλασιάζοντας τα αρχικά επιφανειακά δείγματα με το συντελεστή μ .

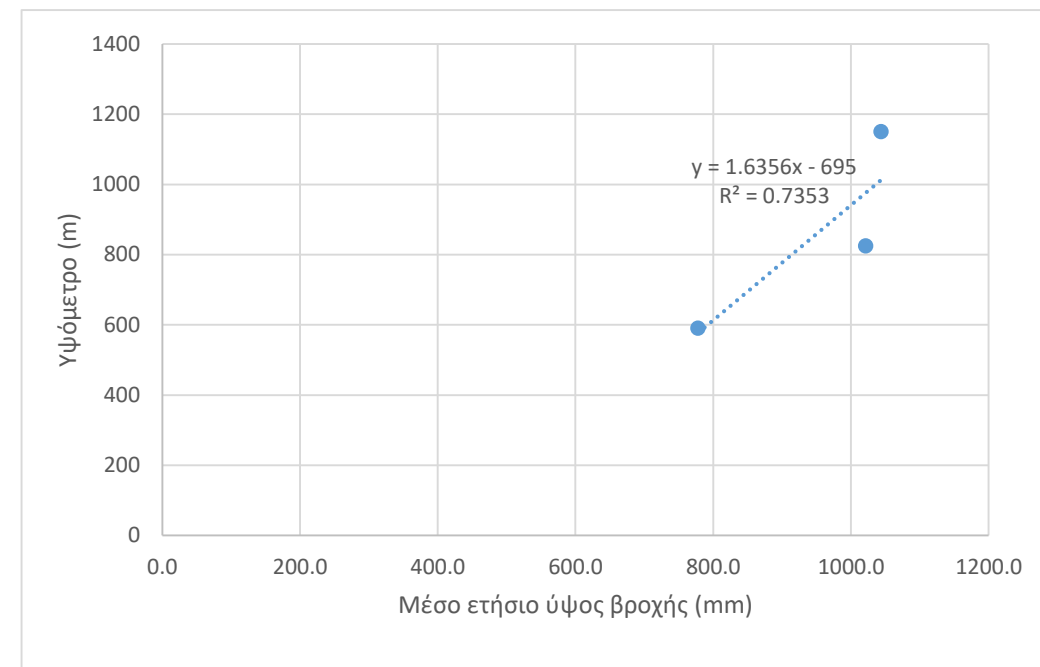
Αφού έχουν βρεθεί οι υψομετρικά ανηγμένες βροχοπτώσεις για το Οροπέδιο Λασιθίου, με γραμμική παλινδρόμηση γίνεται συμπλήρωση των δεδομένων στο Οροπέδιο Καθαρό, του οποίου τα δεδομένα παρουσιάζουν ελλείψεις.

Πραγματοποιούνται τρεις (3) διαφορετικές εκτιμήσεις:

- Συμπεριλαμβάνεται ο σταθμός «Καθαρό» (1969 – 1981)
- Δεν συμπεριλαμβάνεται ο σταθμός «Καθαρό» (1969 – 2004)
- Συμπεριλαμβάνεται ο σταθμός «Καθαρό» και γίνεται γραμμική παλινδρόμηση με το Οροπέδιο Λασιθίου

Στην παρούσα μελέτη αναλύεται η 3^η εκτίμηση, η οποία λαμβάνει υπόψη τα δεδομένα και των δύο σταθμών.

Πίνακας 2.5 Μέσα ετήσια ύψη βροχής και υψόμετρα σταθμών με τον σταθμό «Καθαρό» και με γραμμική παλινδρόμηση του Οροπεδίου Λασιθίου		
Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm)
Οροπέδιο Λασιθίου	825	1021,4
Καθαρό	1150	1043,7
Μάλλες	590	777,9



Διάγραμμα 2.2 Εκτίμηση βροχοβαθμίδας με τον σταθμό «Καθαρό» και με γραμμική παλινδρόμηση του Οροπεδίου Λασιθίου

Πίνακας 2.6 Εκτίμηση συντελεστή υψομετρικής αναγωγής με τον σταθμό «Καθαρό» και με γραμμική παλινδρόμηση του Οροπεδίου Λασιθίου		
Μέσο ετήσιο ύψος βροχής	H_r (mm)	944,1
Βροχοβαθμίδα	a (mm/m)	1,635
Μέσο υψόμετρο σταθμών	Z_r (m)	940
Μέσο υψόμετρο λεκάνης	Z_λ (m)	1155
Συντελεστής υψ. αναγωγής	μ	1,122

Ενώ το υπό μελέτη έργο θα κατασκευαστεί σε ορεινή λεκάνη με έντονες χιονοπτώσεις τους χειμερινούς μήνες, πρέπει να σημειωθεί ότι στην παρούσα μελέτη δεν έχει ληφθεί υπόψη η ποσότητα του χιονιού. Με την παραδοχή ότι λιώνουν οι πάγοι, προστίθεται σαν εισροή στον ταμιευτήρα κατά τους θερινούς μήνες.

2.3 Εκτίμηση βροχόπτωσης σχεδιασμού με πιθανοτική ανάλυση ακραίων βροχοπτώσεων – Όμβριες Καμπύλες

2.3.1 Δεδομένα

Εφαρμόζεται η καθαρώς πιθανοτική προσέγγιση, η οποία ως γνωστόν δεν δέχεται ότι υπάρχει ανώτατο φυσικό όριο στο ύψος βροχής, αλλά ότι σε κάθε τιμή του ύψους βροχής αντιστοιχεί μια μη μηδενική πιθανότητα υπέρβασης. Η μέθοδος εφαρμόζεται στα δείγματα ετήσιων μέγιστων ημερήσιων βροχοπτώσεων του, καθώς και στα δείγματα ετήσιων μέγιστων υψών βροχής μικρότερων διαρκειών, τα οποία καταρτίστηκαν μετά από επεξεργασία των μετρήσεων των βροχογράφων των σταθμών Αγίου Γεωργίου και Αβδού. Λόγω χαμηλής αξιοπιστίας στη διαμόρφωση των όμβριων καμπυλών, λήφθηκαν υπόψη μόνο τα δεδομένα των ετήσιων μέγιστων ημερήσιων βροχοπτώσεων.

2.3.2 Γενική περιγραφή της μεθόδου

Η γενική πιθανοτική μεθοδολογία που ακολουθείται οδηγεί στην κατάρτιση των όμβριων καμπυλών (Κουτσογιάννης, 1997, Koutsoyiannis et. al., 1998, Koutsoyiannis, 1999, Koutsoyiannis and Baloutsos, 2000). Τα γενικά χαρακτηριστικά της συνοψίζονται στα ακόλουθα σημεία:

1. Η γενική συναρτησιακή σχέση όμβριων καμπυλών είναι της μορφής:

$$i = \frac{\alpha(T)}{b(d)}$$

όπου i : μέγιστη ένταση βροχής (mm/h), d : διάρκεια βροχής (h), T : περίοδος επαναφοράς (έτη) και $\alpha(T)$, $b(d)$ κατάλληλες συναρτήσεις της περιόδου επαναφοράς και της διάρκειας, αντίστοιχα (Κουτσογιάννης, 1997).

Η συνάρτηση $b(d)$ είναι της ακόλουθης, εμπειρικά διαπιστωμένης, γενικής μορφής:

$$b(d) = (d + \theta)^\eta$$

όπου θ και η αποτελούν παραμέτρους προς εκτίμηση ($\theta > 0$, $0 < \eta < 1$) (Κουτσογιάννης, 1997).

Η συνάρτηση $\alpha(T)$ προκύπτει αναλυτικά από τη συνάρτηση κατανομής της μέγιστης έντασης βροχής της υπό εξέταση περιοχής, όπως αυτή εξάγεται από την επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων, ενώ αποφεύγεται η χρήση εμπειρικών συναρτήσεων (Κουτσογιάννης, 1997).

2. Μια συνάρτηση κατανομής που αποδεικνύεται κατάλληλη για τη μέγιστη ένταση βροχής σε μεγάλο εύρος περιπτώσεων είναι η κατανομή Γενική Ακραίων Τιμών (ΓΑΤ· διεθνώς General Extreme Value – GEV – distribution). Η κατανομή αυτή ενσωματώνει τις κατανομές ακραίων τιμών τύπου I, II, και III και έχει την έκφραση:

$$F(x) = e^{[-1 + \kappa(\frac{x-\psi}{\lambda})]^{-\frac{1}{\kappa}}}, x \geq \lambda(\psi - \frac{1}{\kappa})$$

όπου $F(x)$ η συνάρτηση κατανομής για τιμές της μεταβλητής x , $\kappa > 0$, $\lambda > 0$ και ψ οι παράμετροι σχήματος, κλίμακας και θέσης, αντίστοιχα.

3. Έπειτα από επίλυση ως προς x και λαμβάνοντας υπόψη και άλλες παραμέτρους (Koutsoyiannis et. al., 1998), καταλήγουμε στην τελική εξίσωση της όμβριας καμπύλης που έχει τη μορφή:

$$i(d, T) = \frac{\lambda' \{ [-\ln(1 - \frac{1}{T})]^{-\kappa} + \psi' \}}{(d + \theta)^\eta}, \kappa \neq 0$$

2.3.3 Εκτίμηση παραμέτρων όμβριων καμπυλών – Τελική έκφραση εξίσωσης

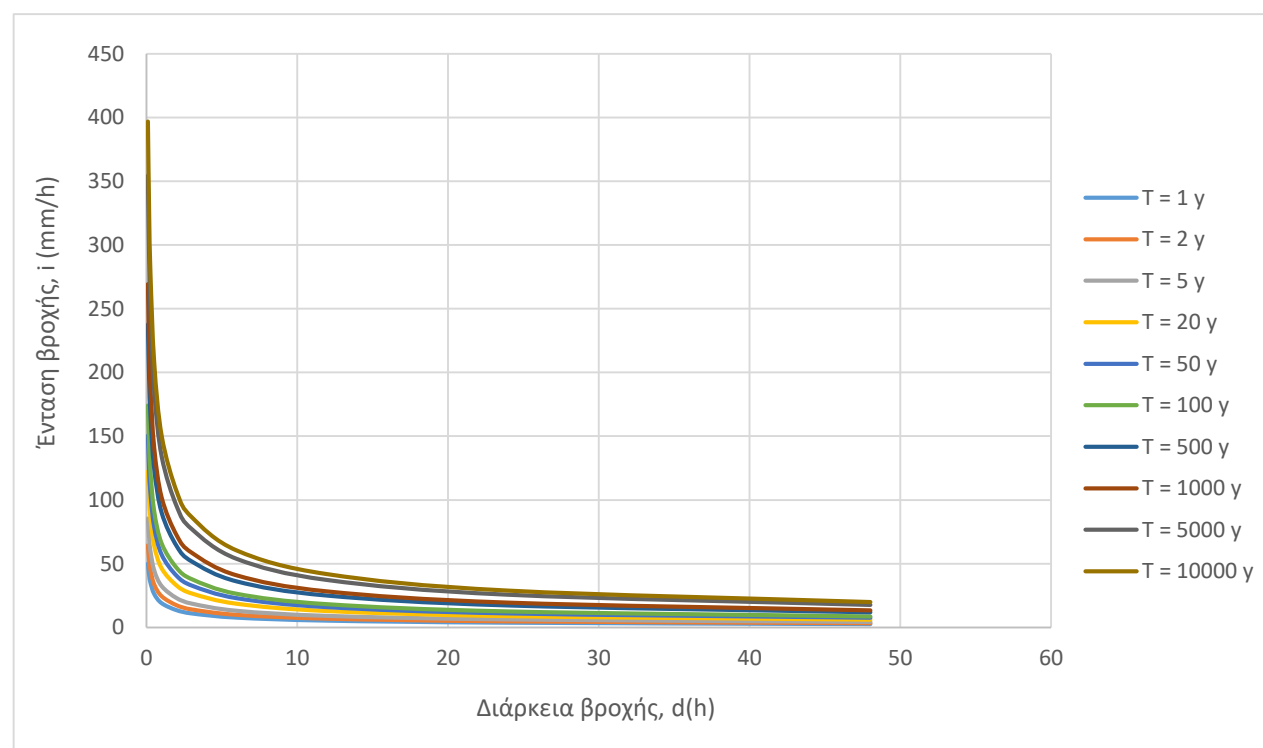
Οι παράμετροι των όμβριων καμπυλών εκτιμήθηκαν με την μέθοδο δύο βημάτων που περιγράφεται από τον Κουτσογιάννη (1997, βλ. και Koutsoyiannis et al., 1998). Οι τελικές τιμές των παραμέτρων φαίνονται στον Πίνακα 2.7.

Πίνακας 2.7 Εκτίμηση παραμέτρων όμβριων καμπυλών	
Παράμετρος	Τιμή
κ	0,15
λ (mm)	8,53
ψ	2,52
λ' (mm)	207
ψ'	-0,61
θ (h)	0,17
η	0,77

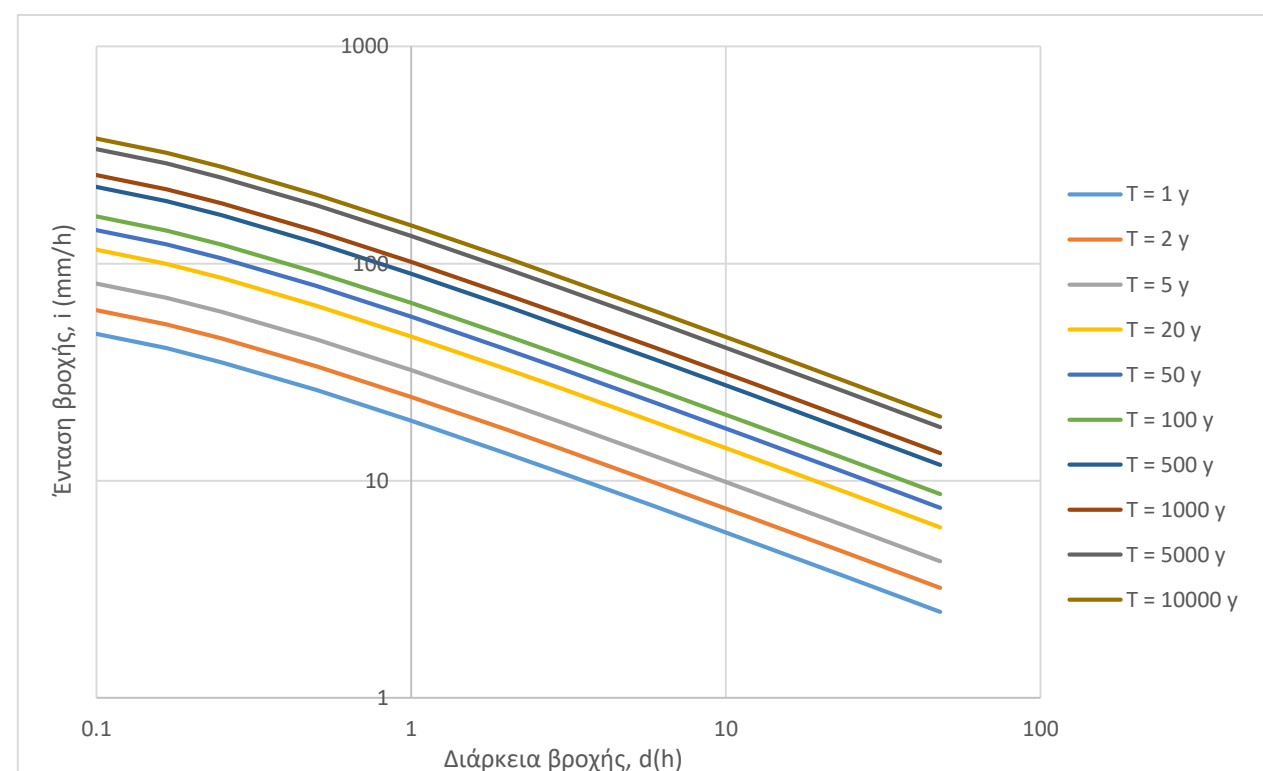
Η τελική έκφραση των όμβριων καμπυλών όπως προκύπτει από τον Πίνακα 2.6 είναι:

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

Οι εντάσεις βροχής που προκύπτουν από την εξίσωση θα πολλαπλασιαστούν με τον συντελεστή επιφανειακής αναγωγής.



Διάγραμμα 2.3 Τελικές όμβριες καμπύλες της περιοχής μελέτης



Διάγραμμα 2.4 Τελικές όμβριες καμπύλες της περιοχής μελέτης σε λογαριθμική κλίμακα

2.3.4 Σύγκριση με όμβριες καμπύλες άλλων περιοχών

Σύμφωνα με την «Υδρολογική μελέτη ισχυρών βροχοπτώσεων στη λεκάνη του Κηφισού» (Δ. Κουτσογιάννης, Ι. Μαρκόνης, Α. Κουκουβίνος, Σ.Μ. Παπαλεξίου, Ν. Μαμάσης, Π. Δημητριάδης), εκτιμήθηκε η ακόλουθη έκφραση όμβριων καμπυλών για την λεκάνη του Κηφισού:

Οι τελικές όμβριες καμπύλες ομαδοποιούνται σε δύο κατηγορίες, ήτοι:

- **Καμπύλες Α:** αντιπροσωπευτικές για το πεδινό τμήμα της λεκάνης του Κηφισού (υψόμετρα μικρότερα των 200 m):

$$i(d, T) = \frac{207(T^{0,15} - 0,61)}{(1 + \frac{d}{0,17})^{0,7}}, (d \text{ σε } h, i \text{ σε } \frac{mm}{h}, T \text{ σε } \acute{\epsilon}\tau\eta)$$

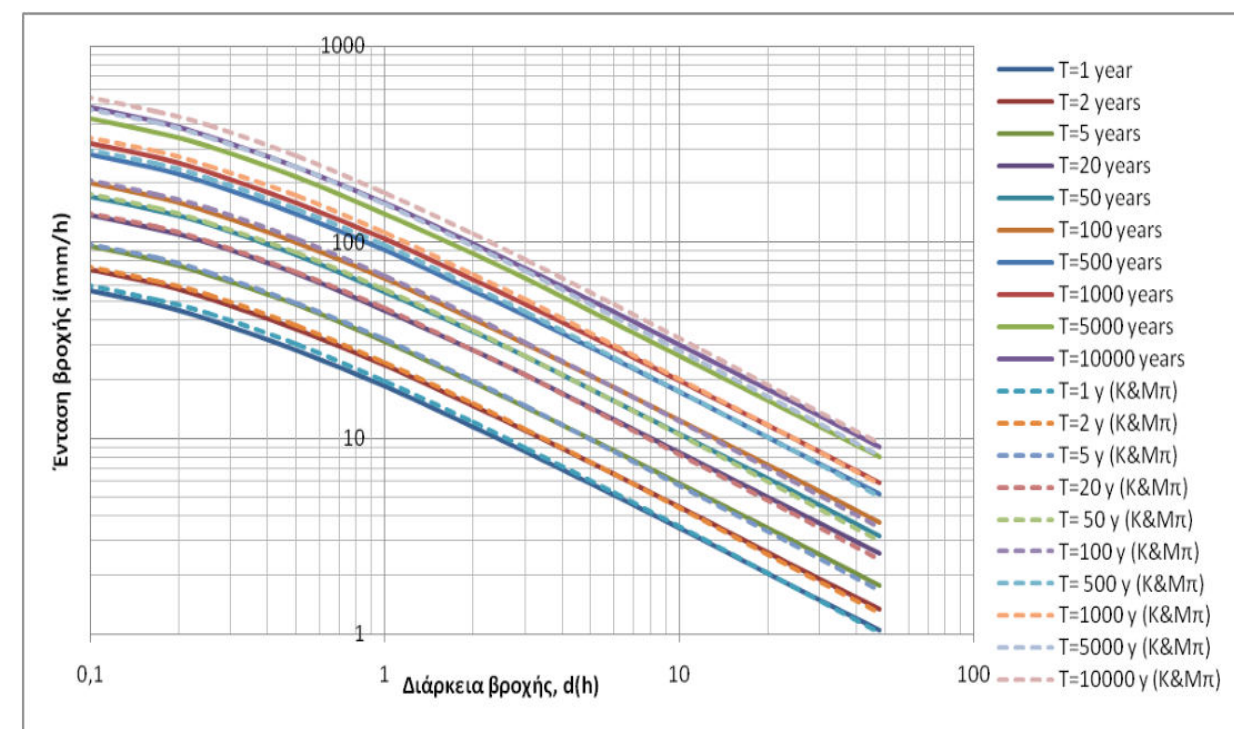
- **Καμπύλες Β:** αντιπροσωπευτικές για το ορεινό και ημιορεινό τμήμα της λεκάνης (υψόμετρα μεγαλύτερα των 200 m):

$$i(d, T) = \frac{260(T^{0,15} - 0,61)}{(1 + \frac{d}{0,17})^{0,7}}, (d \text{ σε } h, i \text{ σε } \frac{mm}{h}, T \text{ σε } \acute{\epsilon}\tau\eta)$$

Μία άλλη εκτίμηση (Koutsoyiannis and Baloutsos, 2000) για την περιοχή της Αθήνας δίνει την εξής καμπύλη:

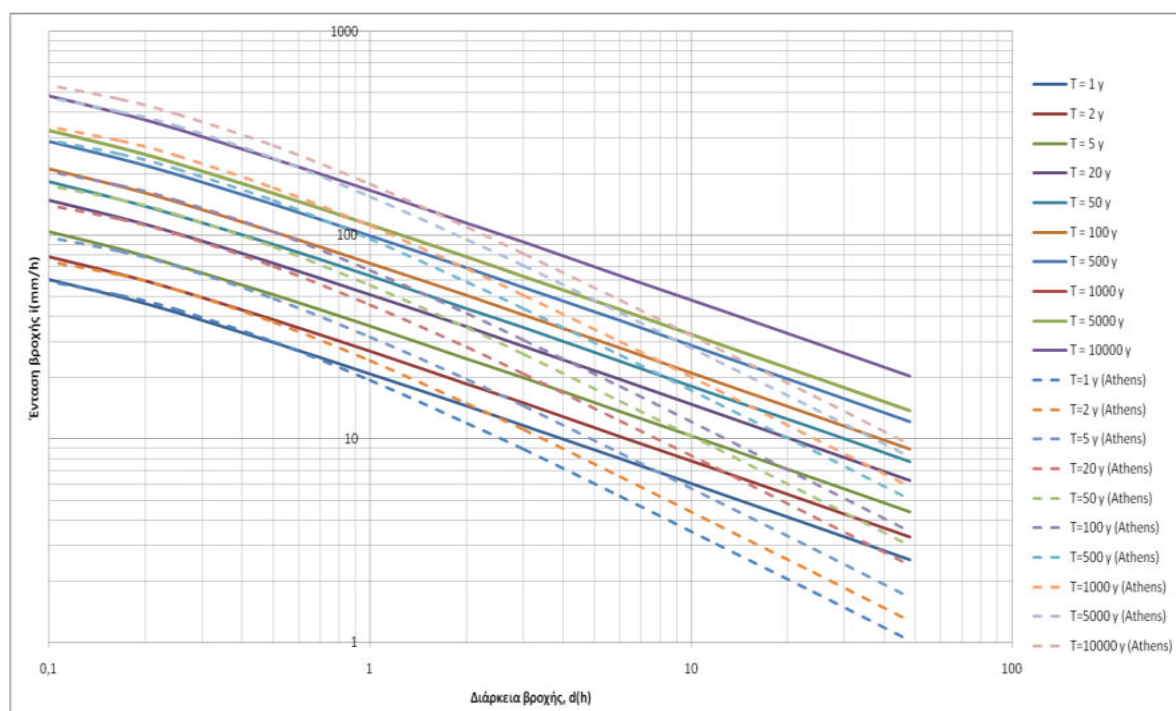
$$i(d, T) = \frac{40,6(T^{0,185} - 0,45)}{(d + 0,189)^{0,796}}, (d \text{ σε } h, i \text{ σε } \frac{mm}{h}, T \text{ σε } \acute{\epsilon}\tau\eta)$$

Η εξαγωγή αυτής της εξίσωσης βασίστηκε αφενός στο δείγμα ετήσιων μέγιστων ημερήσιων βροχοπτώσεων του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, μεγέθους 136 ετών (το μεγαλύτερο σε μέγεθος δείγμα της Ελλάδας) και αφετέρου σε δείγματα ετήσιων μέγιστων βροχοπτώσεων μικρότερων διαρκειών, μεγέθους 30 ετών, του σταθμού Ελληνικού. Παρακάτω παρουσιάζονται τα γραφήματα των όμβριων καμπυλών σε λογαριθμική κλίμακα



Διάγραμμα 2.5 Τελικές όμβριες καμπύλες για τη λεκάνη του Κηφισού και την περιοχή της Αθήνας σε λογαριθμική κλίμακα

Παρακάτω παρουσιάζονται στο ίδιο γράφημα οι καμπύλες της περιοχής του υπό μελέτη έργου (με συμπαγείς γραμμές) και της περιοχής της Αθήνας (με διακεκομμένες γραμμές) για λόγους σύγκρισης.



Διάγραμμα 2.6 Τελικές όμβριες καμπύλες για το έργο (Καθαρό) και για την Αθήνα σε λογαριθμική κλίμακα

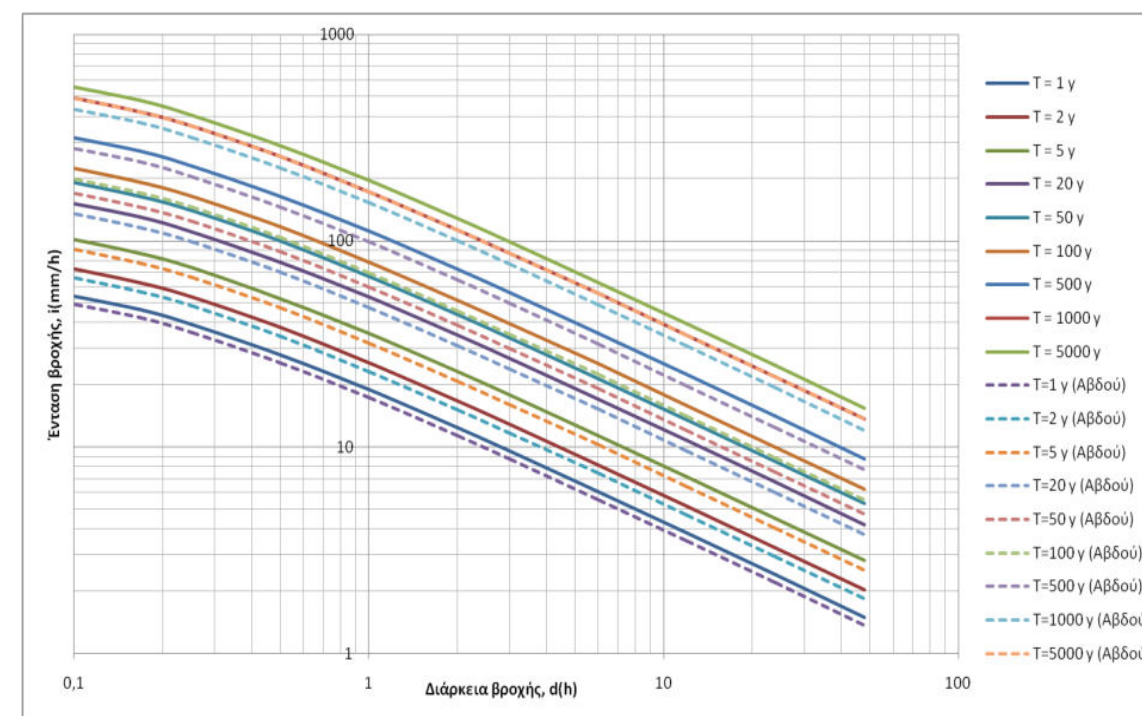
Παρατηρείται ότι για μικρές διάρκειες βροχής, π.χ. 1 h ή λιγότερο, οι δύο ομάδες καμπυλών πρακτικώς ταυτίζονται με εξαίρεση αυτές που αντιστοιχούν σε πολύ μεγάλες περιόδους επαναφοράς, π.χ. 5.000 ετών ή περισσότερο, όπου οι εντάσεις βροχής στην Αθήνα εμφανίζονται δυσμενέστερες. Αντίθετα, για ενδιάμεσες και μεγάλες διάρκειες βροχής, π.χ. μερικών ωρών ή ημερών, οι εντάσεις βροχής στο Καθαρό είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές της Αθήνας, και αυτό για όλες τις περιόδους επαναφοράς.

2.3.5 Σύγκριση με τις δημοσιευμένες παραμέτρους του ΥΠΕΚΑ

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι παράμετροι των καμπυλών, σύμφωνα με τις δημοσιεύσεις του ΥΠΕΚΑ.

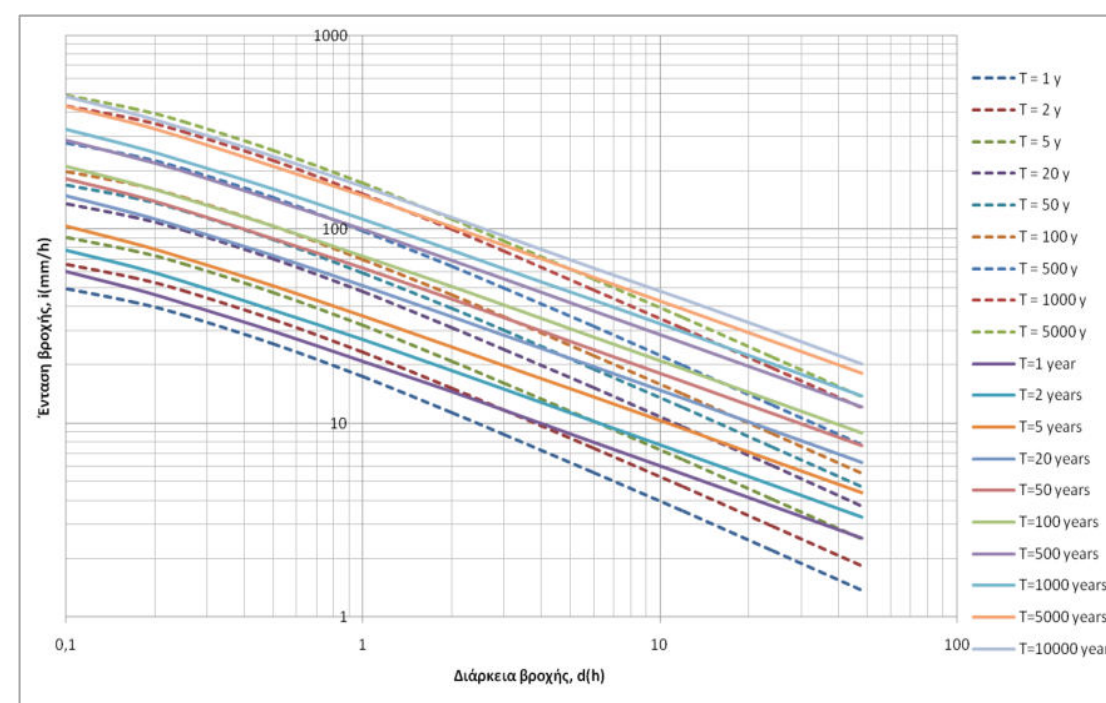
Πίνακας 2.8 Παράμετροι όμβριων καμπυλών (ΥΠΕΚΑ)								
Σταθμός	X	Y	Z	κ	λ'	ψ'	θ	η
Αβδού	630233	3899448	230	0,145	337	0,687	0,093	0,691
Άγ. Γεώργιος	634957,69	3892346	836,4	0,145	383,8	0,7	0,093	0,691
Αρμάχα	622749,8	3891949	450	0,145	311,5	0,515	0,093	0,691
Έξω Ποτάμοι	639586	3895960	840	0,145	746,7	0,695	0,093	0,691
Τζερμιάδες	634838	3895818	0	0,145	450,4	0,509	0,093	0,691

Ενδεικτικά, θα χρησιμοποιηθούν οι σταθμοί «Αβδού» και «Άγ. Γεώργιος» για την κατάρτιση των όμβριων καμπυλών για λόγους σύγκρισης με τις καμπύλες που εξήχθησαν.



Διάγραμμα 2.7 Όμβριες καμπύλες «Άγ. Γεωργίου» (συμπαγείς γραμμές) και «Αβδού» (διακεκομμένες γραμμές) για τις δημοσιευμένες παραμέτρους όμβριων καμπυλών του ΥΠΕΚΑ

Παρατηρείται ότι οι καμπύλες πρακτικώς ταυτίζονται για όλες τις περιόδους επαναφοράς. Τέλος, παρουσιάζονται σε γράφημα οι όμβριες καμπύλες της περιοχής (με χρήση όλων των προαναφερθέντων σταθμών) έναντι των καμπυλών του σταθμού «Αβδού», όπου γίνεται αντιληπτό ότι για μικρές διάρκειες βροχής, π.χ. 1 h ή λιγότερο, οι δύο ομάδες καμπυλών σχεδόν ταυτίζονται, ενώ για ενδιάμεσες και μεγάλες διάρκειες βροχής, π.χ. μερικών ωρών ή ημερών, οι εντάσεις βροχής στο Καθαρό είναι μεγαλύτερες.



Διάγραμμα 2.8 Όμβριες καμπύλες «Καθαρό» (συμπαγείς γραμμές) και «Αβδού» (διακεκομμένες γραμμές)

2.4 Τελικές τιμές εφαρμογής – Επιφανειακή αναγωγή

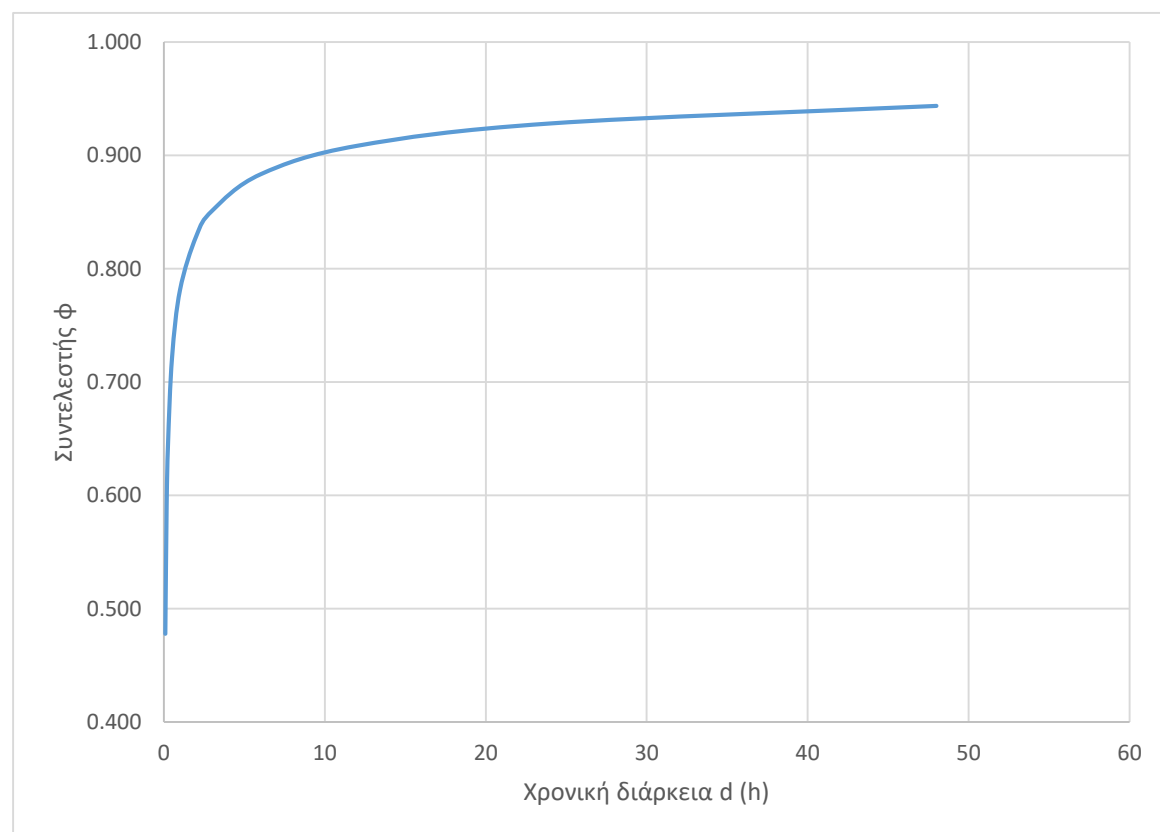
Οι τιμές που προκύπτουν αφορούν τη σημειακή βροχόπτωση και πρέπει να αναχθούν στην επιφάνεια της λεκάνης πολλαπλασιαζόμενες με τον συντελεστή επιφανειακής αναγωγής, φ σύμφωνα με τον τύπο:

$$\varphi = 1 - \frac{0,048A^{0,36-0,01 \ln A}}{d^{0,35}} \geq 0,25$$

όπου A το εμβαδόν της λεκάνης απορροής, που αντιστοιχεί σε 8 km².

Για διάρκεια 24 ωρών ο συντελεστής επιφανειακής αναγωγής είναι $\varphi = 0,968$. Για μικρότερες και μεγαλύτερες διάρκειες βροχής οι τιμές του συντελεστή φαίνονται στον Πίνακα 2.9.

d (h)	φ
0,083	0,768
0,1667	0,818
0,25	0,842
0,5	0,876
1	0,903
2	0,924
3	0,934
6	0,948
12	0,959
24	0,968
48	0,975



Διάγραμμα 2.9 Τιμές του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής, φ

2.5 Μετεωρολογικές παράμετροι λεκάνης

2.5.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία που λήφθηκε υπόψη προέρχεται από μετρήσεις του σταθμού «Τζερμιάδο» της ΕΜΥ για την χρονική περίοδο 1962 – 1982. Η μεγαλύτερη θερμοκρασία παρατηρείται τον Ιούλιο (20,1°C), ενώ η ελάχιστη τον Ιανουάριο (5,7 °C). Κατά την 20ετία 1962-82 οι ακραίες τιμές της θερμοκρασίας είναι οι εξής:

Μέγιστη τιμή θερμοκρασίας	22 °C	Ιούλιος, 1973
Ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας	4,2 °C	Φεβρουάριος, 1982

Ο σταθμός «Τζερμιάδο» βρίσκεται σε υψόμετρο 820 m, ενώ η λεκάνη απορροής του υπό μελέτη έργου σε υψόμετρο 1150 m. Η θερμική βαθμίδα είναι ίση με 6,5 °C ανά 1000 m, άρα για διαφορά ύψους 330 m (= 1150 m – 820 m), η θερμοκρασία στο Καθαρό μειώνεται κατά 3,03 °C. Παρακάτω παρουσιάζονται οι τελικές (διορθωμένες) τιμές της θερμοκρασίας για το Οροπέδιο Καθαρού.

Υδρ. Έτος	Σεπτ.	Οκτ.	Νοεμ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβρ.	Μαρτ.	Απρ.	Μάι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.
1961-62										16,2	18,0	17,8
1962-63	14,6	11,3	11,4	5,7	4,6	5,2	4,5	7,4	10,5	15,9	17,3	18,1
1963-64	14,7	11,8	7,6	6,8	1,0	2,3	6,2	7,5	11,0	15,2	16,1	16,2
1964-65	12,3	13,0	7,3	5,3	3,1	2,5	5,1	8,6	11,2	16,5	18,3	15,7
1965-66	14,4	8,3	7,6	5,4	3,4	5,2	5,1	9,5	11,5	15,6	17,6	17,8
1966-67	13,3	13,4	9,9	4,4	1,8	1,3	3,3	8,1	11,7	15,3	16,1	17,1
1967-68	14,2	10,5	7,1	5,5	1,6	4,6	3,7	10,0	14,2	16,7	17,9	17,7
1968-69	14,4	9,6	7,8	4,8	2,0	5,1	5,4	5,8	12,6	17,7	15,6	16,3
1969-70	15,2	9,4	7,6	5,7	4,6	4,9	6,6	9,9	11,6	15,6	16,8	17,1
1970-71	13,4	9,5	6,8	4,3	5,5	3,1	6,0	7,9	13,2	17,4	15,8	16,5
1971-72	14,0	8,8	7,7	3,2	2,8	3,4	4,1	9,9	11,3	16,1	16,9	17,0
1972-73	15,9	10,4	6,1	2,3	2,4	4,0	4,8	7,6	12,3	15,8	19,0	15,5
1973-74	14,6	11,5	5,3	5,6	1,1	3,5	4,8	7,8	12,1	16,5	16,7	16,1
1974-75	14,1	13,6	6,5	3,2	1,7	2,0	7,1	9,2	12,7	15,5	16,7	15,6
1975-76	14,2	10,5	7,1	3,2	2,1	1,3	3,9	8,1	12,1	14,4	16,4	15,2
1976-77	14,0	11,2	6,9	4,8	3,1	5,6	4,3	7,9	13,1	16,2	18,5	17,3
1977-78	13,4	8,8	10,5	2,9	2,8	5,6	4,6	8,9	14,2	16,6	17,3	15,3
1978-79	13,4	10,3	4,9	5,2	3,4	4,8	6,9	7,9	11,7	15,6	16,3	17,1
1979-80	13,9	11,9	7,4	4,0	1,9	1,3	4,3	7,0	12,5	16,4	18,3	16,9
1980-81	12,9	13,3	8,6	3,8	1,5	2,6	6,9	9,1	10,8	17,0	16,8	16,4
1981-82	13,6	13,0	5,8	6,7	3,9	1,2	3,6	8,8				

2.5.2 Σχετική υγρασία

Η σχετική υγρασία μετριέται, επίσης, στον σταθμό «Τζερμιάδο» της ΕΜΥ. Στον Πίνακα 2.12 παρουσιάζονται οι μετρήσεις, ενώ στον Πίνακα 2.13 οι χαρακτηριστικές τιμές αυτών.

Υδρ. Έτος	Σεπτ.	Οκτ.	Νοεμ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβρ.	Μαρτ.	Απρ.	Μάι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.
1961-62										59	59	61
1962-63	68	84	72	78	75	75	77	79	82	65	71	63
1963-64	75	78	87	76	88	82	81	70	76	71	70	68
1964-65	76	61	77	83	87	82	80	70	72	63	61	71
1965-66	69	84	75	80	84	80	78	67	71	74	65	72
1966-67	85	81	80	86	83	89	86	77	75	67	72	71
1967-68	77	83	86	78	85	78	80	71	70	69	58	63
1968-69	76	89	84	82	89	76	83	83	75	60	73	69
1969-70	75	90	82	84	87	80	79	70	67	68	75	72
1970-71	78	83	84	83	86	64	73	77	73	68	75	75
1971-72	78	83	83	89	87	85	87	74	75	72	75	77
1972-73	92	83	88	91	92	86	82	79	73	72	66	78
1973-74	73	81	89	83	90	83	86	74	70	66	67	73
1974-75	79	71	87	90	89	88	68	75	71	69	75	68
1975-76	77	81	89	91	84	82	84	67	68	66	68	61
1976-77	68	77	84	81	83	70	75	68	62	59	59	63
1977-78	79	80	70	87	82	70	77	66	56	56	60	65
1978-79	73	80	88	81	78	76	75	71	72	70	67	69
1979-80	69	77	80	82	80	88	79	76	61	60	53	67
1980-81	77	63	76	82	84	81	69	66	66	60	66	
1981-82	73	73	79	73	79	84	78	69				

Μέση ετήσια υγρασία	76%
Μέγιστη μέση μηνιαία	85% (Ιανουάριος)
Ελάχιστη μέση μηνιαία	66%(Ιούνιος)
Παρατηρηθείσα μέγιστη μηνιαία	92% (Ιανουάριος, 1973)
Παρατηρηθείσα ελάχιστη μηνιαία	53% (Ιούλιος, 1980)

2.5.3 Ηλιοφάνεια

Επειδή σε κανέναν διαθέσιμο σταθμό δεν γίνονται συστηματικές μετρήσεις των ωρών της ηλιοφάνειας, τα στοιχεία που έχουν ληφθεί υπόψη είναι ενδείξεις και δίνουν ποσοτικά τις ημέρες που ο καιρός είναι αίθριος και τις μέρες που έχει συννεφιά. Από τις ενδείξεις αυτές μπορεί ένα εξαχθεί ένας μέσος όρος του ποσοστού των αίθριων και των μη νεφοσκεπών ημερών, ώστε να υπολογιστεί ένας ενδεικτικός λόγος n/N, όπου n: οι πραγματικές ώρες και N: οι δυνητικές ώρες ηλιοφάνειας (το ποσοστό αυτό είναι απαραίτητο για τον υπολογισμό της εξατμοδιαπνοής που πραγματοποιείται σε επόμενη ενότητα).

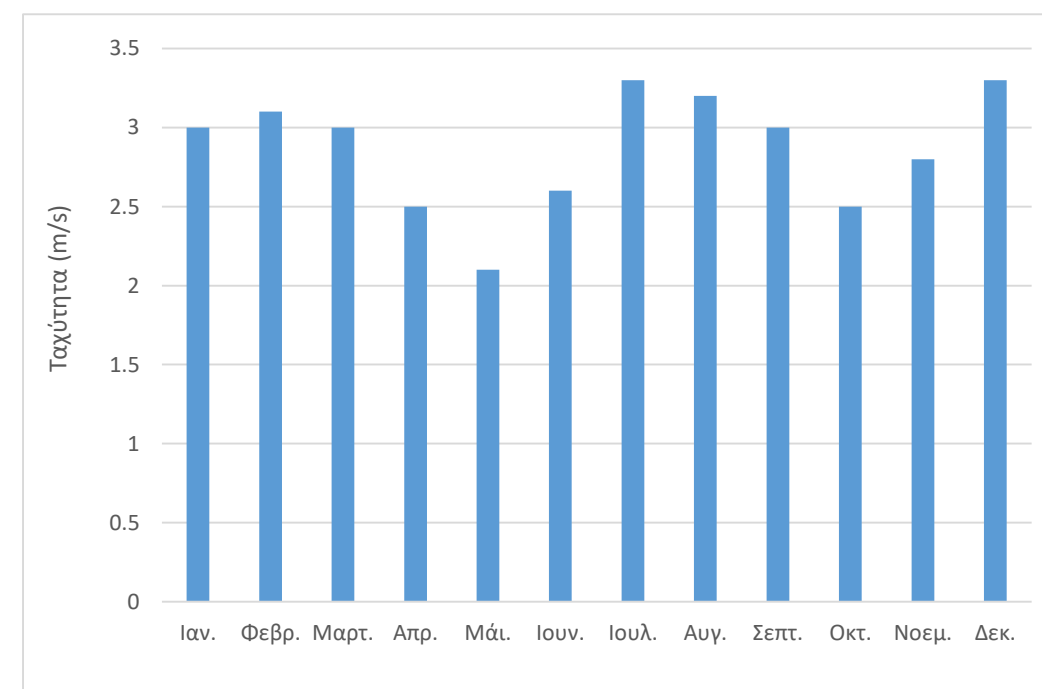
Στον Πίνακα 2.14 παρουσιάζεται ο λόγος n/N ενδεικτικά για κάθε μήνα.

n/N (%)	Σεπτ.	Οκτ.	Νοεμ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβρ.	Μαρτ.	Απρ.	Μάι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.
	0,69	0,53	0,44	0,34	0,29	0,33	0,44	0,48	0,64	0,82	0,84	0,74

2.5.4 Άνεμος

Για το οροπέδιο του Καθαρού δεν υπάρχουν διαθέσιμα ανεμολογικά δεδομένα. Για το λόγο αυτό εκτιμάται προσεγγιστικά η μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου από τα διαθέσιμα δεδομένα της Ιεράπετρας (δεδομένα 4 ετών) και του Ηρακλείου (δεδομένα 21 ετών).

Μήνας	Άνεμος (m/s)
Ιαν.	3
Φεβρ.	3,1
Μαρτ.	3
Απρ.	2,5
Μάι.	2,1
Ιουν.	2,6
Ιουλ.	3,3
Αυγ.	3,2
Σεπτ.	3
Οκτ.	2,5
Νοεμ.	2,8
Δεκ.	3,3



Διάγραμμα 2.10 Μέσες μηνιαίες ταχύτητες ανέμου σε m/s (αναγωγή στα 2 m)

2.5.5 Εξατμοδιαπνοή

Λόγω έλλειψης εξατμισομέτρων στην περιοχή μελέτης, η εξατμοδιαπνοή μπορεί μόνο να εκτιμηθεί μέσω εμπειρικών μεθόδων. Στην υπόψη μελέτη παρουσιάζονται δύο μέθοδοι και γίνεται σύγκριση μεταξύ αυτών.

- Μέθοδος Penman – Monteith
- Μέθοδος Thornthwaite

Η μέθοδος Penman – Monteith είναι αρκετά αξιόπιστη και έχει ευρεία εφαρμογή. Αντίθετα, η μέθοδος Thornthwaite είναι λιγότερη ακριβής, το οποίο οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι ως δεδομένα εισάγονται μόνο η μέση μηνιαία θερμοκρασία και το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

Εξατμοδιαπνοή με τη μέθοδο Thornthwaite

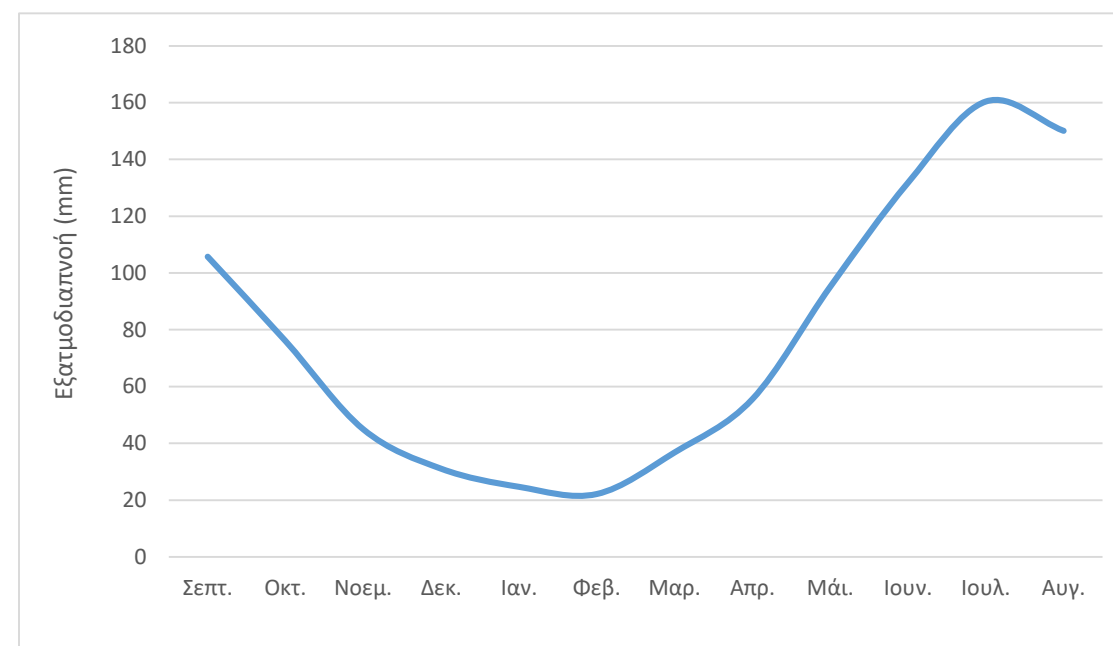
Η εξίσωση που χρησιμοποιείται είναι η εξής:

$$E_p = 16 \left(\frac{10t_i}{J} \right)^{\alpha} \frac{\mu N}{360}$$

- **E_p**: δυνητική εξατμοδιαπνοή (mm/μήνα)
- **t_i**: μέση μηνιαία θερμοκρασία σε °C
- **μ**: αριθμός των ημερών
- **N**: μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας
- **J**: ετήσιος δείκτης θερμοκρασίας
- **α**: εμπειρική παράμετρος, που εξαρτάται από τον δείκτη J

Ύστερα από υπολογισμούς (με γεωγραφικό πλάτος της περιοχής τις 35°) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στον Πίνακα 2.16:

Πίνακας 2.16 Δυνητική εξατμοδιαπνοή με τη μέθοδο Thornthwaite							
Μήνας	t _i	j _i	(PE) _x	μ	P	N	PE
Σεπτ.	23,7	10,38401	103,9184	30	8,36	12,2056	105,6989
Οκτ.	20,3	8,231644	76,72322	31	7,88	11,5048	76,00902
Νοεμ.	16,8	6,197356	52,95421	30	6,97	10,1762	44,90605
Δεκ.	13,8	4,613825	36,01797	31	6,855	10,0083	31,04122
Ιαν.	12,1	3,788092	27,83922	31	7,045	10,2857	24,65756
Φεβ.	12,2	3,835149	28,29179	28	6,885	10,0521	22,11937
Μαρ.	13,6	4,513889	35,00234	31	8,355	12,1983	36,76678
Απρ.	16,6	6,087019	51,72612	30	8,825	12,8845	55,53876
Μάι.	20,4	8,292544	77,46548	31	9,765	14,2569	95,10262
Ιουν.	24,5	10,91419	110,9024	30	9,765	14,2569	131,7603
Ιουλ.	26,4	12,20811	128,3794	31	9,935	14,5051	160,3524
Αυγ.	26,3	12,13881	127,4284	31	9,365	13,6729	150,0328



Διάγραμμα 2.11 Διάγραμμα εξατμοδιαπνοής με τη μέθοδο Thornthwaite

Εξατμοδιαπνοή με τη μέθοδο Penman - Monteith

Η εξίσωση είναι της μορφής:

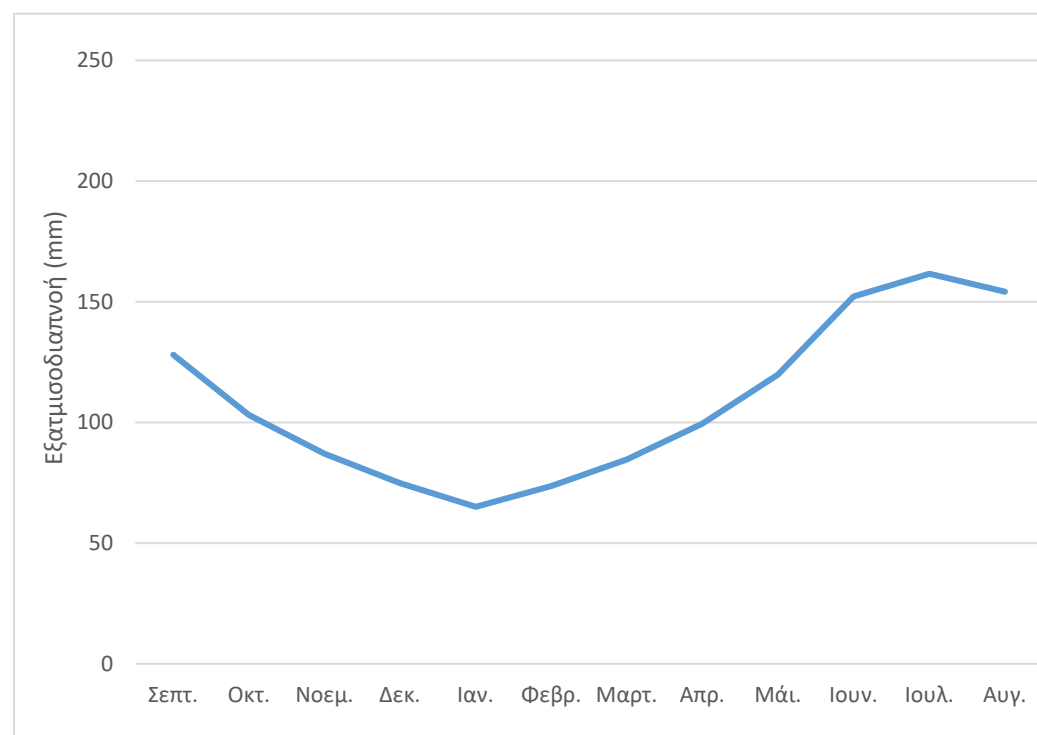
$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} F(u)$$

- **γ**: ψυχομετρικός συντελεστής (hPa/°C)
- **Δ**: κλίση της καμπύλης κορεσμού των υδρατμών (hPa/°C)
- **R_n**: ολική καθαρή ενέργεια ακτινοβολίας (kJ/(m²d))
- **λ**: λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (kJ/kg)
- **F(u)**: συνάρτηση ταχύτητας του ανέμου (kg/(hPa*m²d))
- **D**: έλλειμμα κορεσμού των υδρατμών (hPa)

Αναλυτικά οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν βρίσκονται στο Παράρτημα Α. Ακολούθως, παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.16 η συνολική εξατμοδιαπνοή καθ' όλη τη διάρκεια της 20ετίας.

Πίνακας 2.17
Συνολική εξατμοδιαπνοή 20ετίας

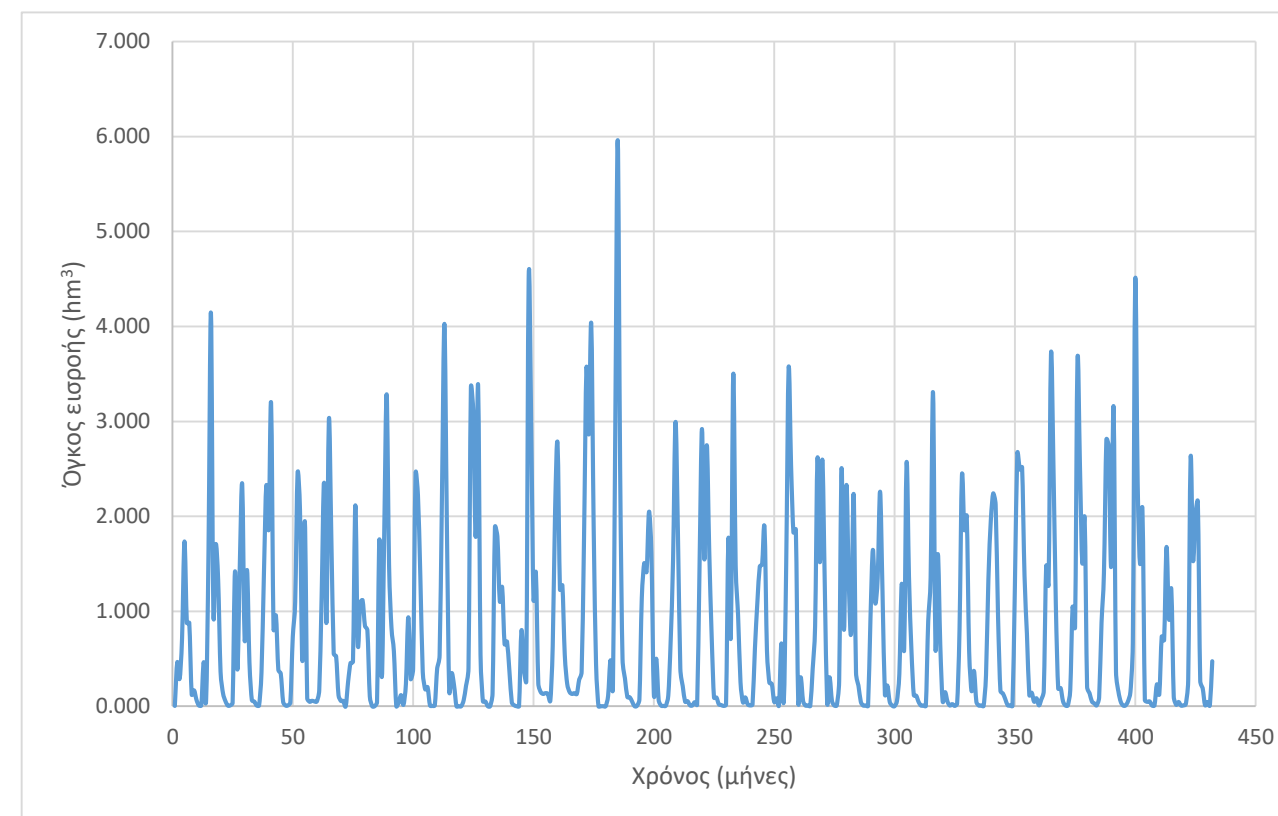
Υδρ. Έτος	Σεπτ.	Οκτ.	Νοεμ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβρ.	Μαρτ.	Απρ.	Μάι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.
1961-62										55,1	66,3	61,5
1962-63	139,8	98,4	107,3	82,3	78,0	82,4	84,8	90,8	104,3	152,8	156,3	162,2
1963-64	130,9	106,0	82,2	87,2	58,4	68,7	85,4	99,3	111,2	143,5	154,5	149,6
1964-65	123,3	127,7	91,3	76,2	63,7	69,2	83,6	102,4	115,5	157,0	174,2	144,0
1965-66	137,9	91,5	94,1	79,5	67,0	77,6	85,4	107,9	117,3	140,9	166,1	147,9
1966-67	114,7	106,3	94,7	71,2	64,2	60,6	73,6	94,4	114,0	148,7	151,6	147,7
1967-68	127,0	97,7	82,0	81,7	62,1	78,0	79,9	105,3	125,3	150,0	177,6	161,0
1968-69	128,8	89,6	85,6	76,0	59,7	81,2	81,5	83,2	116,2	164,3	148,8	148,4
1969-70	132,1	88,2	87,1	76,1	66,9	76,9	88,4	106,0	121,4	148,3	149,0	146,2
1970-71	123,7	95,3	83,3	73,8	69,8	86,5	92,7	93,9	119,7	153,1	146,5	140,4
1971-72	125,2	93,7	86,4	65,7	63,1	68,7	74,7	102,0	112,9	144,6	149,3	138,7
1972-73	110,8	97,4	77,9	61,9	58,1	69,2	80,9	91,3	117,5	143,9	168,4	133,7
1973-74	133,2	102,0	75,2	76,9	57,1	70,7	77,2	96,5	119,9	153,2	160,6	142,2
1974-75	124,2	118,1	79,7	64,8	59,1	63,0	100,9	99,2	120,5	146,8	148,8	147,9
1975-76	127,0	99,7	79,1	63,8	64,1	66,3	76,9	103,9	121,9	147,3	158,2	156,4
1976-77	138,0	105,6	83,5	77,0	67,2	88,3	86,0	102,4	130,7	161,2	177,9	159,9
1977-78	122,5	96,6	107,1	66,8	67,4	88,3	85,0	107,2	140,0	166,2	172,7	151,2
1978-79	130,0	100,3	75,2	78,0	72,2	80,4	93,2	99,5	116,9	145,8	159,4	150,6
1979-80	136,5	107,3	88,6	74,1	66,9	61,4	82,4	92,5	129,9	160,5	186,5	152,9
1980-81	123,7	126,4	95,7	73,6	62,7	70,3	99,3	107,7	120,1	162,3	162,3	247,4
1981-82	130,6	114,4	85,5	90,1	72,6	64,5	81,4	104,0				
Μ.Ο.	128	103	87	75	65	74	85	99	120	152	162	154



Διάγραμμα 2.12 Διάγραμμα εξατμοδιαπνοής με τη μέθοδο Penman - Monteith

2.6. Εκτίμηση εισροών στον ταμιευτήρα

Εφ' όσον έχει εκτιμηθεί η εξατμοδιαπνοή, είναι δυνατός ο υπολογισμός του όγκου που εισέρχεται στον ταμιευτήρα από τη λεκάνη απορροής. Λόγω των γεωλογικών σχηματισμών, θεωρείται ότι διαφεύγει υπόγεια ένα 5% του όγκου της βροχής, οπότε η απορροϊκή βροχή λαμβάνεται ίση με το 95% της εκτιμώμενης. Από την απορροϊκή βροχή αφαιρείται η εξατμοδιαπνοή που έχει υπολογιστεί και έτσι προκύπτει ο όγκος εισροής (η λεκάνη απορροής έχει επιφάνεια $A = 8 \text{ km}^2$). Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται ο μηνιαίος όγκος εισροής της λεκάνης απορροής.



Διάγραμμα 2.13 Όγκος εισροής (hm^3) κατά τα έτη 1965-2001

2.7 Εκτίμηση πλημμύρας σχεδιασμού – Μοναδιαίο υδρογράφημα

Για την εκτίμηση των πλημμυρών σχεδιασμού υιοθετήθηκε η μέθοδος του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Πιο συγκεκριμένα, για την κατάρτιση του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος χρησιμοποιήθηκαν για λόγους πληρότητας τρεις (3) μέθοδοι:

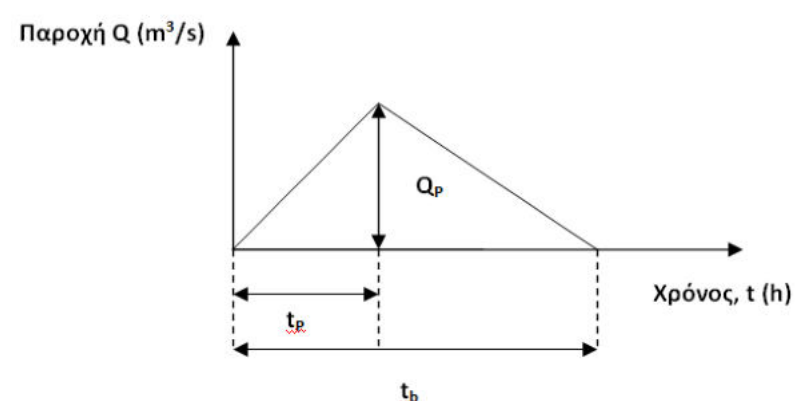
- Μέθοδος με εκτίμηση του χρόνου συγκέντρωσης μέσω του τύπου του Giandotti
- Μέθοδος του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας
- Μέθοδος Soil Conservation Service (SCS)

Μέθοδος με εκτίμηση του χρόνου συγκέντρωσης μέσω του τύπου του Giandotti

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει ευρεία εφαρμογή στον Ελλαδικό χώρο. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα δεδομένα για την εύρεση της παροχής αιχμής Q_p . Ο χρόνος συγκέντρωσης (t_c), όπως αναφέρθηκε, υπολογίζεται από τον τύπο του Giandotti και είναι:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{\Delta H}}$$

Έκταση	A (km ²)	8
Μήκος	L (km)	2,5
Υψομετρική Διαφορά	ΔH (m)	165
Χρόνος συγκέντρωσης	t_c (h)	1,47
Διάρκεια βροχής	d (h)	0,17
Χρόνος ανόδου	t_p (h)	0,96
Χρόνος βάσης	t_b (h)	2,57
Χρόνος υστέρησης	t_l (h)	0,88
Μοναδιαίο ύψος βροχής	h_0 (m)	0,01
Παροχή αιχμής	Q_p (m³/s)	17,29



Σχήμα 2.1 Παροχή αιχμής και χρόνος ανόδου

Ο χρόνος ανόδου (t_p) προκύπτει από τον τύπο:

$$t_p = 0,6t_c + \frac{d}{2}$$

όπου d η διάρκεια βροχής, που λαμβάνεται σε αυτήν την περίπτωση ίση με 10 min (= 0,167 h).

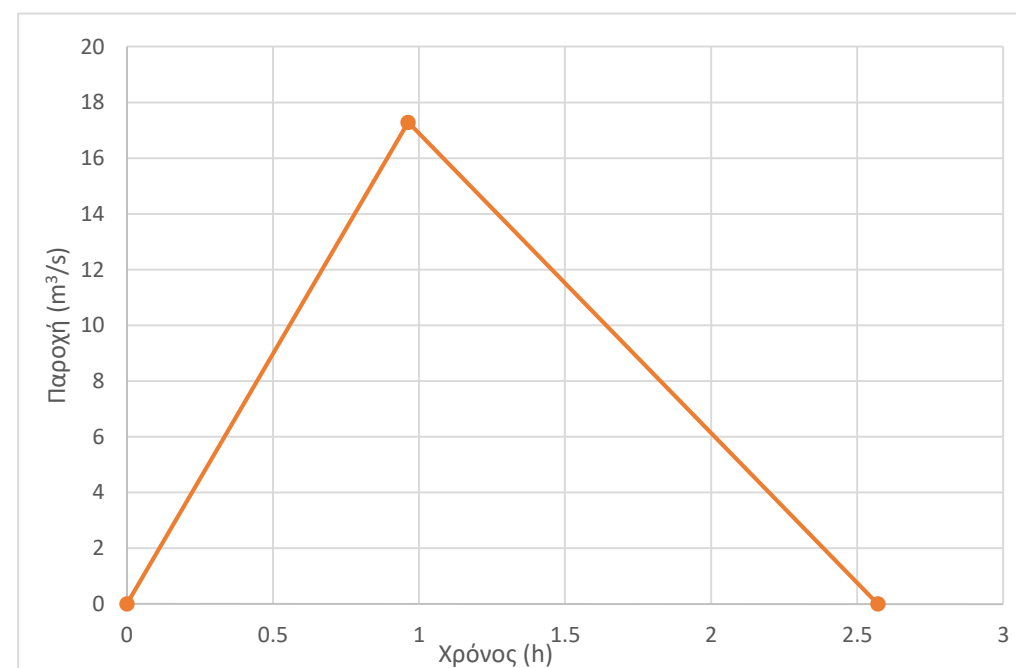
Ο χρόνος βάσης (t_b) ισούται με:

$$t_b = 2,57t_p$$

Τέλος, αν A η έκταση της λεκάνης απορροής, τότε η πλημμυρική παροχή αιχμής προκύπτει εύκολα με εφαρμογή της εξίσωσης συνέχειας (όγκος υετογραφήματος = όγκος πλημμυρογραφήματος), και δίνεται σε διαστατικά ομογενή μορφή από τη σχέση:

$$Q_p = \frac{2h_0A}{t_b}$$

όπου h_0 το μοναδιαίο ύψος βροχής (= 10 mm). Έτσι, προκύπτει το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα:



Διάγραμμα 2.14 Συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα (Giandotti)

Μέθοδος Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας

Η μέθοδος του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας χρησιμοποιεί τοπογραφικά, υδρολογικά και άλλα δεδομένα της λεκάνης. Πιο συγκεκριμένα, το Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας (Sutcliffe, 1978) συνιστά τη σύνθεση μοναδιαίου υδρογραφήματος (για διάρκεια βροχής d = 1 h) τριγωνικής μορφής με χρόνο ανόδου:

$$t_p = \frac{46,6 L^{0,14}}{S_{1085}^{0,38} (1 + URBAN)^{1,99} RSMD^{0,4}}$$

και διάρκεια πλημμύρας (ή χρόνο βάσης) (t_b):

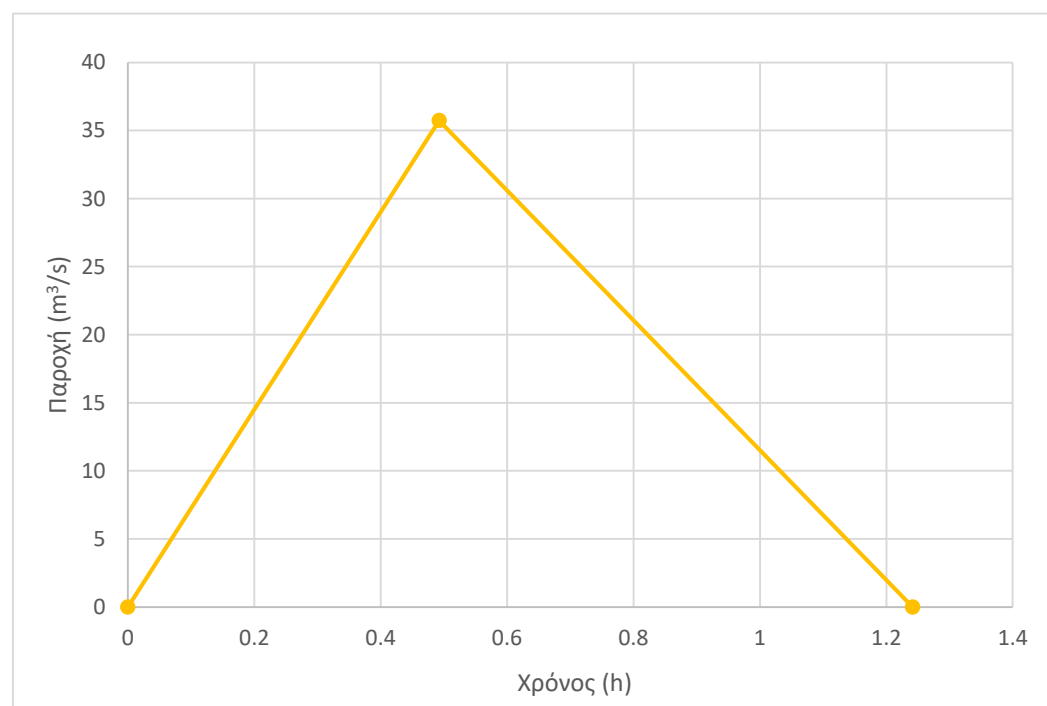
$$t_b = 2,52t_p$$

όπου:

- **L**: το μήκος της κύριας μισγάγκειας σε km
- **S₁₀₈₅**: η μέση κλίση υδατορεύματος σε m/km που υπολογίζεται μεταξύ των σημείων 10% και 85% του μήκους του
- **URBAN**: η αναλογία των αστικών περιοχών μέσα στη λεκάνη απορροής (στην προκειμένη περίπτωση θεωρήθηκε ίση με 0)
- **RSMD**: παράμετρος μεγέθους βροχοπτώσεων, που πρακτικά για ορεινές ή ημιορεινές λεκάνες απορροής είναι ίση με το ύψος της μέγιστης 24ωρης βροχής για περίοδο επαναφοράς 5 ετών (σε mm)

Αντίστοιχα με πριν, η πλημμυρική παροχή προκύπτει από την εξίσωση ενέργειας.

Πίνακας 2.19 Εκτίμηση Q _p με τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας		
Έκταση	A (km ²)	8
Μήκος	L (km)	2,5
Υψόμετρο στο 10% του υδατορέματος	H _{10%} (m)	1150
Υψόμετρο στο 85% του υδατορέματος	H _{85%} (m)	1160
Μέση κλίση	S ₁₀₈₅ (m/km)	5,33
Αναλογία αστικών περιοχών	URBAN	0
Ύψος βροχής για T = 5 y	RSMD (mm)	142,30
Χρόνος ανόδου	t _p (h)	0,49
Χρόνος βάσης	t _b (h)	1,24
Παροχή αιχμής	Q_p (m³/s)	35,72



Διάγραμμα 2.15 Συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα (Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας)

Μέθοδος Soil Conservation Service (SCS)

Όσον αφορά το μοναδιαίο υδρογράφημα κατά SCS, πρόκειται για υδρογράφημα τριγωνικής μορφής για το οποίο ισχύουν οι εξής σχέσεις:

$$t_a = t_L + \frac{d}{2}$$

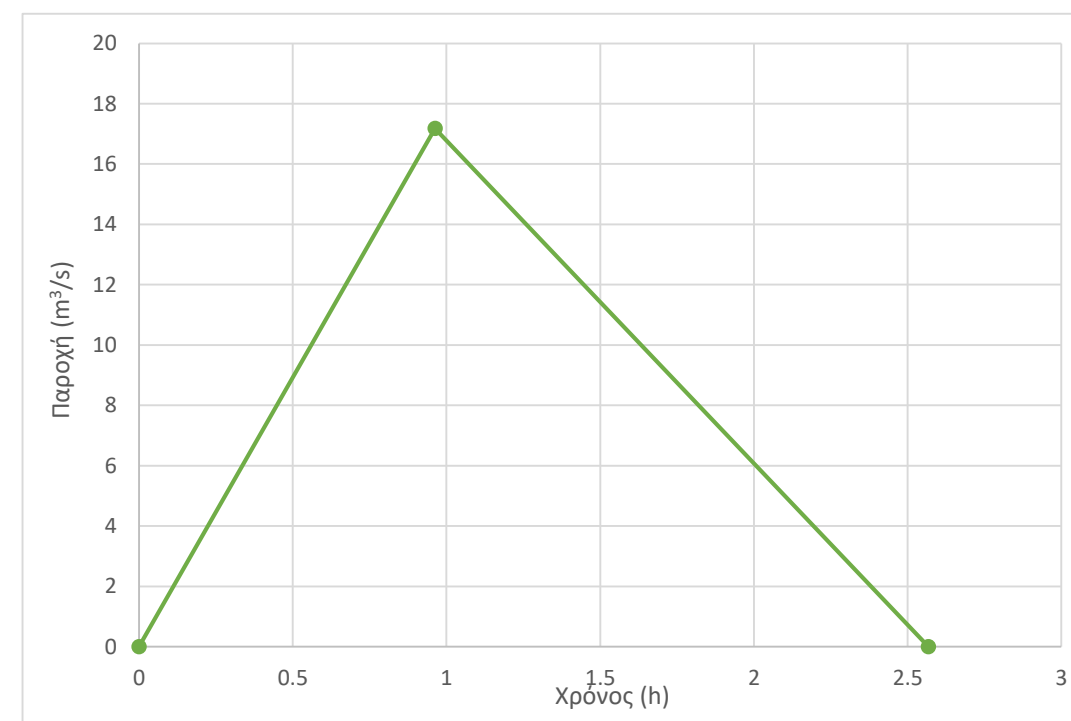
$$t_L = 0,6t_c$$

$$t_k = \frac{5}{3}t_a$$

$$Q_p = 0,75CiA$$

όπου C ο συντελεστής απορροής και i η ολική ένταση βροχής (mm/h). Το εν λόγω υδρογράφημα είναι κατάλληλο για μικρής κλίμακας λεκάνες, όπως η λεκάνη του υπό μελέτη έργου (Κουτσογιάννης, 2011).

Πίνακας 2.20 Εκτίμηση Q _p με τη μέθοδο SCS		
Έκταση	A (km ²)	8
Χρόνος ανοδου	t _a (h)	0,96
Διάρκεια βροχής	d (h)	0,17
Χρόνος συγκέντρωσης	t _i (h)	0,88
Χρόνος καθόδου	t _k (h)	1,60
Συντελεστής απορροής	C	0,3
Ολική ένταση βροχής	i (mm/h)	34,36
Παροχή αιχμής	Q_p (m³/s)	17,18



Διάγραμμα 2.16 Συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα (Soil Conservation Service, SCS)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η πρώτη και η τρίτη μέθοδος φαίνεται ότι συγκλίνουν και δίνουν τα ίδια αποτελέσματα, ενώ η μέθοδος του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας φαίνεται πως δίνει υπερδιαστασιολογημένα αποτελέσματα. Επομένως, τα πλημμυρογραφήματα θα καταρτιστούν για παροχή αιχμής $Q_p = 17,3 \text{ m}^3/\text{s}$, όπως αυτή προέκυψε από τη μέθοδο Giandotti.

2.8 Καταιγίδα σχεδιασμού

Για την κατάρτιση της καταιγίδας σχεδιασμού θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος των εναλασσόμενων μπλοκ (*alternating block method*· Sutcliffe, 1978, σσ. 31-35, Chow et al., 1988, σ. 466). Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζονται τα τμηματικά ύψη βροχής των επιμέρους διαρκειών με βάση την καμπύλη ύψους - διάρκειας βροχής (όμβρια καμπύλη) της υπό μελέτη λεκάνης, που αντιστοιχεί στην περίοδο επαναφοράς μελέτης. Τα τμηματικά ύψη βροχής διατάσσονται στη συνέχεια κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να προκύπτει ο δυσμενέστερος δυνατός συνδυασμός, δηλαδή αυτός που προκαλεί τη δυσμενέστερη αιχμή της παραγόμενης πλημμύρας.

Όταν υιοθετείται αυτή η μέθοδος κατάρτισης της καταιγίδας σχεδιασμού, η διάρκεια βροχής θεωρείται σημαντικό πολλαπλάσιο (αρκετά μεγαλύτερο του διπλάσιου) του χρόνου υστέρησης της λεκάνης. Για την παρούσα μελέτη υιοθετήθηκε ολική διάρκεια βροχής 10 ωρών ($t_L = 0,88 \text{ h}$).

2.9 Απώλειες – Ωφέλιμη Βροχή

Για το διαχωρισμό υδρολογικών ελλειμμάτων και καθαρού υετογραφήματος στο ολικό υετογράφημα, χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εμπειρική σχέση του Αμερικανικού Soil Conservation Service (SCS).

Η Soil Conservation Service έχει αναπτύξει μία ευρέως χρησιμοποιούμενη διαδικασία, που χρησιμοποιεί τον αριθμό καμπύλης CN για τον υπολογισμό της απορροής. Σε αυτήν ενσωματώνονται οι επιδράσεις της χρήσης γης και εκμετάλλευσης της γης. Η διαδικασία αναπτύχθηκε εμπειρικά από μελέτες σε μικρές καλλιεργήσιμες λεκάνες.

Η μέθοδος υπολογίζει το ενεργό ύψος βροχής (h_e σε mm), δηλαδή την ποσότητα βροχής που απορρέει επιφανειακά, σύμφωνα με τη σχέση:

$$h_e = \begin{cases} 0, & h \leq 0,2S \\ \frac{(h - 0,2S)^2}{h + 0,8S}, & h > 0,2S \end{cases}$$

όπου h το συνολικό ύψος βροχής σε mm.

Το S είναι μία παράμετρος που συνδέεται με τον αριθμό καμπύλης CN (Curve Number) σύμφωνα με την σχέση:

$$S \text{ (mm)} = 254 \left(\frac{100}{\text{CN}} - 1 \right)$$

Η διαδικασία SCS περιλαμβάνει την επιλογή μιας καταιγίδας και τον υπολογισμό της άμεσης απορροής με τη χρήση καμπύλων που δημιουργήθηκαν από μελέτες πεδίου, σχετικά με το ποσό της παρατηρημένης απορροής για διάφορους εδαφικούς συνδυασμούς. Ο αριθμός καμπύλης CN κυμαίνεται από 0 έως 100 και εξάγεται από πίνακες ανάλογα με τον τύπο εδάφους και την υδρολογική κατάσταση. Τα εδάφη κατατάσσονται στις κατηγορίες A, B, C και D ανάλογα με τα ακόλουθα κριτήρια:

- **Ομάδα A:** Εδάφη με υψηλούς ρυθμούς διήθησης ακόμα και αν διαβραχούν διεξοδικά (πολύ χαμηλό δυναμικό απορροής). Συνήθως περιέχουν πλήρως στραγγιζόμενες άμμους ή χαλίκια.
- **Ομάδα B:** Εδάφη με μέτριους ρυθμούς διήθησης, όπως για παράδειγμα αμμώδης πηλός.
- **Ομάδα C:** Εδάφη με χαμηλούς ρυθμούς διήθησης, όπως είναι εδάφη με σημαντικό ποσοστό αργίλου.
- **Ομάδα D:** Εδάφη με πολύ μικρούς ρυθμούς διήθησης (πολύ υψηλό δυναμικό απορροής). Συνήθως περιλαμβάνουν αργιλώδη εδάφη με υψηλή πιθανότητα διόγκωσης ή ρηχά εδάφη πάνω σε σχεδόν αδιαπέρατο υλικό.

Ένας σύνθετος αριθμός καμπύλης (CN), για μία λεκάνη που περιλαμβάνει περισσότερες από μία χρήσεις γης ή τύπο εδάφους. Μπορεί, δε, να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας κάθε επιμέρους αριθμό καμπύλης με το συντελεστή που προκύπτει από το ποσοστό της επιφάνειας.

Οι αριθμοί καμπύλης διαχωρίζονται και ανάλογα με τις υπάρχουσες συνθήκες εδαφικής υγρασίας. Τέτοιες συνθήκες είναι οι εξής:

- **Κατάσταση I:** Η κατάσταση κατά την οποία τα εδάφη είναι στεγνά, αλλά όχι στο σημείο μόνιμης μάρανσης και όταν λαμβάνει χώρα ικανή άρση ή καλλιέργεια.
- **Κατάσταση II:** Η μέση περίπτωση για ετήσιες πλημμύρες, δηλαδή ένας μέσος όρος των συνθηκών που προηγήθηκαν της μέγιστης ετήσιας πλημμύρας σε αρκετές λεκάνες απορροής.
- **Κατάσταση III:** Αν έντονη βροχόπτωση ή ελαφρά βροχόπτωση και χαμηλές θερμοκρασίες έχουν συμβεί τις τελευταίες 5 ημέρες πριν τη δεδομένη καταιγίδα και το έδαφος είναι σχεδόν κορεσμένο.

Μερικές ενδεικτικές τιμές του αριθμού καμπύλης CN για την υδρολογική κατάσταση II δίνονται σε πίνακα του Παραρτήματος Α. Οι αριθμοί που αντιστοιχούν στις συνθήκες υγρασίας I και III, μπορούν να υπολογιστούν με τις παρακάτω σχέσεις, συναρτήσεων του αριθμού CN για την εδαφική κατάσταση II:

$$CN_I = \frac{0,42CN_{II}}{1 - 0,0058CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{2,3CN_{II}}{1 + 0,013CN_{II}}$$

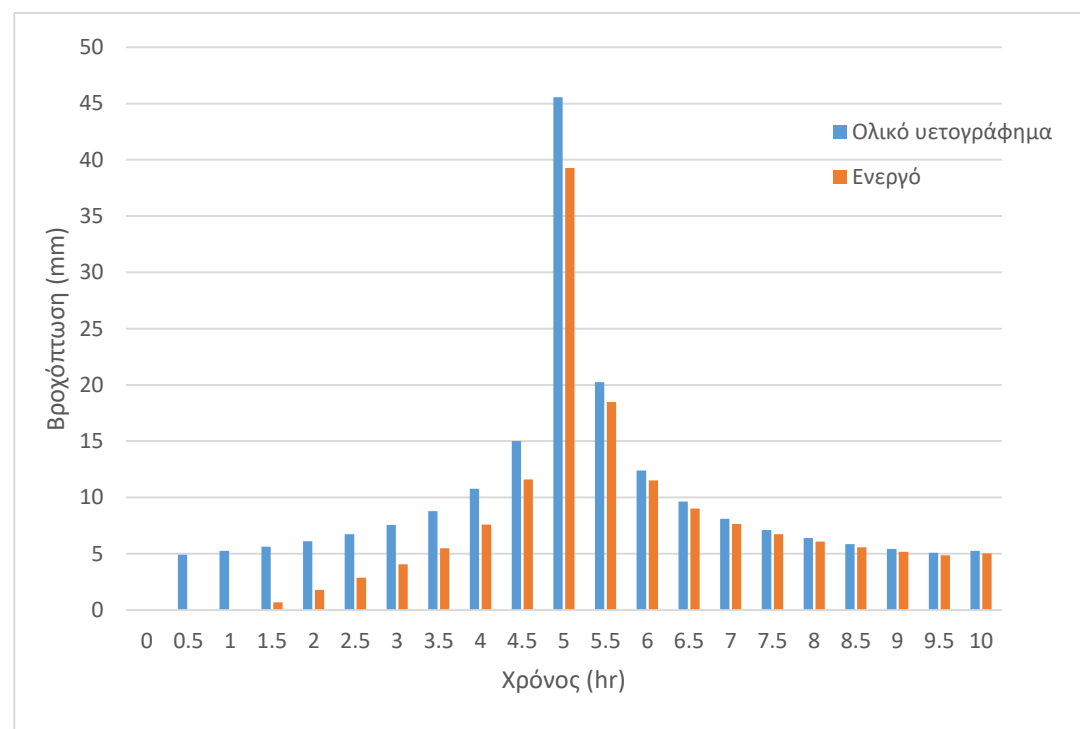
Η υπό μελέτη περιοχή θεωρείται ότι ανήκει στην ομάδα D ανάλογα με το έδαφος και στην κατηγορία II ανάλογα με τις συνθήκες υγρασίας. Από τα παραπάνω, εκτιμάται ότι ο αριθμός CN ισούται με 84, **CN = 84**.

2.10 Υπολογισμοί και αποτελέσματα

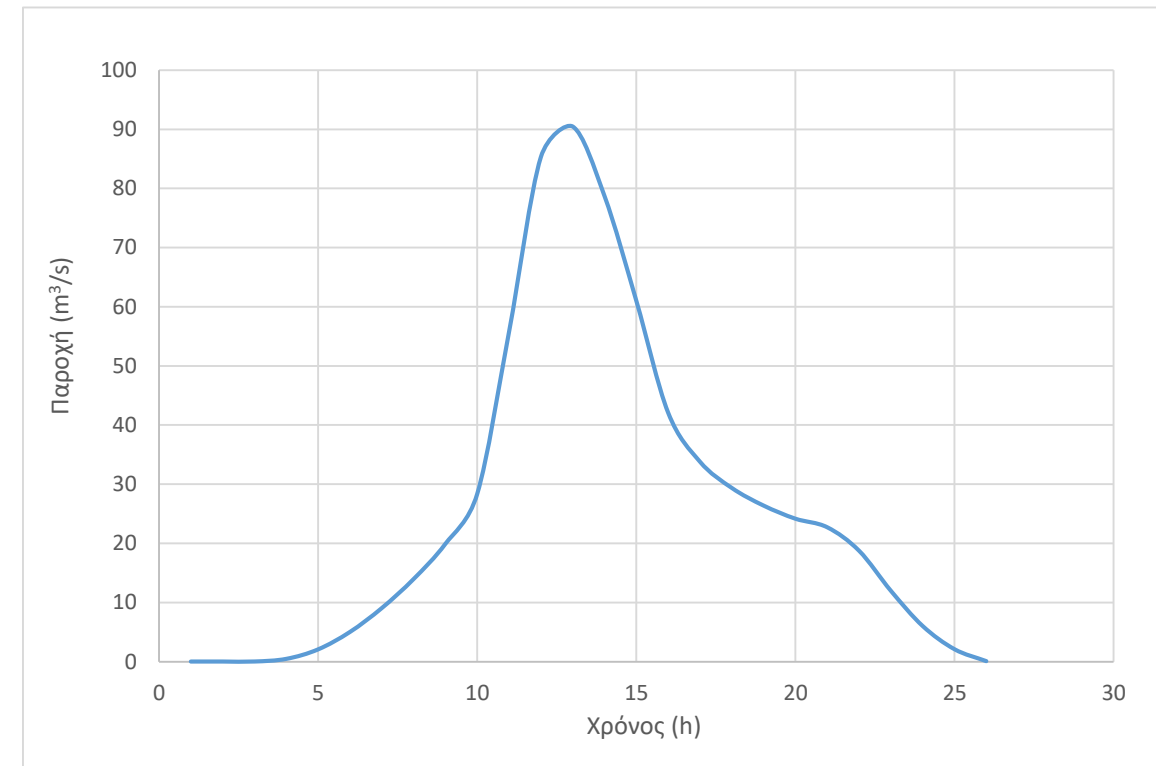
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου για την κατάρτιση των πλημμυρογραφήματων, τα οποία εξήχθησαν μέσω υπολογιστικού προγράμματος Excel. Αρχικά, κατάρτιστηκε το νετογράφημα σχεδιασμού, στη συνέχεια υπολογίστηκε το ωφέλιμο νετογράφημα και σε συνδυασμό με το μοναδιαίο νετογράφημα εξήχθη το πλημμυρογράφημα. Ενδεικτικά, παρουσιάζεται ο υπολογισμός για περίοδο επαναφοράς 100 ετών, ενώ στο Παράρτημα Β παρουσιάζονται αναλυτικά οι υπολογισμοί και για τους υπόλοιπους χρόνους επαναφοράς.

Πίνακας 2.21 Αποτελέσματα μεθόδου	
Μέθοδος κατάρτισης νετογραφήματος	Εναλλασσόμενα blocks
Διάρκεια βροχής D (h)	10
Χρονικό βήμα υπολογισμού d (h)	0,5
Αριθμός καμπύλης απωλειών CN	84
Παράμετρος S (mm)	48,38
Ολικό σημειακό ύψος βροχής H (mm)	210,45
Ολικό επιφανειακό ύψος βροχής H' (mm)	201,32
Καθαρό ύψος βροχής H'' (mm)	153,45
Ολικές απώλειες (%)	23,95

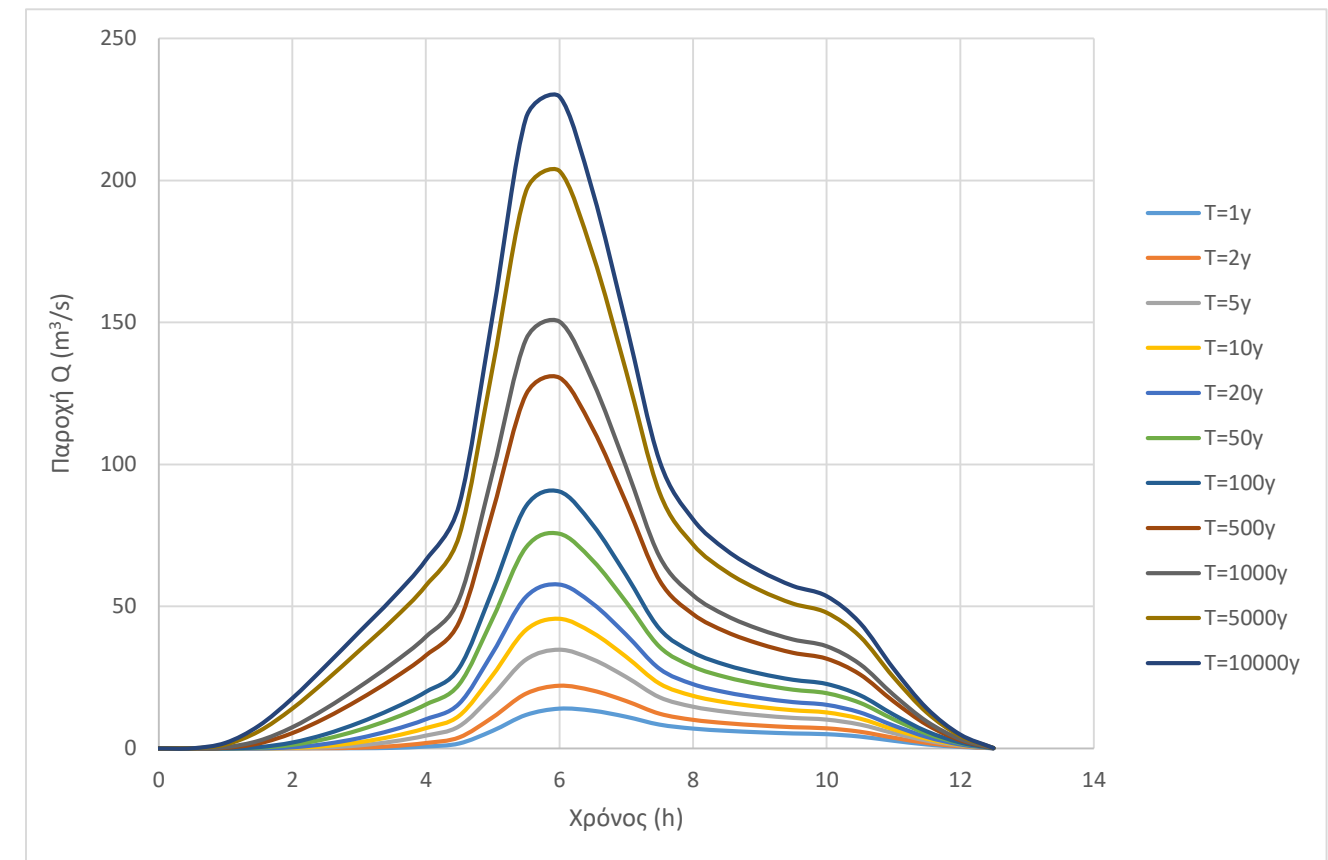
Πίνακας 2.22 Όμβρια καμπύλη	
λ	67,17
ψ	0,68
θ	0,05
η	0,55
k	0,127
T (έτη)	100
d (hr)	1
CN	84
S	48,38
0,2S	9,68



Διάγραμμα 2.17 Υετόγραμμα για T = 100 έτη



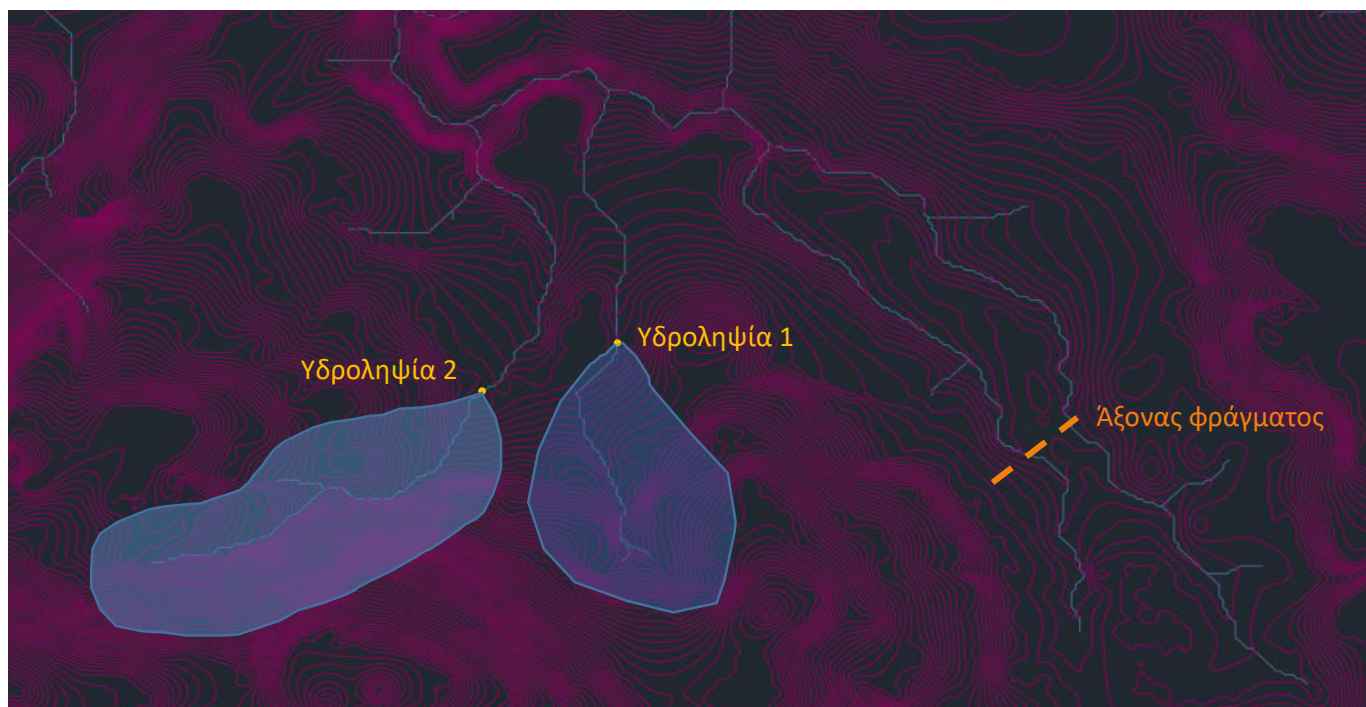
Διάγραμμα 2.18 Πλημμυρογράφημα για T = 100 έτη



Διάγραμμα 2.19 Πλημμυρογράφημα για όλες τις περιόδους επαναφοράς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ανοικτά κανάλια συλλογής νερού από γειτονικές υπολεκάνες και μεταφορά στον κύριο ταμιευτήρα

Στο πλαίσιο της περαιτέρω αξιοποίησης του υδατικού δυναμικού της ευρύτερης περιοχής, μελετήθηκε η σύνδεση γειτονικών υδρολογικών λεκανών απορροής με τον υπόψη ταμιευτήρα στο Οροπέδιο Καθαρού. Διερευνήθηκε, έτσι, η ύπαρξη άλλων ενεργών ρεμάτων σε εγγύτητα απόστασης με τον άξονα του φράγματος. Όπως φαίνεται και στον *Χάρτη 3.1* με το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, επιλέχθηκαν οι θέσεις «Υδροληψία 1» και «Υδροληψία 2».



Χάρτης 3.1 Υδρογραφικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής του ταμιευτήρα του υπό μελέτη φράγματος

Ο προσδιορισμός των θέσεων της υδροληψίας έγινε ώστε αφενός να είναι το σημείο εξόδου μιας αξιόλογης -ως προς την έκταση- λεκάνης απορροής, αφετέρου να εξασφαλίζεται η υψομετρική διαφορά μεταξύ της θέσης της υδροληψίας και του ταμιευτήρα για την μεταφορά του νερού σε αυτόν υπό την επίδραση της βαρύτητας. Στον *Πίνακα 3.1* παρουσιάζονται τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υπολεκάνων, η οριοθέτηση των οποίων φαίνεται και στον *Χάρτη 3.1*.

Πίνακας 3.1		
Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των γειτονικών υπολεκάνων		
	Υπολεκάνη 1	Υπολεκάνη 2
Area (km ²)	2,95	5,26
L (km)	1,48	2,19
H _{min} (m)	1195	1195
H _m (m)	1288	1393

3.1 Υδρολογικά χαρακτηριστικά γειτονικών λεκανών

Από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υπολεκάνων (βλ. *Πίνακας 3.1*), υπολογίστηκε ο χρόνος συρροής t_c κατά Giandotti. Για περίοδο επαναφοράς $T = 5$ έτη και διάρκεια βροχής ίση με τον χρόνο συρροής υπολογίστηκαν τα ύψη βροχής i , βάσει της όμβριας καμπύλης:

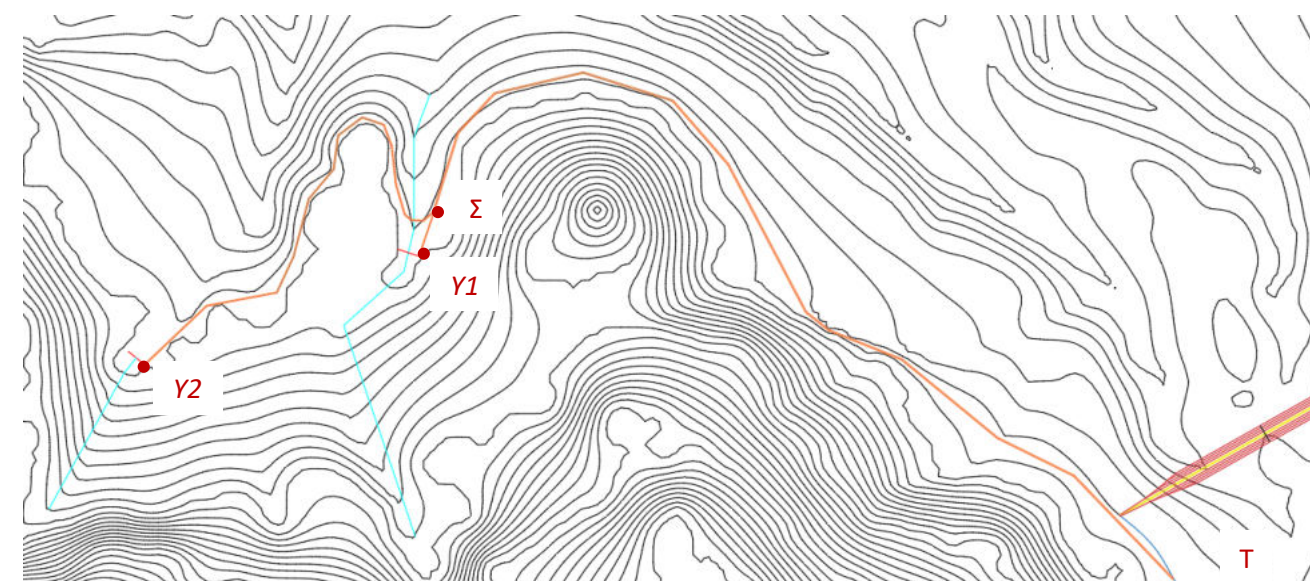
$$i(d, T) = \frac{67,17(T^{0,127} - 0,68)}{(d + 0,05)^{0,55}}$$

Με χρήση της ορθολογικής μεθόδου και με παραδοχή συντελεστή απορροής ίσο με 0,20 (λόγω της καρστικής φύσεως των πετρωμάτων, βλ. *Χάρτης 3.3*), εκτιμήθηκαν οι παροχές αιχμής Q_p για τις δύο υπολεκάνες.

Πίνακας 3.2		
Υπολογισμός παροχής σχεδιασμού με βάση την ορθολογική μέθοδο		
	Υπολεκάνη 1	Υπολεκάνη 2
c	0,2	0,2
t_c (hr, Giandotti)	1,2	1,1
i (mm/hr)	32,49	34,01
Q_p (m ³ /s)	5,33	9,95

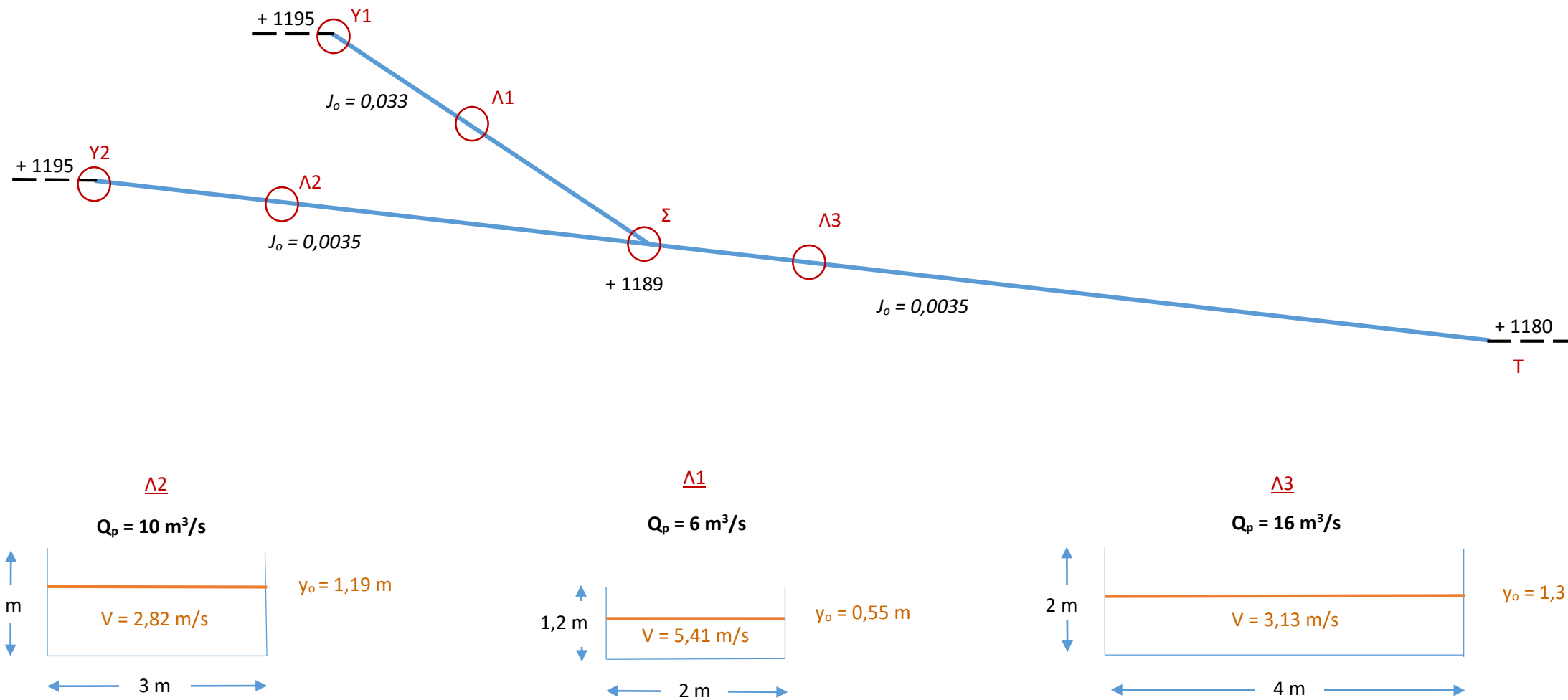
3.2 Διαστασιολόγηση διατομής των ανοικτών καναλιών

Όλα τα επιμέρους τμήματα του ανοικτού καναλιού πρόκειται να κατασκευαστούν σε έκχωμα. Έτσι, επιλέχθηκε η οριζοντιογραφική χάραξη να ακολουθεί την επιφάνεια του εδάφους, και η κλίση του καναλιού να είναι ενιαία ίση με $J = 0,0035$. Όπως φαίνεται και στον *Χάρτη 3.2*, τα κανάλια που απάγουν νερό από την υδροληψία 1 και την υδροληψία 2 συμβάλλουν στο σημείο «Σ» και ενώνονται σε ένα κοινό κανάλι. Το συνολικό μήκος των ανοικτών καναλιών είναι περί τα 5 km.



Χάρτης 3.2 Οριζοντιογραφική χάραξη του συστήματος των τάφρων συλλογής

Επιλέχθηκε η διαστασιολόγηση και κατασκευή του ανοικτού καναλιού με ορθογωνική διατομή, προκειμένου να μετριάσθει ο όγκος των εκσκαφών σε σχέση με αντίστοιχη τραπεζοειδή διατομή. Με βάση την σχέση του Manning, υπολογίστηκαν τα χαρακτηριστικά μεγέθη ροής στους ανοικτούς αγωγούς, όπως αποτυπώνεται στο *Σχήμα 3.1* και στον *Πίνακα 3.3*. Ο συντελεστής Manning n λήφθηκε ίσος με 0,016 (για τραχείες παρειές γηρασμένου σκυροδέματος όταν παρέλθουν τα χρόνια).



Σχήμα 3.1 Απεικόνιση των βασικών χαρακτηριστικών ροής στο σύστημα των ανοικτών καναλιών

Πίνακας 3.3 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ανοικτών καναλιών και ροής			
	Ανοικτό κανάλι Y2 - Σ	Ανοικτό κανάλι Y1 - Σ	Ανοικτό κανάλι Σ - T
Μήκος L (m)	1600	146	3250
Manning n	0,016	0,016	0,016
Πλάτος b (m)	3	2	4
Κλίση J_o	0,0035	0,0033	0,0035
Παροχή Q (m ³ /s)	10	6	16
Ταχύτητα ροής V (m/s)	2,82	5,41	3,13
Ομ. Βάθος ροής y_o (m)	1,19	0,55	1,30

Το ελεύθερο ύψος f και το ύψος επένδυσης f^* υπολογίστηκαν από τον Πίνακα 3.4 ίσα με 0,75 m και 0,20 m, αντίστοιχα, και έτσι οι τελικές διαστάσεις των διατομών των ανοικτών καναλιών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5.

Q [m ³ /s]	5,00	70,00
f [m]	0,75	1,00
f^* [m]	0,20	0,60

Πίνακας 3.4 Εκτίμηση ελεύθερου ύψους f και ύψους επένδυσης f^*

Πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος ταχυτήτων ώστε $0,6 \text{ m/s} < V < 4,0 \text{ m/s}$. Σε έντονα επεισόδια βροχής που θα ισχύει $Q > Q_{\text{σχεδιασμού}}$, το κανάλι θα υπερχειλίζει.

Πίνακας 3.5 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά διατομών ανοικτών καναλιών			
	Ανοικτό κανάλι Y2 - Σ	Ανοικτό κανάλι Y1 - Σ	Ανοικτό κανάλι Σ - Τ
Πλάτος b (m)	3	2	4
Ύψος y (m)	2	1	2

*Οι διαστάσεις υπακούουν στον κανόνα της ιδανικής ορθογωνικής διατομής, ότι $b = 2 \cdot y$.

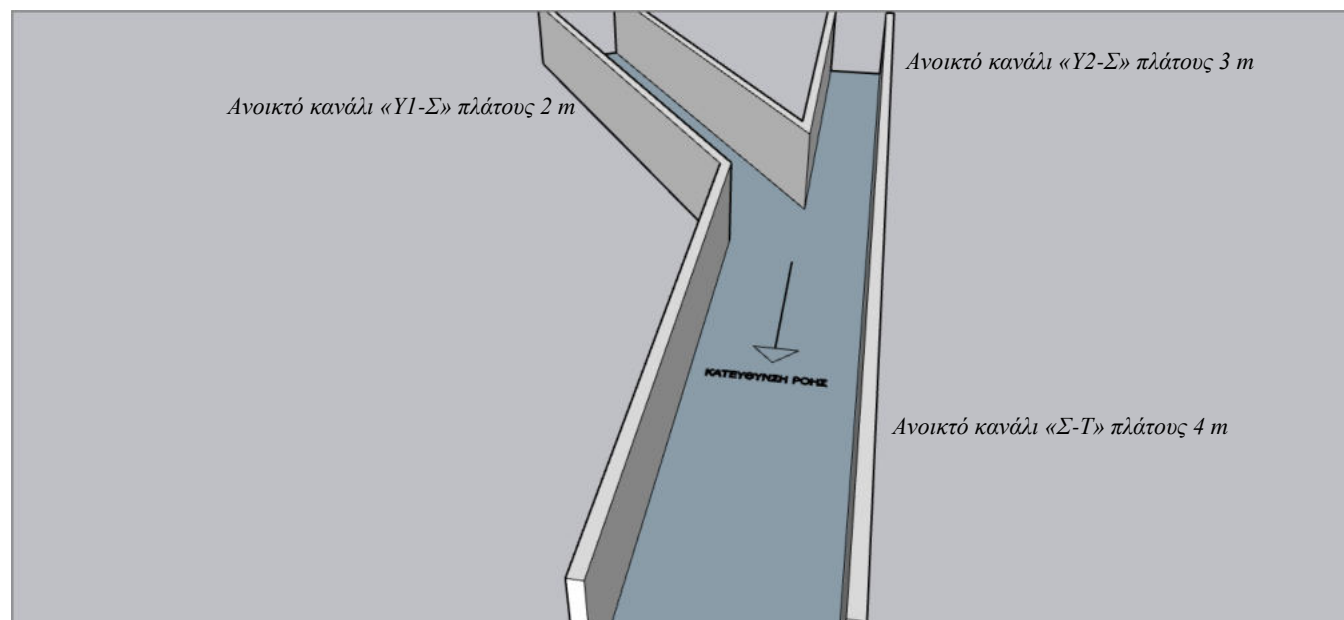
3.3 Συμβολή των αγωγών στο σημείο «Σ»

Έγινε έλεγχος της ροής στο σημείο «Σ» της συμβολής των ανοικτών καναλιών «Y2 - Σ» και «Y1 - Σ», όπως φαίνεται και στον παρακάτω Πίνακα 3.6.

Πίνακας 3.6 Υπολογισμός ειδικής ενέργειας M στο σημείο συμβολής «Σ»						
	Q (m ³ /s)	b (m)	y (m)	M	θ (°)	M*cosθ
Αγωγός Y2 - Σ	10	3	1,19	4,97	30	4,30
Αγωγός Y1 - Σ	6	2	0,55	3,32	0	3,32
Συμβολή Σ	16	4		8,31	0	

Επειδή $7,63 \text{ m}^3 = M_1 + M_2 < M_3 = 8,31 \text{ m}^3$, προκαλείται ανάσχεση της ροής στο «Σ». Ωστόσο είναι τόσο απότομη η μορφολογία του εδάφους στο σημείο, που οποιαδήποτε άλλη εναλλακτική οριζοντιογραφική χάραξη δημιουργεί υψηλά κατασκευαστικά κόστη, καθότι απαιτεί την τοποθέτηση του καναλιού πάνω σε γέφυρα. Έτσι, θεωρήθηκε πως οι απώλειες από ένα τοπικό φαινόμενο δεν είναι ικανή συνθήκη ώστε να αλλάξει η προταθείσα χάραξη.

Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζεται σε λεπτομέρεια η συμβολή των καναλιών «Y1-Σ» και «Y1-Σ» και η παροχέτευση του νερού στα κατάντη στο κοινό κανάλι «Σ-Τ».

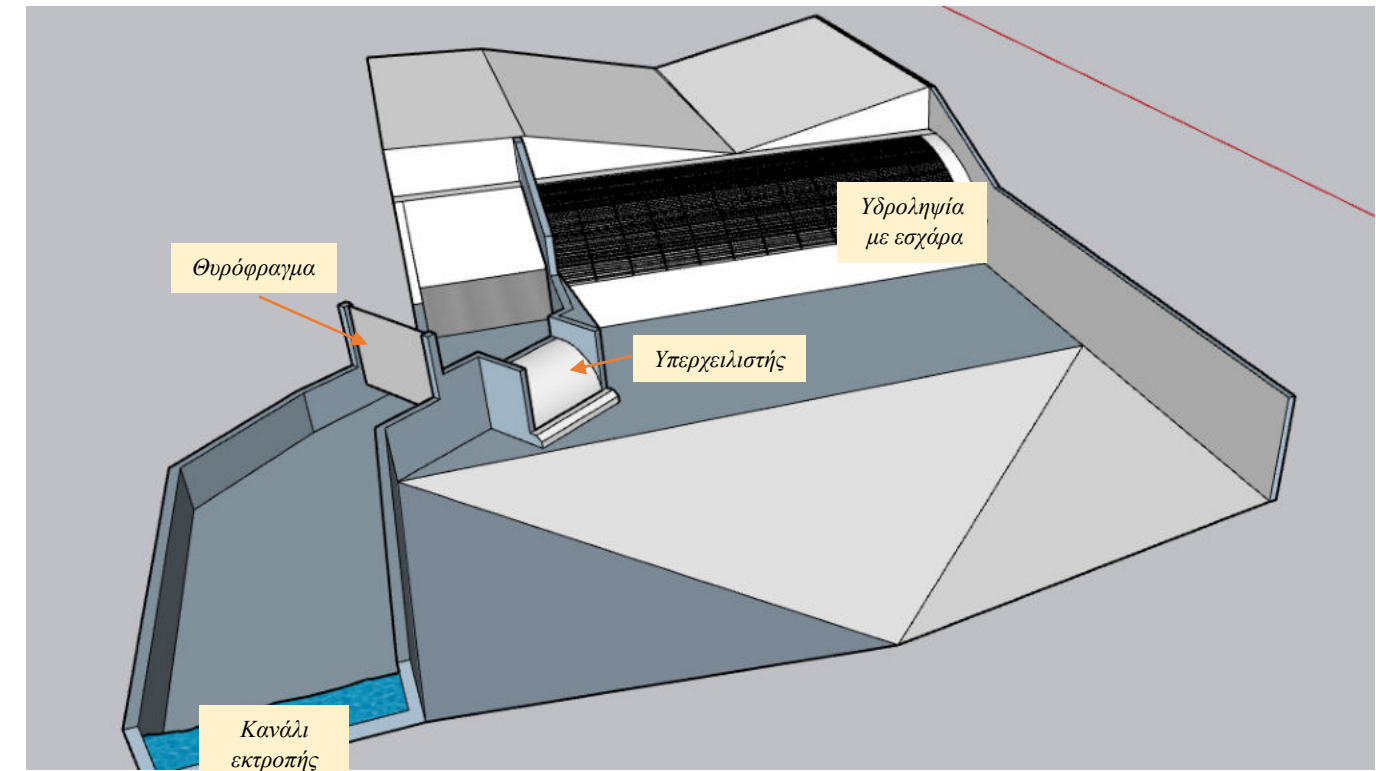


Σχήμα 3.2 Λεπτομέρεια σύνδεσης των ανοικτών καναλιών στο σημείο «Σ» της συμβολής των «Y2-Σ» και «Y1-Σ»

3.4 Υδροληψίες

Έχει γίνει προμελέτη για τις διατάξεις υδροληψίας, ώστε το νερό να παροχετεύεται από την κοίτη των χειμάρρων στη διατομή του ανοικτού αγωγού.

Στη θέση «Υδροληψία 2» προτείνεται η διαμόρφωση της διάταξης της υδροληψίας όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.3.

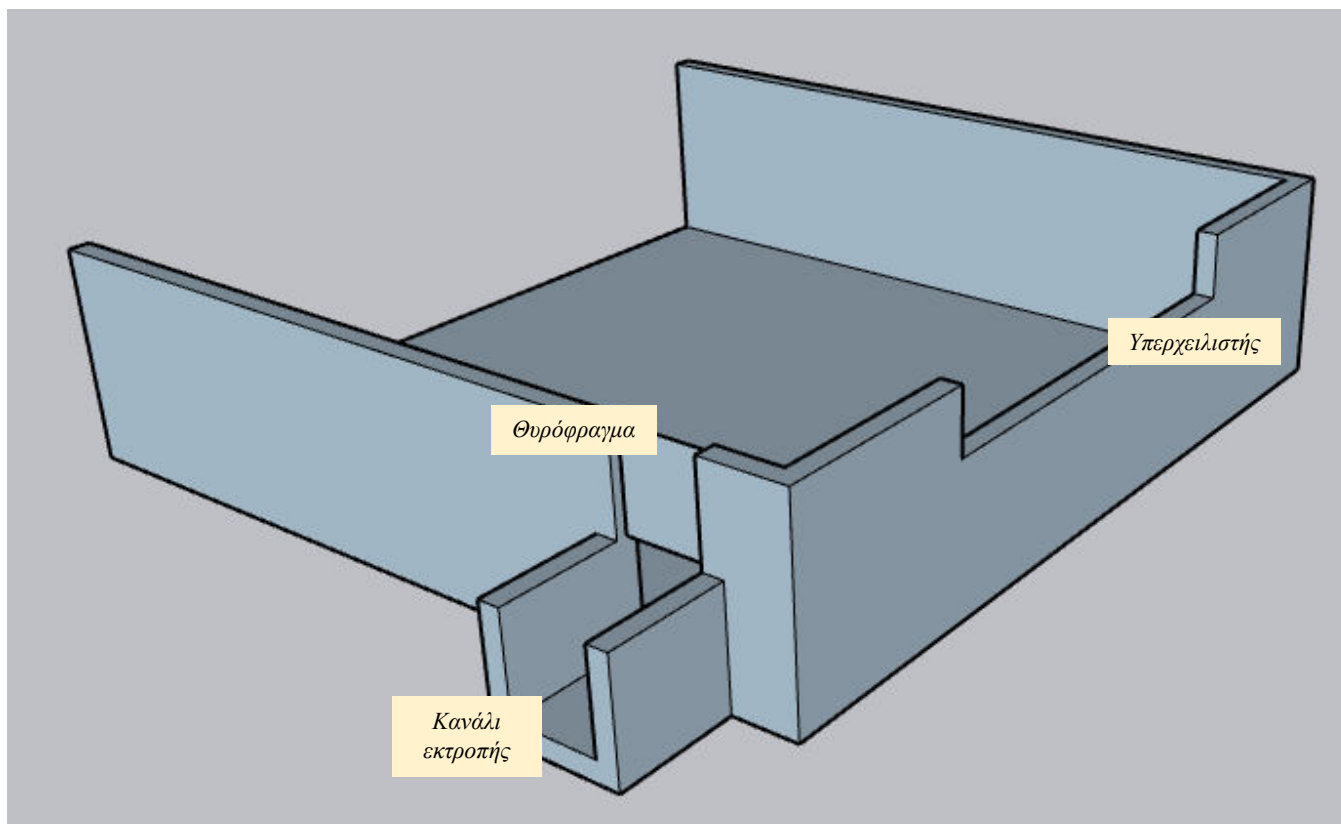


Σχήμα 3.3 Άποψη της διάταξης της υδροληψίας στο σημείο «Υδροληψία 2»

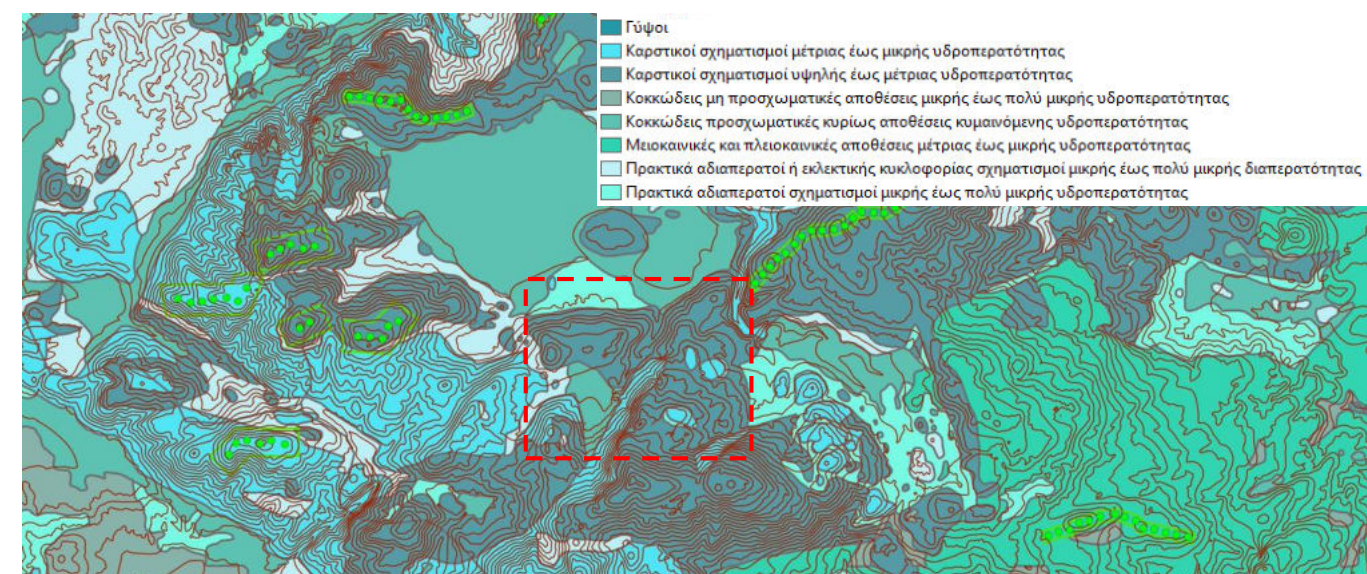
Έχει γίνει διαμόρφωση της κοίτης του ποταμού σε τριγωνική διατομή τόσο στα ανάντη, όσο και στα κατάντη της υδροληψίας, κάτι που εξυπηρετεί την εξασφάλιση της ευστάθειας της κατασκευής από υποσκαφές που μπορεί να προκαλέσουν μεγάλες πλημμυρικές παροχές. Έχει τοποθετηθεί υπερκείμενη εσχάρα στο ανοικτό κανάλι στο σημείο πτώσης, ώστε να μην παροχετεύονται στερεά μεγάλων διαστάσεων στο κανάλι, που εν δυνάμει μπορούν να προκαλέσουν την έμφραξη του ή εν γένει σημαντική απομείωση της παροχευτικότητάς του. Για τον έλεγχο της παροχής, έχει προβλεφθεί ακόμη θυρόφραγμα, ενώ έχει προταθεί και η κατασκευή πλευρικού υπερχειλιστή στο κανάλι στον πόδα της διάταξης, ώστε να παροχετεύονται στο κατάντη τμήμα του χειμάρρου μεγάλες πλημμυρικές παροχές. Από το κανάλι εκτροπής το νερό διοδεύεται προς την ανοικτή τάφρο συλλογής.

Στη θέση «Υδροληψία 1» η διαμόρφωση της διάταξης της υδροληψίας φαίνεται στο Σχήμα 3.4. Λόγω της μικρότερης επιφάνειας της υπολεκάνης, επιλέχθηκε η υδροληψία να γίνει με την κατασκευή μικρού φράγματος, ώστε να εξασφαλίζεται ικανή ποσότητα νερού για την τάφρο. Στο πλευρικό τοίχωμα έχει τοποθετηθεί θυρόφραγμα για τον έλεγχο της ροής, που διοδεύει το νερό σε κανάλι εκτροπής προς την τάφρο συλλογής. Έχει γίνει διαστασιολόγηση ορθογωνικού εκχειλιστή λεπτής στέφης, έτσι ώστε να παροχετεύεται πλημμύρα για $T = 1000$ έτη βάσει των Kindsvater και Carter (1957) (Πρίνος, 2009). Τα στοιχεία των υπολογισμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.7.

Πίνακας 3.7					
Χαρακτηριστικά μεγέθη για την διαστασιολόγηση ορθογωνικού εκχειλιστή λεπτής στένψης					
b_c (m)	10	K_b	0,003	C_e	0,647
B (m)	100	K_h	0,001	b_e	10,003
$b_c B$	0,1			h_e	1,501



Σχήμα 3.4 Άποψη της διάταξης της υδροληψίας στο σημείο «Υδροληψία 1»



Χάρτης 3.4 Χάρτης γεωλογικών σχηματισμών περιοχής ως προς την διαπερατότητά τους

3.5 Όγκος εκσκαφών

Τα ανοικτά κανάλια πρόκειται να κατασκευαστούν στο σύνολο του μήκους τους σε έκχωμα. Οι εκσκαφές υπολογίστηκαν για το σύνολο των ανοικτών καναλιών ίσες με 40.000 m³ (με προσαύξηση 10%). Οι εκσκαφές θεωρούνται 100% βραχώδεις. Τα προϊόντα της εκσκαφής θα αποτίθενται ως ανάχωμα προς την μια πλευρά (την δεξιά σε σχέση με την διεύθυνση ροής του καναλιού).

3.6 Ετήσια υδρολογική συνεισφορά

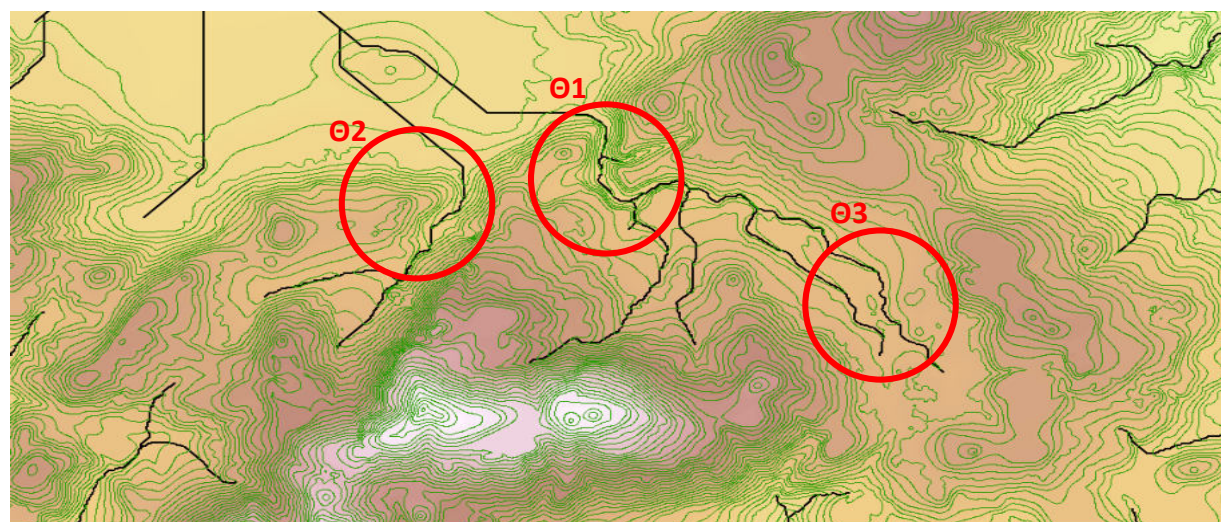
Σε ετήσια κλίμακα έχει εκτιμηθεί ότι το σύστημα των τάφρων θα διοχετεύει προς τον ταμιευτήρα του φράγματος ποσότητα νερού της τάξης των 4 hm³. Ο συντελεστής απορροής λαμβάνεται ίσος με 0,2, καθότι στην περιοχή των υπολεκανών απορροής συναντώνται καρστικοί σχηματισμοί υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας (βλ. Χάρτη 3.4 – κόκκινη επισήμανση).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Κατασκευή φράγματος στο Οροπέδιο Καθαρού

Κεντρικό αντικείμενο της παρούσας τεχνικής μελέτης είναι η κατασκευή φράγματος στο οροπέδιο Καθαρού, το οποίο θα εξυπηρετεί ανάγκες παραγωγής ενέργειας, ύδρευσης και άρδευσης. Πρόκειται, δηλαδή, για έναν ταμιευτήρα πολλαπλού σκοπού, που υπηρετεί την λογική της δίκαιης και αποδοτικής διαχείρισης των υδατικών πόρων. Το φράγμα αυτό θα αποτελέσει ένα μείζονος σημασίας αναπτυξιακό έργο υποδομής, που θα συμβάλει μεν αποφασιστικά στην κάλυψη ενεργειακών ζητήσεων, συγχρόνως δε θα δημιουργήσει τις προϋποθέσεις για την ενίσχυση της αγροτικής παραγωγής στο οροπέδιο Καθαρού, αλλά και για την αύξηση της υδρευτικής αξιοπιστίας γειτονικών οικισμών.

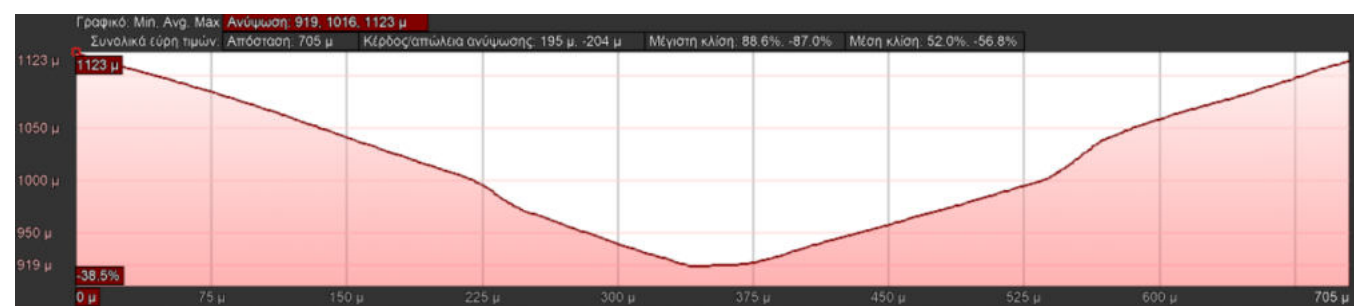
4.1 Επιλογή της θέσης του άξονα του φράγματος

Η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος για την κατασκευή του φράγματος είναι το Οροπέδιο Καθαρού. Στη μορφολογία του οροπεδίου αναζητήθηκαν θέσεις, που αφενός διέρχεται κάποιο αξιόλογο υδατόρεμα, αφετέρου η κλίση των πρανών είναι σχετικά μεγάλη (πύκνωση αντικριστών ισοϋψών). Με αυτά τα χαρακτηριστικά διακρίθηκαν τρεις εναλλακτικές θέσεις, όπως παρουσιάζεται στον *Χάρτη 4.1*.

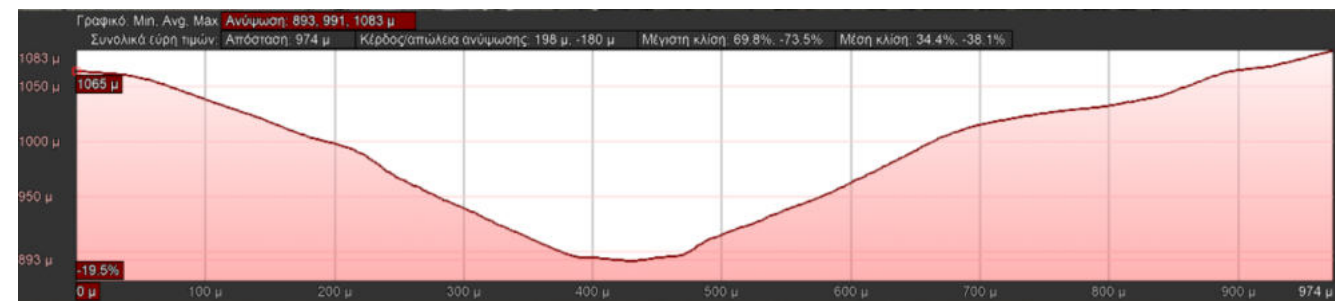


Χάρτης 4.1 Κύρια υδατόρεματα στο οροπέδιο Καθαρού

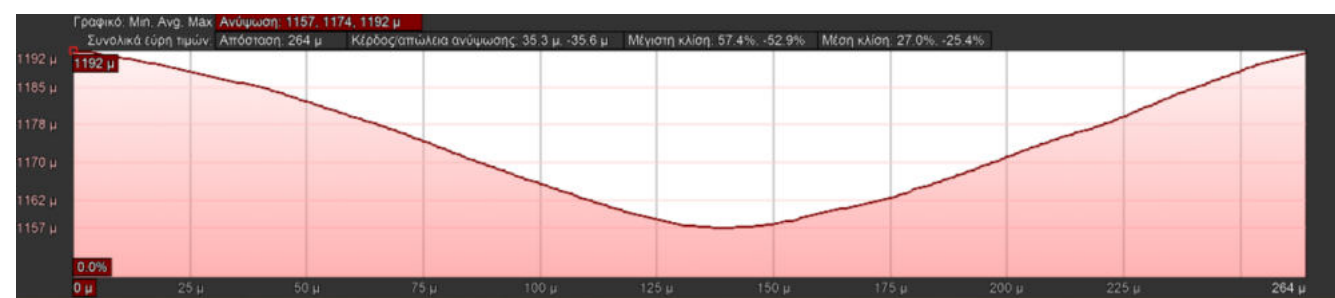
Στο *Σχήμα 4.1*, *Σχήμα 4.2* και *Σχήμα 4.3* παρουσιάζεται το προφίλ των υψομέτρων για τις θέσεις Θ1, Θ2 και Θ3, αντίστοιχα.



Σχήμα 4.1 Προφίλ υψομέτρων στη Θέση 1



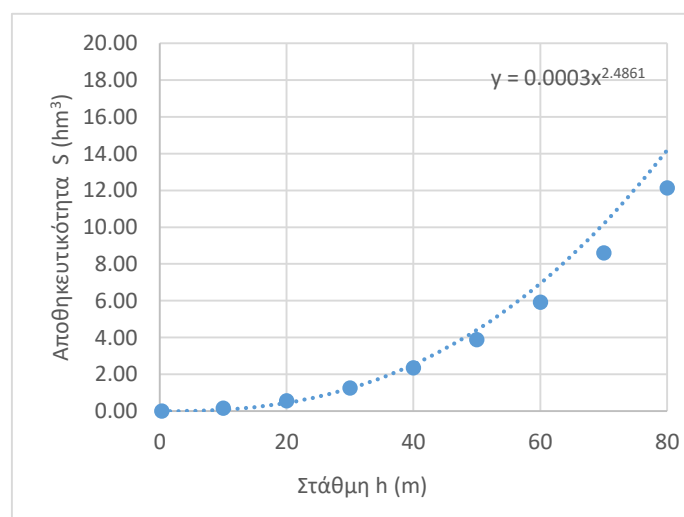
Σχήμα 4.2 Προφίλ υψομέτρων στη Θέση 2



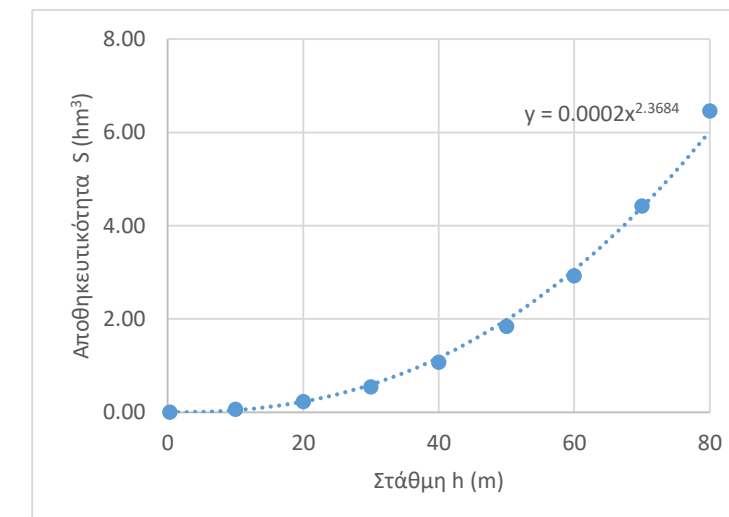
Σχήμα 4.3 Προφίλ υψομέτρων στη Θέση 3

Βάσει των δεδομένων στάθμης – επιφάνειας λεκάνης κατάκλισης, καταρτίστηκε η αναλυτική σχέση στάθμης – αποθηκευτικότητας με προσαρμογή εξίσωσης δύναμης, για καθεμία από τις θέσεις ενδιαφέροντος. Οι αναλυτικές σχέσεις φαίνονται στον *Πίνακα 4.1*, και τα ομόλογα διαγράμματα για τις Θ1, Θ2 και Θ3 στο *Διάγραμμα 4.1*, *Διάγραμμα 4.2* και *Διάγραμμα 4.3*, αντίστοιχα.

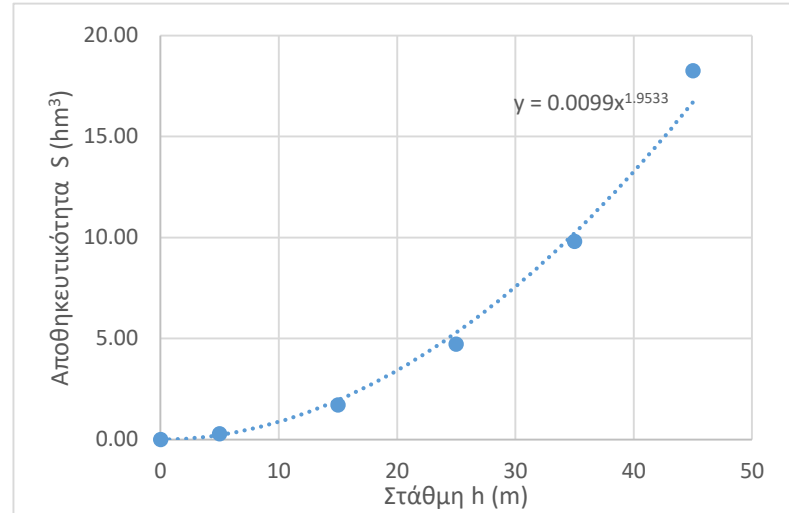
Θέση 1	$y = 0,003 x^{2,4861}$
Θέση 2	$y = 0,0002 x^{2,3684}$
Θέση 3	$y = 0,0099 x^{1,9533}$



Διάγραμμα 4.1 Διάγραμμα στάθμης-αποθηκευτικότητας Θέση 1



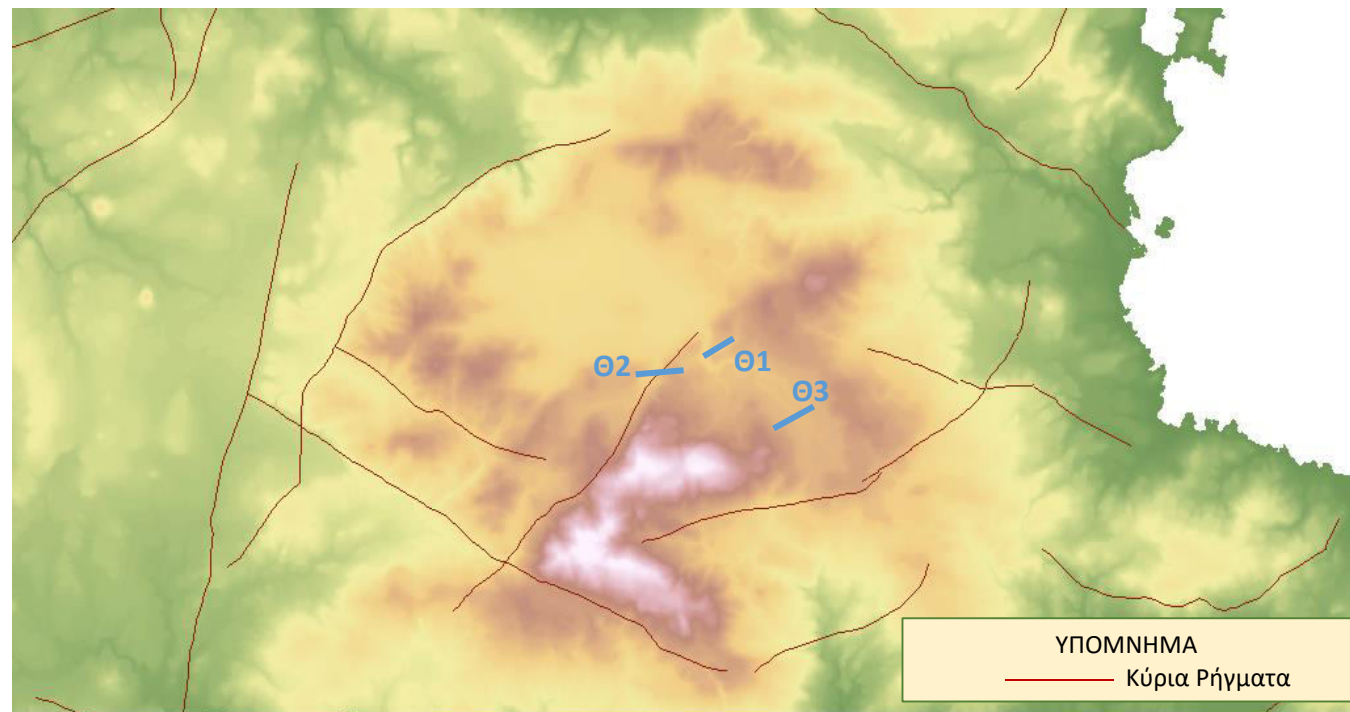
Διάγραμμα 4.2 Διάγραμμα στάθμης-αποθηκευτικότητας Θέση 2



Διάγραμμα 4.3 Διάγραμμα στάθμης-αποθηκευτικότητας
Θέση 3

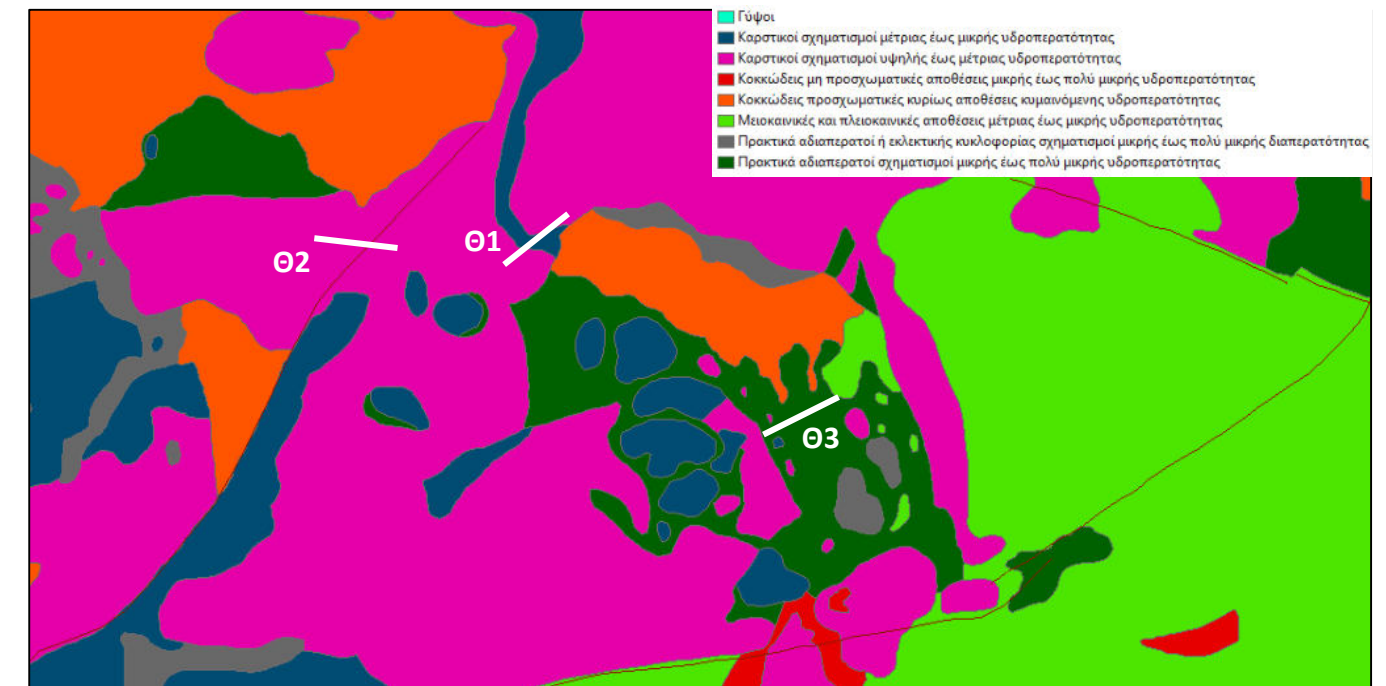
Όπως είναι εμφανές, στη Θέση 3 επιτυγχάνεται για δεδομένο ύψος φράγματος η μέγιστη αποθηκευτικότητα ταμιευτήρα. Οπότε αυτή η θέση προκρίνεται καταρχάς με ένα σημαντικό πλεονέκτημα, που είναι η βελτιστοποίηση μεταξύ του ύψους του φράγματος (και άρα του κόστους του) και της αποθηκευτικότητας.

Πέραν της αποθηκευτικότητας του σχηματιζόμενου ταμιευτήρα, ένα δεύτερο κρίσιμο κριτήριο είναι η ύπαρξη κύριων ρηγμάτων σε εγγύτητα με τον άξονα του φράγματος. Όπως φαίνεται και στον Χάρτη 4.2, υπάρχει κύριο ρήγμα που διασχίζει τον άξονα του φράγματος στην θέση 2, κάτι που αποτελεί ικανή συνθήκη για την οριστική απόρριψη της εναλλακτικής αυτής θέσης. Όσον αφορά στη θέση 1, αυτή δεν διατρέχεται από κάποιο κύριο ρήγμα, ωστόσο στο ενδεχόμενο ενεργοποίησης του ρήγματος που βρίσκεται στα δυτικά του φράγματος, υπάρχει σοβαρό ενδεχόμενο να κλονισθεί η ευστάθεια του αριστερού πρανούς του, επηρεάζοντας έτσι την ευστάθεια του φράγματος. Η θέση 3 δεν επηρεάζεται από κάποιο κύριο ρήγμα, καθώς το μόνο κύριο ρήγμα που υπάρχει στην ευρύτερη περιοχή επιρροής βρίσκεται στα νότια, ασκώντας δυνητικά επιρροή σε ένα μέρος του ομόλογου ταμιευτήρα. Με βάση το κριτήριο των κύριων ρηγμάτων, υπερέρχει η θέση 3.



Χάρτης 4.2 Κύρια σεισμικά ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή του Οροπεδίου Λασιθίου και του Οροπεδίου Καθαρού

Το τρίτο κριτήριο που συναξιολογήθηκε είναι η υδροπερατότητα των πετρωμάτων που συναντώνται στις υπόψη θέσεις και στις σχηματιζόμενες λεκάνες κατάκλυσης. Με αυτόν τον τρόπο εκτιμάται η πιθανότητα υπόγειων διαφυγών υδάτων από τον ταμιευτήρα, και συνακόλουθα οι προκύπτουσες απαιτήσεις σε παρεμβάσεις για την στεγανοποίησή τους. Όπως φαίνεται και στον Χάρτη 4.3, η λεκάνη που αντιστοιχεί στη θέση 2 δημιουργείται πάνω σε καρστικούς σχηματισμούς υψηλής ή μέτριας υδροπερατότητας, κάτι που καθιστά βέβαιη την διαφυγή ύδατος. Η λεκάνη κατάκλυσης στη θέση 1 αναπτύσσεται κυρίως πάνω από κοκκώδεις προσχωματικές αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας, κάτι που δημιουργεί επιφυλάξεις για την στεγανότητα του ταμιευτήρα. Στη θέση 3 και στην σχηματιζόμενη λεκάνη κατάκλυσης συναντώνται κυρίως πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί, ενώ κατά τόπους υπάρχει επιφανειακή εμφάνιση καρστικών σχηματισμών. Δεδομένων των τεχνικών παρεμβάσεων για την στεγανοποίηση αυτών των περιορισμένων περιοχών με καρστικούς σχηματισμούς, η θέση 3 έχει ένα συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι των άλλων θέσεων.



Χάρτης 4.3 Υδροπερατότητα γεωλογικών σχηματισμών στις υπόψη θέσεις κατασκευής φράγματος

Δεδομένης της ανωτέρω ανάλυσης, η θέση 3 επιλέγεται ως η πλέον κατάλληλη για τον άξονα του υπόψη φράγματος. Προς αυτή την απόφαση συνηγορεί ακόμη η περιορισμένη πιθανότητα εμφάνισης κατολισθήσεων εντός της λεκάνης κατάκλυσης, όπως επικυρώνεται και από τον Χάρτη 4.4.



Χάρτης 4.4 Κίνδυνος εμφάνισης κατολισθήσεων

4.2 Επιλογή τύπου φράγματος

Η Κρήτη, στην οποία κατασκευάζεται το εν λόγω φράγμα στο Καθαρό, εντάσσεται στην ζώνη II σεισμικής επικινδυνότητας (0,24g). Το γεγονός αυτό υπαγορεύει πως βέλτιστη επιλογή είναι ένα εύκαμπτου τύπου φράγμα, όπως είναι τα χωμάτινα και τα σκληρού επιχώματος. Φράγματα σε λειτουργία στην περιφέρεια της Κρήτης είναι, παραδείγματος χάριν, το χωμάτινο φράγμα Αποσελέμη και το φράγμα Βαλσαμιώτη από σκληρό επίχωμα.

Γενικά, η μορφολογία, τα γεωλογικά και γεωτεχνικά δεδομένα, καθώς και τα διαθέσιμα στην περιοχή υλικά, δεν θέτουν περιορισμούς ως προς την επιλογή του τύπου του φράγματος. Στον Πίνακα 4.2 γίνεται συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ του χωμάτινου φράγματος και αυτού του σκληρού επιχώματος.

Πίνακας 4.2 Σύγκριση γεωφράγματος – φράγματος από σκληρό επίχωμα		
Κριτήριο	Γεώφραγμα	Σκληρού Επιχώματος
Χαμηλότερο κόστος ανα m ³	✓	
Μικρότερος όγκος υλικού		✓
Απομείωση όγκου ταμιευτήρα	✓	
Περιβαλλοντικές επιπτώσεις (δανειοθάλαμος)	✓	
Χαμηλότερο κόστος έργων υπερχειλίσης & αποτόνωσης της ενέργειας		✓
Έργα εκτροπής και πρόφραγμα	✓	✓
Μικρότερος χρόνος κατασκευής		✓
Αντισεισμική απόκριση	✓	✓
Μικρότερες απαιτήσεις στην θεμελίωση		✓

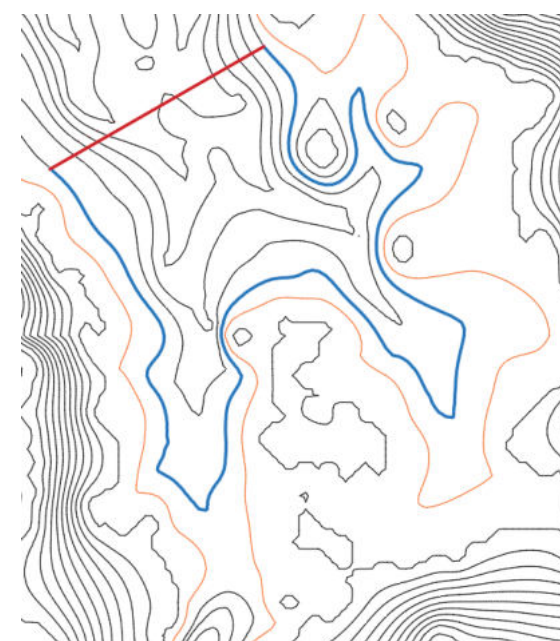
Καθοριστικής σημασίας για την εκλογή του τύπου φράγματος υπήρξε το κριτήριο που αφορά στον υπερχειλιστή και στα έργα αποτόνωσης ενέργειας. Στο γεώφραγμα οι εν λόγω διατάξεις τοποθετούνται εκτός του σώματος του φράγματος, κάτι που δεν ισχύει στην περίπτωση του φράγματος από σκληρό επίχωμα, περιορίζοντας τις αναγκαίες παρεμβάσεις στην περιοχή κατασκευής και άρα μειώνοντας σημαντικά το κόστος κατασκευής. Μια άλλη σημαντική παράμετρος υπήρξε ο χρόνος κατασκευής, που στην περίπτωση του φράγματος από σκληρό επίχωμα είναι μικρότερος, μειώνοντας έτσι και τις απαιτήσεις των έργων που προστατεύουν το κυρίως εργοτάξιο (πρόφραγμα και σήραγγα εκτροπής).

Σύμφωνα, λοιπόν, με τον Πίνακα 4.2 και το ανάγλυφο της περιοχής, επιλέχθηκε φράγμα βαρύτητας τύπου σκληρού επιχώματος (Hard Fill). Η περιεκτικότητα του σκληρού επιχώματος σε τσιμέντο θα είναι 50 - 70 kg/m³.

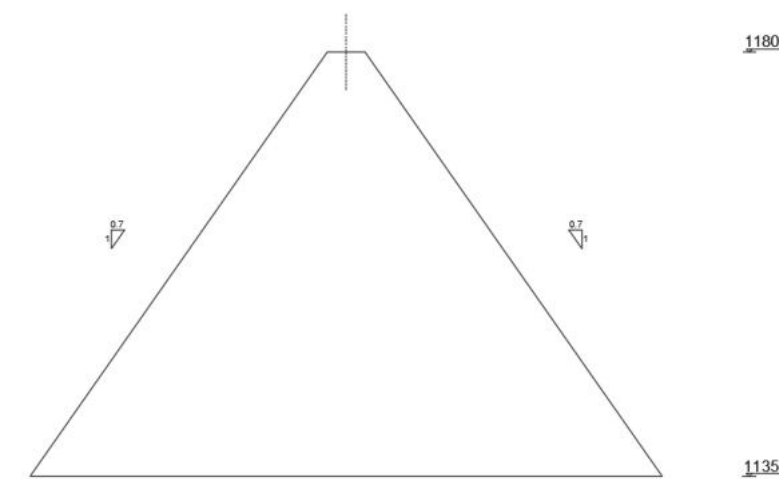
Η θεμελίωση του φράγματος θα γίνει σε υψόμετρο 1130 m. Έτσι, θα είναι το φράγμα της Κρήτης με το μεγαλύτερο υψόμετρο. Η στέψη του φράγματος τίθεται στα 1180 m, δεδομένου ότι σε υψόμετρα μεγαλύτερα αυτής της ισοϋψούς δημιουργούνται κενά ασυνέχειας στο νότιο τμήμα του ταμιευτήρα (βλ. διαγραμμισμένη επισήμανση, Χάρτης 4.5). Το ύψος του φράγματος διαμορφώνεται, έτσι, στα 50 m. Ο σχεδιασμός έγινε με κλίση 1,0/0,7 τόσο στο ανάντη, όσο και στο κατόντη πρηνές. Το πλάτος της στέψης ετέθη ίσο με 4 m, ώστε να επιτρέπεται η διέλευση οχημάτων σε μία κατεύθυνση. Τα βασικά μεγέθη του φράγματος φαίνονται στο Σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.4 Κάτοψη φράγματος. Με κόκκινο εμφανίζεται η ερυθρά της οδού.



Χάρτης 4.5 Λεκάνη κατάκλυσης



Σχήμα 4.5 Βασικά μεγέθη φράγματος

Βάσει του τύπου του τραπεζίου για στερεά σώματα, ο όγκος υλικού σκληρού επιχώματος που απαιτείται είναι ίσος με 1,19 hm³.

Για την αποφυγή διαφυγών νερού κάτω από τον πόδα του φράγματος, και για την ενίσχυση του υποκείμενου της θεμελίωσης γεωλογικού στρώματος, θα τοποθετηθεί κουρτίνα τσιμεντενέσεων, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.6. Προβλέπεται, ακόμη, η εξυγίανση της περιοχής της θεμελίωσης με απόξεση του επιφανειακού στρώματος εδάφους.



Σχήμα 4.6 Κουρτίνα τσιμεντενέσεων

4.3 Χαρακτηριστικές στάθμες του ταμιευτήρα

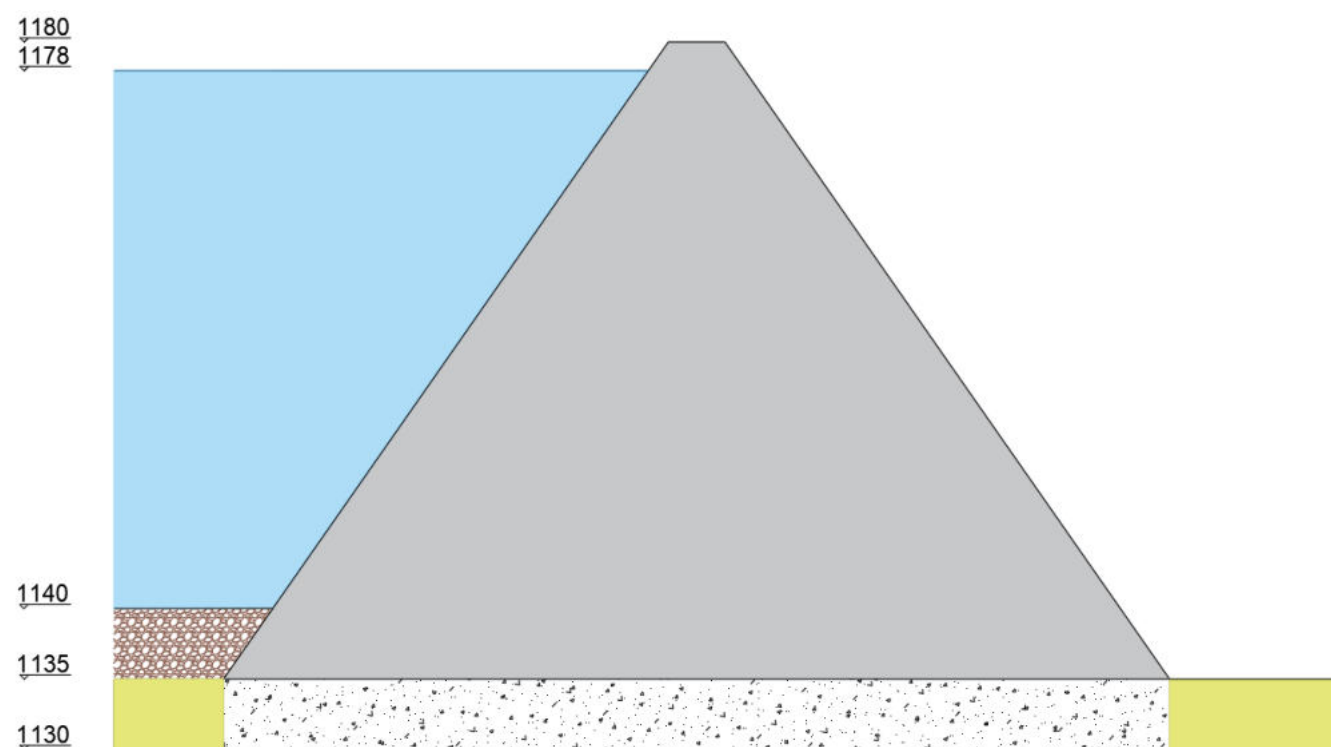
Η αναλυτική σχέση στάθμης – αποθηκευτικότητας για την υπόψη θέση του φράγματος είναι:

$$y = 0,0099 \cdot x^{1,953} \text{ - Εξίσωση 4.1 (βλ. Διάγραμμα 4.3)}$$

Θεωρώντας ωφέλιμο χρόνο ζωής του φράγματος ίσο με 100 έτη, εκτιμήθηκε ο νεκρός όγκος του ταμιευτήρα. Καταρχάς, προσδιορίστηκε εμπειρικά με την μέθοδο RUSLE ο όγκος των φερτών ίσος με $V_{\text{φερτών}} = 0,53 \text{ hm}^3$, δεδομένου ότι στην ανάντη λεκάνη απορροής, έκτασης 8 km², εκτιμάται μέση ετήσια στερεοαπορροή της τάξης των 900 t/km² και μέση πυκνότητα φερτών της τάξης των 1,35 t/m³. Κατόπιν, υπολογίστηκε ο συντελεστής στερεοαπορροής (Vanoni, 1975) ίσος με $\text{SDR} = 0,36$, και άρα ο νεκρός όγκος που θα ληφθεί υπόψη στον σχεδιασμό είναι ίσος με $V_{\text{dead}} = 0,19 \text{ hm}^3$.

Η κατώτατη στάθμη λειτουργίας επιλέχθηκε ίση με την στάθμη του νεκρού όγκου, και από την Εξίσωση 4.1 προέκυψε ότι βρίσκεται στα 1140 m. Η ανώτατη στάθμη λειτουργίας τέθηκε ίση με 1178 m, με τον **συνολικό όγκο** να διαμορφώνεται στα **15,36 hm³** (βάσει της Εξίσωσης 4.1), και τον **ωφέλιμο όγκο στα 15,17 hm³**. Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται τα βασικά υψομετρικά μεγέθη του φράγματος.

Πίνακας 4.3	
Βασικά υψομετρικά μεγέθη φράγματος	
Στάθμη θεμελίωσης	1130 m
Στάθμη πυθμένα φράγματος	1135 m
Κατώτατη στάθμη λειτουργίας	1140 m
Ανώτατη στάθμη λειτουργίας	1178 m
Στέψη φράγματος	1180 m



Σχήμα 4.7 Χαρακτηριστικά υψόμετρα φράγματος

4.4 Έργα υπερχειλίσης

Για την ανάσχεση της πλημμύρας στη λεκάνη κατάκλυσης, την προστασία του φράγματος κατά τη διόδευση μεγάλων πλημμυρών και την ομαλή προσαγωγή τους στο υδατόρεμα στα κατάντη του φράγματος κατασκευάζονται τα παρακάτω έργα υπερχειλίσης:

- Ελεύθερος υπερχειλιστής τύπου Ogee με κατακόρυφη ανάντη παρειά επί του σώματος του φράγματος
- Διώρυγα πτώσης τοποθετημένη στο εσωτερικό του φράγματος, με πλευρικά τοιχεία επαρκούς ύψους και κλίση ίδια με την κατάντη παρειά του φράγματος
- Λεκάνη ηρεμίας μήκους 20 m ως τερματική κατασκευή με πλευρικά τοιχεία επαρκούς ύψους και διάφραγμα ύψους 1,5 m για τη βέλτιστη καταστροφή ενέργειας
- Έργα διοχέτευσης στην κοίτη

Η στέψη του υπερχειλιστή επιλέγεται να τοποθετηθεί στα 1178 m σύμφωνα με την ανώτατη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα.

Η διαστασιολόγηση των έργων υπερχειλίσης για το υπό μελέτη φράγμα γίνεται για πλημμύρα σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5000 ετών. Το πλημμυρογράφημα εισόδου στη θέση του φράγματος παρήχθη με εφαρμογή των μεθόδων SCS-CN και συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος, ενώ η καταίγιδα σχεδιασμού καταρτίστηκε με βάση την όμβρια καμπύλη της περιοχής μελέτης και τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ. Διαθέτοντας, λοιπόν, τα υδρολογικά δεδομένα της πλημμύρας σχεδιασμού και εφαρμόζοντας το μοντέλο διόδευσης σε κάθε χρονικό βήμα ($\Delta t = 0,50$ hr) προέκυψε η παροχή σχεδιασμού του υπερχειλιστή ίση με 79,05 m³/s. Σύμφωνα με αυτή καθορίστηκαν τα παρακάτω χαρακτηριστικά μεγέθη του Ogee (Πίνακας 4.4). Στους υπολογισμούς θεωρήθηκε σταθερός συντελεστής παροχής $c = 0,5$, ενώ αγνοήθηκε ο όρος της κινητικής ενέργειας. Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται, επίσης, τα χαρακτηριστικά μεγέθη πλημμύρας του υπερχειλιστή.

4.4.1 Υπερχειλιστής

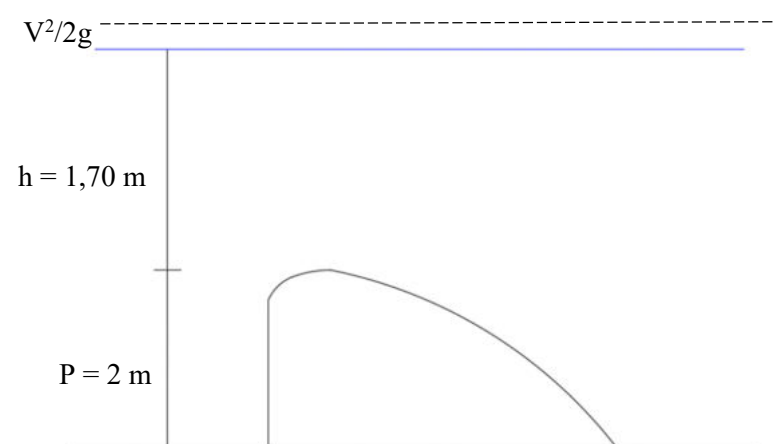
Πίνακας 4.4					
Χαρακτηριστικά μεγέθη υπερχειλιστή					
P (m)	L' (m)	h (m)	V (m ² /s)	H (m)	Q _o (m ³ /s)
2	15	1,70	1,42	1,80	79,05

Όπου P και h φαίνονται στο Σχήμα 4.8, και L' είναι το ενεργό πλάτος της στέψης του υπερχειλιστή. Το πραγματικό πλάτος (L) υπολογίζεται από την σχέση:

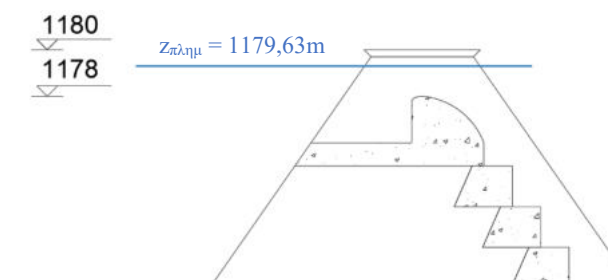
$$L = L' + 2 \cdot (N \cdot K_p + K_a) \cdot H_e = 16 \text{ m}$$

όπου επιλέχθηκε N = 1 βάθρο ορθογωνικής διατομής (K_p = 0,1 και K_a = 0,2).

Πίνακας 4.5	
Χαρακτηριστικά μεγέθη στην πλημμύρα	
Μέγιστος όγκος ανάσχεσης (hm ³)	1,63
Ανώτατη στάθμη πλημμύρας (m)	1179,63
Παροχή αιχμής (m ³)	203,34



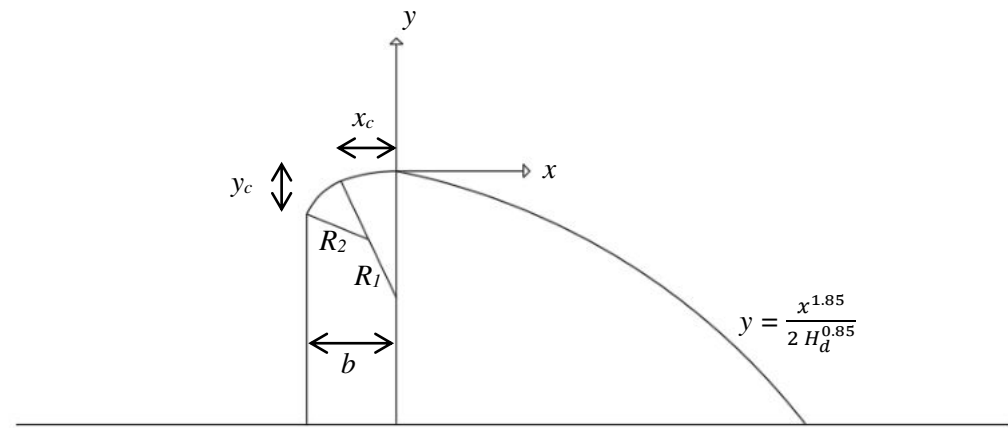
Σχήμα 4.8 Κρίσιμα χαρακτηριστικά Ogee



Σχήμα 4.9 Εγκάρσια τομή υπερχειλιστή

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του Ogee υπολογίστηκαν από τις ακόλουθες σχέσεις, βάσει και του Σχήματος 4.10:

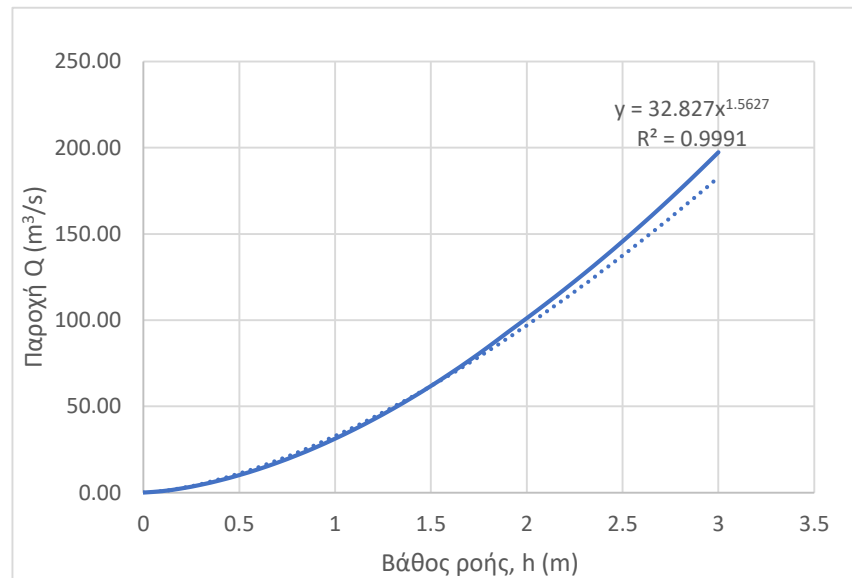
$$\begin{aligned} \text{Εξ. Ogee: } y &= \frac{x^{1.85}}{2 H_d^{0.85}} & x_c &= 0.175 \cdot H_d & R_1 &= 0.5 \cdot H_d \\ b &= 0.282 \cdot H_d & y_c &= 0.136 \cdot H_d & R_2 &= 0.2 \cdot H_d \end{aligned} \quad \text{όπου } H_d = 5 \text{ m}$$



Σχήμα 4.10 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά Ogee

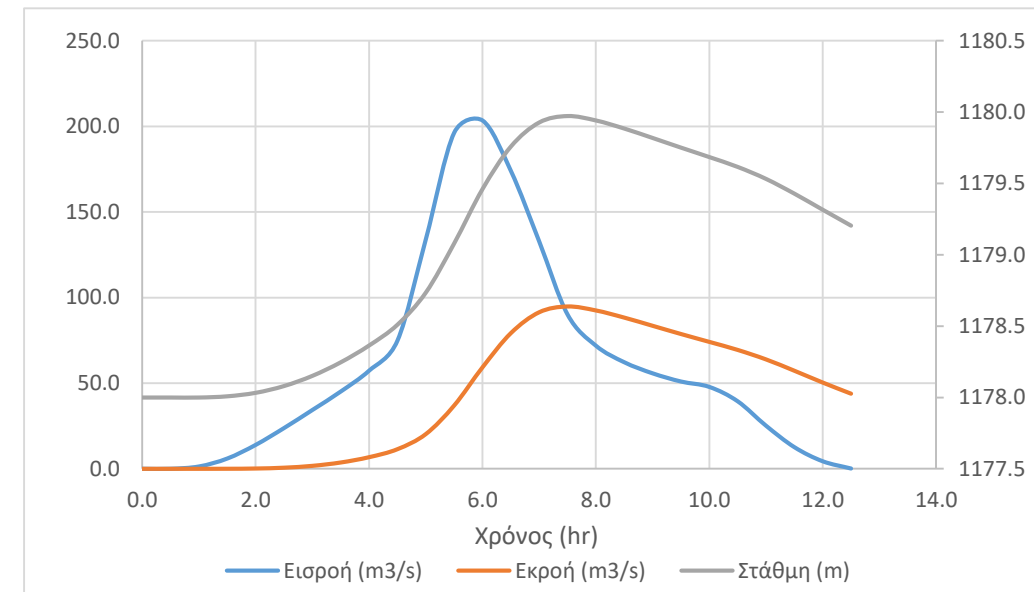
Με βάση τις ανωτέρω διαστάσεις του υπερχειλιστή Ogee παρήχθηκε η αναλυτική σχέση στάθμης - παροχής του υπερχειλιστή, η οποία είναι:

$$y = 32,827 \cdot x^{1.5627} - \text{Εξίσωση 4.2}$$



Διάγραμμα 4.4 Σχέση στάθμης-παροχής υπερχειλιστή

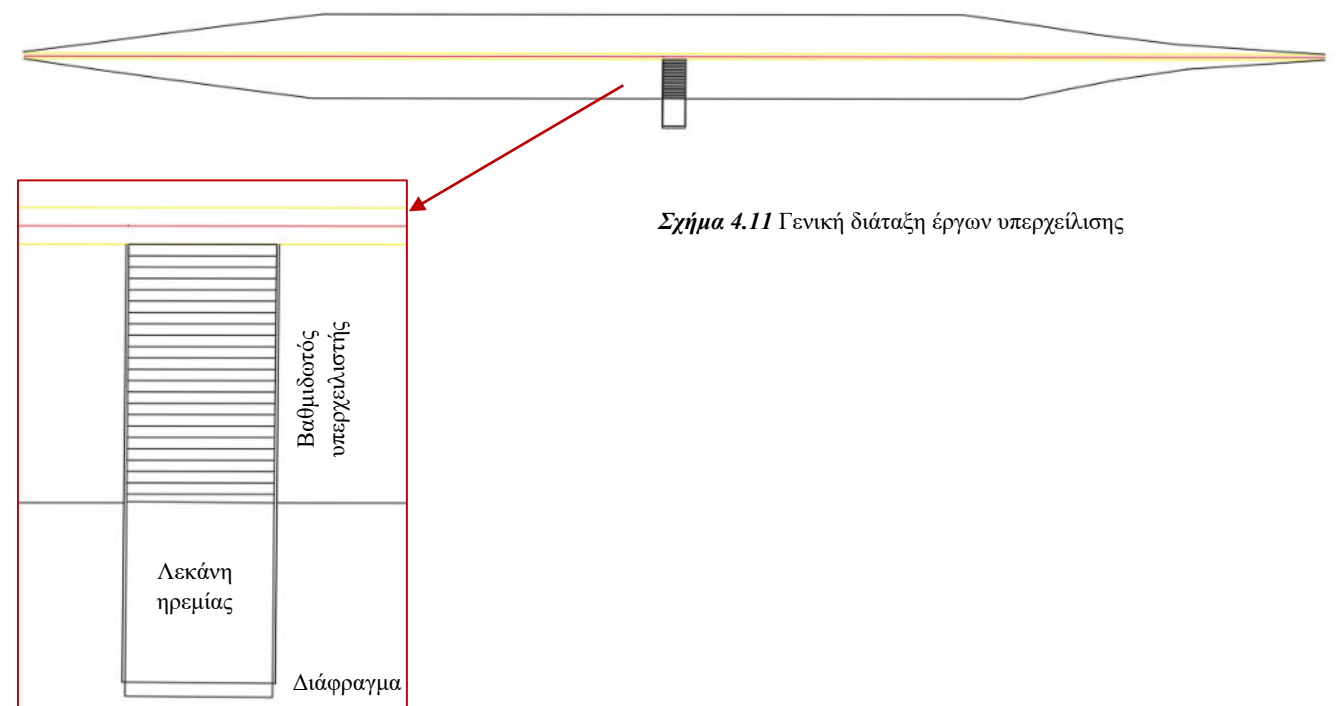
Με χρήση της Εξίσωσης 4.2 και εκ νέου εκτέλεση του μοντέλου διόδευσης υπολογίστηκαν τα πλημμυρογραφήματα εισόδου και εξόδου (Διάγραμμα 4.5). Στο ίδιο διάγραμμα απεικονίζεται και η χρονική εξέλιξη της στάθμης του ταμιευτήρα.



Διάγραμμα 4.5 Πλημμυρογραφήματα εισροής, εκροής & χρονική εξέλιξη στάθμης υπερχειλιστή

4.4.2 Έργα καταστροφής ενέργειας

Λόγω του τύπου του φράγματος (σκληρού επιχώματος) ενδείκνυται για την καταστροφή ενέργειας ο βαθμιδωτός υπερχειλιστής. Με σκαλοπάτια συνολικού πλήθους $N = 23$, ύψους $h = 1,74$ m και πατήματος $1,23$ m επιτυγχάνεται καταστροφή ενέργειας της τάξης του 94%, η οποία είναι αρκετά ικανοποιητική. Για τη βελτιστοποίηση αυτής κατασκευάζεται, επίσης, λεκάνη ηρεμίας με πλευρικά τοιχώματα ύψους 2,5 m και στο τέλος αυτής διάφραγμα ύψους 1,5 m.



Σχήμα 4.11 Γενική διάταξη έργων υπερχειλίστης

4.5 Έργα εκτροπής της ροής του ποταμού

Τα έργα εκτροπής, γενικά, αποτελούν προσωρινά έργα, που στοχεύουν στην εξασφάλιση ασφαλών και ξηρών συνθηκών στη θέση του φράγματος για όλη την περίοδο κατασκευής του. Η ασφαλής εκτροπή επιτυγχάνεται με τα εξής έργα:

- Έργα διακοπής, καθοδήγησης και προσωρινής ανάσχεση της ροής (για το λόγο αυτό κατασκευάζεται πρόφραγμα ανάντη, όπως θα αναλυθεί παρακάτω)
- Έργα απόληψης της απορροής ανάντη (έργα εισόδου)
- Έργα διοχέτευσης της παροχής κατάντη, ώστε να μην επηρεάζονται οι συνθήκες κατασκευής του κυρίως έργου (έργα μεταφοράς)
- Έργα εκβολής της παροχής εκτροπής με ασφάλεια κατάντη (έργα εξόδου)

Για τον περιορισμό του κόστους κατασκευής των έργων εκτροπής και πέραν της περιόδου κατασκευής του φράγματος, θα συνδυαστούν με την υδροληψία, η οποία αποτελεί μόνιμο λειτουργικό στοιχείο του φράγματος.

Τα κύρια έργα που περιλαμβάνει το σύστημα είναι το πρόφραγμα και ο αγωγός εκτροπής. Γενικά, θεωρείται για τα έργα εκτροπής περίοδος επαναφοράς από 10 έως 50 έτη. Στην παρούσα μελέτη επιλέγεται περίοδος επαναφοράς $T = 20$ έτη. Θεωρείται, δε, ότι ως έργο ασφάλειας έχει ένα επίπεδο διακινδύνευσης της τάξης του 10%, το οποίο είναι αποδεκτό (το μέγιστο επίπεδο διακινδύνευσης είναι της τάξης του 25%).

4.5.1 Πρόφραγμα

Στο υπό μελέτη έργο, θα κατασκευαστεί ανάντη πρόφραγμα, με κύριο σκοπό την καθοδήγηση της ροής προς τον αγωγό εκτροπής μέσω των έργων εισόδου. Το πρόφραγμα θα είναι χωμάτινο, με διαστάσεις 432 m x 27 m x 6,5 m. Το ύψος του καθορίστηκε από τα υδρολογικά δεδομένα πλημμύρας, καθώς και υπολογισμούς ανάσχεσης της πλημμύρας σχεδιασμού και διόδευσης από το έργο εκτροπής.

4.5.2 Αγωγός εκτροπής

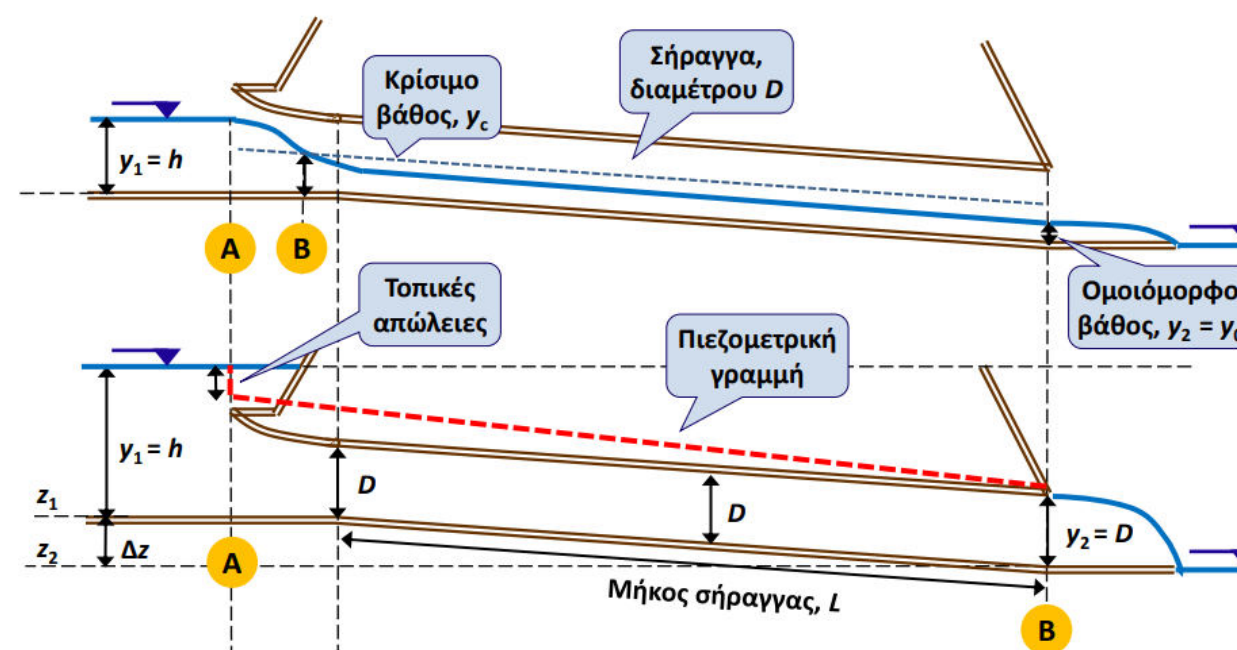
Ο αγωγός εκτροπής αποτελεί έργο μεταφοράς που εξασφαλίζει την ομαλή απαγωγή και διοχέτευση των υδάτων από τα ανάντη προς τα κατάντη της θέσης κατασκευής του φράγματος. Στο υπό μελέτη έργο, η σήραγγα εκτροπής θα κατασκευαστεί υπόγεια και η διέλευσή της θα πραγματοποιείται κάτω από το δυτικό αντέρεισμα, το οποίο συγκροτείται από φλύσχη. Στη φάση κατασκευής του αγωγού, η ροή εμποδίζεται με προσωρινό ανάχωμα, που καθαιρείται όταν ολοκληρωθεί το έργο, δηλαδή με την έναρξη της εκτροπής. Το μέγεθος του αγωγού καθορίζεται ύστερα από τεχνικοοικονομική ανάλυση, η οποία παρουσιάζεται παρακάτω, σε συνάρτηση με το μέγεθος του προφράγματος (μεγαλύτερο ύψος προφράγματος συνεπάγεται μικρότερο αγωγό και αντίστροφα). Στην προκειμένη περίπτωση ο αγωγός μετά την κατασκευή του φράγματος θα αξιοποιηθεί ως δίοδος υδροληψίας, όπως παρουσιάζεται αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

4.5.3 Βασικές παράμετροι σχεδιασμού

Από την κατασκευή του αγωγού, προκύπτει ότι η είσοδος της σήραγγας θα είναι σε υψόμετρο +1137 m, και η έξοδος στα +1129 m. Η διάμετρος που επιλέγεται, ύστερα από βελτιστοποίηση, είναι $D = 4$ m. Στον παρακάτω Πίνακα 4.6 παρουσιάζονται όλα τα απαραίτητα μεγέθη για τους υδραυλικούς υπολογισμούς.

Πίνακας 4.6 Βασικά μεγέθη έργων εκτροπής	
Στάθμη πυθμένα z_0 (m)	1135
Σταθερά σχέσης στάθμης όγκου	0,011
Εκθέτης σχέσης στάθμης όγκου	2,001
Είσοδος σήραγγας (m)	1137
Έξοδος σήραγγας (m)	1128
Διάμετρος (m)	4,0
Μήκος σήραγγας (m)	1350
Κλίση πυθμένα	0,007
Πλάτος έργου εισόδου (m)	3,2
Ύψος έργου εισόδου (m)	5,0

Ο τύπος ροής στον αγωγό εκτροπής μπορεί να προσομοιωθεί με το παρακάτω Σχήμα 4.12:



Σχήμα 4.12 Προσομοίωση ροής στον αγωγό εκτροπής

(Πηγή: Ανδρέας Ευστρατιάδης, Παναγιώτης Παπανικολάου & Σπύρος Μίχας, Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ακαδημαϊκό έτος 2019-20)

Διακρίνονται οι παρακάτω τρεις (3) τύποι ροής:

- **Ροή με ελεύθερη επιφάνεια ($h \leq 1,2D$):** Στην περίπτωση αυτή, ο πυθμένας είναι οριζόντιος και η ταχύτητα ανάντη (δηλαδή η ταχύτητα του ταμιευτήρα) είναι μηδενική. Για τον υπολογισμό των τοπικών απωλειών προσεγγιστικά θεωρείται $k \approx 0,1$. Το βασικότερο χαρακτηριστικό είναι πως η ροή είναι επιθυμητό να είναι υπερκρίσιμη, αν και δεν είναι απόλυτα αναγκαίο. Από τον υπολογισμό του κρίσιμου (y_c) και του ομοιόμορφου βάθους (y_o) προκύπτει ότι:
 - $y_c = 2,41 \text{ m}$
 - $y_o = 2,15 \text{ m}$

Πράγματι το ομοιόμορφο βάθος είναι μικρότερο από το κρίσιμο, άρα εξασφαλίζονται συνθήκες υπερκρίσιμης ροής. Από την εξίσωση της ενέργειας μεταξύ της ανάντη διατομής και της διατομής του κρίσιμου βάθους και ύστερα από υπολογισμούς, η σχέση στάθμης παροχής είναι της μορφής:

$$Q = \lambda h^{\frac{3}{2}}$$

- **Μεταβατική ροή ($1,2D \leq h \leq 1,5D$):** Στην περίπτωση αυτή θεωρείται μία ενδιάμεση (γραμμική) κατάσταση μεταξύ των δύο σταθμών, καθώς η ροή είναι ασταθής.
- **Ροή υπό πίεση ($h \geq 1,5D$):** Ο συντελεστής τοπικών απωλειών για ομαλή προσαγωγή της ροής λαμβάνεται ίσος με $k = 0,1$. Για μεγαλύτερη ακρίβεια των πράξεων, εφαρμόστηκε η γενικευμένη εξίσωση του Manning. Έτσι, από την εξίσωση ενέργειας και τη σχέση του Manning, προκύπτει η σχέση στάθμης παροχής:

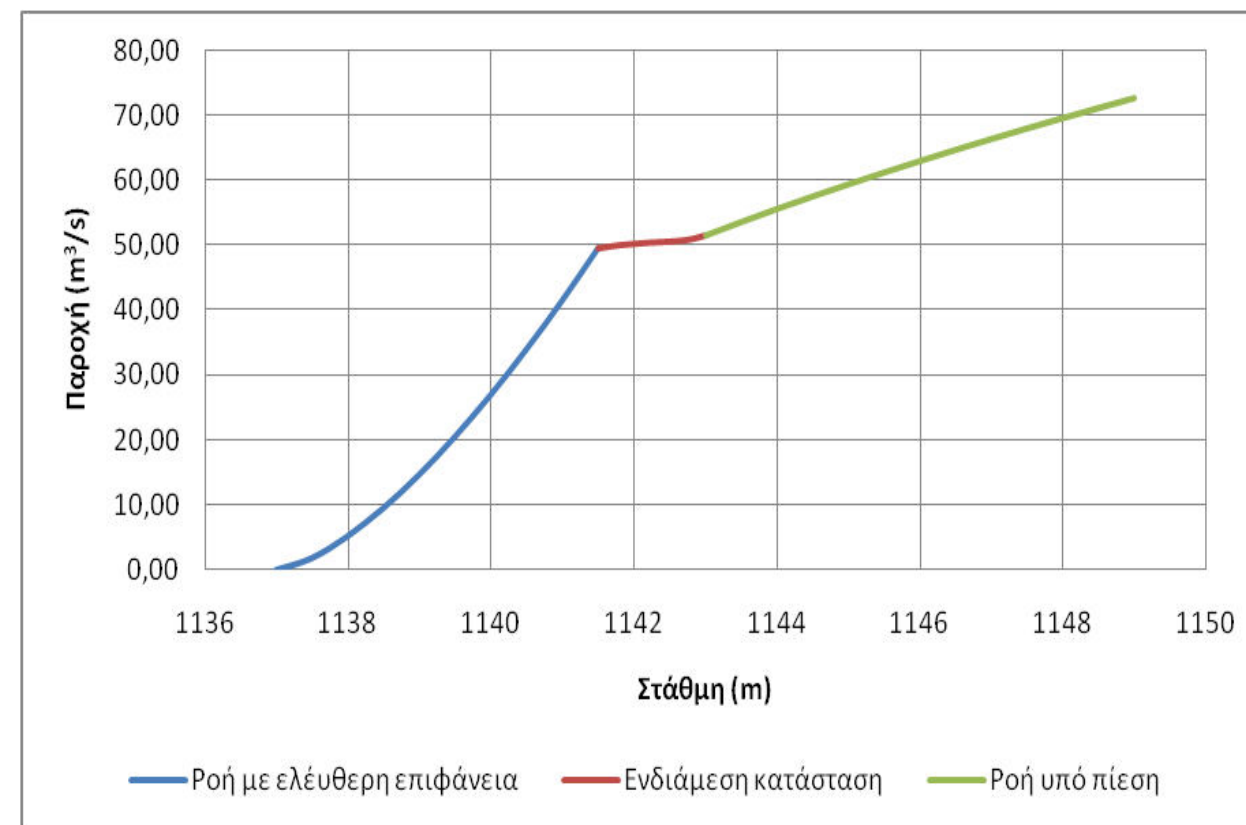
$$Q = \mu(h + \Delta z - D)^{\frac{1}{2}}$$

4.5.4 Υδραυλικός σχεδιασμός έργων εκτροπής

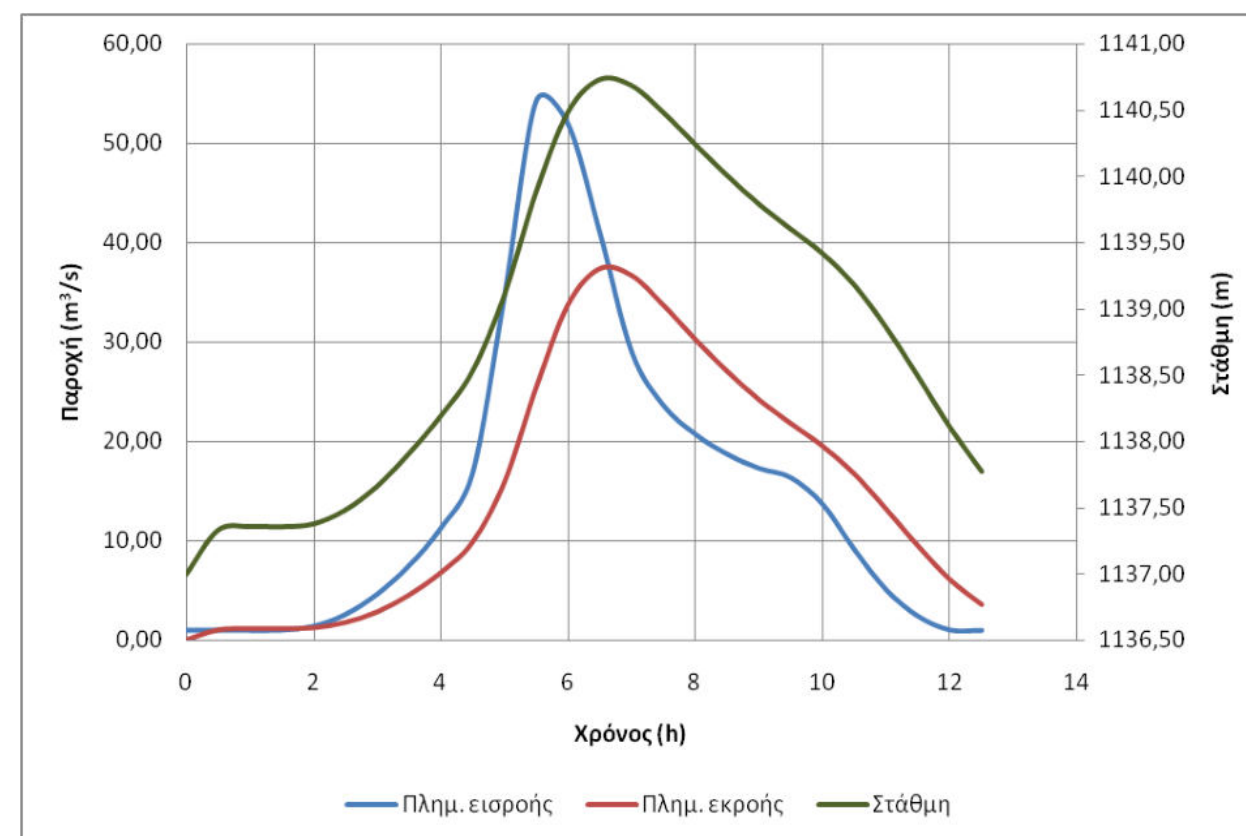
Σκοπός των υπολογισμών, είναι να καθοριστεί η μέγιστη στάθμη της πλημμύρας, ώστε να προκύψει το ύψος του προφράγματος. Ως πλημμυρογράφημα εισροής, ορίζεται το πλημμυρογράφημα που προκύπτει για $T = 20$ έτη. Ως πλημμυρογράφημα εκροής, ορίζεται το πλημμυρογράφημα των εκροών που προκύπτουν από τις παραπάνω σχέσεις ανάλογα με το ύψος της στάθμης (συγκριτικά με τη διάμετρο του αγωγού). Παρακάτω, παρουσιάζεται το γράφημα των πλημμυρογραφήματων εισροής, εκροής καθώς και η εξέλιξη της στάθμης της πλημμύρας (η οποία προέκυψε με το εργαλείο SOLVER του υπολογιστικού προγράμματος Excel).

Η ανώτατη στάθμη πλημμύρας ανέρχεται στα **+1140,73 m**, και η παροχή αιχμής σήραγγας στα **$Q_p = 37,38 \text{ m}^3/\text{s}$** .

Το ύψος του προφράγματος ισούται με **6,5 m**, θεωρώντας ένα ελεύθερο ύψος 0,5 m μέχρι τη στέψη, υπέρ της ασφαλείας.



Διάγραμμα 4.6 Τύποι ροής στον αγωγό εκτροπής



Διάγραμμα 4.7 Πλημμυρογραφήματα εισροής, εκροής & χρονική εξέλιξη στάθμης έργων εκτροπής ($T = 20$ έτη)

4.5.5 Έμφραξη σήραγγας εκτροπής

Η σήραγγα εκτροπής σχεδιάζεται έτσι ώστε έπειτα από την κατασκευή του φράγματος να αξιοποιηθεί ως δίοδος της υδροληψίας. Πιο συγκεκριμένα, κατά την ολοκλήρωση της κατασκευής ενός φράγματος ακολουθεί η έμφραξη της σήραγγας εκτροπής, ώστε να αρχίσει η πλήρωση του ταμιευτήρα. Αυτό στην αρχή επιτυγχάνεται με ειδικά τεμάχια που προσαρμόζονται τέλεια επί της εισόδου της εκτροπής και εν συνεχεία γίνεται η οριστική έμφραξη με σκυρόδεμα. Η υδροληψία χωροθετείται σε υψηλότερη στάθμη, επομένως για την σύνδεση της με την σήραγγα εκτροπής απαιτείται η κατασκευή μιας προέκτασης της σήραγγας εκτροπής κατακόρυφα προς την στάθμη της υδροληψίας. Έτσι, κατασκευάζεται η σήραγγα της υδροληψίας, η οποία διασταυρώνεται με την σήραγγα εκτροπής. Το σημείο της διασταύρωσης είναι συνήθως το σημείο στο οποίο σταματά η έμφραξη με σκυρόδεμα.



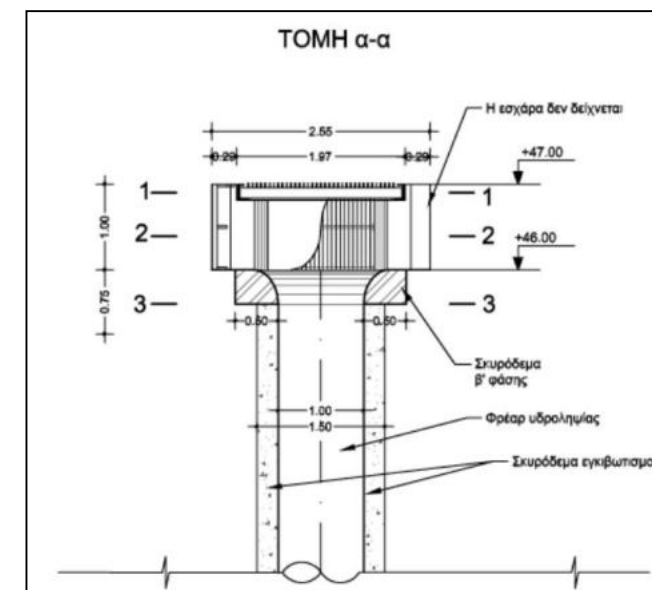
Εικόνα 4.1 Δοκοί προσωρινής έμφραξης σήραγγας εκτροπής



Εικόνα 4.2 Έμφραξη σήραγγας εκτροπής σήραγγας Σμόκοβου (2002)

4.6 Υδροληψία

Η υδροληψία είναι το σύστημα με το οποίο γίνονται οι απολήψεις νερού από τον ταμιευτήρα με ελεγχόμενο τρόπο, ενώ λόγω της φύσης ενός έργου αντλησιοταμίευσης, από το ίδιο έργο επιτυγχάνεται η επιστροφή του αντλούμενου νερού. Πρόκειται για εξειδικευμένη κατασκευή με κατάλληλες συναρμογές, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι υδραυλικές απώλειες κατά την απόληψη (και επιστροφή) του νερού. Τα κύρια χαρακτηριστικά μιας υδροληψίας είναι η χωροθέτηση της (βυθισμένη ή πλευρική), το στόμιο που χρησιμοποιείται (τύπου χοάνης ή πλευρική με συναρμογές), οι συσκευές ελέγχου της ροής, όπως βαλβίδες και θυροφράγματα, και τέλος τα απαραίτητα όργανα μέτρησης (π.χ. οι σταθμηγράφοι). Στην περίπτωση του υπό μελέτη έργου, επιλέγεται υδροληψία τύπου χοάνης με τοποθέτηση περιμετρικής εσχάρας. Επισημαίνεται ότι η υδροληψία γίνεται σε ένα μεγαλύτερο εύρος στάθμης, ενώ μάλιστα το εύρος διακύμανσης μεταξύ της στάθμης της υδροληψίας και της ανώτατης στάθμης λειτουργίας συνδυάζεται με τα χαρακτηριστικά του στροβίλου και τα δεδομένα της αναμενόμενης παραγωγής. Το βέλτιστο φορτίο με το οποίο λειτουργεί η μονάδα ΥΗΕ λαμβάνεται υπ' όψιν στην απόφαση σχεδιασμού της στάθμης υδροληψίας. Η διατήρηση επαρκούς ύψους νερού πάνω από την υδροληψία εξασφαλίζει την προστασία του ΥΗΕ από την προσρόφιση αέρα, η οποία είναι ανεπιθύμητη. Ο έλεγχος της υδροληψίας γίνεται είτε με θυροφράγματα, είτε με τα ρυθμιστικά στοιχεία του στροβίλου. Όπως αναφέρεται παραπάνω, η χοάνη υδροληψίας διασταυρώνεται με την σήραγγα εκτροπής μέσω της οποίας διοδεύεται το νερό προς τον αγωγό προσαγωγής.



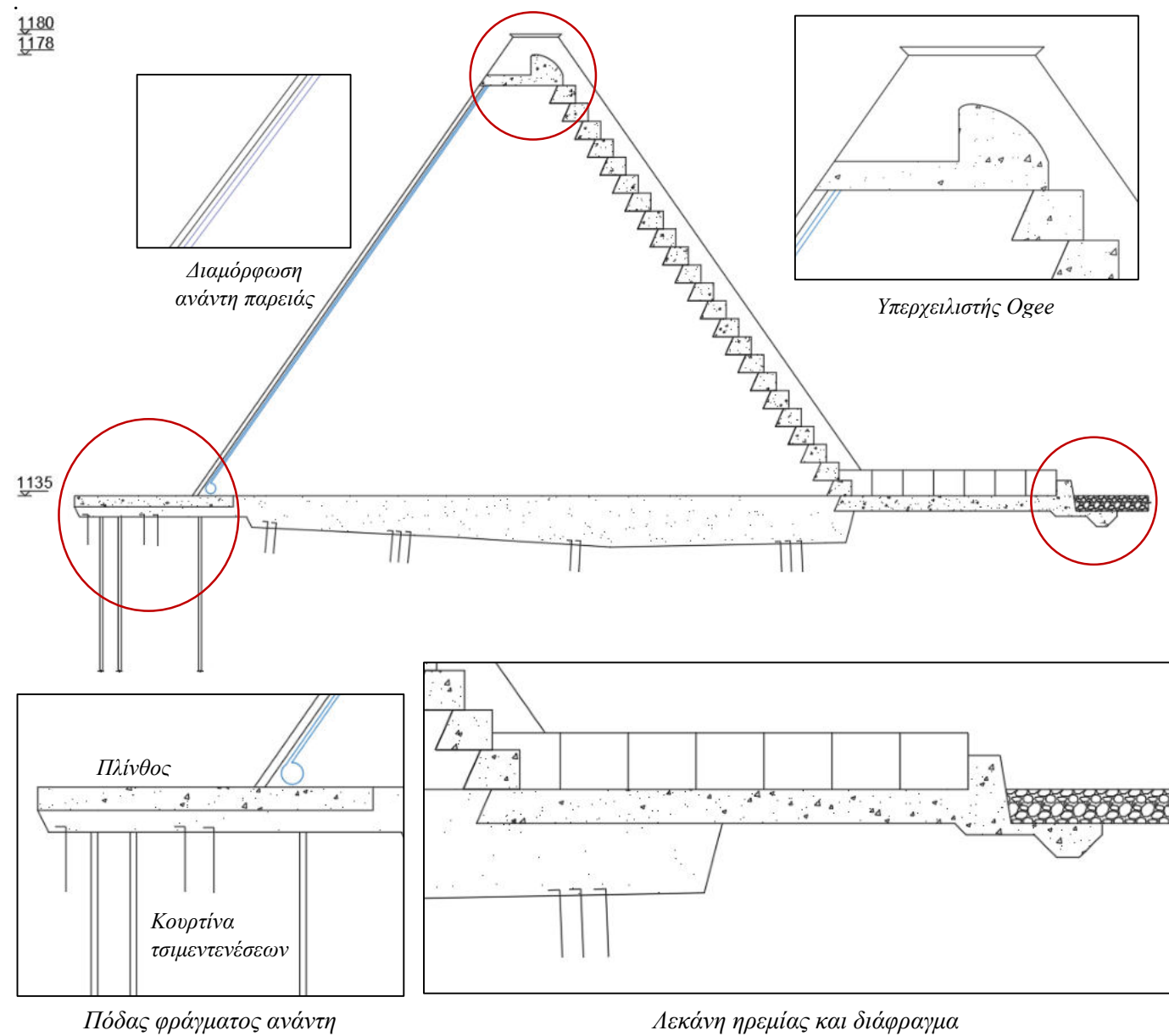
Εικόνα 4.3 Τυπική τομή χοάνης υδροληψίας



Εικόνα 4.4 Χοάνη υδροληψίας

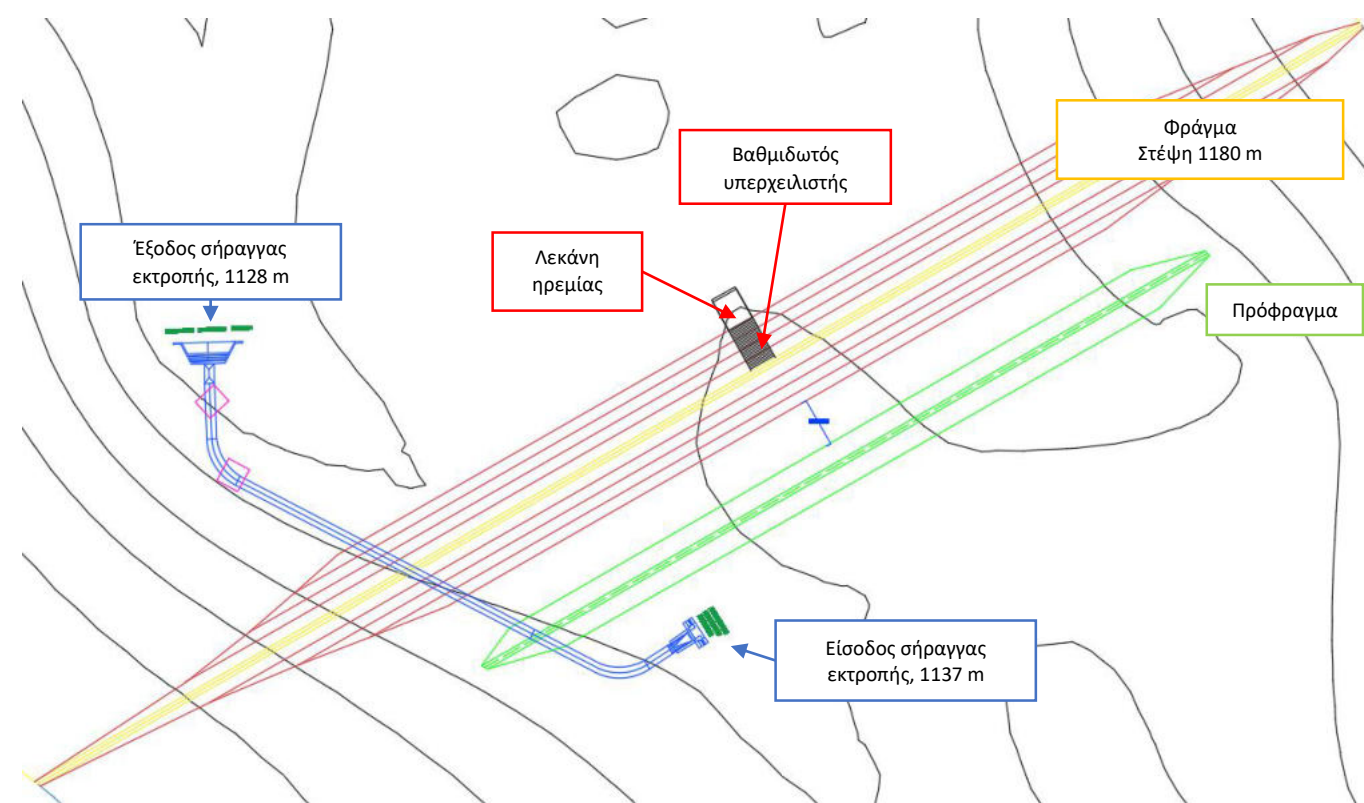
4.7 Τυπική διατομή και κατασκευαστικές λεπτομέρειες

Η τυπική διατομή του υπό μελέτη φράγματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.13 μαζί με τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες που απαιτούνται. Στην επίπεδη ανάντη παρειά έχει τοποθετηθεί πλάκα σκυροδέματος πάχους 30 cm από την επαφή με την πλίνθο μέχρι και τη στέψη του φράγματος. Στο μέσον της πλάκας τοποθετείται κάρναβος χαλύβδινου οπλισμού Φ20/25 που εξασφαλίζει καμπτική λειτουργία. Παράλληλα σε αυτήν έχει τοποθετηθεί γεωφάσμα ίδιου πάχους, το οποίο περιλαμβάνει και στραγγιστικό σωλήνα πληρωμένο με γαρμπίλι για την απομάκρυνση των υδάτων και την καλύτερη στεγανοποίηση του φράγματος. Στον πόδα της ανάντη παρειάς κατασκευάζεται η πλίνθος από οπλισμένο σκυρόδεμα που αγκυρώνεται με ράβδους Φ25, μαζί με τους σωλήνες αποστράγγισης. Στον άξονά της τοποθετούνται τσιμεντενέσεις για την αποφυγή διήθησης, διαφυγών νερού και δημιουργίας μεγάλων ανωστικών δυνάμεων. Έχει καθοριστεί ότι το βάθος των απαιτούμενων τσιμεντενέσεων για τη στεγάνωση της περιοχής κατασκευής του φράγματος είναι 30 m.

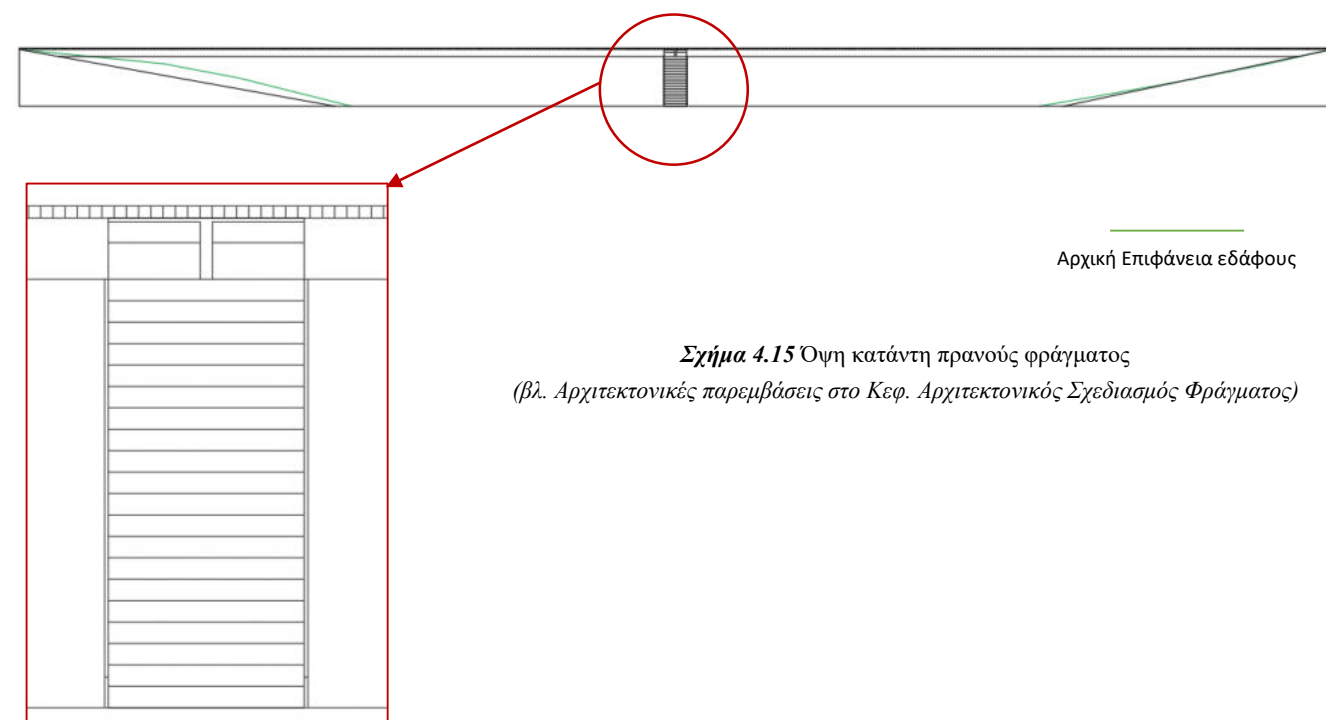


Σχήμα 4.13 Τυπική διατομή φράγματος

4.8 Γενική διάταξη έργων σε οριζοντιογραφία



Σχήμα 4.14 Διάταξη των έργων σε οριζοντιογραφία



Σχήμα 4.15 Όψη κατόντη πρηνούς φράγματος
(βλ. Αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις στο Κεφ. Αρχιτεκτονικός Σχεδιασμός Φράγματος)

4.9 Χρήσεις φράγματος – Ταμιευτήρας πολλαπλού σκοπού

Το υπό μελέτη φράγμα, που θα κατασκευαστεί στην περιοχή του Οροπεδίου του Καθαρού, θα ενταχθεί σε ένα ευρύτερο υβριδικό σύστημα, το οποίο θα αποσκοπεί στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ταμιευτήρας, όμως, που θα δημιουργηθεί θα συγκεντρώνει ετησίως εισροές της τάξης των 18 hm³, συμπεριλαμβανομένων των εισροών που θα προσφέρουν οι τάφροι συλλογής από τα γειτονικά ρέματα. Επομένως, για την καλύτερη διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής, αποφασίζεται η περαιτέρω αξιοποίηση των αποθεμάτων του ταμιευτήρα, ώστε αυτός να εξυπηρετεί πρόσθετες χρήσεις, πέραν της παραγωγής ενέργειας. Η λειτουργία του σαν ταμιευτήρας πολλαπλού σκοπού θα εξυπηρετεί παράλληλα την ύδρευση κοντινών οικισμών της Ιεράπετρας, αλλά και την άρδευση των καλλιεργούμενων εκτάσεων της ευρύτερης περιοχής.

4.9.1 Ύδρευση κοντινών οικισμών

4.9.1.1 Υδρευτικές καταναλώσεις οικισμών

Η πρώτη, λοιπόν, χρήση του ταμιευτήρα πολλαπλού σκοπού θα είναι η ύδρευση των κοντινών οικισμών της Ιεράπετρας. Η Ιεράπετρα, εδώ και πολλά χρόνια, αντιμετωπίζει προβλήματα υδροδότησης, ακόμα και έπειτα από συστηματικές επιδιορθώσεις. Για τον λόγο αυτό, για την παροχή νερού στους κατοίκους κρίνεται σκόπιμη και η κατασκευή εγκατάστασης επεξεργασίας νερού, όπως θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα. Για την διαστασιολόγησή της είναι αναγκαίος ο καθορισμός της ζήτησης των οικισμών σε νερό. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ο πληθυσμός των οικισμών αυτών, σύμφωνα με την απογραφή του 2011, και υπολογίζονται οι υδρευτικές καταναλώσεις με την παραδοχή κατανάλωσης 200 L/d ανά κάτοικο.

Οικισμός	Πληθυσμός	Υδρευτικές Καταναλώσεις (L/d)
Μάλες	302	60.400
Χριστός	64	12.800
Σελακάνο	29	5.800
Λακούδια	8	1.600
Μεταξοχώρι	12	2.400
Καλαμαύκα	425	85.000
Καμάρα	27	5.400
Ψαθί	12	2.400
Μύθοι	287	57.400
Καρύδι	20	4.000
Μινός	23	4.600
Ορνιάς	1	200
Συκιά	2	400
Συνολική κατανάλωση (L/d)		242.400
Συνολική κατανάλωση (m ³ /d)		242,4
Συνολική κατανάλωση (m³)		88.476

Οι οικισμοί αποτελούν πόλο έλξης ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες, οπότε και αναμένεται η άφιξη πλήθους παραθεριστών. Συνεπώς, η συνολική απαιτούμενη ποσότητα σε νερό θα προκύψει από το άθροισμα των καταναλώσεων των μόνιμων κατοίκων και των παραθεριστών, με τη θεώρηση κατανάλωσης 250 L/d ανά κάτοικο. Εξετάζονται, στη συνέχεια, δύο πιθανά σενάρια, ένα με πιο δυσμενή αποτελέσματα, θεωρώντας μικρότερο αριθμό παραθεριστών, και ένα με ευμενέστερα. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 4.8.

Σενάριο 1		Σενάριο 2			
Οικισμός	Παραθεριστές	Υδρευτικές Καταναλώσεις (L/d)	Οικισμός	Παραθεριστές	Υδρευτικές Καταναλώσεις (L/d)
Μάλες	160	40.000	Μάλες	250	62.500
Χριστός	32	8.000	Χριστός	60	15.000
Σελακάνο	10	2.500	Σελακάνο	22	5.500
Λακούδια	3	750	Λακούδια	12	3.000
Μεταξοχώρι	22	5.500	Μεταξοχώρι	35	8.750
Καλαμαύκα	176	44.000	Καλαμαύκα	230	57.500
Καμάρα	10	2.500	Καμάρα	15	3.750
Ψαθί	5	1.250	Ψαθί	10	2.500
Μύθοι	50	12.500	Μύθοι	80	20.000
Καρύδι	5	1.250	Καρύδι	8	2.000
Μινός	5	1.250	Μινός	8	2.000
Ορνιάς	0	0	Ορνιάς	1	250
Συκιά	0	0	Συκιά	1	250
Συνολική κατανάλωση (L/d)		119.500	Συνολική κατανάλωση (L/d)	183.000	
Συνολική κατανάλωση (m ³ /d)		119,5	Συνολική κατανάλωση (m ³ /d)	183	
Συνολική κατανάλωση (m³)		10.755	Συνολική κατανάλωση (m³)	16.470	

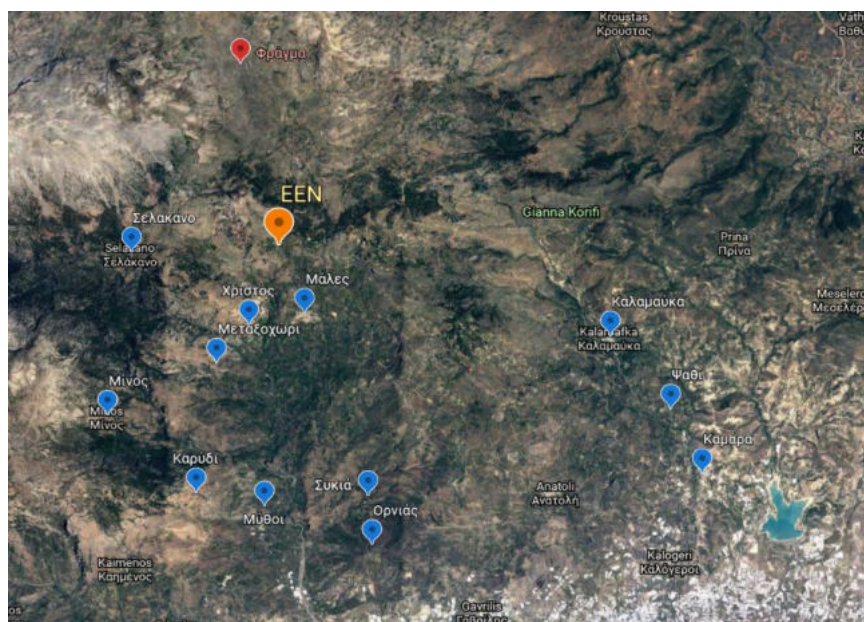
Παρά την αύξηση των παραθεριστών, η διαφορά των καταναλώσεων δεν είναι μεγάλη. Στην πρώτη περίπτωση, η συνολική ποσότητα που απαιτείται ανέρχεται στα 99.231 m³ ετησίως, ενώ στη δεύτερη στα 104.946 m³ ετησίως. Έτσι, η ποσότητα που θα παροχετεύεται για την ύδρευση των οικισμών αυτών, υπολογιζόμενη υπέρ της ασφαλείας, θα είναι ίση με 450 m³/d.

4.9.1.2 Εγκατάσταση επεξεργασίας νερού (EEN)

Όπως προαναφέρεται, για την βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων του ταμιευτήρα που θα δημιουργηθεί, επιλέχθηκε η αξιοποίηση ενός μέρους του αποθέματός του με σκοπό την εξυπηρέτηση υδρευτικών αναγκών. Σχεδιάζεται να πραγματοποιηθεί η υδροδότηση των οικισμών της Ιεράπετρας, οι οποίοι αντιμετωπίζουν προβλήματα λειψυδρίας ιδιαίτερα κατά του θερινού μήνα. Για το λόγο αυτό, είναι σκόπιμη η κατασκευή εγκατάστασης επεξεργασίας νερού, η οποία θα διασφαλίζει την υδροδότηση με ελεγμένο, ασφαλές και υγιεινό πόσιμο νερό, σύμφωνα με την κείμενη ελληνική νομοθεσία.

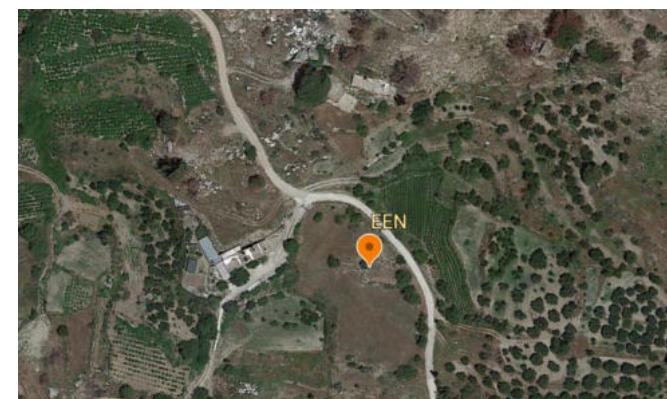
4.9.1.2.1 Χωροθέτηση εγκατάστασης

Η εγκατάσταση επεξεργασίας νερού επιλέγεται να κατασκευαστεί σε σημείο που ταυτόχρονα να διασφαλίζεται η πρόσβαση σε αυτήν μέσω υφιστάμενου οδικού δικτύου, και η απόστασή της από το φράγμα και τους υδροδοτούμενους οικισμούς να κυμαίνεται σε λογικά πλαίσια. Το φράγμα του Οροπεδίου Καθαρού, του οποίου οι υδατικοί πόροι θα αξιοποιηθούν, βρίσκεται σε απόσταση 4 km, ενώ ο πλησιέστερος σε αυτήν οικισμός είναι ο οικισμός Μάλλες στα 2,7 km. Η μέγιστη απόστασή της από οικισμό είναι αυτή των 10 km από την Καμάρα. Στο χάρτη της *Εικόνας 4.5* παρουσιάζεται η χωροθέτηση της εγκατάστασης σε σχέση με το φράγμα και τους οικισμούς που θα εξυπηρετηθούν.



Εικόνα 4.5 Χωροθέτηση εγκατάστασης επεξεργασίας νερού (λήψη από Google Earth)

Η επιλογή του οικοπέδου για την κατασκευή έγινε με επιπλέον γνώμονα τη διασφάλιση της όσο το δυνατόν ηπιότερης κλίσης του και τον περιορισμό των απαιτούμενων χωματουργικών εργασιών (εκσκαφών και επιχωματώσεων). Έχει έκταση 1.100 στρέμματα (1,1 km²), ώστε να περιέχονται σε αυτό όλες εκείνες οι διεργασίες και οι τεχνικές και κτιριακές υποδομές για την αποτελεσματική επεξεργασία του νερού. Στις *Εικόνες 4.6* και *4.7* παρουσιάζονται η γενική άποψη του οικοπέδου και το ανάγλυφο της περιοχής.



Εικόνα 4.6 Γενική άποψη οικοπέδου εγκατάστασης (λήψη από Google Earth)



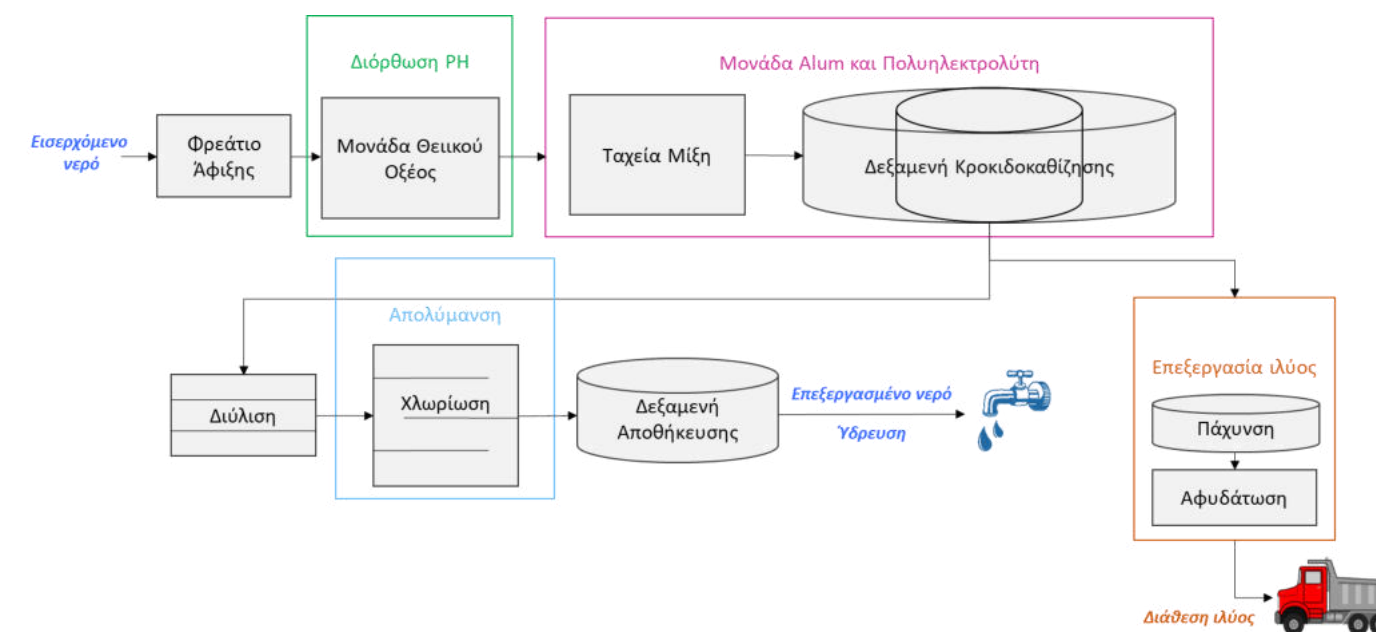
Εικόνα 4.7 Ανάγλυφο περιοχής οικοπέδου εγκατάστασης (λήψη από Google Earth)

4.9.1.2.2 Διάγραμμα ροής εγκατάστασης επεξεργασίας νερού

Το νερό που καταφθάνει στην εγκατάσταση χαρακτηρίζεται ως «μετρίου επιπέδου θολότητας», γεγονός που το καθιστά νερό Κατηγορίας A2 (*Παράρτημα II της Οδηγίας 75/440/ΕΟΚ*). Οι μονάδες που θα εξυπηρετούν τις επεξεργασίες που πρέπει να λαμβάνουν χώρα στο νερό αυτής της κατηγορίας είναι οι εξής:

- Μονάδα θειικού οξέος
- Δεξαμενή ταχείας μίξης
- Δεξαμενή συνδυασμένης κροκιδοκαθίξεσης
- Μονάδα διύλισης
- Μονάδα απολύμανσης
- Δεξαμενή αποθήκευσης πριν την υδροδότηση
- Δεξαμενή πάχυνσης
- Δεξαμενή αφυδάτωσης

Το τυπικό διάγραμμα ροής της επεξεργασίας για νερό Κατηγορίας A2 παρουσιάζεται στο *Διάγραμμα 4.8*.



Διάγραμμα 4.8 Διάγραμμα ροής εγκατάστασης επεξεργασίας νερού

4.9.1.2.3 Διαστασιολόγηση επιμέρους μονάδων

Η διαστασιολόγηση της εγκατάστασης και των επιμέρους μονάδων επεξεργασίας γίνεται με βάση το δυσμενέστερο σενάριο του εξυπηρετούμενου πληθυσμού που περιλαμβάνει τόσο μόνιμους κατοίκους, όσο και τουρίστες. Επομένως, για πληθυσμό 1900 κατοίκων και υδρευτική κατανάλωση 237 L/κάτοικο/d, προέκυψε η παροχή σχεδιασμού της μονάδας ίση με 450 m³/d.

Μονάδα απολύμανσης

Η απολύμανση θα γίνεται με χλωρίωση, με σκοπό την εξασφάλιση της μικροβιολογικής ποιότητας του επεξεργασμένου νερού. Το χλώριο έχει χαμηλό κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας, ενώ χαρακτηρίζεται από ευρύτατη εμπειρία εφαρμογής. Διακρίνεται για τη σημαντική υπολειμματική του δράση, η οποία διατηρεί το νερό «καθαρό» σε όλη τη διαδρομή του στο δίκτυο διανομής και μέχρι την άφιξη στον καταναλωτή.

Η απολύμανση θα πραγματοποιείται με διάλυμα υποχλωριόδου νατρίου (NaOCl). Δεδομένης της μικρής παροχής σχεδιασμού, κατασκευάζεται μία δεξαμενή χλωρίωσης σε μορφή μαιανδρικής διώρυγας με κανάλια, ώστε να διασφαλίζεται η εμβολοειδής ροή του προς επεξεργασία νερού. Για χρόνο παραμονής 20 min προκύπτουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της δεξαμενής όπως αυτά αναγράφονται στον Πίνακα 4.9.

Παράμετρος	Μονάδα	Αξία
Όγκος, V (m ³)		125,00
Ύψος, H (m)		2,50
Επιφάνεια, A (m ²)		64,00
Κανάλια, n		4
Πλάτος καναλιού, b (m)		1,20
Μήκος καναλιού, L (m)		13,00

Η δεξαμενή αποθήκευσης των χημικών διαστασιολογείται για μέση δόση χλωρίου ίση με 2 mg/l. Για συγκέντρωση Cl₂ στο NaOCl ίση με 15% κ.β. και ειδικό βάρος NaOCl ίσο με 1,2 kg/l, προκύπτει η απαίτηση για αποθήκευση 0.21 l δ/τος / hr. Για χρόνο παραμονής 3 ημερών τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της δεξαμενής αποθήκευσης χημικών αναγράφονται στον Πίνακα 4.10.

Παράμετρος	Μονάδα	Αξία
Όγκος, V (m ³)		1,00
Ύψος, H (m)		1,00
Επιφάνεια, A (m ²)		1,00

Για την αντλία δοσομέτρησης των χημικών η διαστασιολόγηση γίνεται με βάση τη μέγιστη δόση χλωρίου των 5 mg/l. Έτσι, η δυναμικότητά της προκύπτει ίση με 0,6 l NaOCl/hr, ενώ θα εγκατασταθεί και εφεδρική αντλία για την περίπτωση βλάβης.

Μονάδα κροκιδοκαθίζησης

Κροκιδώση είναι η συσσωμάτωση των αιωρούμενων και κολλοειδών στερεών, ώστε στη συνέχεια να καθιζάνουν στον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης και να απομακρύνονται από το νερό με τη μορφή υδαρούς ιλύος. Ως κροκιδωτικό χρησιμοποιείται το θειικό αργίλιο Al₂(SO₄)₃ (alum). Επιλέγεται μία δεξαμενή συνδυασμένης κροκιδοκαθίζησης με χρόνο παραμονής 15 min. Έτσι, προκύπτουν τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.11 για το θάλαμο της κροκιδώσης.

Παράμετρος	Αξία
Όγκος, V (m ³)	4,60
Ύψος, H (m)	4,00
Διάμετρος, D (m)	2,44
Κλίση ταχύτητας, G (sec ⁻¹)	80
Κινημ. συνεκτ. (10 °C), μ (N·s/m ²)	1,31·10 ⁻³
Ισχύς ανάδευσης, P (W)	39,3

Για επιφανειακή φόρτιση της καθίζησης ίση με q = 40 m³/m²/d προκύπτουν τα χαρακτηριστικά του θαλάμου καθίζησης και του συνολικού θαλάμου στον Πίνακα 4.12.

Παράμετρος	Αξία
Ύψος, H (m)	4,00
Επιφάνεια, A _{καθ} (m ²)	11,25
Συνολική επιφάνεια, A _{ολ} (m ²)	14,00
Συνολική διάμετρος, D _{ολ} (m ²)	4,22

Η αποθήκευση του κροκιδωτικού (alum) διαστασιολογείται για τη μέση δόση του που είναι ίση με 15 mg/l. Για αποθηκευτικό χώρο σε σακιά (ύψους 90 cm) για 15 ημέρες προκύπτει ανάγκη για 1 m². Όσο για το σιλό αποθήκευσης του alum, για χρόνο αποθήκευσης 5 ημερών, ο όγκος που καλύπτει αυτή την απαίτηση είναι τα 1,18 m³. Τέλος, η δυναμικότητα της αντλίας δοσομέτρησης του alum για τη μέγιστη δόση των 50 mg/l θα είναι ίση με 1 m³/hr, ενώ θα εγκατασταθεί και εφεδρική αντλία για την περίπτωση βλάβης.

Μονάδα ταχείας μίξης

Κατασκευάζεται μία μονάδα ταχείας μίξης, η οποία συνεργάζεται με τη δεξαμενή κροκιδοκαθίζησης, με χρόνο παραμονής 30 sec και τα χαρακτηριστικά του Πίνακα 4.13.

Παράμετρος	Αξία
Όγκος, V (m ³)	0,16
Κλίση ταχύτητας, G (sec ⁻¹)	500
Κινημ. συνεκτ. (10 °C), μ (N·s/m ²)	1,31·10 ⁻³
Ισχύς ανάδευσης, P (W)	51,17

Για μέση δόση πολυηλεκτρολύτη ίση με 0,50 mg/l, συγκέντρωση 0,2% κ.ο. και χρόνο παραμονής ίσο με 1 ημέρα, προκύπτει απαιτούμενος αποθηκευτικός χώρος αυτού ίσος με 1 m³. Η δυναμικότητα της αντλίας του πολυηλεκτρολύτη για τη μέγιστη δόση του 1 mg/l θα είναι ίση με 50 l/hr, ενώ θα εγκατασταθεί και εφεδρική αντλία για την περίπτωση βλάβης.

Μονάδα διύλισης

Κατά τη διύλιση απομακρύνονται από το νερό αιωρούμενα και κολλοειδή στερεά μέσω της διέλευσης του νερού από πορώδες μέσο, το οποίο μπορεί να είναι στρώμα άμμου ή άλλου κοκκώδους υλικού. Στην προκείμενη εγκατάσταση επιλέγονται διυλιστήρια άμμου με επιφανειακή φόρτιση ίση με 8 m³/m²/hr. Κατασκευάζονται 4 συνολικά κλίνες, εκ των οποίων η μία είναι σε έκπλυση. Έτσι, διαμορφώνονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του Πίνακα 4.14 της μονάδας διύλισης.

Πίνακας 4.14 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κλινών διύλισης	
Επιφάνεια, A (m ²)	160,00
Κλίνες (1 σε έκπλυση)	4
Πλάτος κλίνης, b (m)	4,00
Μήκος κλίνης, L (m)	10,00

Επεξεργασία ιλύος

Ο ταμιευτήρας θεωρείται ότι περιέχει νερό με μέση θολότητα 20 NTU. Επομένως, βάσει αυτής της θεώρησης δύναται να υπολογιστεί η ποσότητα των στερεών (TS) που θα υποστούν πάχυνση και αφυδάτωση για απομάκρυνση του νερού, η οποία προκύπτει ίση με 10,68 kg/d.

Πάχυνση

Με κριτήριο σχεδιασμού της μονάδας πάχυνσης τα 25 kg TS / (m²·d) προκύπτουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της δεξαμενής πάχυνσης του Πίνακα 4.15.

Πίνακας 4.15 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά δεξαμενής πάχυνσης	
Επιφάνεια, A (m ²)	1,00
Ύψος, H (m)	2,00

Αφυδάτωση

Για φόρτιση ταινιοφιλτρόπρεσας ίση με 150 kg TS/(m·hr) και παραδοχή 35 hr (7 hr/d, 5 d/εβδ) εβδομαδιαίας λειτουργίας επιλέγεται 1 ταινιοφιλτρόπρεσα μήκους 1 m και δεξαμενή αφυδάτωσης όμοια με αυτή της πάχυνσης (βλ. Πίνακα 4.15).

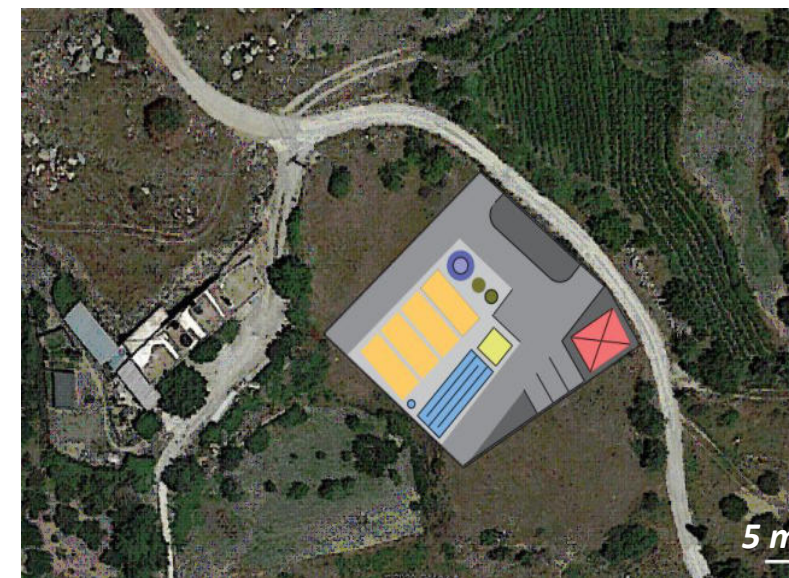
Δεξαμενή αναρρύθμισης πριν την υδροδότηση

Τέλος, για την αποθήκευση του νερού πριν την υδροδότηση των οικισμών επιλέγεται κυβική ρυθμιστική δεξαμενή χρόνου παραμονής 4 hr με τα εξής γεωμετρικά χαρακτηριστικά (Πίνακας 4.16).

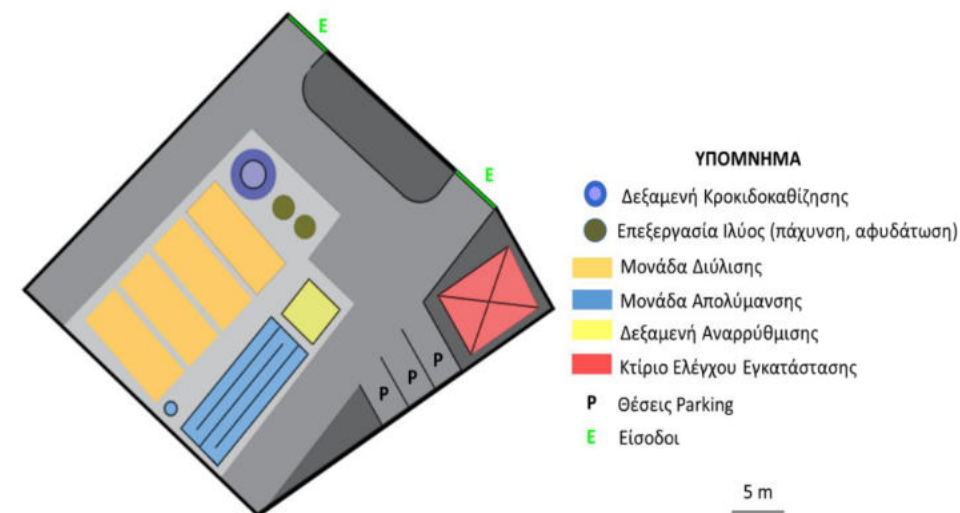
Πίνακας 4.16 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά δεξαμενής αναρρύθμισης	
Διαστάσεις, L (m)	4,00 x 4,00
Ύψος, H (m)	5,00
Όγκος, V (m ³)	80,00

4.9.1.2.4 Σχεδιασμός EEN – διάταξη των μονάδων

Στην Εικόνα 4.8 παρουσιάζεται η κάτοψη της εγκατάστασης όπως αυτή αναπτύσσεται στο οικόπεδο των 1.100 στρεμμάτων. Έχει προβλεφθεί διαπλάτυνση του δρόμου στην είσοδο του οικοπέδου για τη διευκόλυνση των μεταφορών της εγκατάστασης. Παράλληλα, εξυπηρετείται η πρόσβαση μέσω 2 εισόδων για την ασφαλή κίνηση των φορτηγών και των μεταφορικών μέσων. Τέλος, έχει κατασκευαστεί κτιριακή υποδομή 50 m², η οποία περιλαμβάνει το γραφείο διοίκησης, χώρους αποθήκευσης χημικών, υλικά συντήρησης και επιδιόρθωσης των μονάδων, αλλά και χώρους υγιεινής και ανάπαυσης για το προσωπικό. Στην Εικόνα 4.9 παρουσιάζεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια η διάταξη των επιμέρους μονάδων και υποδομών στο οικόπεδο της εγκατάστασης επεξεργασίας νερού.



Εικόνα 4.8 Οικόπεδο εγκατάστασης (λήψη από Google Earth, επεξεργασία με AutoCAD-2D)



Εικόνα 4.9 Διάταξη μονάδων της εγκατάστασης επεξεργασίας νερού

4.9.2 Άρδευση γειτονικών καλλιεργούμενων εκτάσεων

Η συστηματική εγκατάλειψη του Οροπέδιου Καθαρού από τους πληθυσμούς της περιοχής κρούει τον κώδωνα για την ανάληψη μιας αποφασιστικής αποκεντρωμένης πολιτικής για την ενίσχυση του τοπικού πληθυσμού, δεδομένου ότι γεωγραφικά το Οροπέδιο Καθαρού βρίσκεται δίπλα στα μεγάλα τουριστικά θέρετρα και αστικά κέντρα Μάλια, Ανάληψη, Χερσόνησος και Άγιος Νικόλαος.

Στο πλαίσιο της βέλτιστης και δίκαιης αξιοποίησης του υδατικού δυναμικού του φράγματος, αποφασίστηκε ένα μέρος αυτού να διανέμεται σε καλλιέργειες που πρόκειται να αναπτυχθούν στο Οροπέδιο Καθαρού. Αυτό αποτελεί μια στρατηγική επιλογή για την τόνωση της περιφερειακής ανάπτυξης στον πρωτογενή τομέα, γεγονός που μπορεί να προσφέρει ασφαλή εχέγγυα οικονομικής αντάρκειας στους αγροτικούς πληθυσμούς της ευρύτερης περιοχής.

Σε εγγύτητα με το Οροπέδιο Καθαρού βρίσκεται το Οροπέδιο Λασιθίου, που διαθέτει τη μεγαλύτερη, ομαλότερη και πιο εύφορη πεδιάδα της Κρήτης. Οι κάτοικοι του Οροπέδιου Λασιθίου έχουν πλούσια κτηνοτροφική και γεωργική εμπειρία και μάλιστα όχι σε μονοκαλλιέργεια, αλλά πολυκαλλιέργεια (πατάτας, κολοκυθιού, αχλαδιού, ελιάς). Τα γεωργικά και κτηνοτροφικά προϊόντα του θεωρούνται από τα καλύτερα της Κρήτης και όχι μόνο. Το Οροπέδιο Λασιθίου έχει μέσο υψόμετρο 900 m και το γειτνιάζον Οροπέδιο Καθαρού έχει μέσο υψόμετρο 1050 m. Ανασταλτικός παράγοντας στην αγροτική ανάπτυξη του ήταν αφενός η δύσκολη και επικίνδυνη συγκοινωνιακή πρόσβαση σε αυτό, καθώς και το υψηλό ψύχος κατά την χειμερινή περίοδο.

4.9.2.1 Πλεονεκτήματα καλλιέργειας εντός θερμοκηπίου

Προκειμένου να μετριασθεί ο κίνδυνος καταστροφής των καλλιεργειών από τις χαμηλές θερμοκρασίες, τον παγετό και το χιόνι, προτείνεται η εγκατάσταση θερμοκηπίων εντός των οποίων θα πραγματοποιείται η καλλιέργεια.

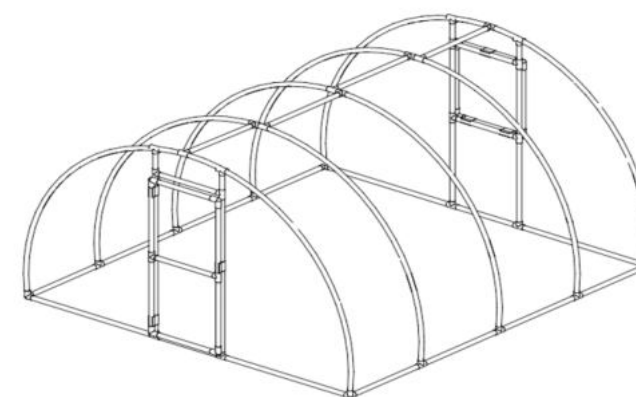
Η καλλιέργεια σε θερμοκήπια παρουσιάζει μια σειρά από πλεονεκτήματα έναντι της συμβατικής καλλιέργειας στον αγρό. Καταρχάς δίνουν την δυνατότητα για παραγωγή προϊόντων ποιότητας καθ' όλη την διάρκεια του έτους, με αποδοτική χρήση των εισροών σε νερό, λιπάσματα, φυτοφάρμακα και εργασία. Η δυνατότητα παραγωγής προϊόντων εκτός εποχής, δηλαδή σε περιόδους που η καλλιέργεια των φυτών στον αγρό είναι αδύνατη ή προβληματική λόγω των αντίξωων συνθηκών του φυσικού περιβάλλοντος, συνεπάγεται αυξημένες τιμές διάθεσης των παραγόμενων προϊόντων.

Μέσα στο θερμοκήπιο εξασφαλίζονται οι ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης των καλλιεργειών, και συγκεκριμένα η θερμοκρασία είναι ελεγχόμενη, το CO₂ είναι εξασφαλισμένο σε υψηλά επίπεδα, λαμπτήρες μπορούν και προσομοιάζουν το ηλιακό φως κατά τις συννεφιασμένες ημέρες, ενώ υπάρχει και προστασία από αρκετούς φυτοπαθογόνους οργανισμούς. Ιδιαίτερα όσον αφορά το νερό, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων, οι καλλιέργειες στα θερμοκήπια έχουν τρεις με πέντε φορές μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα χρήσης νερού σε σχέση με τον ανοικτό αγρό. Αυτό συμβαίνει λόγω της ρύθμισης της θερμοκρασίας του αέρα, και κατά συνέπεια περιορισμού των απωλειών νερού λόγω διαπνοής.

4.9.2.2 Κατασκευή θερμοκηπίου

Ένα θερμοκήπιο ποικίλει ως προς τον τύπο, τις διαστάσεις, τους εξοπλισμούς και τα υλικά κάλυψης. Εν προκειμένω, προκρίνεται η κατασκευή θερμοκηπίων τοξωτού τύπου, μιας και παρουσιάζουν υψηλή ανθεκτικότητα σε ανέμους, λόγω της τέλει αεροδυναμικής τους, και εξαιρετική εφαρμογή των υλικών κάλυψης. Ο σκελετός θα κατασκευαστεί από γαλβανισμένους σωλήνες, λόγω της μεγάλης του σταθερότητας αλλά και της μεγαλύτερης αντοχής του έναντι διάβρωσης από υγρασία στα τριάντα και πλέον χρόνια από την κατασκευή του. Όσον αφορά το υλικό κάλυψης του σκελετού του θερμοκηπίου, αυτό επιλέγεται να είναι σκληρό πλαστικό, αφού επιτυγχάνει υψηλή

διάχυση του φωτός στον χώρο και μικρότερη συγκέντρωση των υδρατμών. Ακόμη το σκληρό πλαστικό είναι ένα υλικό ελαφρύτερο και οικονομικότερο από το γυαλί, που μπορεί και παραλαμβάνει τις μετακινήσεις από συστολοδιαστολές λόγω των θερμοκρασιακών μεταβολών.



Εικόνα 4.10 Σκελετός θερμοκηπίου τοξωτού τύπου από γαλβανισμένους σωλήνες

Για την εξασφάλιση του αερισμού του θερμοκηπίου και την ανακύκλωση του όγκου του αέρα, έχει γίνει πρόβλεψη για παράθυρα αερισμού στην οροφή και στις πλαϊνές πλευρές. Η τεχνητή θέρμανση του αέρα στο θερμοκήπιο μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση αερόθερμου (βλ. Εικόνα 4.11). Τα αερόθερμα που χρησιμοποιούνται διοχετεύουν στον χώρο του θερμοκηπίου θερμό αέρα με τη βοήθεια ανεμιστήρων ή καλύτερα με διάτρητο πλαστικό σωλήνα, ο οποίος συνδέεται με το αερόθερμο. Η θέρμανση γίνεται συνήθως με καυστήρες ορυκτών καυσίμων. Αντίστροφα, κατά τους θερινούς μήνες, είναι αναγκαία η τοποθέτηση υδροπάνελ. Τα υδροπάνελ είναι ένας τοίχος από χαρτί και ειδικές ρητίνες, που διαβρέχεται με νερό και λειτουργούν συνδυαστικά με εξαεριστήρες (βλ. Εικόνα 4.12).



Εικόνα 4.11 Αερόθερμο



Εικόνα 4.12 Υδροπάνελ

4.9.2.3 Είδος καλλιέργειας

Με βάση τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά στην περιοχή εγκατάστασης των θερμοκηπίων, αλλά και βάσει της σύστασης του εδάφους, αξιολογείται ότι η καλλιέργεια κηπευτικών είναι δόκιμη, δεδομένης της επάρκειας σε νερό. Επιλέγεται η καλλιέργεια 100 στρεμμάτων τομάτας και 100 στρεμμάτων πατάτας, δύο κηπευτικών ειδών που ευδοκούν στο γειτονικό Οροπέδιο Λασιθίου

Καλλιέργεια τομάτας

Το έδαφος για να είναι έτοιμο να δεχτεί το φυτό πρέπει να προετοιμαστεί έγκαιρα, κατάλληλα και επιμελημένα. Έτσι, είναι απαραίτητη η προσεκτική απομάκρυνση των υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας, το φρεζάρισμα και η ισοπέδωση του εδάφους με ταυτόχρονη ενσωμάτωση του κομπόστ, η ηλιοαπολύμανση, όπως και η βασική λίπανση στις γραμμές φύτευσης. Για την παραγωγή σποροφύτων τομάτας χρησιμοποιούνται ειδικοί καλυμμένοι χώροι (σπορεία) αποκλειστικά για το σκοπό αυτό, χωριστά από το θερμοκήπιο. Η φύτευση της τομάτας στα πλαστικά κύπελλα ή στα ομαδικά μέσα σποράς γίνεται μία εβδομάδα περίπου μετά το φύτευμα, στο στάδιο της έκπτυξης του πρώτου πραγματικού φύλλου, με σκοπό την ανάπτυξη πλούσιου ριζικού συστήματος. Η φύτευση στο θερμοκήπιο γίνεται περίπου 25 - 40 ημέρες από την μεταφύτευση στα κύπελλα ή στα ομαδικά μέσα σποράς. Επιλέγονται εύρωστα φυτά, ομοιόμορφα και καλής ανάπτυξης. Συνηθίζεται η φύτευση να γίνεται σε διπλές γραμμές και οι αποστάσεις φύτευσης διαφέρουν ανάλογα την εποχή φύτευσης.



Εικόνα 4.13 Καλλιέργεια κηπευτικών σε θερμοκήπιο

Καλλιέργεια πατάτας

Η πατάτα δεν καλλιεργείται με σπόρο, αλλά πολλαπλασιάζεται με κονδύλους (πατάτες). Με τον όρο πατατόσπορος, εννοούμε τους κονδύλους εκείνους που κυρίως προορίζονται για την παραγωγή βρώσιμης πατάτας. Προέρχονται από φυτά μεγαλωμένα από εξειδικευμένους και έμπειρους παραγωγούς, που υπόκεινται σε αυστηρούς ελέγχους ειδικών φορέων, σε όλα τα στάδια ανάπτυξης τους. Καλλιεργούνται σε χωράφια απομακρυσμένα από άλλες καλλιέργειες, επί σειρά ετών και σε απομονωμένες περιοχές. Οι κόνδυλοι αυτοί είναι απαλλαγμένοι από ασθένειες και φέρουν όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά της ποικιλίας που εγγυώνται τη μεγαλύτερη δυνατή παραγωγή. Υπάρχουν ποικιλίες πατατόσπορου που φέρουν πιο "νόστιμα" χαρακτηριστικά, όπως η ποικιλία Agila και η ποικιλία Liseta. Για την ενίσχυση του φυσικού αποτελέσματος νοστιμιάς των καρπών συνιστάται εμπλουτισμός του εδάφους με κάλιο.

Φυτεύουμε κονδύλους που έχουν προβλαστήσει σε βάθος 10-18 cm, ανάλογα το τύπο εδάφους, και σε απόσταση 70-75 cm μεταξύ των γραμμών και 30-40 cm επί της γραμμής. Η πατάτα χρειάζεται 90 έως 120 ημέρες για να ολοκληρώσει τον κύκλο της, ανάλογα την πρωιμότητα της ποικιλίας. Σε κάθε περίπτωση, υπολογίζουμε η συγκομιδή να έχει πραγματοποιηθεί πριν τις πολύ υψηλές θερμοκρασίες και τους καύσωνες του καλοκαιριού και πριν τους παγετούς του χειμώνα.

4.9.2.4 Υπολογισμός αρδευτικών αναγκών σε νερό

Η άρδευση είναι εργασία που χρειάζεται εμπειρία και ικανότητα σωστής καθημερινής εκτίμησης των αναγκών του φυτού σε νερό. Λιγότερο ή περισσότερο νερό για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να προκαλέσει τεράστιες ζημιές στην καλλιέργεια. Οι ακανόνιστες αρδεύσεις είναι επικίνδυνες, διότι ενδέχεται να δημιουργήσουν προβλήματα στην ανάπτυξη του φυτού. Οι ανάγκες του φυτού σε νερό δεν είναι ίδιες κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας. Η εφαρμογή άρδευσης επηρεάζεται από το έδαφος, την ένταση του φωτός, τη θερμοκρασία, την ξηρασία, τη φυλλική επιφάνεια του φυτού, την ηλικία του, τον όγκο παραγωγής, το στάδιο ωρίμασής του καθώς και από την ποιότητα του νερού.

Η τομάτα έχει ανάγκη κανονικής και σταθερής υγρασίας στο έδαφος. Όλες οι καλλιεργητικές εργασίες και κυρίως το πότισμα πρέπει να στοχεύουν στην εξισορρόπηση φυλλώματος και ριζικού συστήματος, ώστε να μην εξαντληθεί το ριζικό σύστημα προκειμένου να ανταποκριθεί στις υπερβολικές ανάγκες του πλούσιου φυλλώματος και της παραγωγής

Οι πατάτες είναι καλλιέργεια πολύ ευαίσθητη στην έλλειψη εδαφικής υγρασίας. Οι ανάγκες των πατατών σε νερό εξαρτώνται από τις κλιματολογικές συνθήκες και από το στάδιο ανάπτυξης της φυτείας. Είναι μικρότερες στα αρχικά στάδια ανάπτυξης και στο τελικό στάδιο ωρίμανσης της φυτείας, και μεγαλύτερες στο στάδιο ανάπτυξης των κονδύλων. Η έλλειψη νερού κατά τον σχηματισμό των κονδύλων προκαλεί μείωση του αριθμού τους και του τελικού τους βάρους.

Για την εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών, λήφθηκε υπόψη ότι κατά την θερμή ξηρή περίοδο (3 μήνες του θέρους) η απαίτηση σε νερό είναι για την τομάτα 18-20 m³/στρέμμα/2ημερο και για την πατάτα 30 m³/στρέμμα/2ημερο, ενώ κατά τους υπόλοιπους μήνες η απαίτηση είναι ίση με το 60% της ξηρής περιόδου. Έτσι, οι αρδευτικές ανάγκες σε νερό ετησίως για την άρδευση 100 στρεμμάτων καλλιέργειας τομάτας σε θερμοκήπιο και άρδευση 100 στρεμμάτων καλλιέργειας πατάτας σε θερμοκήπιο εκτιμήθηκαν περί το 1 hm³.

4.9.2.5 Δίκτυο άρδευσης

Τα αρδευτικά έργα είναι ένα σύνολο εγκαταστάσεων, συσκευών και οργάνων, που έχουν ως τελικό στόχο τη χορήγηση νερού στις καλλιέργειες. Στο υπό μελέτη έργο η υδροληψία βρίσκεται στη θέση του ταμιευτήρα και είναι εφοδιασμένη με τέτοια διάταξη, ώστε να επιτυγχάνεται μηχανικός καθαρισμός του νερού από φερτά υλικά που αιωρούνται. Η χάραξη του δικτύου αγωγών ακολουθεί σε γενικές γραμμές την τοπογραφία του εδάφους. Η τοποθέτηση των αρδευτικών σωλήνων ακολουθεί το κεντρικό αγροτικό δίκτυο από το φράγμα προς τις καλλιέργειες, οι οποίες χωροθετούνται νοτιοανατολικά του οικισμού στο Οροπέδιο Καθαρό. Η ροή του νερού γίνεται υπό πίεση με τη βοήθεια αντλιοστασίων όπου η τοπογραφία δεν επιτρέπει την προσαγωγή νερού λόγω βαρύτητας.

Το σύστημα με το οποίο επιτυγχάνεται η άρδευση είναι σύμφωνα με την μέθοδο της στάγδην άρδευσης, η οποία διακρίνεται για την υψηλή αποδοτικότητά της. Με αυτή την μέθοδο οι απαιτήσεις σε πίεση είναι μέχρι 3 bars. Η παροχέτευση του νερού στις αρδευόμενες εκτάσεις γίνεται μέσω των υδροληψιών, οι οποίες εγκαθίστανται στα όρια των αγροτεμαχίων. Σημειώτεον ότι το πρώτο βήμα στη χάραξη ενός συλλογικού αρδευτικού δικτύου, όπως το υπ' όψιν, είναι η τοποθέτηση των υδροληψιών.

Το σχεδιαζόμενο δίκτυο είναι επί της ουσίας ένα σύστημα επιμέρους δικτύων που τροφοδοτούνται με αρδευτικό νερό από ένα κεντρικό δίκτυο μεταφοράς και διανομής. Το δίκτυο αυτό είναι ένα ακτινωτό δίκτυο σωληνώσεων που ενώνει τις υδροληψίες όλων των αρδευτικών μονάδων. Το ακτινωτό δίκτυο των αγωγών μεταφοράς και διανομής του αρδευτικού νερού είναι δίκτυο μόνιμων υπόγειων πλαστικών σωλήνων από χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC) σε μήκη 6 m. Η σύνδεση των σωλήνων γίνεται με ειδική διαμόρφωση του ενός άκρου τους, ώστε να επικαλύπτει το συνεχόμενο σωλήνα, και με παρεμβολή ελαστικού δακτυλίου μεταξύ των δύο τμημάτων εξασφαλίζεται η στεγανότητα.

Κατά την φάση λειτουργίας, για την αντιμετώπιση μόνιμων ή έκτακτων καταστάσεων, απαιτείται η ασφάλεια του δικτύου των αγωγών μεταφοράς και διανομής του αρδευτικού νερού. Φαινόμενα που είναι πιθανό να διαταράξουν την ομαλή λειτουργία του δικτύου είναι η έναρξη και διακοπή του αντλιοστασίου, η απότομη διακοπή παροχής, η ανάγκη διακοπής παροχής σε τμήμα του δικτύου και η επισκευή και αντικατάσταση σωληνώσεων κ.λπ.). Το πρόβλημα της ομαλής και ασφαλούς λειτουργίας του δικτύου αντιμετωπίζεται με τη μελέτη και εγκατάσταση στο δίκτυο των συσκευών τοπικής προστασίας, όπως αυτές που αναφέρονται παρακάτω:

- Οι αντιπληγματικές βαλβίδες, που χρησιμεύουν για τον περιορισμό της επιρροής του φαινομένου του υδραυλικού πλήγματος. Τοποθετούνται στα σημεία, όπου δημιουργείται το υδραυλικό πλήγμα ή εκεί όπου αναπτύσσονται οι μεγαλύτερες υπερπίεσεις. Συνήθως τοποθετούνται ανάντη των συστημάτων ρύθμισης της παροχής (π.χ. ανάντη των υδροληψιών) και κατάντη των αντλιοστασίων.
- Οι βαλβίδες εξαέρωσης για την απομάκρυνση του αέρα που συσσωρεύεται στα ψηλότερα σημεία του δικτύου απώλειες). Τοποθετούνται στα σημεία αλλαγής της κλίσης του αγωγού από θετική σε αρνητική. Επίσης τοποθετούνται ανάντη των διακοπών παροχής (βάνες), αν ο αγωγός ανεβαίνει (θετική κλίση) ή στα κατάντη τους, αν ο αγωγός κατεβαίνει (αρνητική κλίση).
- Οι βαλβίδες εισαγωγής αέρα, για την εξουδετέρωση των υποπιέσεων που μπορεί να δημιουργηθούν στο δίκτυο (συνήθως στη διάρκεια του αδειάσματος του δικτύου). Η δημιουργία υποπιέσεων προξενεί βλάβες στις συνδέσεις των σωληνώσεων με αποτέλεσμα τη μη στεγανότητα των αγωγών. Οι βαλβίδες αυτές τοποθετούνται στα ψηλότερα σημεία του δικτύου, καθώς και στα σημεία που είναι δυνατόν να αναπτυχθούν υποπιέσεις (φαινόμενο σίφωνα).
- Οι εκκενωτές για το γρήγορο άδειασμα του δικτύου ή τμήματος του σε περιπτώσεις επισκευής και συντήρησης των αγωγών ή κατά τη διάρκεια της χειμερινής διακοπής της άρδευσης. Για λειτουργικούς λόγους οι εκκενωτές τοποθετούνται στα χαμηλά σημεία του δικτύου.
- Οι διακόπτες παροχής (βάνες) για το σταμάτημα της ροής του νερού και την απομόνωση τμήματος του δικτύου. Συνήθως τοποθετούνται αυτόματες βάνες που διακόπτουν τη ροή, όταν η παροχή του αγωγού ξεπεράσει (λόγω βλάβης στα κατάντη) την κανονική τιμή λειτουργίας.

4.9.2.6 Οικονομική βιωσιμότητα επένδυσης – Χρηματοδότηση

Το κόστος για την εγκατάσταση θερμοκηπίου, όπως περιγράφεται ανωτέρω, είναι περί τα 25.000 €/στρέμμα. Συνολικά ο προϋπολογισμός για την εγκατάσταση των θερμοκηπίων και του συνοδού εξοπλισμού ανέρχεται στα 5.000.000 €.

Στον Πίνακα 4.17 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εκτίμηση των μεγεθών παραγωγής από τις καλλιέργειες τομάτας και πατάτας σε ετήσια βάση.

Πίνακας 4.17		
Εκτίμηση μεγεθών παραγωγής σε ετήσια βάση		
	Τομάτα	Πατάτα
Παραγωγή ανά στρέμμα (tn)	15	6
Έκταση (στρέμματα)	100	100
Συνολική παραγωγή (tn)	1500	600
Έσοδα παραγωγής (€/kg)	0,5	0,25
Συνολικά έσοδα παραγωγών	750.000 €	150.000 €
	900.000 €	

Συγκρίνοντας τα ετήσια (ακαθάριστα) έσοδα με το κόστος εγκατάστασης των θερμοκηπίων και κατασκευής του συνοδού αρδευτικού δικτύου, είναι δεδομένο πως θα πραγματοποιηθεί πλήρης απόσβεση του κεφαλαίου επένδυσης σε βάθος 10ετίας.

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφερθεί πως στο πλαίσιο των προγραμμάτων επιδοτήσεων ΕΣΠΑ (Εταιρικό Σύμφωνο για το Πλαίσιο Ανάπτυξης – Πρόγραμμα Αγροτικής Ανάπτυξης) και του προγράμματος «Τοπική Ανάπτυξη με Πρωτοβουλία Τοπικών Κοινοτήτων», έχει αναπτυχθεί μια μέθοδος σχεδιασμού και υλοποίησης τοπικών ολοκληρωμένων αναπτυξιακών στρατηγικών, με τη συμμετοχή εταίρων σε τοπικό επίπεδο, προκειμένου να αντιμετωπισθούν αποτελεσματικά οι οικονομικές, κοινωνικές, περιβαλλοντικές και δημογραφικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι αγροτικές περιοχές. Το πρόγραμμα αυτό ακούει στο όνομα LEADER και είναι ένα ιδιαίτερα ισχυρό εργαλείο προκειμένου οι τοπικές κοινότητες να κάνουν σταθερά βήματα προς πιο αποτελεσματικές μορφές οικονομικής, βιώσιμης και «χωρίς αποκλεισμούς» ανάπτυξης, σύμφωνα με τη εθνική στρατηγική ανάπτυξης εγκεκριμένη από την Ευρωπαϊκή Ένωση, να «καινοτομήσουν» προκειμένου να αντιμετωπισθούν τα κοινωνικοοικονομικά προβλήματα των αγροτικών περιοχών της χώρας. Το πρόγραμμα LEADER μπορεί να είναι η απάντηση για την σημαντική χρηματοδότηση (σε ποσοστό έως και 60%) των έργων για την ενίσχυση του πρωτογενή τομέα στο Οροπέδιο Λασιθίου, αμβλύνοντας σημαντικά τις δημογραφικές προκλήσεις που αντιμετωπίζει, και ενισχύοντας σημαντικά την κοινωνική συνοχή στην ευρύτερη αγροτική περιοχή.

4.9.3 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας – Έργο αντλιοσταμείωσης

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω αξιοποίησης των υδατικών πόρων της περιοχής, κατασκευάζεται έργο αντλιοσταμείωσης. Το εν λόγω έργο θα πραγματοποιεί πτώση και άντληση νερού από τον ταμιευτήρα σε υφιστάμενη λιμνοδεξαμενή. Στην παρούσα, λοιπόν, ενότητα γίνεται διαστασιολόγηση του αγωγού προσαγωγής και επιλογή του τύπου των υδροστροβίλων, καθώς και αναφορά στις υπάρχουσες λιμνοδεξαμενές της περιοχής.

4.9.3.1 Αγωγός προσαγωγής

Ο αγωγός προσαγωγής αποτελεί υδραυλικό έργο διασύνδεσης του ταμιευτήρα με τους στροβίλους και κατά προέκταση με την λιμνοδεξαμενή του Αγίου Γεωργίου. Πρόκειται για καθοριστικής σημασίας έργο, το οποίο αναβαθμίζει το ύψος πτώσης από τα 40 στα 310 m, ενώ παράλληλα καθιστά εφικτή την λειτουργία της αντλιοσταμείωσης με υφιστάμενη δεξαμενή.

4.9.3.1.1 Οριζοντιογραφία – Επιλογή χάραξης

Η περιοχή μελέτης του έργου χαρακτηρίζεται ως ορεινή με έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο, γεγονός που καθιστά δύσκολο το σχεδιασμό αγωγού προσαγωγής χωρίς την κατασκευή σήραγγας. Καθώς, όμως, πρόκειται για ιδιαίτερα δαπανηρή επιλογή, εξετάστηκαν οι υδραυλικά βέλτιστες οδεύσεις χωρίς την κατασκευή σήραγγας. Συνεπώς, η χάραξη του αγωγού θα πρέπει να ακολουθεί το ανάγλυφο του εδάφους. Η τοποθέτηση του πρόκειται να γίνει σε όρυγμα και προκειμένου να αποφευχθούν οι περιττές εκσκαφές, το όρυγμα σχεδιάζεται με σταθερό βάθος. Πέραν των προβλημάτων που προκύπτουν από την ύπαρξη έντονου αναγλύφου, μία ακόμα σημαντική παράμετρος σχεδιασμού είναι η ύπαρξη ρηγμάτων στους ορεινούς όγκους περιμετρικά του Οροπεδίου Καθαρού. Πιο συγκεκριμένα, ο αγωγός θα χρειαστεί να διαπεράσει ένα κύριο ρήγμα το οποίο χωροθετείται ανάμεσα από το οροπέδιο Λασιθίου και Καθαρού. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού υπάρχουν αρκετές λύσεις, μία εκ των οποίων είναι η στερέωση του αγωγού επιφανειακά και η χρήση ειδικών τμημάτων στο σημείο μετάβασης από το ρήγμα, έτσι ώστε να μπορούν να παραληφθούν οι αναμενόμενες μετακινήσεις.



Εικόνα 4.14α Τοποθέτηση μεταλλικού αγωγού σε όρυγμα



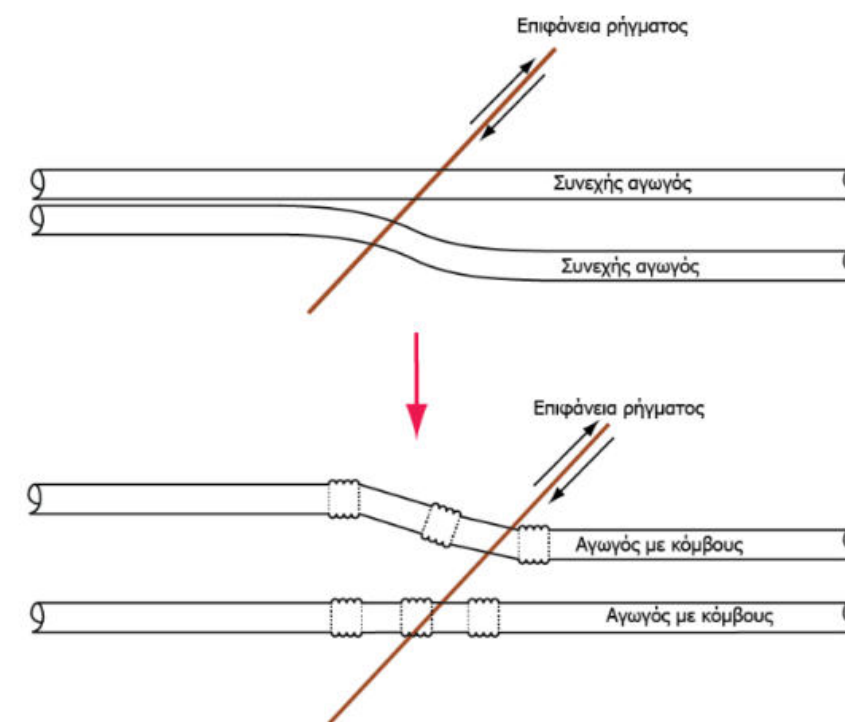
Εικόνα 4.14β Τοποθέτηση μεταλλικού αγωγού σε όρυγμα

Για τη χάραξη της οριζοντιογραφίας του αγωγού, αρχικά εντοπίστηκε το χαμηλότερο υψομετρικά σημείο από το οποίο μπορεί να διέλθει. Η διόδευση μέσα από το ρέμα του Χανγιά κρίνεται δυσχερής λόγω των μεγάλων κλίσεων στα πρηνή (απαιτείται μεγάλος όγκος εκσκαφών για τοποθέτηση του αγωγού σε όρυγμα σε πρηνή με μεγάλη κλίση), της έντονης αποσάθρωσης της επιφανειακής στρώσης του εδάφους, αλλά και των κατολισθήσεων που

παρατηρούνται (κίνδυνος πτώσης βράχων επί του αγωγού σε περίπτωση επιφανειακής στερέωσης). Συνεπώς, το ευμενέστερο σημείο διέλευσης κρίθηκε πως είναι ο αυχένος που εντοπίζεται στο ύψωμα ανάμεσα στο οροπέδιο Καθαρού και Λασιθίου, το οποίο διαφαίνεται στον χάρτη παρακάτω. Ο αυχένος έχει υψόμετρο +1110 m και η υψομετρική διαφορά με το σημείο εισόδου (+1128 m) είναι 18 m. Η σχεδίαση του αγωγού γίνεται με σταθερή κλίση, στους πρόποδες του όρους της Δίκτης, έτσι ώστε να μην υπάρχουν υποπίεσεις σε τμήματα του αγωγού και προκύψουν προβλήματα σπηλαιώσης. Ο αγωγός θα κατασκευαστεί από χάλυβα με την απαιτούμενη ευκαμψία, ώστε να τοποθετηθεί στο όρυγμα χωρίς ειδικά εξαρτήματα. Η επιλογή τοποθέτησής του σε όρυγμα γίνεται για τη γενικότερη προστασία του αγωγού από ατυχήματα, αλλά και για την προστασία από τις έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές και τον παγετό που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή. Υπολογίζεται ότι σε περίπτωση επιφανειακής στερέωσης του αγωγού, θα έπρεπε να τοποθετηθούν εξαρτήματα συστολοδιαστολής που να παραλαμβάνουν μετακινήσεις της τάξης των 7,6 cm ανά 1000 μέτρα μήκους.

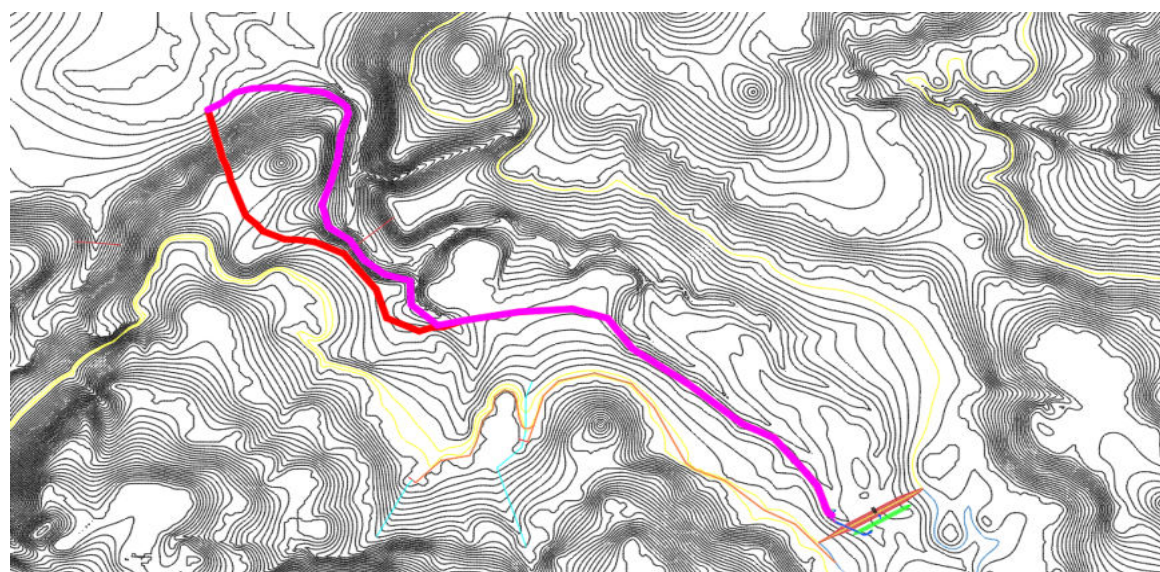


Εικόνα 4.15 Επίλυση διασταύρωσης αγωγού με ενεργό ρήγμα (Αγωγός πετρελαίου στο Denali, Αλάσκα)



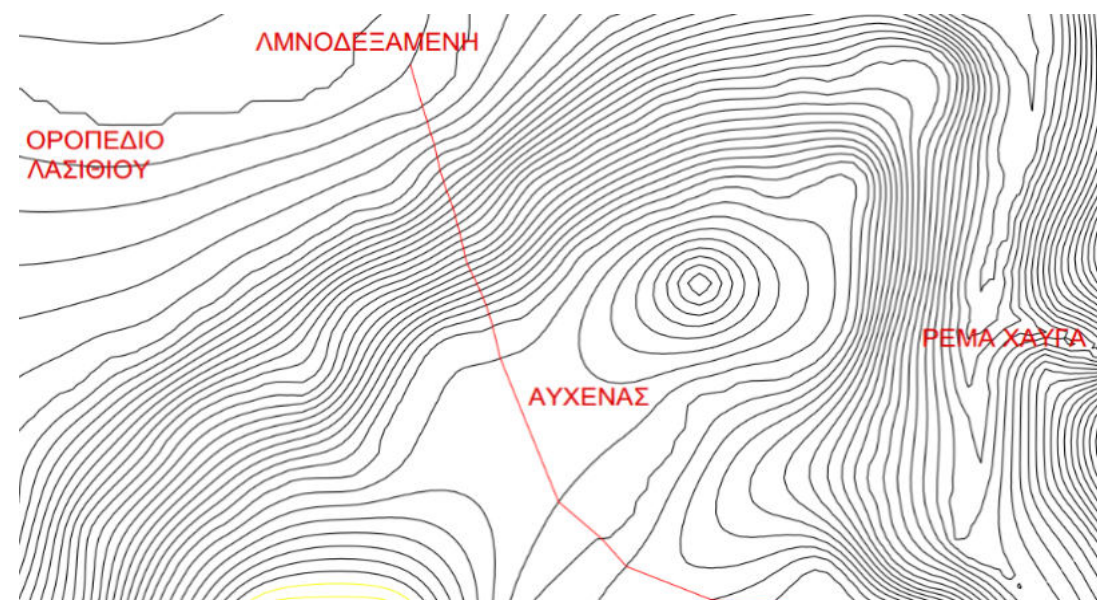
Εικόνα 4.16 Σύγκριση συμπεριφοράς συνεχούς αγωγού με αυτήν του αγωγού με κόμβους κατά την ενεργοποίηση

Στον παρακάτω Χάρτη 4.6 αναπαρίστανται οι δυο επικρατέστερες οδεύσεις του αγωγού. Στο πρώτο μέρος της οδεύσης οι χαράξεις συγκλίνουν απόλυτα, ενώ εν συνεχεία, η μία χάραξη διέρχεται από το ρέμα του Χαυγά (μωβ γραμμή) και η δεύτερη (κόκκινη γραμμή) διέρχεται από τον αυχένα που σχηματίζεται.



Χάρτης 4.6 Λεπτομέρεια διέλευσης του αγωγού από το σημείο του αυχένα

Στον παρακάτω Χάρτη 4.7 φαίνεται σε μεγαλύτερη ανάλυση η διέλευση του αγωγού από το σημείο του αυχένα. Το συνολικό μήκος του αγωγού σύμφωνα με τη χάραξη αυτή προκύπτει ίσο με 7625 m. Η κατασκευή γίνεται από τμήματα αγωγού μήκους 10 μέτρων, τα οποία ενώνονται επί τόπου (onsite). Οι γωνίες αλλαγής κατεύθυνσης δεν υπερβαίνουν τις 5-7°, έτσι ώστε να μην απαιτηθούν ειδικά εξαρτήματα και να μην προκύψουν προβλήματα κατά την τοποθέτηση.



Χάρτης 4.7 Τομή στένωσης

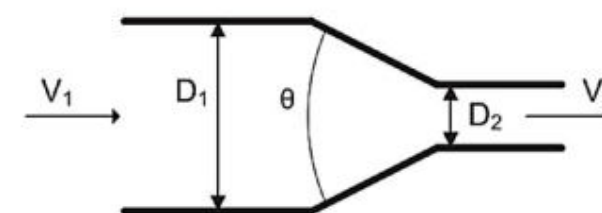
Σύμφωνα με τα παραπάνω, η χάραξη που επιλέγεται ως βέλτιστη είναι η διέλευση από το σημείο του αυχένα, για την οποία παρατίθενται αναλυτικοί υπολογισμοί.

4.9.3.1.2 Σύνδεση με την σήραγγα εκτροπής

Η υδροληψία του ταμιευτήρα διέρχεται μέσω της σήραγγας εκτροπής έπειτα από την κατασκευή του έργου. Συνεπώς ο αγωγός προσαγωγής θα πρέπει να συνενωθεί με την έξοδο της σήραγγας εκτροπής. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατασκευή ειδικής στένωσης με διάμετρο εισόδου 4 m και διάμετρο εξόδου 3 m, όσο και του αγωγού προσαγωγής (επιλέγεται παρακάτω κατόπιν βελτιστοποίησης). Η κλίση των τοιχωμάτων στο σημείο της στένωσης επιλέγεται ίση με 45° με σκοπό την απομείωση των τοπικών απωλειών.

$$k = \begin{cases} 0,8 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right), & \theta < 45^\circ \\ 0,5 \sqrt{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right), & \theta \geq 45^\circ \end{cases}$$

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση, ο συντελεστής τοπικών απωλειών για διάμετρο εισόδου $D_1 = 4$ m, διάμετρο εξόδου $D_2 = 3$ m και κλίση των τοιχωμάτων στη στένωση $\theta = 45^\circ$, προκύπτει ίσος με $k = 0,14$.



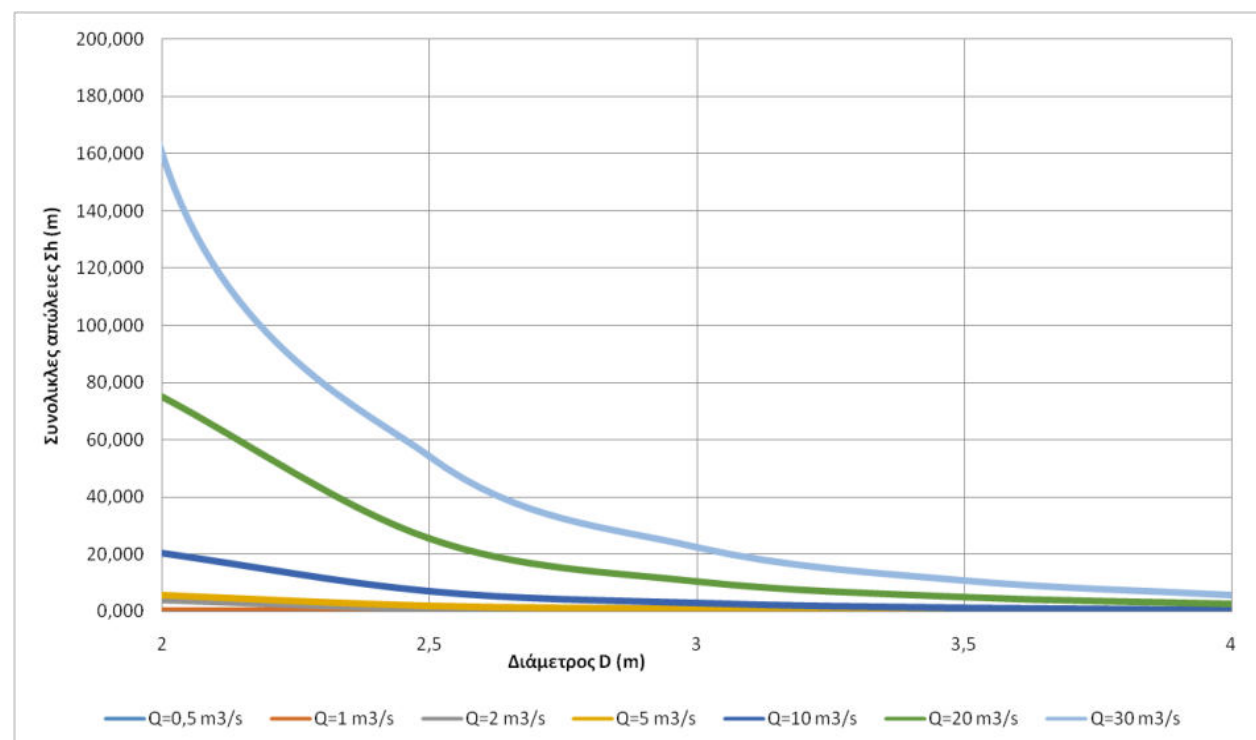
Σχήμα 4.13 Στένωση αγωγού

4.9.3.1.3 Υδραυλική μελέτη

Η υδραυλική μελέτη εκτελείται για την υδραυλικά δυσμενέστερη περίπτωση, που παρατηρείται σε στάθμη ίση με την κατώτατη στάθμη (+1150 m) για την πτώση και στάθμη ίση με την ανώτατη στάθμη (+1178m) για την άντληση. Κατά την υδραυλική μελέτη εξετάστηκαν συνολικά 8 τιμές της διαμέτρου του αγωγού (από 0,5 m έως 4 m) για εύρος παροχών από 0,5 m³/s έως 30 m³/s με ενδιάμεσες τιμές 1, 2, 5, 10 και 20 m³/s, αντίστοιχα. Το συνολικό μήκος όπως έχει προαναφερθεί είναι 7625 m. Υπολογίζονται οι γραμμικές απώλειες, καθώς και οι τοπικές απώλειες που προκύπτουν από ορισμένα εξαρτήματα, όπως οι κόμβοι σεισμικής μετακίνησης. Ο αγωγός προσαγωγής θα κατασκευαστεί από χάλυβα με συντελεστή τραχύτητας $\epsilon = 0,1$.

- **Γραμμικές απώλειες:** Οι γραμμικές απώλειες εξαρτώνται από το μήκος του αγωγού ($L = 7625$ m) και από την υδραυλική κλίση, η οποία εκτιμάται από την γενικευμένη εξίσωση *Manning* για συντελεστή $\epsilon = 0,1$.
- **Τοπικές απώλειες:** Οι τοπικές απώλειες εξαρτώνται από τον συντελεστή τοπικών απωλειών k και από την ταχύτητα ροής του ρευστού στον αγωγό. Δεδομένων όσων αναφέρθηκαν για τη σύνδεση με τη σήραγγα εκτροπής ο συντελεστής k λαμβάνεται ίσος με 3,15.

Παρακάτω παρουσιάζεται το γράφημα των συνολικών απωλειών συναρτήσει των διαμέτρων (για εποπτικούς λόγους παρουσιάζεται το εύρος διαμέτρων $2 < D < 4$ m) για δεδομένες τιμές παροχών.



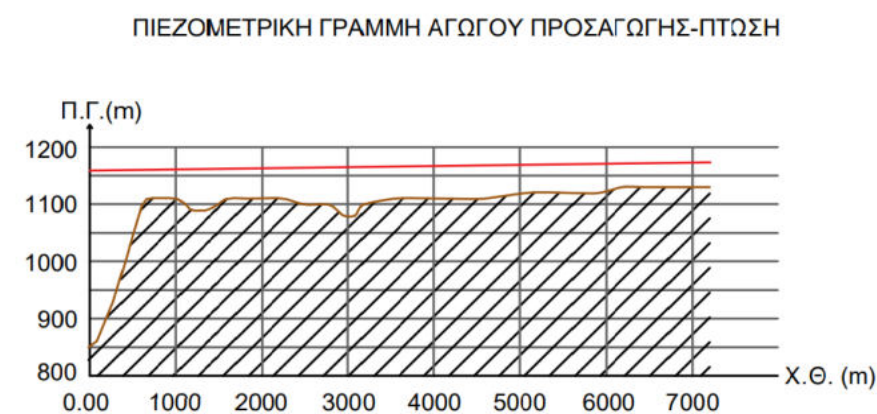
Διάγραμμα 4.8 Καμπύλες σχέσης απωλειών-διαμέτρων για δεδομένες παροχές

Όπως διαπιστώνεται από το γράφημα, για μεγάλες παροχές ($Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$) παρουσιάζονται μεγάλες απώλειες σε συμφέρουσες οικονομικά διαμέτρους, ενώ η λύση των μικρών παροχών δεν προτείνεται, καθώς καθιστά το έργο μη λειτουργικό. Έτσι, η βέλτιστη λύση είναι η επιλογή παροχής σχεδιασμού $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$. Παρακάτω, παρουσιάζεται ο πίνακας με τους αναλυτικούς υπολογισμούς των απωλειών για το δεδομένο εύρος διαμέτρων για $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$.

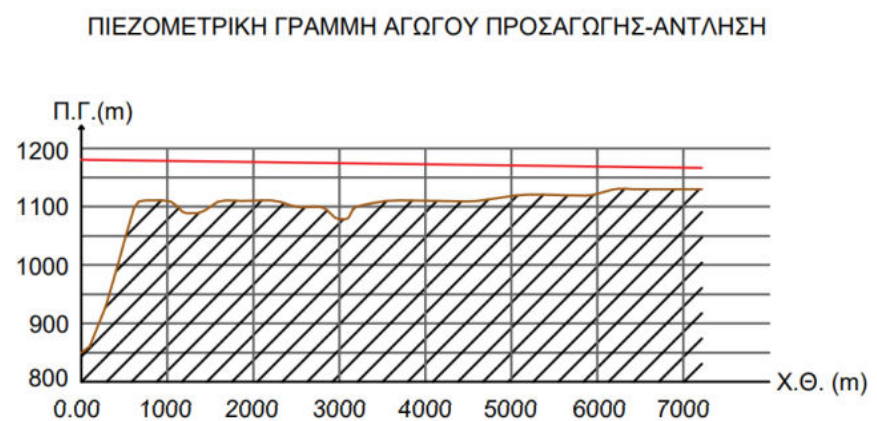
Πίνακας 4.18									
Υπολογισμοί συνολικών απωλειών για $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$									
D (m)	β	γ	N	Υδραυλική κλίση J	Γραμμικές απώλειες (m)	Ταχύτητα ροής V (m/s)	Συντελεστής απωλειών k	Τοπικές απώλειες h_m (m)	Συνολικές απώλειες Σh (m)
0,5	0,302	0,059	0,009	10,14	77294,30	101,86	3,32	1756,63	79050,93
1,0	0,302	0,059	0,009	0,32	2405,87	25,47	3,31	109,31	2515,18
1,5	0,302	0,059	0,009	0,04	316,09	11,32	3,28	21,43	337,52
2,0	0,302	0,059	0,009	0,01	74,89	6,37	3,25	6,71	81,60
2,5	0,302	0,059	0,009	0,003	24,51	4,07	3,21	2,71	27,22
3,0	0,302	0,059	0,009	0,001	9,84	2,82	3,15	1,29	11,13
3,5	0,302	0,059	0,009	0,001	4,55	2,08	3,09	0,68	5,23
4,0	0,302	0,059	0,009	0,000	2,33	1,59	3,02	0,39	2,72

Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς, επιλέγεται η εσωτερική διάμετρος του αγωγού ίση με $D = 3 \text{ m}$.

Οι υπόλοιποι υπολογισμοί αναλύονται εκτενώς στο Παράρτημα Γ. Τέλος, παρουσιάζονται σε μικροτομή τα σκαριφήματα του αγωγού και της πιεζομετρικής του γραμμής.



Διάγραμμα 4.9 Πιεζομετρική γραμμή αγωγού προσαγωγής κατά την πτώση



Διάγραμμα 4.10 Πιεζομετρική γραμμή αγωγού προσαγωγής κατά την άντληση

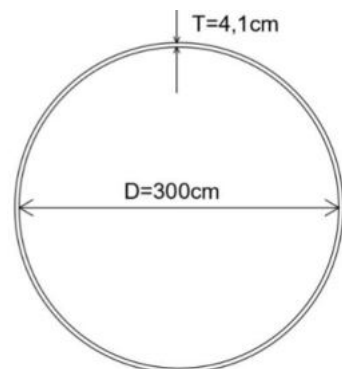
4.9.3.1.4 Στοιχεία αγωγού

Το υλικό κατασκευής του αγωγού είναι χάλυβας με όριο διαρροής $f_y = 235 \text{ MPa}$ και μέτρο ελαστικότητας $E = 60 \text{ GPa}$. Ο λόγος που δεν επιλέγεται χάλυβας ανώτερης κατηγορίας είναι τόσο το κόστος, όσο και το γεγονός ότι με την αύξηση της αντοχής του μειώνεται η ολκιμότητά του και κατ' επέκταση οι παραμορφώσεις που μπορεί να παραλάβει. Συνεπώς, υπολογίζοντας το απαιτούμενο πάχος τοιχώματος του αγωγού προκύπτει ότι με πάχος 2 cm επιτυγχάνεται συντελεστής ασφαλείας $SF = 1$, ενώ με πάχος $3,5 \text{ cm}$, $SF = 1,75$. Για την αποφυγή φαινομένων διάβρωσης προστίθεται πάχος $0,6 \text{ cm}$, ώστε να αντισταθμίζεται η φθορά του αγωγού κατά τη διάρκεια ζωής του. Συνολικά υπολογίζεται ότι απαιτείται πάχος $T = 4,1 \text{ cm}$ προκειμένου να παραληφθούν όλες οι καταπονήσεις και το πιεζομετρικό φορτίο της τάξης των 31 atm . Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει και η απαιτούμενη ποσότητα χάλυβα για την κατασκευή του αγωγού.

Υπολογίζοντας την επιφάνεια ως εξής:

$$A_{\text{δακτυλίου}} = \pi \frac{D_{\text{ΕΞΩΤ}}^2}{4} - \pi \frac{D_{\text{ΕΣΩΤ}}^2}{4}$$

και πολλαπλασιάζοντας την με το μήκος του αγωγού $L = 7625 \text{ m}$, προκύπτει ο απαιτούμενος όγκος $V_{\text{ΧΑΛΥΒΑ}} = 2574 \text{ m}^3$. Τέλος, δεδομένης της πυκνότητας αυτής της κατηγορίας χάλυβα, η συνολική μάζα του αγωγού θα είναι ίση με 22000 tn.



Σχήμα 4.14 Τομή αγωγού προσαγωγής

4.9.3.1.5 Κόστος αγωγού

Το κόστος του αγωγού επιμερίζεται στο κόστος κατασκευής και στο κόστος μεταφοράς και τοποθέτησης. Το κόστος κατασκευής του αγωγού προκύπτει πολλαπλασιάζοντας την απαιτούμενη ποσότητα του χάλυβα με την τυπική τιμή των 400 €/tn, ίσο με 8.878.899,22 €. Το κόστος μεταφοράς και τοποθέτησης συμβατικά λαμβάνεται ίσο με το κόστος κατασκευής του. Επομένως, το συνολικό κόστος κατασκευής, μεταφοράς και τοποθέτησης εκτιμάται περί τα **17.757.798,43 €**.

4.9.3.2 Λιμνοδεξαμενές

Η λειτουργία του έργου αντλησιοταμίευσης απαιτεί την ύπαρξη δεξαμενών. Σε αυτές θα πραγματοποιείται η πτώση του νερού από το φράγμα για την παραγωγή ενέργειας από το υδροηλεκτρικό έργο που θα κατασκευαστεί. Για το λόγο αυτό ενδείκνυται η χρήση δύο ήδη υπάρχοντων στην περιοχή λιμνοδεξαμενών, οι οποίες επιτρέπουν πτώση του νερού με υψομετρική διαφορά 310 m. Πρόκειται για τις λιμνοδεξαμενές Χαυγά και Αγίου Γεωργίου, οι οποίες είναι κατασκευασμένες στο Οροπέδιο Λασιθίου.



Εικόνα 4.17 Γενική άποψη λιμνοδεξαμενών (λήψη από Google Earth)

4.9.3.2.1 Λιμνοδεξαμενή Αγίου Γεωργίου

Η μεγάλη λιμνοδεξαμενή Χαυγά, ή λιμνοδεξαμενή Αγίου Γεωργίου, είναι κατασκευασμένη σε θέση που βρίσκεται 1,50 km νοτιοανατολικά του οικισμού Άγιος Γεώργιος και συλλέγει μέρος των επιφανειακών παροχών του χειμάρρου Χαυγά. Η κατασκευή της έγινε με σκοπό την ταμίευση του νερού, ώστε να εξυπηρετηθούν οι αρδευτικές ανάγκες της περιοχής και να αξιοποιηθούν καλλιεργούμενες εκτάσεις 13.370 στρεμμάτων, οι οποίες εκτείνονται στο δυτικό τμήμα του οροπεδίου Λασιθίου και δεν καλύπτονται από το υφιστάμενο γειτονικό δίκτυο άρδευσης του Ταμιευτήρα Χαυγά. Προσωρινά η λιμνοδεξαμενή αρδεύει μικρά υφιστάμενα δίκτυα με συνολική παροχή 4.000 m³/d, ενώ στην πλήρη λειτουργία της αναμένεται να ενισχύσει αρδευτικά ολόκληρο τον κάμπο του Οροπεδίου Λασιθίου με παροχή 50.000 m³/d. Ο ωφέλιμος όγκος της λιμνοδεξαμενής είναι 2.150.000 m³, ενώ η ανώτατη και κατώτατη στάθμη λειτουργίας της είναι +862,50 m και +852,00 m, αντίστοιχα, με το βάθος της έτσι να διαμορφώνεται περίπου στα 10 m.



Εικόνα 4.18 Λιμνοδεξαμενή Αγίου Γεωργίου

4.9.3.2.2 Λιμνοδεξαμενή Χαυγά

Η μικρή λιμνοδεξαμενή, ή λιμνοδεξαμενή Χαυγά, βρίσκεται ακριβώς δίπλα στη λιμνοδεξαμενή του Αγίου Γεωργίου, ενώ πρόκειται για κατασκευή του 1995. Είναι εξωποτάμια, καλυμμένη με μεμβράνη και τροφοδοτείται μέσω μίας υδροληψίας από το χείμαρρο Χαυγά. Ο χείμαρρος αυτός τροφοδοτεί τον ταμιευτήρα Αποσελέμη με τα πλημμυρικά νερά του οροπεδίου Λασιθίου μέσω της ομώνυμης σήραγγας. Η λιμνοδεξαμενή σχεδιάστηκε να εξυπηρετεί τόσο υδρευτικές, όσο και αρδευτικές ανάγκες, ωστόσο η χρήση της περιορίστηκε στην άρδευση με μικρή κιάλας συνεισφορά, καθώς δεν αξιοποιήθηκε ποτέ πλήρως. Έχει ωφέλιμο όγκο 860.000 m³ και έκταση 140.000 m², με αποτέλεσμα το βάθος της να διαμορφώνεται στα 6,20 m.



Εικόνα 4.19 Λιμνοδεξαμενή Χαυγά

4.9.3.2.3 Αξιοποίηση λιμνοδεξαμενών για αντλησιοταμίευση

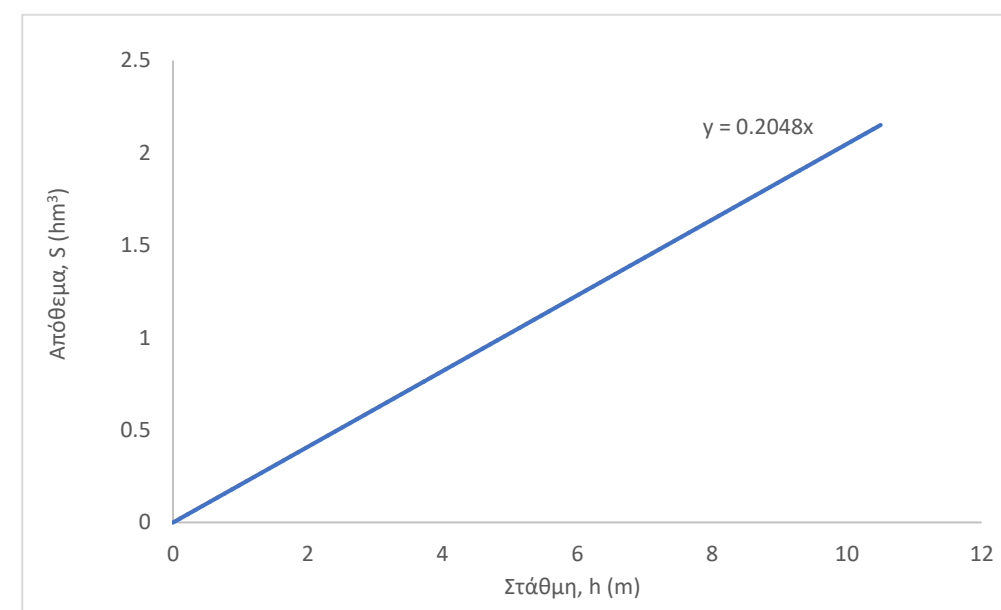
Η μεγάλη λιμνοδεξαμενή θα συνδέεται απ' ευθείας με το έργο αντλησιοταμίευσης, ώστε να παροχετεύεται σε αυτήν η εκροή των στροβίλων. Παράλληλα, θα πραγματοποιηθεί υδραυλική σύνδεση των δύο λιμνοδεξαμενών με χαλύβδινο αγωγό ονομαστικής διαμέτρου 3 m, όσο και η διάμετρος του αγωγού προσαγωγής ώστε να καλύπτεται η πιθανότητα αιχμής, και μήκος περί τα 500 m. Οι λιμνοδεξαμενές θα πρέπει πάντα να διατηρούν το απόθεμα εκείνο που θα καλύπτει τις αρδευτικές ανάγκες για τις οποίες έχουν σχεδιαστεί. Στην περίπτωση, λοιπόν, που η μεγάλη λιμνοδεξαμενή δεν έχει το απαραίτητο απόθεμα για να γίνει άντληση, το πρόβλημα θα επιλύεται είτε με άνοιγμα του θυροφράγματος για εισροή νερού από το χείμαρρο Χαυγά, είτε με συμπλήρωση νερού από τη μικρή λιμνοδεξαμενή. Στην Εικόνα 4.20 παρουσιάζεται το ανάγλυφο του εδάφους, όπως διαμορφώνεται με την ύπαρξη των λιμνοδεξαμενών.



Εικόνα 4.20 Ανάγλυφο λιμνοδεξαμενών (λήψη από Google Earth)

Η στάθμη της μεγάλης λιμνοδεξαμενής, η οποία θα χρησιμοποιηθεί πρωτευόντως στο έργο αντλησιοταμίευσης δεν πρέπει να υποβιβάζεται κάτω από τα 2 m. Η στάθμη αυτή αντιστοιχεί σε απόθεμα περίπου 0,50 hm³, το οποίο πρέπει να εξασφαλίζεται πάντα, ώστε να εξυπηρετούνται οι αρδευτικές ανάγκες του Οροπεδίου Λασιθίου. Επομένως, σύμφωνα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λιμνοδεξαμενής η σχέση που συνδέει τη στάθμη με το απόθεμά της είναι η παρακάτω γραμμική σχέση, ενώ η γραφική της απεικόνιση παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 4.11.

$$S(h) = 0,248 \cdot h$$

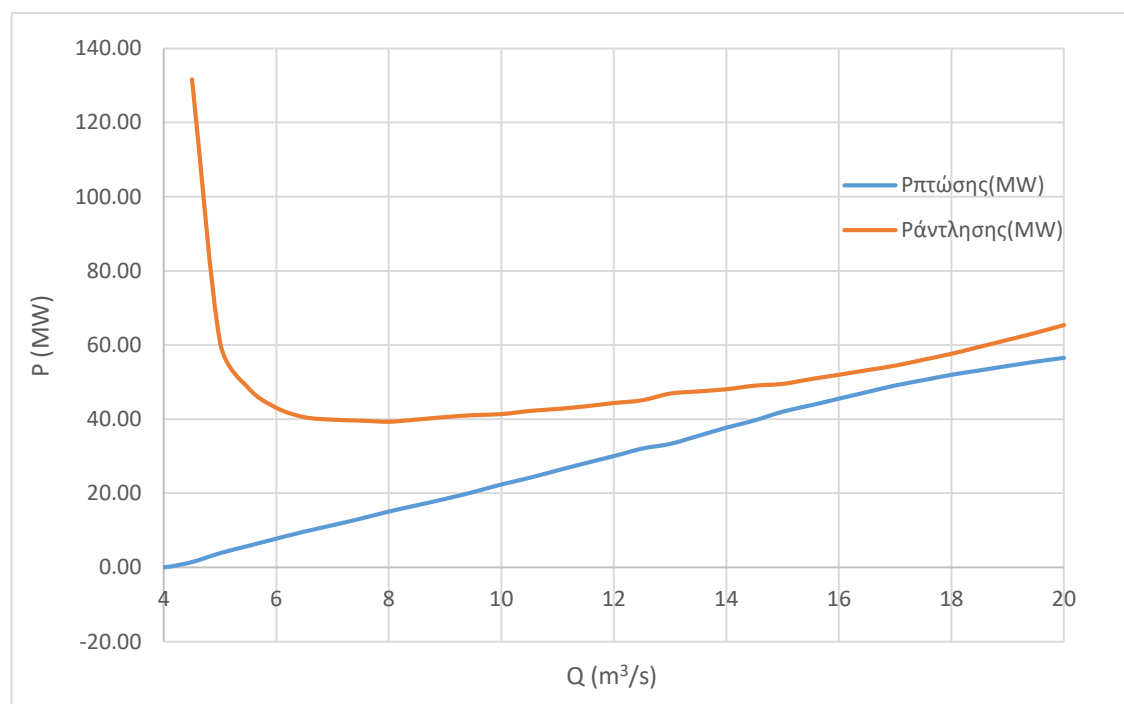


Διάγραμμα 4.11 Διάγραμμα στάθμης h (m) - αποθέματος S (hm³) για τη λιμνοδεξαμενή του Αγ. Γεωργίου

4.9.3.3 Υδροστρόβιλοι

4.9.3.3.1 Παράμετροι επιλογής στροβίλων

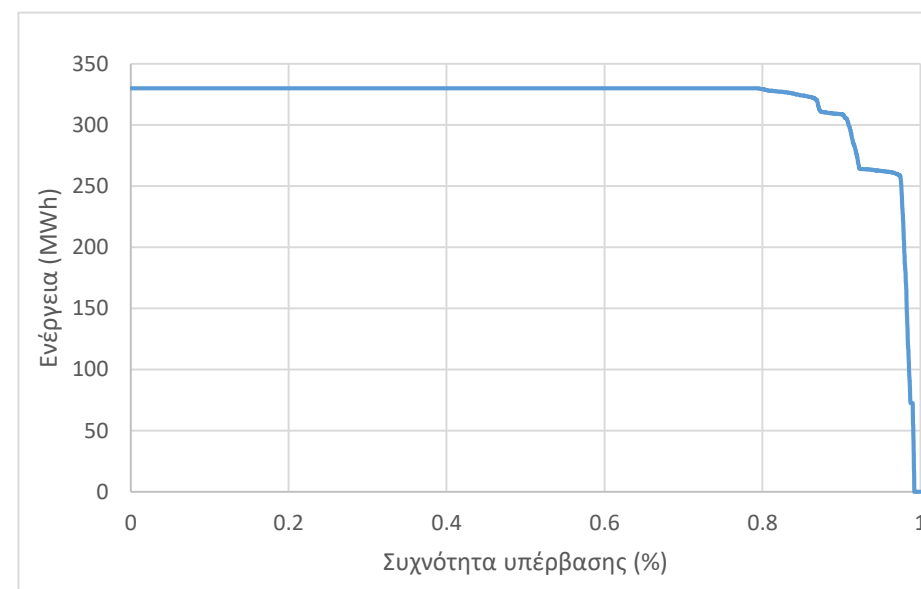
Ο στρόβιλος είναι ένας κινητήρας που εξάγει ενέργεια από τη ροή ενός ρευστού και τη μετατρέπει σε ωφέλιμο έργο. Στην περίπτωση υδροηλεκτρικής παραγωγής αναφέρεται και ως υδροστρόβιλος. Υπάρχουν πολλές διατάξεις υδροστρόβιλων, από τις οποίες επιλέγεται ο καταλληλότερος ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του έργου, δηλαδή το μανομετρικό ύψος, την παροχή και την λειτουργία του. Το εν λόγω έργο είναι έργο αντλιοσταμείωσης, οπότε επιλέγεται στρόβιλος τύπου Francis, καθώς παρέχει τη δυνατότητα λειτουργίας και προς τις δύο κατευθύνσεις. Το μανομετρικό ύψος είναι ίσο με $H = 310$ m και η παροχή σχεδιασμού ίση με $Q_0 = 20$ m³/s, τιμές που βρίσκονται μέσα στο πεδίο εφαρμογής των στροβίλων Francis. Έτσι, υπολογίζονται η παραγόμενη και καταναλισκόμενη ισχύς κατά την λειτουργία της πτώσης, αλλά και της άντλησης, για εύρος παροχών από πολύ χαμηλές παροχές, έως και την ονομαστική παροχή. Οι στρόβιλοι τύπου Francis έχουν μεταβλητό συντελεστή απόδοσης για αυτό το εύρος παροχών, με την μέγιστη απόδοση να εμφανίζεται άνω του 95% της ονομαστικής παροχής. Κατά συνέπεια, είναι προτιμότερο οι στρόβιλοι να λειτουργούν σε παροχές κοντά στην ονομαστική. Επιλέγεται η τοποθέτηση δίδυμων στροβίλων με ισχύ ίση με το ήμισυ της απαιτούμενης μέσω διακλάδωσης, ώστε ο καθένας να λαμβάνει $Q_0/2$. Η μέγιστη παραγόμενη ισχύς υπολογίστηκε ίση με $P_{\text{παραγόμενη}} = 56,57$ MW, ενώ η μέγιστη καταναλισκόμενη ίση με $P_{\text{καταναλισκόμενη}} = 65,36$ MW. Το πλήρες εύρος των τιμών αυτών αποτυπώνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 4.12 Καμπύλη παραγόμενης & καταναλισκόμενης ισχύος συναρτήσει της παροχής

Συνεπώς, επιλέγονται δύο στρόβιλοι τύπου Francis ισχύος $P = 33$ MW που τροφοδοτούνται από τον αγωγό προσαγωγής μέσω διακλάδωσης τύπου Y. Η μέγιστη απόδοση των στροβίλων είναι $\eta = 95\%$.

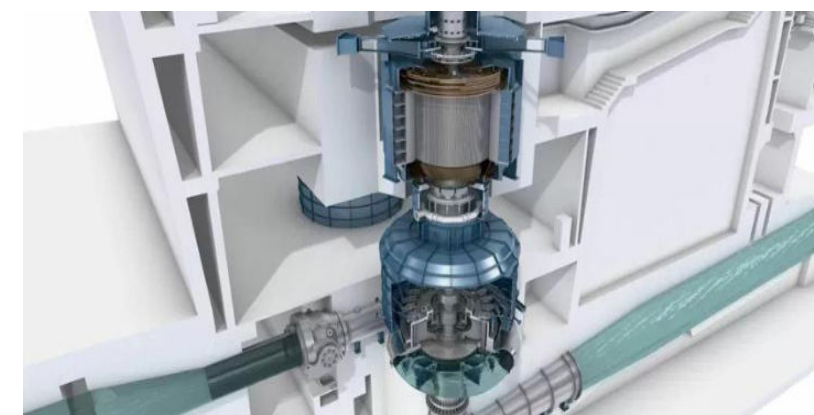
Παρακάτω παρατίθεται η καμπύλη διάρκειας παροχής, που αντιπροσωπεύει τον στόχο ημερήσιας παραγόμενης ενέργειας.



Διάγραμμα 4.13 Καμπύλη διάρκειας-παροχής συστήματος σύμφωνα με στοχαστικά δεδομένα εισροών

4.9.3.3.2 Τεχνολογία στροβίλων

Η μελέτη, αλλά και ο συνδυασμός σύγχρονων τεχνολογιών με την έρευνα και βελτιστοποίηση στροβίλων, έχει αποφέρει αξιόλογα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, η ανάπτυξη των variable speed pumps (αντλίες μεταβλητής ταχύτητας) έχει οδηγήσει σε υψηλότερους συντελεστές απόδοσης, της τάξης του 80% για τον κύκλο της αντλιοσταμείωσης. Επιπλέον, έχουν δυνατότητα λειτουργίας σε πλήθος παροχών, ώστε να ρυθμίζονται άμεσα οι διακυμάνσεις ενέργειας στο δίκτυο. Μάλιστα, επιτυγχάνεται ρύθμιση της ενέργειας που απορροφάται σε λειτουργία άντλησης, διευκολύνοντας την αποθήκευση ενέργειας όταν τα επίπεδα ισχύος στο δίκτυο είναι χαμηλά, συμβάλλοντας στη μείωση των εκκινήσεων και των στάσεων και στη ρύθμιση της συχνότητας ή της τάσης του δικτύου σε λειτουργία άντλησης. Παράλληλα χαρακτηρίζονται από πολύ μικρό χρόνο απόκρισης, της τάξης των 90 s, ενώ παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από συμβατικούς στροβίλους (fixed speed pump, αντλία σταθερής ταχύτητας), καθώς ο καλύτερος σχεδιασμός μειώνει σημαντικά τις φθορές στον στρόβιλο λόγω σπηλαιώσης (cavitation). Τέλος, συμβάλλουν στη διόρθωση ξαφνικών διακοπών τάσης / διακυμάνσεων που προκαλούνται από προβλήματα δικτύου λόγω της στιγμιαίας προσαρμογής ισχύος εξόδου.



Εικόνα 4.21 Pumped Hydro Storage (Αντλία υδροκίνησης)
(Πηγή: General Electric)

4.9.3.3.3 Κόστος στροβίλων

Το κόστος των στροβίλων εξαρτάται από πλήθος παραγόντων όπως η ισχύς, ο κατασκευαστής, η χώρα προέλευσης κ.α. Συνεπώς, μεταβάλλεται ανάλογα με την ονομαστική ισχύ, και μάλιστα όσο αυξάνεται η ισχύς μειώνεται το κόστος ανά εγκατεστημένο MW. Μία τυπική τιμή για έργα έως 80 MW είναι οι 150.000 €/MW, από όπου προκύπτει το συνολικό κόστος των 9.900.000 € για το εν λόγω έργο.

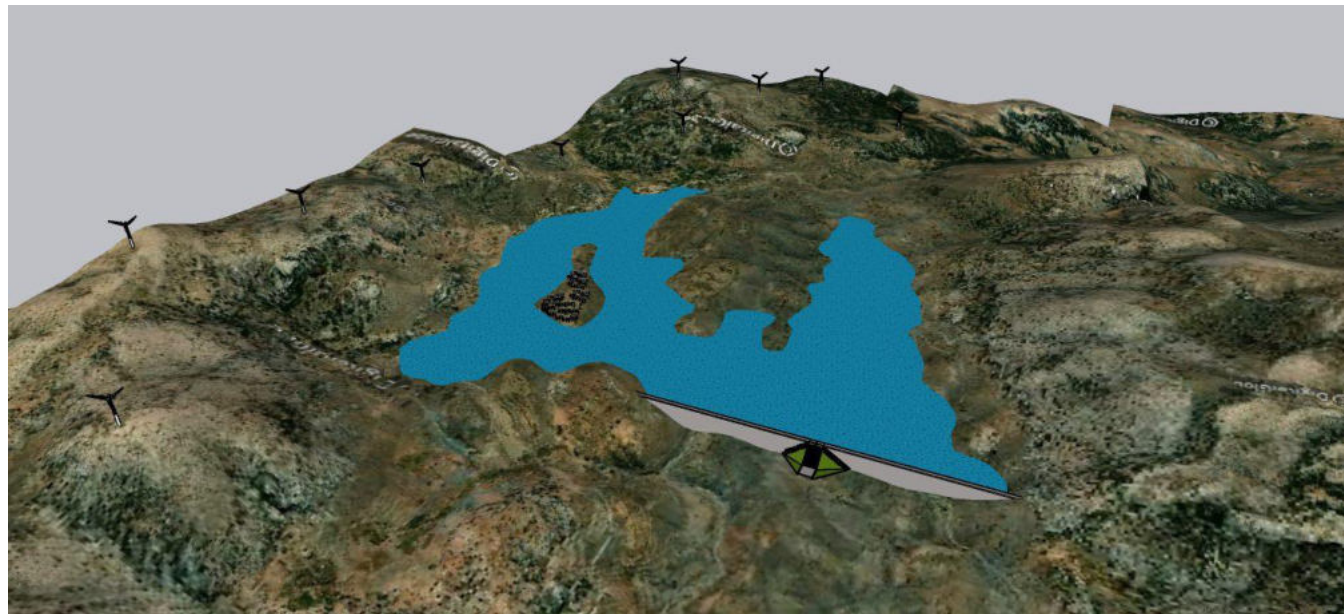
4.10 Αισθητική του τοπίου και αρχιτεκτονική του φράγματος

Η συμπερίληψη της αισθητικής παραμέτρου ως κριτήριο στον σχεδιασμό δημιουργεί επιπρόσθετη αξία στο έργο υποδομής. Κατά αυτόν τον τρόπο το έργο υποδομής υπερβαίνει την συμβατική του λειτουργία στην εξυπηρέτηση των αναγκών για τις οποίες έχει σχεδιαστεί, και μπορεί και νοηματοδοτεί την ευρύτερη περιοχή επιρροής του. Η αισθητική παράμετρος σε ένα έργο υποδομής δεν μπορεί να αποτιμηθεί, δρα ωστόσο ως καταλυτικός πολλαπλασιαστής ανάπτυξης. Αυτή η τελευταία επισήμανση είναι σημαντική και στοιχειοθετεί την προμελέτη που ακολουθεί όσον αφορά την αισθητική του τοπίου και την αρχιτεκτονική του φράγματος.

4.10.1 Τεχνητή λίμνη

Η κατασκευή φράγματος έχει ως αποτέλεσμα την επιρροή μιας ευρύτερης περιοχής, λόγω της κατάκλισης της με το νερό που αποθηκεύεται. Στην προκειμένη περίπτωση, κατακλύζεται περιοχή 2,1 km² και δημιουργείται μια τεχνητή λίμνη με μήκος ακτής περίπου 6,5 km. Γίνεται σαφές, λοιπόν, πώς στην υπόψη περιοχή διαμορφώνεται ένα νέο υδατικό οικοσύστημα, μια νέα όψη του φυσικού τοπίου, που έχει αυξημένο κάλλος και φυσικό ενδιαφέρον.

Προκειμένου να είναι πιο ακριβής και παραστατική η απεικόνιση του τοπίου όταν πληρωθεί ο ταμιευτήρας με νερό, επιχειρήθηκε φωτορρεαλιστική αποτύπωση. Μια άνωθεν οπτική της λεκάνη κατάκλισης παρουσιάζεται στην *Εικόνα 4.22*.



Εικόνα 4.22 Άνωθεν φωτορρεαλιστική απεικόνιση της λεκάνης κατάκλισης του ταμιευτήρα

4.10.2 Αναδύομενο νησί

Όπως είναι φανερό, η μορφολογία του εδάφους εντός της λεκάνης κατάκλισης προκαλεί την ανάδυση μικρής επιφάνειας εδάφους, δημιουργώντας ένα μικρό νησί. Το νησί πρόκειται να φυτευτεί με βλάστηση που ανθίσταται στις έντονες καιρικές συνθήκες της περιοχής λόγω υψομέτρου, όπως είναι τα πουρνάρια.

Αυτό το νησί μπορεί δυνητικά να αποτελέσει κίνητρο ώστε να αναπτυχθεί στοιχειώδης υποδομή για πλεύση στη λίμνη με σκάφη μικρής χωρητικότητας και επίσκεψη σε αυτό. Στην *Εικόνα 4.23* και στην *Εικόνα 4.24* φαίνονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια οι σχεδιαζόμενες παρεμβάσεις στο νησί σε επίπεδο βλάστησης.



Εικόνα 4.23 Άποψη του αναδύομενου νησιού

Οι κλιματικές συνθήκες στο Οροπέδιο Καθαρού υπαγορεύουν πως υπάρχει χιονόπτωση, κάτι που προσδίδει μεγαλύτερη θελκτικότητα για τους χειμερινούς εκδρομείς να θέλουν να επισκεφθούν την περιοχή. Είναι πολύ πιθανό, έτσι, στο μέλλον να υπάρξουν πρωτοβουλίες για την χρηματοδότηση εξοχικών κατοικιών περιμετρικά της τεχνητής λίμνης. Μια τέτοια επένδυση θα είναι ιδιωτικού χαρακτήρα και οφείλει να έχει τέτοιο σχεδιασμό, ώστε η παρέμβαση να μην διαταράξει την φυσικότητα του τοπίου.

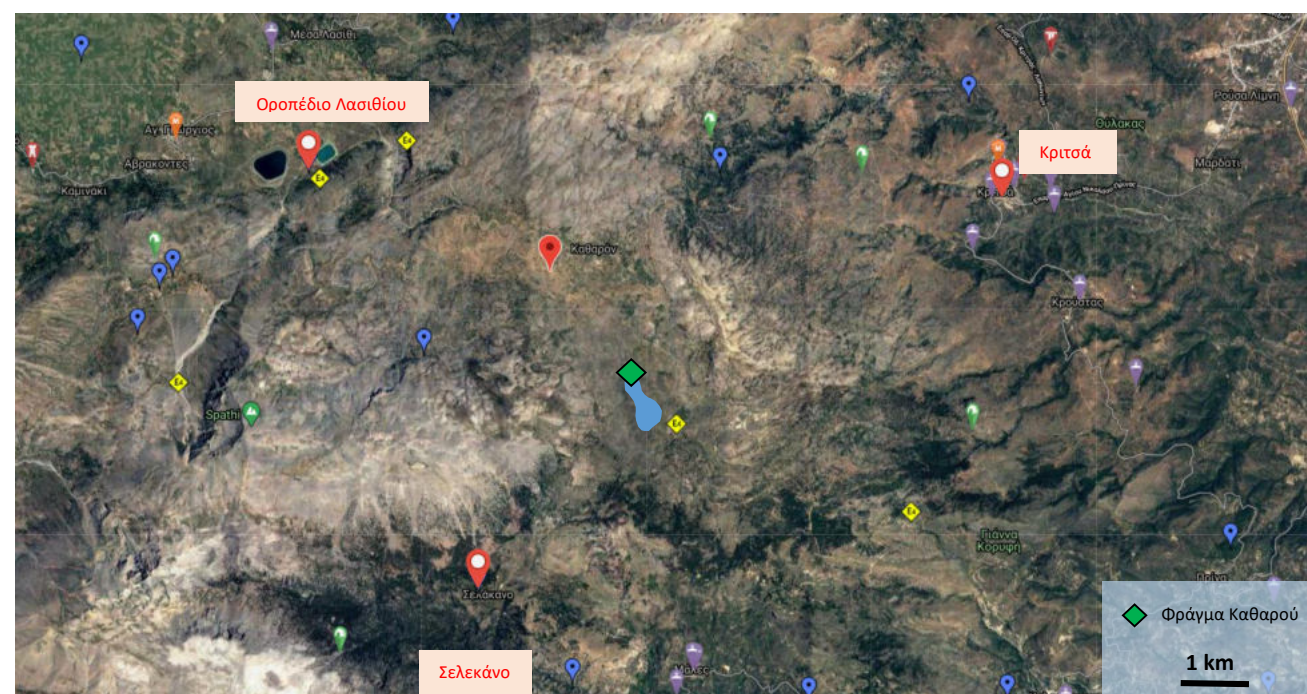


Εικόνα 4.24 Άποψη της λίμνης από το νησί

4.10.3 Διασύνδεση με υφιστάμενες περιπατητικές διαδρομές

Το Οροπέδιο Καθαρού απαρτίζεται από ξερολιθιές, μηλιές και γιγάντιους πρίνους, ενώ τα τριγύρω βουνά έχουν πολλές φυσικές ομορφιές. Το οροπέδιο και οι γειτονικές περιοχές διατρέχονται από πλήθος ορειβατικών και περιπατητικών διαδρομών. Από τον 19^ο αιώνα, έρευνες που διεξήχθησαν στην περιοχή από παλαιοντολόγους ανέδειξαν απολιθώματα από νάνους ιπποπόταμους και ελέφαντες, που χρονολογούνται γύρω στα 540.000 χρόνια πριν. Το γεγονός αυτό ενισχύει και την πεποίθηση ότι το Καθαρό κάποτε ήταν λίμνη, όπου κατέφευγαν τα ζώα αυτά. Επίσης στην περιοχή στη θέση Θεριόλακκος του Οροπεδίου Καθαρού βρίσκεται ένας από τους αρχαιότερους πρίνους στην Κρήτη, με την ηλικία του να υπολογίζεται στα 1000 έτη

Τα κυρία ορειβατικά μονοπάτια που φτάνουν στο Καθαρό είναι το Ευρωπαϊκό μονοπάτι E4 από το Οροπέδιο Λασιθίου (βλ. *Εικόνα 4.25α & 4.25β*), το Ευρωπαϊκό μονοπάτι E4 από το Σελάκανο (βλ. *Εικόνα 4.26*) και το παλιό καλντερίμι από την Κριτσά (βλ. *Εικόνα 4.27*). Στον *Χάρτη 4.8* επισημαίνονται με κόκκινο στίγμα τα σημεία εκκίνησης και τερματισμού των περιπατητικών διαδρομών.



Χάρτης 4.8 Αποτύπωση σημείων ενδιαφέροντος στις περιπατητικές διαδρομές της ευρύτερης περιοχής Οροπεδίου Καθαρού



Εικόνα 4.25α

Ευρωπαϊκό μονοπάτι E4 από το Οροπέδιο Λασιθίου



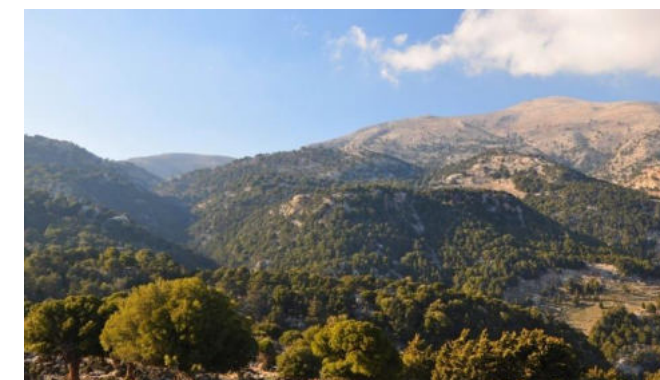
Εικόνα 4.25β

Ρέμα Χανιά από Ευρωπαϊκό μονοπάτι E4



Εικόνα 4.26

Ευρωπαϊκό μονοπάτι E4 από το Σελάκανο



Εικόνα 4.27

Άποψη θέας από το μονοπάτι από την Κριτσά

Η διαδρομή από την γραφική Κριτσά παρουσιάζει επιπρόσθετο ενδιαφέρον, καθότι συναντώνται φυσικά σπήλαια καρστικής προέλευσης, όπως το σπήλαιο της Γαϊδουρότριπας στην Κριτσά (βλ. *Εικόνα 4.28*), και το σπήλαιο Τάφος Λημέρι κοντά στην Κρούστα (βλ. *Εικόνα 4.29*).



Εικόνα 4.28 Σπήλαιο της Γαϊδουρότριπας στην Κριτσά



Εικόνα 4.29 Σπήλαιο Τάφος Λημέρι

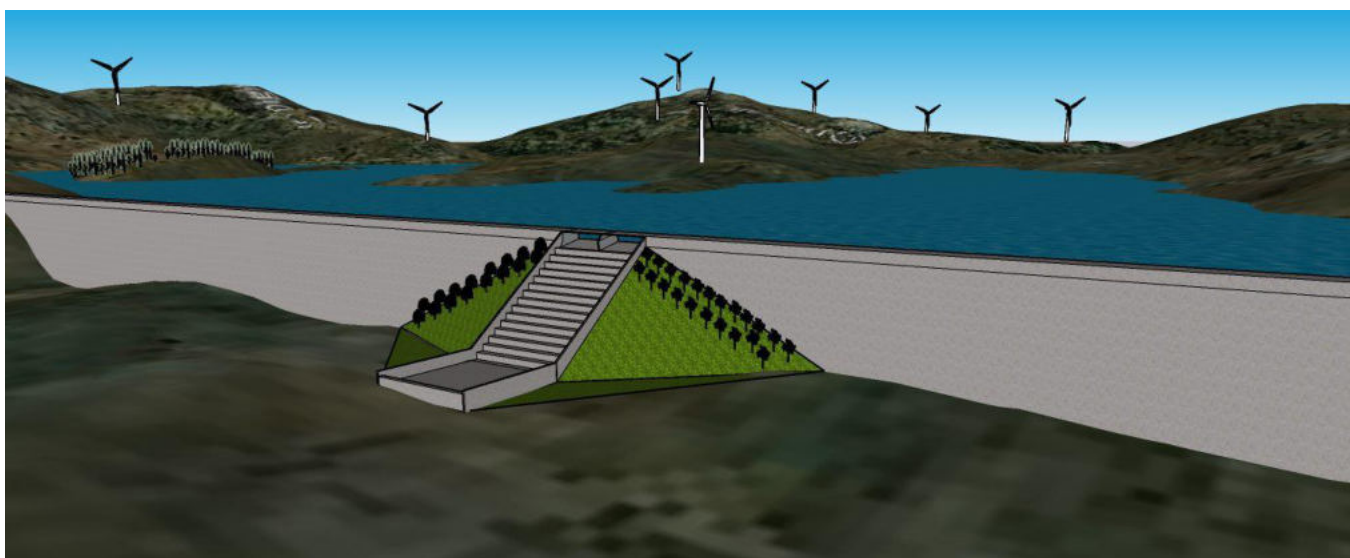
Είναι σκόπιμο ο ταμεικτήρας που θα δημιουργηθεί να αποτελέσει ενδιάμεσο τοπίο επίσκεψης στις προαναφερθείσες περιπατητικές διαδρομές, μιας και βρίσκεται κοντά σε υφιστάμενα μονοπάτια. Περιμετρικά της ακτής του ταμεικτήρα θα διαμορφωθεί κατάλληλη διαδρομή, ώστε οι διερχόμενοι περιπατητές να μπορούν να απολαύσουν την αισθητική του υδατικού τοπίου. Στην διαδρομή αυτή είναι εύλογο να κατασκευαστούν μικρά σκίαστρα στάσης ανά 1 km περιμετρικά της λίμνης για ξεκούραση και απαθανάτιση του τοπίου.

4.10.4 Αρχιτεκτονικός σχεδιασμός φράγματος

Η υπό μελέτη κατασκευή φράγματος, που αναπτύχθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι μια σημαντική παρέμβαση στο φυσικό τοπίο της περιοχής. Το φράγμα έχει ιδιαιτερότητα ως προς την αναλογία των διαστάσεών του, αφού σε μήκος φτάνει τα 920 m, ενώ το ύψος του είναι μόλις 45 m. Αυτό έχει το θετικό χαρακτηριστικό ότι από μακρινή θέαση δίνει την αίσθηση μιας λωρίδας (βλ. *Εικόνα 4.30*), από κοντά όμως δημιουργεί την αίσθηση ενός αχανούς οριζόντιου τοίχου (βλ. *Εικόνα 4.31*).



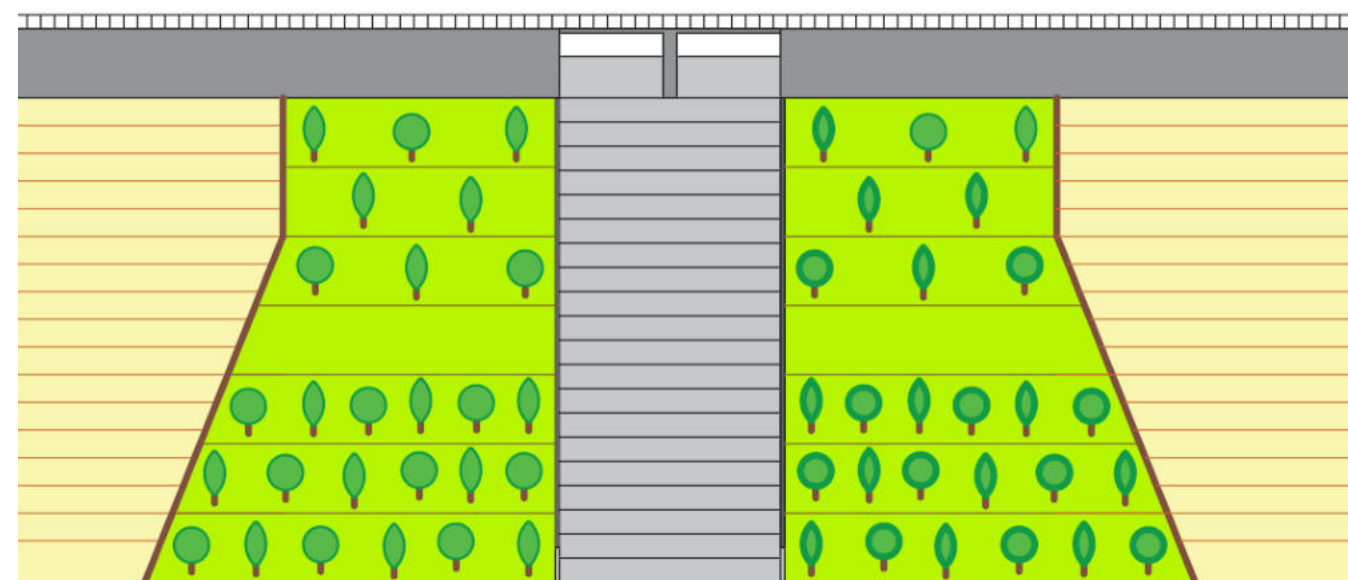
Εικόνα 4.30 Μακρινή άποψη κατάντη πρανούς φράγματος (από το Οροπέδιο Λασιθίου)



Εικόνα 4.31 Κοντινή άποψη κατάντη πρανούς φράγματος

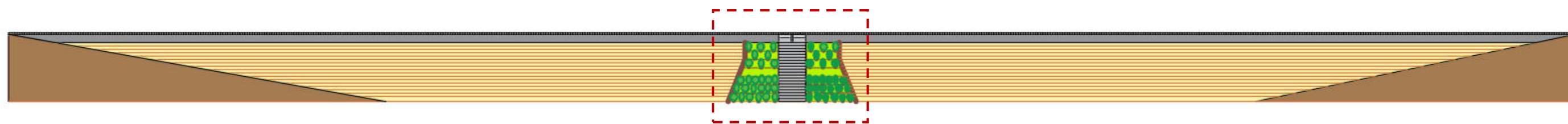
Προκειμένου να δοθεί μεγαλύτερη ένταση στο ύψος του φράγματος και μια τρόπον τινά οπτική ψευδαίσθηση, αποφασίστηκε η κατάντη όψη του φράγματος να γίνει με μεγάλους αναβαθμούς. Αυτή η τεχνική κατασκευή έρχεται και σε συμφωνία με το υλικό κατασκευής που έχει επιλεγεί, ήτοι το σκληρό επίχωμα (βλ. *Εικόνα 4.33*).

Ο υπερχειλιστής του φράγματος πλάτους 15 m φαίνεται επίσης μικρός σε σχέση με το ολικό μήκος του μετώπου του κατάντη πρανούς. Έτσι, σχεδιάστηκε η διαμόρφωση εκατέρωθεν του υπερχειλιστή με δυναμικές γραμμές που αποκλίνουν από την κορυφή προς την βάση. Αυτό δίνει την οπτική αίσθηση της στιβαρότητας της βάσης της κατασκευής, ενώ προσδίδει έμφαση στον υπερχειλιστή, που είναι μια ζωτικής σημασίας υποδομή για το φράγμα. Προτείνεται, επίσης, φύτευση σε παρτέρια αναβαθμών εκατέρωθεν του βαθμιδωτού υπερχειλιστή (βλ. *Εικόνα 4.32*). Η φύτευση αυτή θα είναι χαμηλή με περιορισμένο ριζικό σύστημα, ώστε να αποτραπεί πιθανή αστοχία στο σώμα του φράγματος από την διάτρηση των ριζών σε αυτό. Με αυτή την αρχιτεκτονική πρόταση, δημιουργείται κατά τις υπερχειλίσεις ένας τεχνητός καταρράκτης που εντάσσεται στο μικρό τεχνητό τοπίο βλάστησης, προσιδιάζοντας στο περιβάλλον ενός φυσικού καταρράκτη.



Εικόνα 4.32 Λεπτομέρεια διαμόρφωσης του κατάντη πρανούς εκατέρωθεν του βαθμιδωτού υπερχειλιστή

Έχει προβλεφθεί, επίσης, να γίνει αποκατάσταση του αριστερού και δεξιού πρανού του φράγματος με σχετική χαμηλή φύτευση. Είναι, τέλος, κρίσιμης σημασίας η αποψίλωση της βλάστησης της υπό κατάκλυση περιοχής, ώστε να αποφευχθεί η σήψη αυτής και η οπτική όχληση που θα προκαλούσε η ανάδυση των κουφαριών των δέντρων, σε περίπτωση καταβασμού της στάθμης.



Εικόνα 4.33 Διαμόρφωση κατάντη πρανούς φράγματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Κατασκευή αιολικού πάρκου

Τα παρακάτω κεφάλαια έχουν ως στόχο την άρτια τεκμηρίωση τοποθέτησης και κατασκευής του αιολικού πάρκου στην ευρύτερη περιοχή του Οροπεδίου Λασιθίου.

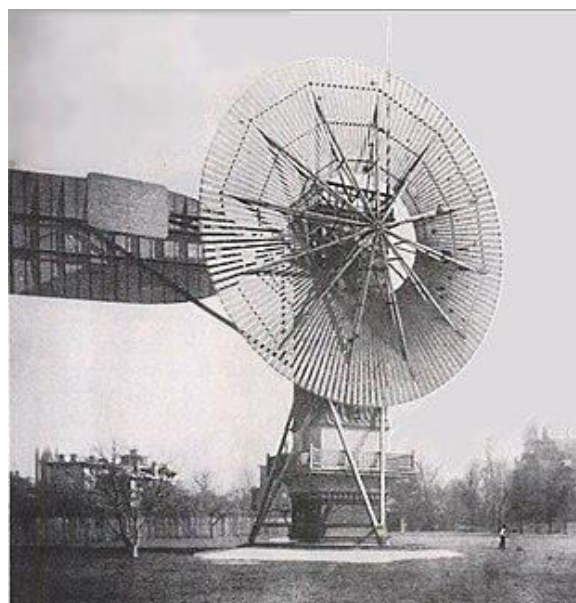
5.1 Αιολική Ενέργεια

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Χαρακτηρίζεται ως «ήπια μορφή ενέργειας» (προέρχεται δηλαδή από φυσικές διεργασίες) και περιλαμβάνεται στις «καθαρές» πηγές, όπως συνηθίζεται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους. Ονομάζεται αιολική γιατί στην ελληνική μυθολογία ο Αίολος ήταν ο θεός του ανέμου. Η αιολική ενέργεια είναι μια βιώσιμη και ανανεώσιμη ενέργεια και έχει πολύ μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον σε σύγκριση με την καύση ορυκτών καυσίμων, γι' αυτό σήμερα αποτελεί ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το «καύσιμο» της είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια και άλλοι ρύποι, με τις επιπτώσεις στο περιβάλλον να είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Επίσης, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα.

Ο άνεμος είναι μια διακοπτόμενη πηγή ενέργειας, η οποία δεν μπορεί να παράγει ηλεκτρισμό, ούτε να αποστέλλεται κατόπιν ζήτησης. Παρέχει μεταβλητή ισχύ, η οποία είναι σταθερή συνολικά από έτος σε έτος, χωρίς σημαντικές διακυμάνσεις, αλλά ποικίλλει σε μικρότερα χρονικά διαστήματα. Επομένως, πρέπει να χρησιμοποιείται μαζί με άλλες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, ή να αποθηκεύεται με σκοπό την παροχή αξιόπιστης και συνεχούς τροφοδοσίας. Όταν αυξάνεται το ποσοστό της αιολικής ενέργειας σε μια περιοχή, απαιτούνται συμβατικές πηγές ενέργειας για υποστήριξη (όπως η ενέργεια από ορυκτά καύσιμα και η πυρηνική ενέργεια). Για να μπορέσει να λειτουργήσει όμως ένα τέτοιο δίκτυο, ενδέχεται να χρειάζεται αναβάθμιση. Αυτή η αναβάθμιση μπορεί να επιτευχθεί με τεχνικές διαχείρισης ισχύος, όπως είναι η ύπαρξη πηγών τροφοδοσίας, η υδροηλεκτρική ενέργεια, η πλεονάζουσα χωρητικότητα, οι γεωγραφικά καταναμημένοι στρόβιλοι, η εξαγωγή και εισαγωγή ισχύος σε γειτονικές περιοχές, η αποθήκευση ενέργειας ή ακόμα και η μείωση της ζήτησης, όταν η παραγωγή αιολικής ενέργειας είναι χαμηλή. Σημαντική βοήθεια προσφέρει η πρόγνωση του καιρού, η οποία επιτρέπει στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας να προετοιμαστεί για τις προβλέψιμες διακυμάνσεις που συμβαίνουν στην παραγωγή.

5.2 Ιστορική αναδρομή – Ανεμόμυλοι

Ο άνθρωπος έχει εκμεταλλευτεί την αιολική ενέργεια από την αρχαιότητα. Η πρώτη μορφή αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας αποτελεί είναι η κατασκευή ιστιοφόρων πλοίων. Αργότερα στην ιστορία συναντάμε την κατασκευή των ανεμόμυλων (πρόγονο των σημερινών ανεμογεννητριών) από τους Αρχαίους Έλληνες, Κινέζους, Αιγύπτιους και Πέρσες, που χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για το άλεσμα δημητριακών. Στα μέσα του 19^{ου} αιώνα οι ανεμόμυλοι αρχίζουν να συνδέονται με πολλές περισσότερες λειτουργίες της καθημερινής ζωής, όπως την άντληση νερού από πλημμυρισμένες περιοχές και τη διάθεση του στην θάλασσα (Ολλανδία), ενώ στην Δανία και την Αμερική αρχίζουν και κάνουν την εμφάνισή τους οι πρώτοι ανεμόμυλοι για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 5.1 Η πρώτη αυτόματη ανεμογεννήτρια, που κατασκευάστηκε στο Κλίβελαντ το 1887 από τον Charles F. Brush

Ο πρώτος ανεμόμυλος που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάστηκε στη Σκωτία τον Ιούλιο του 1887 από τον καθηγητή James Blyth από το Anderson's College της Γλασκόβης. Παράλληλα στην Αμερική, στο Κλίβελαντ του Οχάιο, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ένα μεγαλύτερο και βαρύτερο μηχάνημα στο διάστημα 1887-1888 από τον Charles F. Brush στην εταιρεία μηχανικής του, στο σπίτι του και λειτουργήσε από το 1886 έως το 1900. Η ανεμογεννήτρια Brush είχε ρότορα διαμέτρου 17 μέτρων και τοποθετήθηκε σε πύργο 18 μέτρων, ενώ ζύγιζε 3,6 τόνους. Παρόλο που είναι μεγαλύτερο από τα σημερινά πρότυπα, το μηχάνημα τροφοδοτήθηκε από γεννήτρια των 12 kW. Το συνδεδεμένο δυναμό χρησιμοποιήθηκε είτε για τη φόρτιση μιας συστοιχίας μπαταριών, είτε για τη λειτουργία έως και 100 λαμπτήρων πυρακτώσεως, τριών λαμπτήρων τόξου και διάφορων κινητήρων στο εργαστήριο του Brush.

Παράλληλα, και η περιοχή του Οροπεδίου Λασιθίου διαθέτει μακρά ιστορία στην χρήση ανεμόμυλων. Πιο συγκεκριμένα, στις αρχές του 19^{ου} αιώνα είχαν κατασκευασθεί 12.000 ανεμόμυλοι, ώστε να επιτευχθεί η μεταφορά νερού για αρδευτικούς σκοπούς, αλλά και η αποστράγγιση των εδαφών έπειτα από ισχυρές βροχοπτώσεις οι οποίες τότε πλημμύριζαν το οροπέδιο, καθώς δεν είχε κατασκευαστεί ακόμα η αποστραγγιστική σήραγγα που εκτρέπει τα όμβρια ύδατα στον ταμιευτήρα του Αποσελέμη. Σήμερα σώζονται 200 περίπου ανεμόμυλοι, εκ των οποίων οι 26 είναι πέτρινοι, ενώ φέτος εντάχθηκαν στο Εθνικό Ευρετήριο Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς του Υπουργείου Πολιτισμού και Αθλητισμού.



Εικόνα 5.2 Άποψη ανεμόμυλων στο Οροπέδιο Λασιθίου

5.3 Ανεμογεννήτριες – Αιολικά Πάρκα

Η ανεμογεννήτρια είναι μια αιολική μηχανή που μετατρέπει τον άνεμο από κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική και πρακτικά αποτελεί απόγονο του ανεμόμυλου. Η εξέλιξη των τελευταίων χρόνων στον τομέα της μηχανικής και της επιστήμης των υλικών έχει καταστήσει τις μεγάλες εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον τομέα να αυξήσουν σημαντικά την ισχύ και τις διαστάσεις των σύγχρονων ανεμογεννητριών. Ως παράδειγμα παρατίθεται η εξέλιξη των ανεμογεννητριών της εταιρείας VESTAS (που πλέον θεωρείται ο μεγαλύτερος παραγωγός ανεμογεννητριών παγκοσμίως) με την πρώτη της ανεμογεννήτρια, την VESTAS V15 με πρώτη τοποθέτηση στην αγορά το 1981, διάμετρο φτερωτής 15 m και μέγιστη ισχύ 55 Kw, ενώ το τελευταίο μοντέλο της ίδιας εταιρείας, η VESTAS V164, έχει διάμετρο φτερωτής 164 m και μέγιστη ισχύ 9,5 MW. Στην αγορά των ανεμογεννητριών υπάρχουν τρεις διατάξεις μεταξύ άλλων που είναι οι πιο δημοφιλείς. Πρόκειται για τις ανεμογεννήτριες:

- Οριζοντίου άξονα
- Κατακόρυφου άξονα
- Savonius

Από τις παραπάνω οι πιο διαδεδομένες είναι οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα, οι οποίες έχουν εξελιχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια.

5.3.1 Θεωρητική αιολική ισχύς

Η ισχύς (σε W) μίας μάζας m (σε kg) που κινείται με ταχύτητα V σε (m/s) για χρόνο t (σε s) είναι:

$$P_0 = \frac{E}{t} = \frac{mV^2}{2t}$$

Αν στον χρόνο t ο αέρας διανύει απόσταση L (σε m) και προσπίπτει σε επιφάνεια A (σε m²), τότε έχουμε:

$$P_0 = \rho L A \frac{V^2}{2t} = \frac{\rho AV^3}{2}$$

όπου ρ η πυκνότητα του αέρα (1,225 kg/m³). Για ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα και διαμέτρου D (σε m), η θεωρητική αιολική ισχύς δίδεται από τον τύπο:

$$P_0 = \frac{\rho \pi D^2 V^3}{8}$$

Από τον παραπάνω τύπο παρατηρείται η σημασία της αύξησης της διαμέτρου, η οποία έχει πολυωνυμική συσχέτιση δεύτερης τάξης με την θεωρητική αιολική ισχύ. Για παράδειγμα, η θεωρητική αιολική ισχύς που διέρχεται από μια ανεμογεννήτρια για σταθερή ταχύτητα ανέμου 10 m/s και διάμετρο D = 1 m, D = 10 m και D = 100 m είναι αντίστοιχα P = 0,48 kW, P = 48,1 kW και P = 4,81 MW. Για την θεωρητική αιολική ισχύ υπάρχει άνω όριο που καλείται όριο Betz (1919) και περιγράφει το λόγο της θεωρητικά παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος (μέγιστη ισχύς ιδεατής ανεμογεννήτριας) προς την θεωρητική αιολική ισχύ. Καλείται, δε, συντελεστής ισχύος και ισούται με 59,3%, που σημαίνει ότι μια ιδεατή ανεμογεννήτρια μπορεί να αποδώσει σε ηλεκτρική ενέργεια το 59,3% της θεωρητικής αιολικής ενέργειας που προσπίπτει στην εκμεταλλεύσιμη επιφάνεια των πτερυγίων της. Εν συνεχεία, αφαιρώντας τις πραγματικές απώλειες του ρότορα (48-55%, το 59,3% αποτελεί θεωρητικό άνω όριο), του κιβώτιου ταχυτήτων (3-5%), τις απώλειες της γεννήτριας (2-3%) και τις απώλειες του μετασχηματιστή (1-4%), επιτυγχάνεται απόδοση της τάξης του 40-50%. Απώλειες ισχύος προκύπτουν και κατά τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε μηχανική και ηλεκτρική, οπότε ο ολικός συντελεστής ισχύος είναι γινόμενο τριών συνιστωσών. Η παραγόμενη ισχύς της ανεμογεννήτριας δίνεται μέσω νομογραφημάτων (καμπύλες ισχύος), συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου στο ύψος της πτερωτής. Οι σχέσεις αυτές προκύπτουν με βάση εργαστηριακές μετρήσεις. Χαρακτηριστικά μεγέθη τους είναι:

- Η ονομαστική ισχύς της A/Γ
- Οι ταχύτητες έναρξης και παύσης λειτουργίας της γεννήτριας ($V_{\max} > 25$ m/s, για λόγους ασφαλείας)

5.3.2 Αιολικά Πάρκα

Ως Αιολικό πάρκο ή Αιολικός Σταθμός Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΣΠΗΕ) ονομάζεται η χερσαία ή θαλάσσια έκταση, στην οποία έχει τοποθετηθεί ένας αριθμός ανεμογεννητριών με σκοπό τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική. Συγκεκριμένα είναι βιομηχανικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες αποτελούνται από τις ανεμογεννήτριες, τα καλώδια μεταφοράς ρεύματος, τους μετεωρολογικούς ιστούς, τους σταθμούς μετασχηματισμού και βοηθητικές υποδομές συμπεριλαμβανομένων των δρόμων.

Κατά την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου υπάρχουν ορισμένα φαινόμενα που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν, ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή και αποδοτική λειτουργία της συστοιχίας των ανεμογεννητριών.

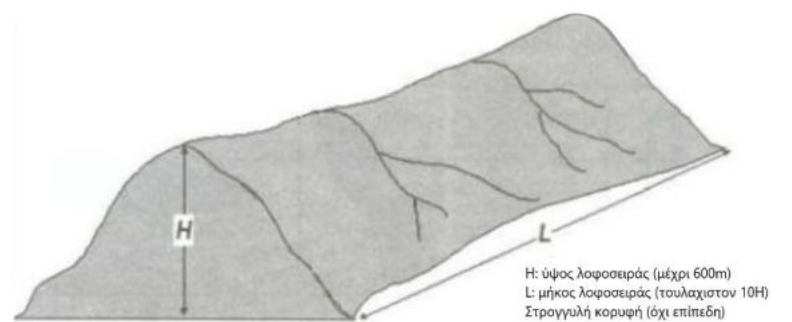
1. Park Effect

Σε περίπτωση που μια σειρά ανεμογεννητριών τοποθετηθεί «στη σκιά» της προηγούμενης σειράς, μειώνεται η παραγόμενη ενέργεια στη σειρά που βρίσκεται στα κατάντη της ροής του ανέμου. Πιο συγκεκριμένα, καθώς μία δέσμη ανέμου διέρχεται μέσα από τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, δημιουργείται στα κατάντη μία ζώνη τυρβώδους ροής του αέρα, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ταχύτητας ροής του ανέμου. Συνεπώς, έπειτα από εργαστηριακές μετρήσεις και δοκιμές έχει παρατηρηθεί (ως εμπειρικός κανόνας) ότι η βελτιστοποίηση απόδοσης και αξιοποίησης διαθέσιμου χώρου επιτυγχάνεται όταν η τοποθέτηση των ανεμογεννητριών γίνεται από 5 έως 9 διαμέτρους κατά τη διεύθυνση των επικρατούντων ανέμων, και από 3 έως 5 διαμέτρους για διεύθυνση κάθετη στην επικρατούσα διεύθυνση.

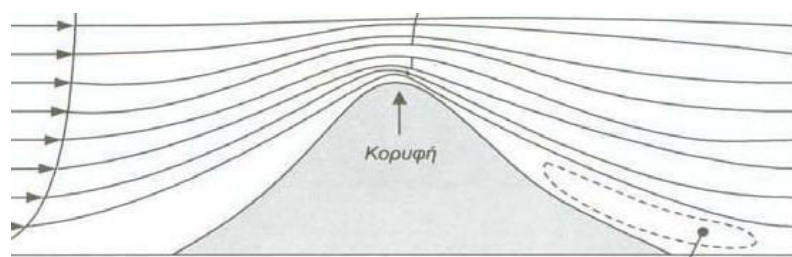
2. Hill Effect

Το φαινόμενο αυτό αποτελεί πρακτικά την επίδραση του τοπογραφικού αναγλύφου μιας περιοχής στην ροή του ανέμου. Η διαμόρφωση του πεδίου ταχύτητας ανέμων εξαρτάται, αρχικά, από την τραχύτητα του εδάφους και από τα διάφορα επιφανειακά εμπόδια που βρίσκονται πλησίον της ανεμογεννήτριας, αλλά σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό επηρεάζονται από το τοπογραφικό ανάγλυφο μια περιοχής. Πρέπει να σημειωθεί ότι προκειμένου να αναλυθεί η επίδραση του αναγλύφου μιας περιοχής στο πεδίο ροής, απαιτούνται αριθμητικά μέθοδοι πλήρους ανάλυσης του πεδίου ροής σε συνδυασμό με συστήματα μεγάλης υπολογιστικής ικανότητας, ή διαφορετικά απαιτείται η μελέτη του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής σε αεροδυναμική σήραγγα υπό κλίμακα. Η έννοια της λοφοσειράς λαμβάνεται κάθετη στην επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου. Το μέγιστο ύψος της λοφοσειράς δεν υπερβαίνει τα 600 m, ενώ το πλάτος της είναι τουλάχιστον δεκαπλάσιο του ύψους της λοφοσειράς. Η συγκεκριμένη ανάλυση βασίζεται στην υπόθεση ότι ο άνεμος περνάει επάνω από τη λοφοσειρά και δεν την παρακάμπτει κινούμενος πλαγίως. Βασιζόμενοι στους κλασσικούς νόμους της αεροδυναμικής υποηχητικών ταχυτήτων (π.χ. εξίσωση Bernoulli), εξάγεται ότι η κορυφή της λοφοσειράς αποτελεί πολύ καλή θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας, δεδομένης της συμπίεσης των γραμμών ροής, η οποία ισοδυναμεί με επιτάχυνση της αέριας δέσμης. Ένας πιθανός διπλασιασμός της ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή της κορυφής ισοδυναμεί με οκταπλασιασμό της διαθέσιμης ισχύος του ανέμου στην εν λόγω περιοχή. Συχνά είναι προτιμότερο να εγκατασταθεί η ανεμογεννήτρια λίγο πριν την κορυφή της λοφοσειράς, ώστε να αποφευχθούν αφενός αρνητικές κλίσεις της ταχύτητας που συνοδεύουν τυχόν αποκόλληση της ροής, αφετέρου περιοχές υψηλής τύρβης.

Τυπική αναπαράσταση του παραπάνω φαινομένου αποτελούν οι *Εικόνες 5.3 και 5.4*.



Εικόνα 5.3 Τυπική όψη λοφοσειράς



Εικόνα 5.4 Διάταξη γραμμών ροής πάνω από λοφοσειρά

3. Wind tunneling Effect

Για την καλύτερη ανάλυση του φαινομένου αυτού θα γίνει χρήση του νόμου του Bernoulli. Πιο συγκεκριμένα, αν στην σχέση:

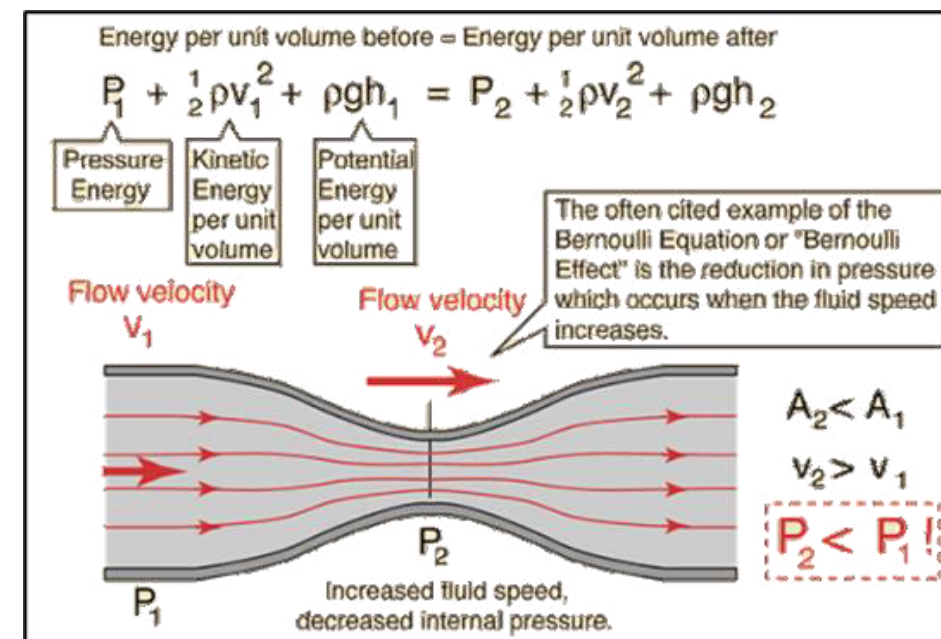
$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \rho g h_2$$

αναλυθεί η ταχύτητα V ως $V = \frac{Q}{A}$ και θεωρηθεί ότι η παροχή Q παραμένει σταθερή, προκύπτει ότι:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

και συνεπώς αν $A_1 > A_2$ τότε επίσης ισχύει $V_1 < V_2$. Κατά συνέπεια, από την αρχική σχέση προκύπτει ότι $P_1 > P_2$. Συνεπώς, το φαινόμενο αυτό τεκμηριώνει ότι αν στο πεδίο ροής βρεθεί ένα στενό πέρασμα, τότε σημειακά στην στένωση παρατηρείται επιτάχυνση της ροής του αέρα.

Ολοκληρώνοντας πρέπει να επισημανθεί ότι ιδιαίτερη επίδραση στη συνολική κατανομή της ταχύτητας του ανέμου έχει η διαμόρφωση του εδάφους, δεδομένου ότι η παρουσία εμποδίων, στενώσεων ή ανοιγμάτων τροποποιεί σημαντικά τα αιολικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής. Αν και υπάρχουν αρκετές αναλυτικές ημιεμπειρικές σχέσεις που προτείνουν διορθώσεις της ταχύτητας του ανέμου παρουσία εμποδίων ή λόγω της τραχύτητας του εδάφους, ακριβείς υπολογισμοί μπορούν να γίνουν μόνο με την αριθμητική προσομοίωση της υπό εξέταση περιοχής και τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Τέλος, σαν γενικός κανόνας θεωρείται ότι ο δρομέας (περωτή) μιας ανεμογεννήτριας, πρέπει να βρίσκεται έξω από τη ζώνη επιρροής οποιουδήποτε επιφανειακού εμποδίου που βρίσκεται έναντι της ανεμογεννήτριας, ώστε να μεγιστοποιηθεί η διαθέσιμη αιολική ενέργεια και να ελαχιστοποιηθεί η αναπτυσσόμενη ατμοσφαιρική τύρβη.



Εικόνα 5.5 Διάταξη γραμμών ροής ρευστού κατά την διέλευσή του από στένωση (Εφαρμογή του Νόμου Bernoulli)

5.4 Μελέτη και αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού

Για την μελέτη και αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού της περιοχής ενδιαφέροντος, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τρεις (3) διαφορετικούς φορείς. Συγκεκριμένα,

1. Δεδομένα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ)
2. Δεδομένα της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ) σχετικά με το αιολικό δυναμικό της περιοχής
3. Δεδομένα της NASA για την περιοχή μελέτης

Τέλος, πραγματοποιείται επαλήθευση των μετρήσεων με πρόγραμμα του *Danish Wind Industry Association*.

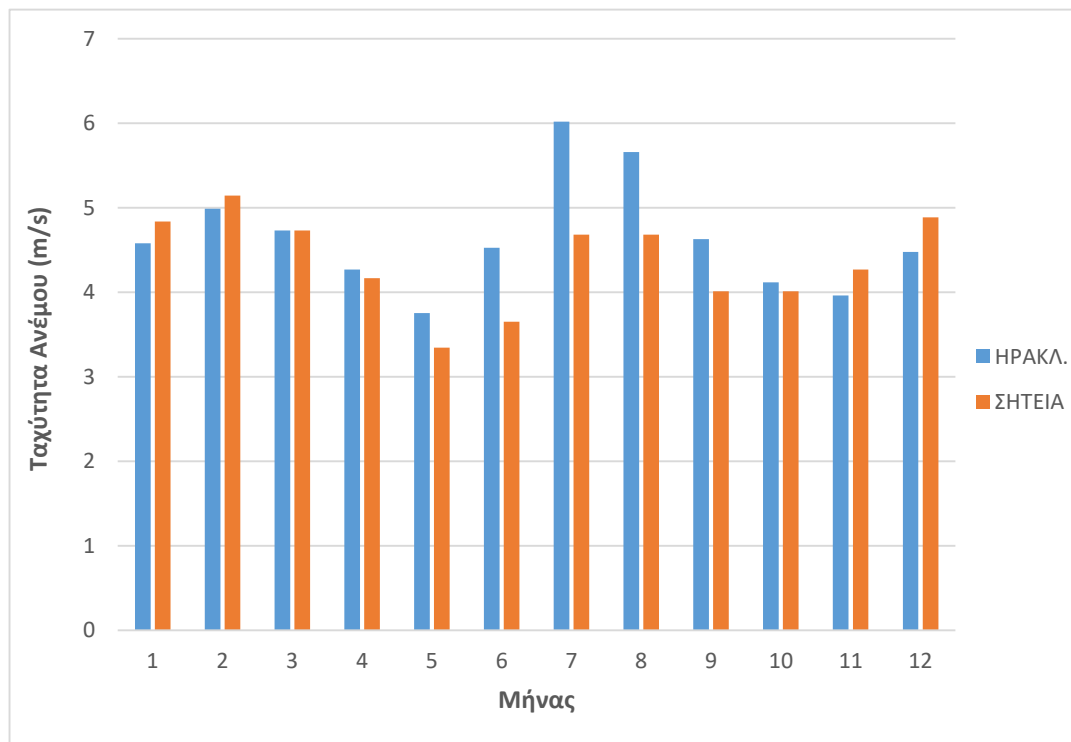
Μέρος Α: Διαδικασία εκτίμησης αιολικού δυναμικού

5.4.A1 Μελέτη και αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού με δεδομένα της EMY

Ο πλησιέστερος σταθμός της E.M.Y. στην περιοχή μελέτης είναι ο σταθμός του Ηρακλείου Κρήτης, ο οποίος βρίσκεται περίπου 40 km από την περιοχή μελέτης. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του σταθμού της Σητείας, που βρίσκεται 52,6 km από την περιοχή μελέτης, αλλά έχει εμφανή διαφοροποίηση στο κλίμα. Τα δεδομένα που δίδονται από την E.M.Y. αποτελούν κλιματικές τιμές του χρονικού διαστήματος 1955-2010. Πιο συγκεκριμένα, δίνονται σε πίνακες η συχνότητα εμφάνισης ανέμου ανάλογα με ένταση και την διεύθυνσή του. Εν συνεχεία, από την μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου, υπολογίστηκε ένας συντελεστής εποχικότητας και ακολούθως, πολλαπλασιάζοντας την αθροιστική συχνότητα εμφάνισης της κάθε ταχύτητας πνοής (ανεξάρτητα από την διεύθυνση πνοής) με τον συντελεστή εποχικότητας, προέκυψαν οι μέσες συχνότητες εμφάνισης ανέμων λαμβάνοντας υπ' όψιν και την εποχική διακύμανση που λαμβάνει χώρα στην περιοχή. Έπειτα, οι ταχύτητες αυτές, αφού αναχθούν στο ύψος της πτερωτής, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας. Για την αναγωγή χρησιμοποιείται η σχέση:

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

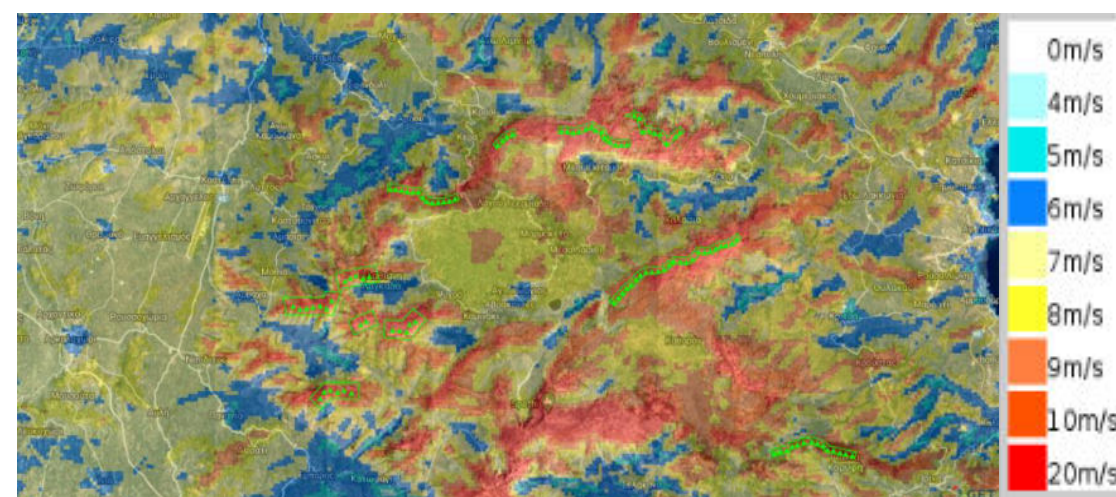
όπου u_1 και u_2 οι ταχύτητες σε ύψος z_1 και z_2 , αντίστοιχα. Επιπρόσθετα, η σχέση μετατροπής της ταχύτητας του ανέμου από Beaufort σε m/s που χρησιμοποιήθηκε είναι η ακόλουθη: $u_{10} = 0.836 B^{3/2}$



Διάγραμμα 5.1 Μέση ταχύτητα ανέμου Ηρακλείου-Σητείας (Δεδομένα EMY)

5.4.A2 Αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού με δεδομένα της PAE

Σύμφωνα με τους χάρτες αιολικού δυναμικού της περιοχής μελέτης, προκύπτει ότι η μέση ταχύτητα πνοής ανέμου σε υψόμετρο 80 m στα σημεία τοποθέτησης των ανεμογεννητριών είναι $10 \text{ m/s} < V_{80} < 20 \text{ m/s}$. Από τον παρακάτω χάρτη αιολικού δυναμικού υπολογίζεται μία μέση τιμή της ταχύτητας V_{80} ανάλογα με τα σημεία τοποθέτησης των ανεμογεννητριών (δηλαδή σε ποια κατηγορία βρίσκονται ως προς το αιολικό τους δυναμικό). Έτσι, προκύπτει η μέση ταχύτητα πνοής ίση με $V_{80} = 16,65 \text{ m/s}$, η οποία έπειτα από αναγωγή στα αντίστοιχα υψόμετρα δίνει $V_{50} = 16,65 \text{ m/s}$ και $V_{02} = 9,11 \text{ m/s}$. Οι τιμές που προκύπτουν είναι σαφέστερα υψηλότερες σε σχέση με αυτές της E.M.Y., διότι ο παρακάτω χάρτης λαμβάνει υπ' όψιν και την επίδραση του τοπογραφικού αναγλύφου της περιοχής. Αν λ.χ. εξεταζόταν ένα σημείο εντός του Οροπεδίου Λασιθίου θα ίσχυε $V_{80} = 8 \text{ m/s}$ και αντίστοιχα $V_{50} = 7,54 \text{ m/s}$ και $V_{02} = 4,44 \text{ m/s}$, που έχουν μεγάλη συνάφεια με τα δεδομένα της E.M.Y. Για τον παραπάνω λόγο τα δεδομένα αυτά δεν λαμβάνονται υπ' όψιν, καθώς υπάρχει ο κίνδυνος υπερεκτίμησης της παραγόμενης ενέργειας και του συντελεστή δυναμικότητας.



Χάρτης 5.1 Αιολικό δυναμικό περιοχής μελέτης σύμφωνα με τη PAE σε ύψος 80 m από το έδαφος (Αναλυτικοί χάρτες περιλαμβάνονται στα Παραρτήματα)

5.4.A3 Μελέτη και αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού με δεδομένα της NASA

Η NASA διαθέτει δεδομένα δορυφορικών μετρήσεων ακόμα και σε ημερήσια βάση από το 1985 έως σήμερα. Το βασικό πλεονέκτημα των δεδομένων αυτών είναι ότι είναι συνεχόμενες χρονοσειρές για περισσότερα από 30 χρόνια, πράγμα το οποίο είναι αδύνατον να επιτευχθεί από σταθμούς μέτρησης. Επιπρόσθετα, οι ταχύτητες του αέρα έχουν ήδη αναχθεί στο ύψος της πτερωτής, επομένως χρησιμοποιούνται χωρίς καμία αναγωγή. Βασικό μειονέκτημα είναι η χαμηλή ανάλυση μέτρησης (ανά $0,5^\circ$ ή περίπου 75 km) και η γενικότερη υποεκτίμηση των ανεμολογικών δεδομένων.

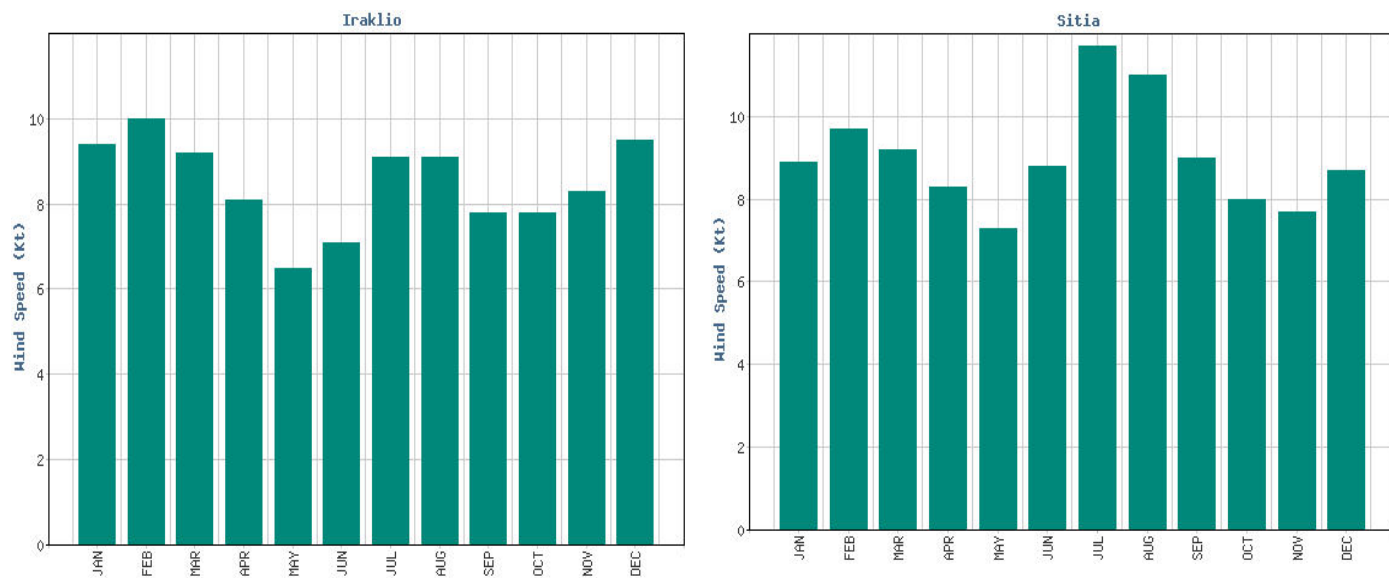
5.4.A4 Επαλήθευση των μετρήσεων με πρόγραμμα του Danish Wind Industry Association

Το *Danish Wind Industry Association* χρησιμοποιεί ανεμολογικά δεδομένα από τον σταθμό του Ηρακλείου, τα οποία στη συνέχεια τροποποιεί με τη βοήθεια κατανομής Weibull. Έτσι, συμπληρώνοντας τη μέση ετήσια ταχύτητα πνοής ανέμου και υποθέτοντας κατανομή τύπου Weibull για την σχέση μέσης ταχύτητας ανέμου και συχνότητας εμφάνισης παράγεται μία χρονοσειρά ανέμων. Η εν λόγω χρονοσειρά λαμβάνει τα στατιστικά της

χαρακτηριστικά από τα διαθέσιμα δεδομένα του πλησιέστερου σταθμού (στην προκειμένη περίπτωση το Ηράκλειο), και τελικά τα χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της παραγόμενης ενέργειας.

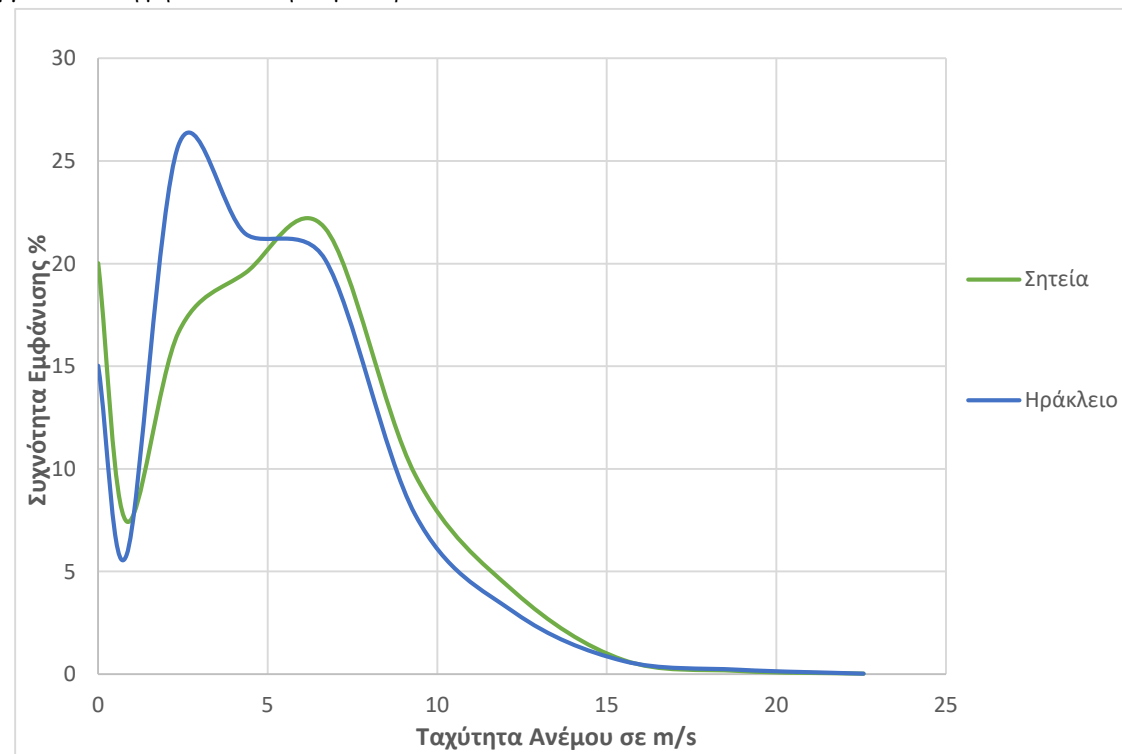
Μέρος Β: Αποτελέσματα εκτίμησης αιολικού δυναμικού

5.4.B1 Αποτελέσματα μελέτης του αιολικού δυναμικού με δεδομένα της EMY



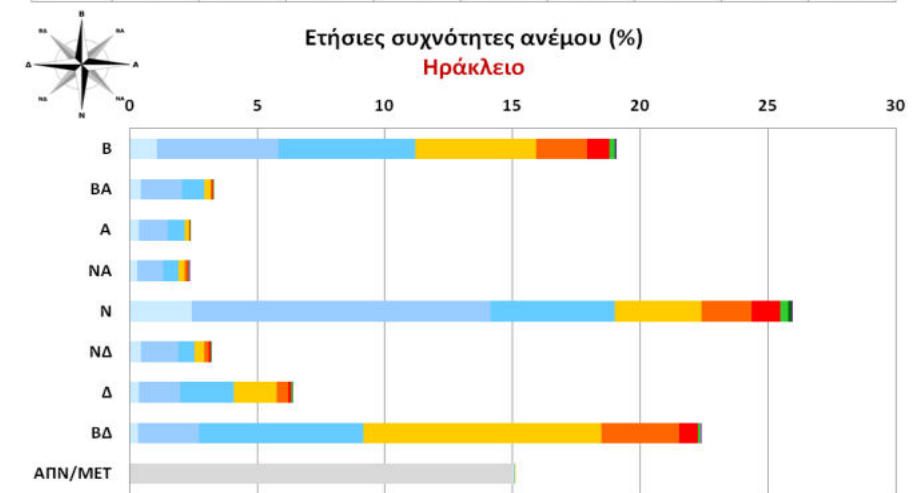
Διάγραμμα 5.2 Μέση μηνιαία ένταση ανέμου Ηρακλείου

Διάγραμμα 5.3 Μέση μηνιαία ένταση ανέμου Σητείας



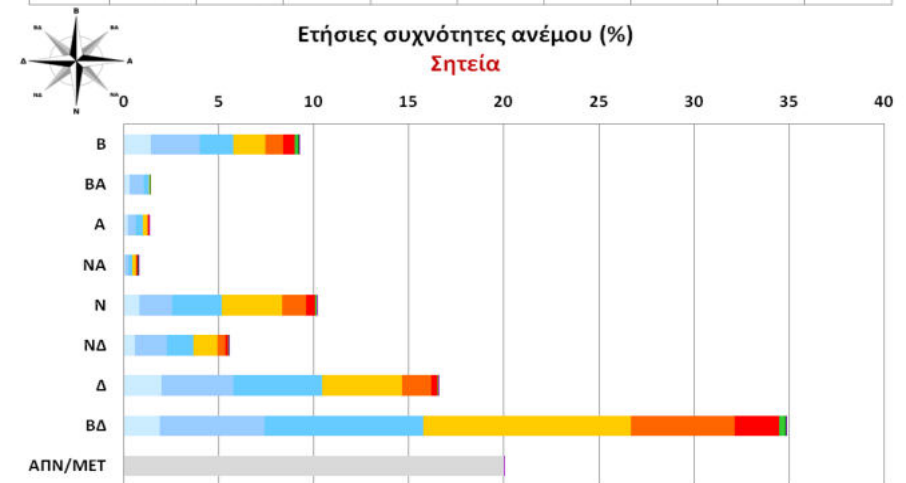
Διάγραμμα 5.4 Ταχύτητα ανέμου ανάλογα με την συχνότητα εμφάνισής (Διάγραμμα από μετασχηματισμένα δεδομένα της EMY)

	ΑΠΝ/ΜΕΤ	ΒΔ	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α	ΒΑ	Β
Αίτνοια	15.02								
1b	0.02	0.35	0.37	0.44	2.43	0.30	0.37	0.45	1.07
2b	0.01	2.38	1.63	1.47	11.71	1.03	1.14	1.61	4.78
3b	0.00	6.41	2.11	0.65	4.84	0.60	0.64	0.86	5.34
4b	0.00	9.31	1.67	0.38	3.41	0.25	0.18	0.27	4.74
5b	0	3.06	0.44	0.17	1.96	0.10	0.03	0.07	1.99
6b	0	0.72	0.12	0.07	1.13	0.04	0.01	0.03	0.87
7b	0	0.09	0.02	0.01	0.31	0.01	0.00	0.00	0.20
8b	0	0.03	0.00	0.00	0.12	0.00	0	0	0.06
>=9b	0	0.00	0	0	0.02	0.00	0	0	0.00



Πίνακας 5.1 & Διάγραμμα 5.5 Ετήσιες συχνότητες ανέμου Ηρακλείου (Δεδομένα EMY)

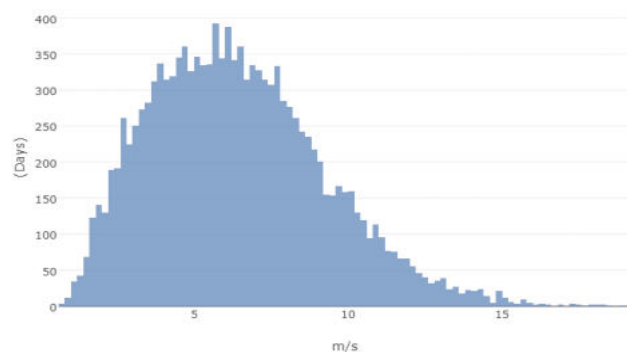
	ΑΠΝ/ΜΕΤ	ΒΔ	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α	ΒΑ	Β
Αίτνοια	20.02								
1b	0	1.90	2.02	0.62	0.85	0.08	0.21	0.32	1.44
2b	0	5.51	3.77	1.66	1.72	0.21	0.46	0.74	2.57
3b	0	8.33	4.65	1.41	2.62	0.18	0.33	0.27	1.76
4b	0	10.93	4.20	1.26	3.17	0.17	0.25	0.07	1.68
5b	0	5.46	1.52	0.41	1.25	0.07	0.06	0.01	0.93
6b	0	2.35	0.35	0.15	0.43	0.04	0.02	0.01	0.64
7b	0	0.32	0.02	0.03	0.10	0.02	0.01	0.00	0.19
8b	0	0.06	0.01	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.04
>=9b	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0	0.01



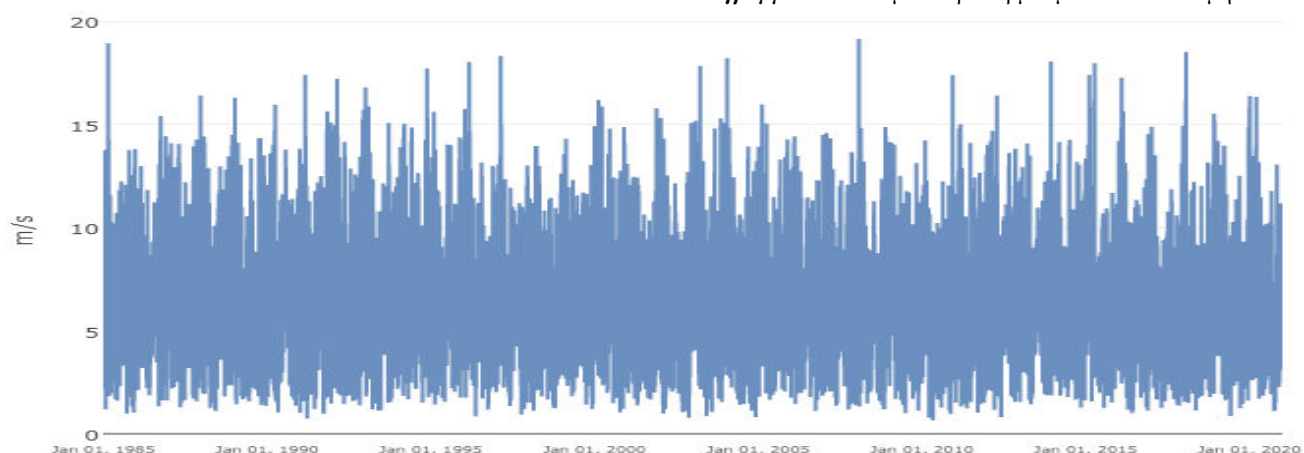
Πίνακας 5.2 & Διάγραμμα 5.6 Ετήσιες συχνότητες ανέμου Σητείας (Δεδομένα EMY)

5.4.B3 Αποτελέσματα μελέτης του αιολικού δυναμικού με δεδομένα της NASA

Από τα δεδομένα της NASA προκύπτει ότι οι παρατηρήσεις διατεταγμένες κατά την χρονική σειρά παρατήρησής τους, δείχνουν να αποτελούν τυχαία και πιθανώς στοχαστική μεταβλητή. Αν αποτυπωθούν γραφικά οι μέρες εμφάνισης κάθε τιμής ταχύτητας ανέμου για όλα τα διαθέσιμα χρόνια, είναι εμφανές ότι μπορεί να προσαρμοστεί μια κατανομή Weibull. Αναλύοντας τα παραπάνω δεδομένα, υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά της κατανομής Weibull που προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα.



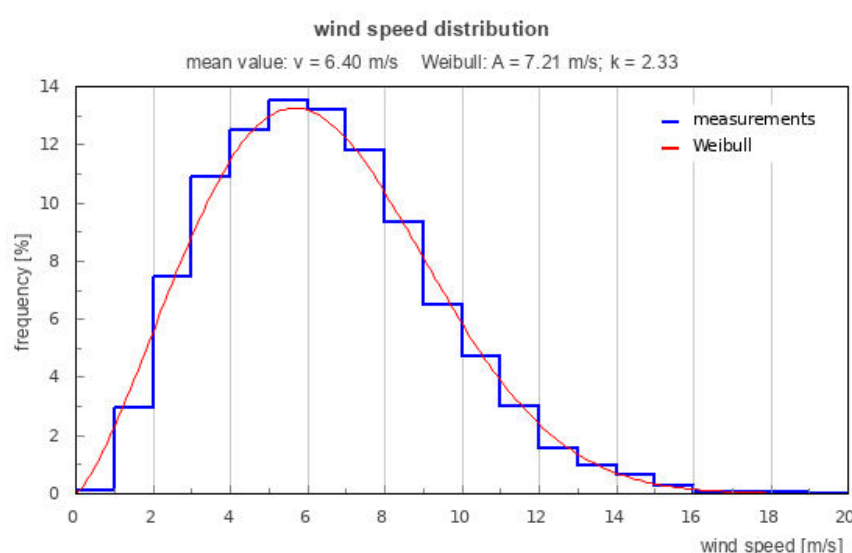
Διάγραμμα 5.6 Δεδομένα προσαρμοσμένα σε κατανομή Weibull



Διάγραμμα 5.7 Χρονοσειρά δεδομένων NASA

Όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα, τα χαρακτηριστικά της κατανομής που προσαρμόζεται στα δεδομένα είναι ο συντελεστής σχήματος Weibull $k = 2,33$ και ο συντελεστής κλίμακας $A = 7,21$ m/s.

Ο Πίνακας 5.3 προκύπτει αναλύοντας τα παραπάνω δεδομένα και υπολογίζοντας το ποσοστό του χρόνου που η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται στα αντίστοιχα διαστήματα



Διάγραμμα 5.8 Μετασχηματισμένα δεδομένα με πρόγραμμα του Swiss Federal Office of Energy

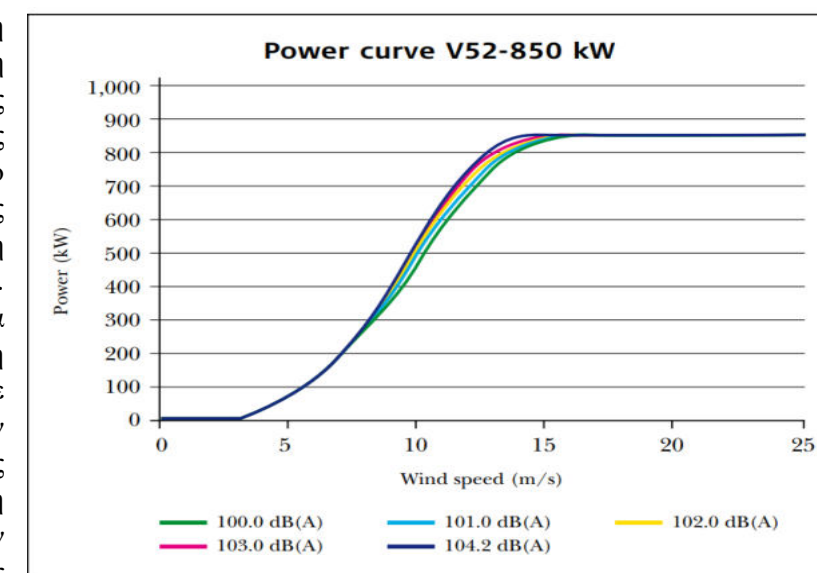
Class	Frequency in %
0 - 1 m/s	0.12
1 - 2 m/s	2.95
2 - 3 m/s	7.47
3 - 4 m/s	10.87
4 - 5 m/s	12.52
5 - 6 m/s	13.52
6 - 7 m/s	13.21
7 - 8 m/s	11.78
8 - 9 m/s	9.32
9 - 10 m/s	6.47
10 - 11 m/s	4.73
11 - 12 m/s	2.99
12 - 13 m/s	1.57
13 - 14 m/s	0.95
14 - 15 m/s	0.65
15 - 16 m/s	0.29
16 - 17 m/s	0.06
17 - 18 m/s	0.06
18 - 19 m/s	0.04
19 - 20 m/s	0.01
Sum	99.58

Πίνακας 5.3 Συχνότητα ανέμου

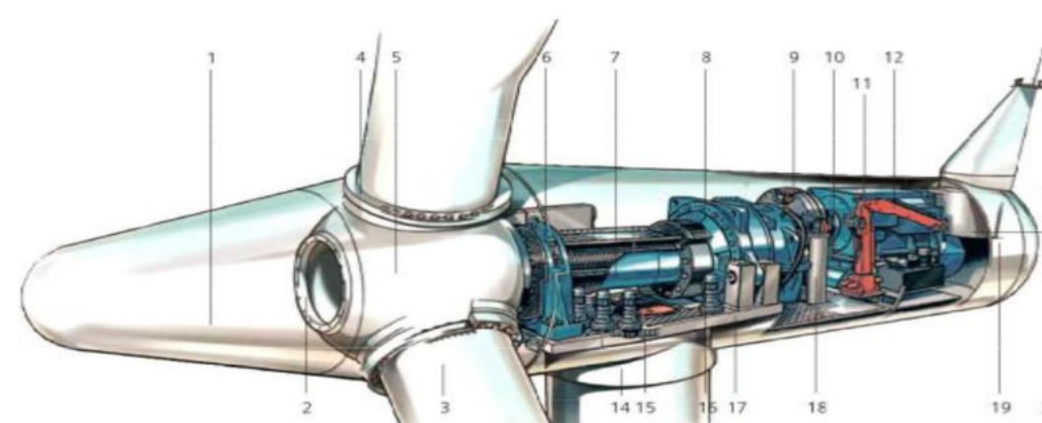
5.5.Τεκμηρίωση τοποθέτησης και χαρακτηριστικών του Αιολικού Πάρκου

Η τεκμηρίωση της τοποθέτησης γίνεται σύμφωνα με τα όσα έχουν αναφερθεί παραπάνω και με τους χάρτες Αιολικού Δυναμικού της Ρ.Α.Ε.. Κάθε σειρά ανεμογεννητριών είναι προτιμότερο να τοποθετείται λίγο πριν την κορυφή της εκάστοτε λοφοσειράς, έτσι ώστε να αποφεύγεται η τοποθέτηση της ανεμογεννήτριας σε ζώνη υψηλών διαταραχών λόγω τυρβώδους ροής. Στην περιοχή μελέτης η επικρατούσα διεύθυνση πνοής του ανέμου είναι η Β-ΒΔ. Συνεπώς, προκειμένου να μην υπάρξει μειωμένη απόδοση λόγω του Park Effect, θα γίνει τοποθέτηση των ανεμογεννητριών ανά 3 έως 5 διαμέτρους φτερωτής. Ο τύπος των ανεμογεννητριών που επιλέγεται προς τοποθέτηση είναι η Vestas V52, καθώς η δυσχερής οδική πρόσβαση καθιστά πολύ δύσκολη την μεταφορά και εγκατάσταση μεγαλύτερων ανεμογεννητριών. Κατά συνέπεια, ακολουθήθηκε ο κανόνας που συνιστά τοποθέτηση των ανεμογεννητριών στην κορυφή της εκάστοτε σειράς ανά 200 με 250 m. Έτσι, επιτυγχάνοντας τη βέλτιστη αξιοποίηση του διαθέσιμου χώρου, προτείνεται η τοποθέτηση 85 ανεμογεννητριών στις λοφοσειρές της γύρω περιοχής.

Η ανεμογεννήτρια που επιλέχθηκε έχει μέγιστη ισχύ παραγωγής 850 kW, διάμετρο 52 m, ελάχιστη ταχύτητα κίνησης 4 m/s, ταχύτητα αποκοπής λειτουργίας 25 m/s και οριακή ταχύτητα επιβίωσης 60 m/s. Η τοποθέτησή της γίνεται σε μεταλλικό στύλο τυποποιημένο σε ύψος (36,5/40/44/49/55/60/65/70/74/86m) και η θεμελίωση σε πέδιλο οπλισμένου σκυροδέματος. Έχει ωφέλιμη διάρκεια ζωής τα 20-25 χρόνια ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας (ο άνεμος, η θερμοκρασία και η ηλιακή ακτινοβολία σε ορισμένες καταστάσεις μπορούν να προκαλέσουν την πρόωγη γήρανση των υλικών κατασκευής μιας ανεμογεννήτριας) και συντήρησής της. Τα ακριβή εξαρτήματα της ανεμογεννήτριας φαίνονται στην παρακάτω Εικόνα 5.7. Η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας φαίνεται στο Διάγραμμα 5.9.



Διάγραμμα 5.9 Καμπύλη Ισχύος Vestas V52



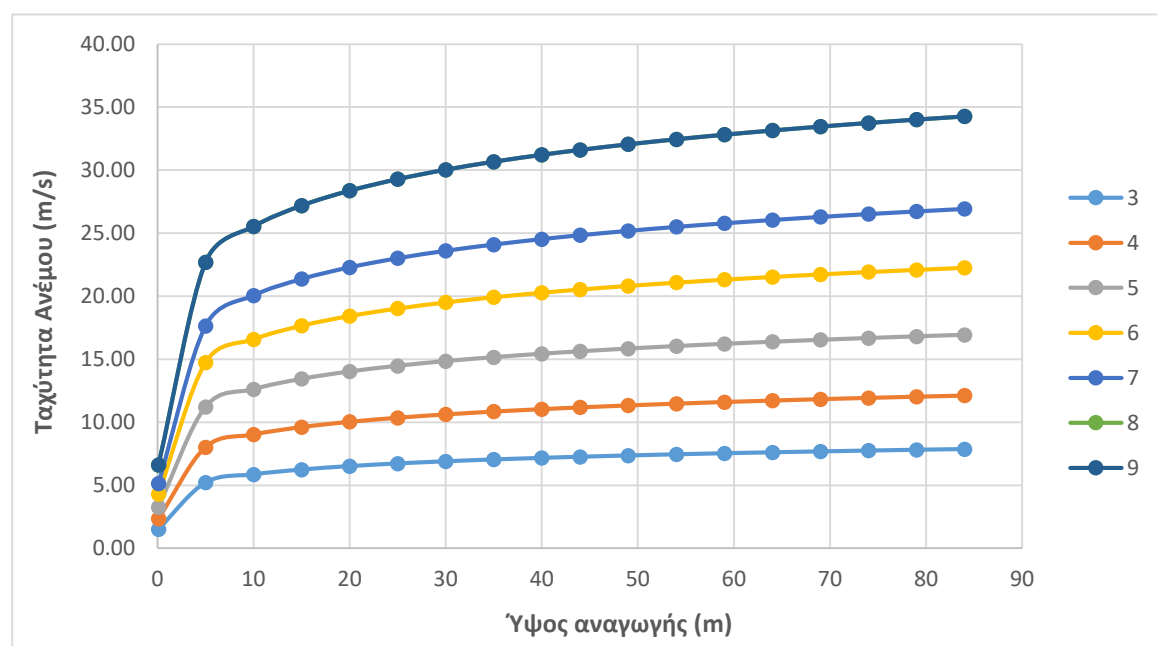
Εικόνα 5.7 Εξαρτήματα ανεμογεννήτριας

1. Στροβιλιστής ανεμοκινητήρα
2. Βάση στήριξης στροβιλιστή
3. Πτερύγια
4. Βάση στήριξης πτερυγίων
5. Πλήμνη
6. Κύριο ρουλεμάν
7. Κύρια κινητήρια άτρακτο (άξονας χαμηλών στροφών)
8. Κιβώτιο ταχυτήτων
9. Δισκόφρενο
10. Σύζευξη με γεννήτρια (άξονας υψηλών στροφών)
11. Γεννήτρια
12. Εσωτερικός γερανός
13. Αισθητήρες ανέμου
14. Πυλώνας
15. Υδραυλικό σύστημα περιστροφής
16. Κινητήρας περιστροφής
17. Έδρανο στήριξης άτρακτου
18. Φίλτρα λαδιού
19. Κουβούκλιο
20. Ψύκτρα γεννήτριας

5.5.1 Τεκμηρίωση επιλογής ύψους στύλου ανεμογεννήτριας

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση αναγωγής της ταχύτητας πνοής ανέμου σε ορισμένο ύψος από την επιφάνεια του εδάφους, παρατηρείται ότι η ταχύτητα του ανέμου ακολουθεί λογαριθμική σχέση αύξησης. Έτσι, από κάποιο ύψος z_2 και έπειτα, η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου μειώνεται σημαντικά ανά μέτρο ανόδου. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, αλλά και το γεγονός ότι η τοποθέτηση γίνεται σε περιοχή με μεγάλο αιολικό δυναμικό, κρίνεται ασύμφορη η επιλογή υψηλού στύλου, καθώς αυτός συνεπάγεται μικρή αύξηση της παραγόμενης ενέργειας (αύξηση του ύψους από 44 m σε 55 m συνεπάγεται αύξηση της παραγόμενης ενέργειας κατά 4-5%). Συνεπώς, επιλέγεται η στερέωση σε στύλο ύψους 44 m.

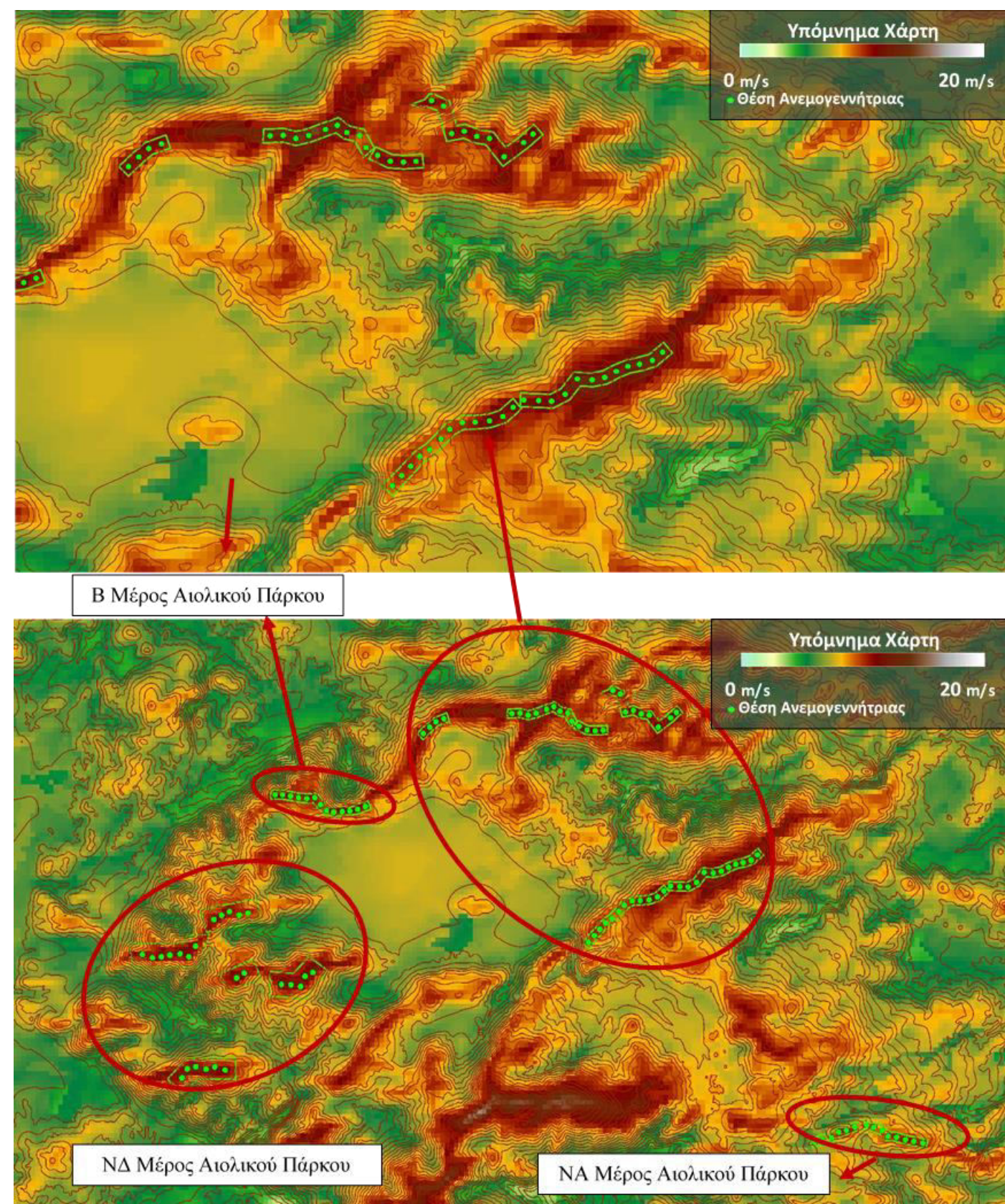
Πίνακας 5.4							
Επιλογή στύλου ανεμογεννήτριας							
	4	5	6	7	8	9	10
0,1	1,52	2,34	3,27	4,29	5,14	6,61	6,61
5	5,21	8,02	11,21	14,73	17,64	22,68	22,68
10	5,86	9,03	12,61	16,58	20,06	25,53	25,53
15	6,24	9,61	13,44	17,66	21,37	27,19	27,19
20	6,52	10,03	14,02	18,43	22,30	28,37	28,37
25	6,73	10,36	14,47	19,03	23,02	29,29	29,29
30	6,90	10,62	14,84	19,51	23,60	30,04	30,04
35	7,04	10,84	15,16	19,92	24,10	30,67	30,67
40	7,17	11,04	15,43	20,28	24,53	31,22	31,22
44	7,26	11,18	15,62	20,53	24,84	31,61	31,61
50	7,36	11,33	15,84	20,82	25,19	32,06	32,06
55	7,45	11,47	16,04	21,08	25,50	32,45	32,45
60	7,54	11,60	16,22	21,32	25,79	32,82	32,82
65	7,61	11,72	16,38	21,53	26,05	33,15	33,15
70	7,68	11,83	16,53	21,73	26,29	33,46	33,46
75	7,75	11,93	16,68	21,92	26,52	33,75	33,75
80	7,81	12,03	16,81	22,10	26,73	34,02	34,02
85	7,87	12,12	16,93	22,26	26,93	34,27	34,27



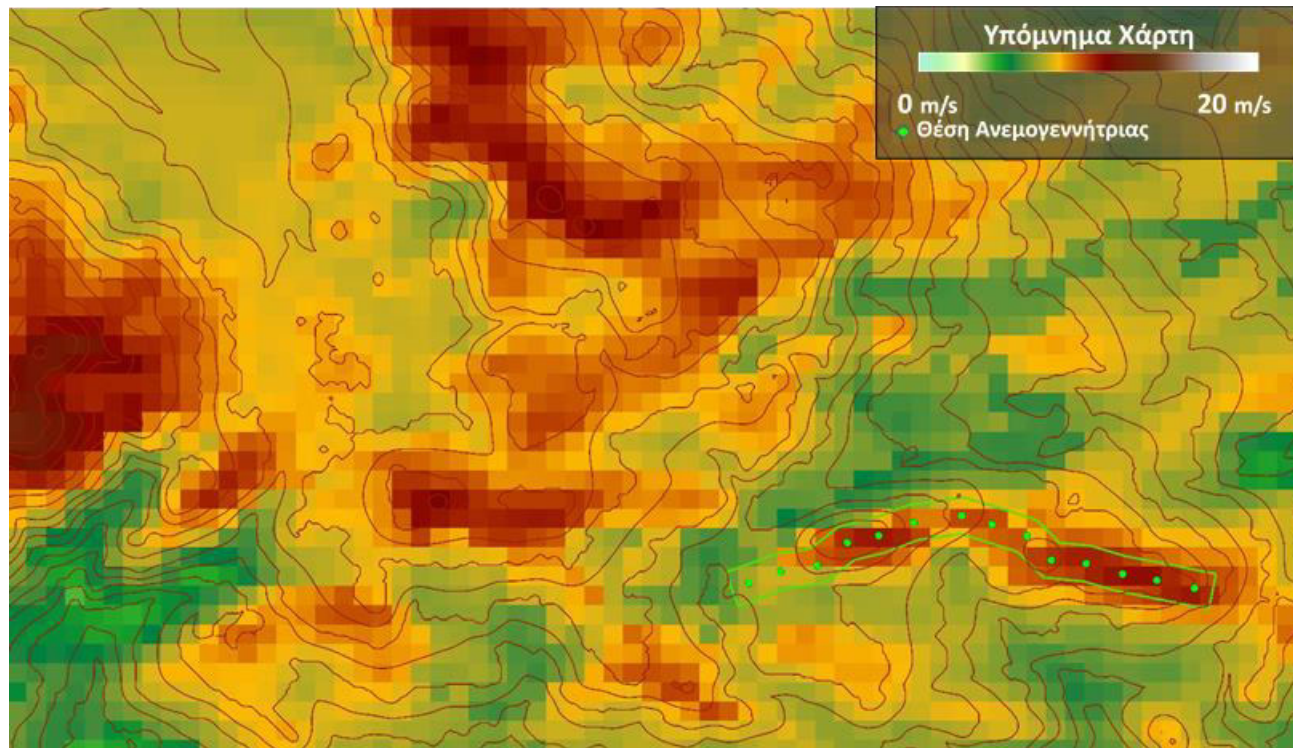
Διάγραμμα 5.10 Υψομετρική αναγωγή ταχυτήτων πνοής ανέμου

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του Α/Π είναι 72,25 MW. Οι ΑΣΠΗΕ αυτού του είδους αποτελούνται από τρία (3) αλληλένδετα τμήματα: τις εγκαταστάσεις του Αιολικού Πάρκου, που περιλαμβάνουν τις ανεμογεννήτριες, το διασυνδεδετικό δίκτυο Μέσης Τάσης (Μ.Τ.) και τις εγκαταστάσεις του Υποσταθμού (Υ/Σ) 20/150KV.

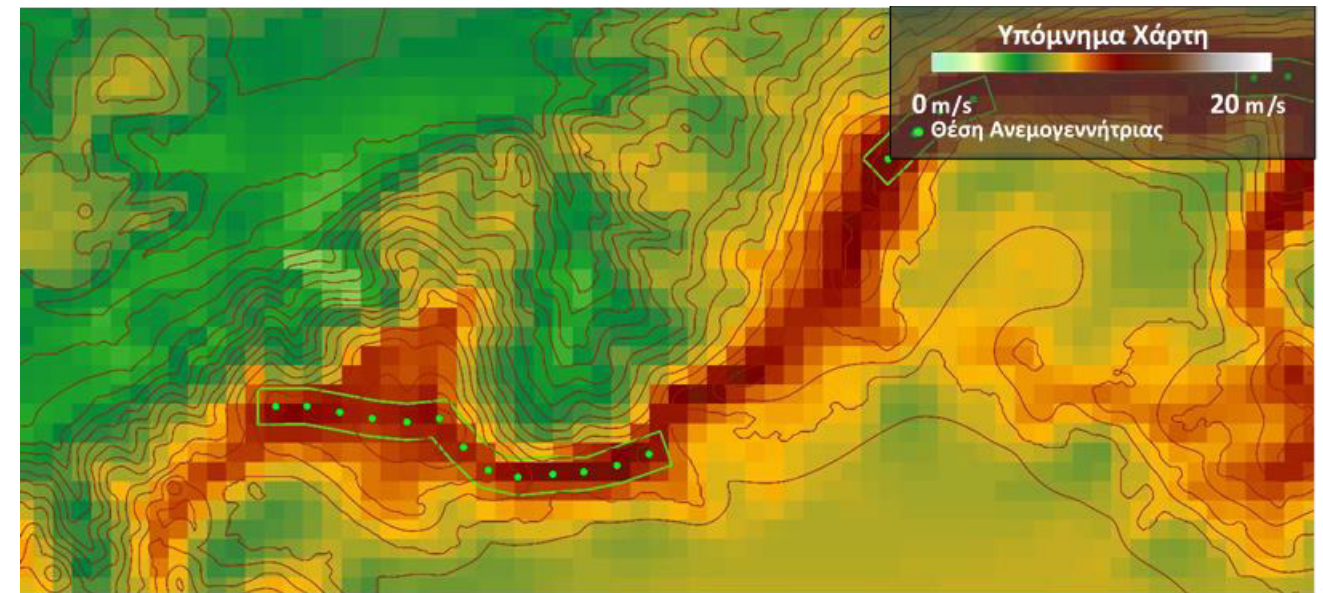
5.5.2 Παρουσίαση χωροθέτησης Α/Γ πάνω σε υπόβαθρο αιολικού δυναμικού



Χάρτης 5.2 Κεντρικό τμήμα αιολικού πάρκου



Χάρτης 5.3 Νοτιοανατολικό τμήμα αιολικού πάρκου



Χάρτης 5.5 Βόρειο τμήμα αιολικού πάρκου

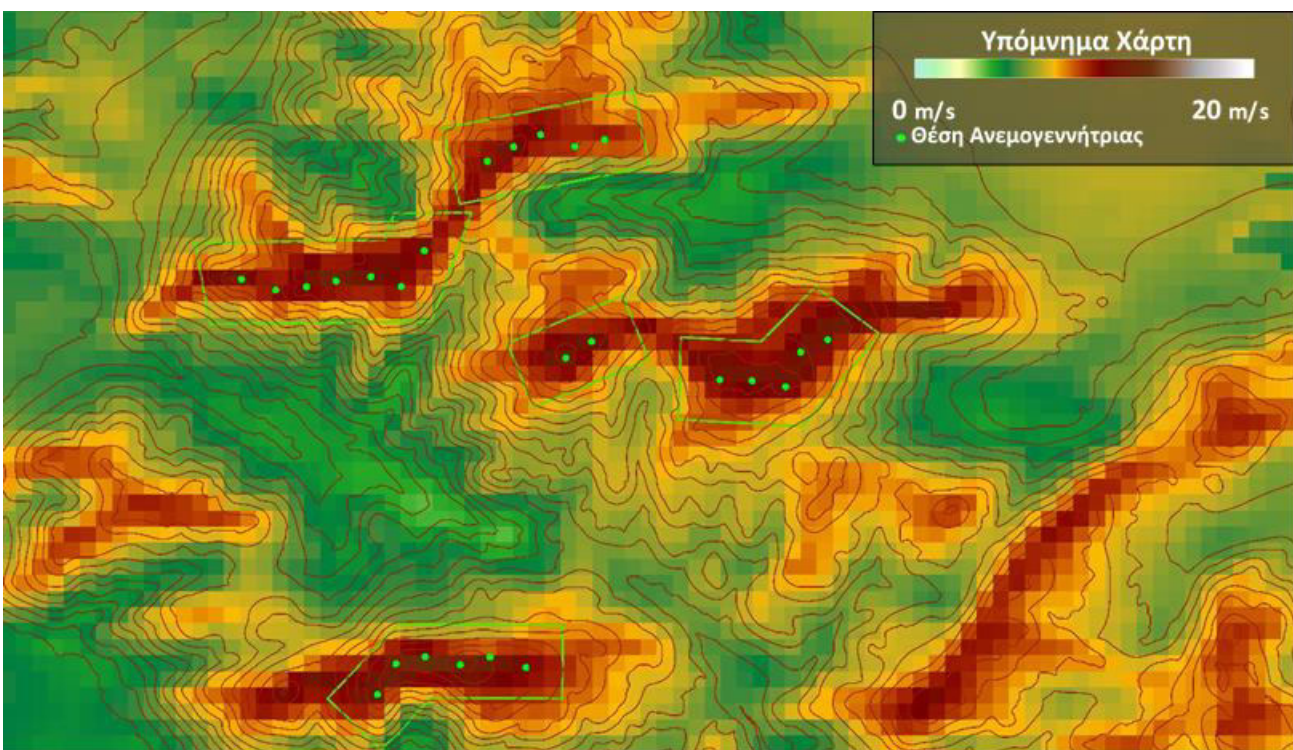
Η περιοχή των αιολικών πάρκων καλύπτει την κορυφογραμμή των γύρω ορεινών όγκων, όπως του όρους Δίκτης (ή όρος Σπαθί), περιμετρικά του οροπεδίου Λασιθίου και Καθαρού, στο Νομό Λασιθίου. Η κορυφογραμμές τρέχουν από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά. Το έδαφος είναι κυρίως βραχώδες με χαμηλή ή και καθόλου βλάστηση. Η έκθεση στο αιολικό κλίμα είναι καλή. Το υψόμετρο της κορυφογραμμής των ορεινών όγκων κυμαίνεται από 1100 m μέχρι 2147 m με την μέγιστη τιμή να συναντάται στην κορυφή του όρους της Δίκτης.

5.6 Ενεργειακή μελέτη αιολικού πάρκου

Για την προκαταρκτική ενεργειακή μελέτη του αιολικού πάρκου χρησιμοποιούνται τα δεδομένα της Ε.Μ.Υ., τα οποία επαληθεύονται στην συνέχεια με το πρόγραμμα του *Danish Wind Industry Association*. Για την ενεργειακή προσομοίωση των συστήματος ως σύνολο έργων χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της *NASA* αλλά και του *Meteoblue*, το οποίο διαθέτει δεδομένα σε μηνιαία, ημερήσια και ωριαία βάση.

Κατά τον προκαταρκτικό υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας, έχει γίνει η υπόθεση ότι σε όλες τις ανεμογεννήτριες προσπίπτει ο άνεμος με ίδια ταχύτητα άρα όλες παράγουν ίση ποσότητα ενέργειας. Συνεπώς, για την μελέτη του αιολικού πάρκου υπολογίστηκε η παραγόμενη ενέργεια μίας ανεμογεννήτριας, η οποία πολλαπλασιάζεται με το πλήθος των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου δίνει την συνολική παραγόμενη ενέργεια της εγκατάστασης.

Η διαδικασία υπολογισμού της παραγόμενης ενέργειας αξιοποιεί τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής μελέτης, τα οποία περιγράφουν την συχνότητα εμφάνισης της κάθε ταχύτητας ανέμου. Έπειτα, αντιστοιχίζοντας την κάθε ταχύτητα πνοής με την παραγόμενη ισχύ από την καμπύλη ισχύος και πολλαπλασιάζοντάς την με τις ώρες του έτους που παρατηρείται η τιμή αυτή (ώρες του έτους επί την συχνότητα εμφάνισης), προκύπτει η παραγόμενη ενέργεια. Επαναλαμβάνοντας την παραπάνω διαδικασία για όλους τους αντίστοιχους συνδυασμούς ταχύτητας-συχνότητας εμφάνισης (έτσι ώστε όλες οι συχνότητες εμφάνισης να αθροίζονται στο 100%) και αθροίζοντας τα αντίστοιχα ποσά παραγόμενης ενέργειας, προκύπτει η προσδοκώμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας. Έτσι, μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής ισχύος της ανεμογεννήτριας για τον ετήσιο κύκλο, που προκύπτει ως το πηλίκο της αναμενόμενης



Χάρτης 5.4 Νοτιοδυτικό τμήμα αιολικού πάρκου

ετήσια παραγωγή ενέργειας προς την μέγιστη δυνατή ετήσια παραγωγή (εγκατεστημένη ισχύς επί ώρες του έτους).

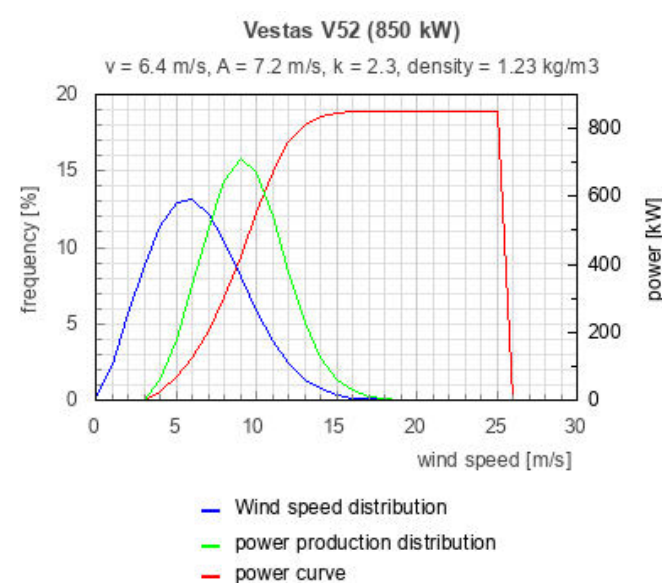
Πίνακας 5.5 Παραγωγή ενέργειας και ΣΔ (για ύψος στύλου $H = 44\text{ m}$)	
Μοναδιαία ετήσια παραγωγή (GWh)	2,44
Συνολική παραγωγή ενέργειας (GWh)	207,8
Συντελεστής δυναμικότητας (Capacity factor)	0,33

Ο συντελεστής δυναμικότητας ($CF = 33\%$) ανήκει σε αποδεκτό εύρος τιμών για αιολικά πάρκα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε αντίστοιχα πάρκα των ΗΠΑ κυμαίνεται συνήθως από 32,3% έως 34,7%.

Για περιοχές με ικανοποιητική μέση ταχύτητα ανέμου, όπως οι Κυκλάδες, η Εύβοια, η Πελοπόννησος και η Αν. Αττική, η ετήσια παραγόμενη ενέργεια ανέρχεται στις 2000 – 2500 kWh ανά εγκατεστημένο kW, τιμή σχεδόν διπλάσια από αυτήν της παραγωγής των Φ/Β. Επειδή, όμως, ο άνεμος δεν είναι το ίδιο προβλέψιμος με τον ήλιο, υπάρχει και η περίπτωση σημαντικά μικρότερης ή και μεγαλύτερης παραγωγής. Στην προκειμένη περίπτωση, το έργο αποδίδει 2870 kWh ανά εγκατεστημένο kW.

Τέλος, υπολογίζεται η παραγόμενη ενέργεια από το πρόγραμμα των *Danish Wind Industry Association* και *Swiss Federal Office of Energy*, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της κατανομής Weibull που υπολογίστηκαν παραπάνω.

Πίνακας 5.6 Παραγόμενη ενέργεια και ΣΔ (μέσω προγραμμάτων)	
Παράμετρος	Τιμή
Συντελεστής σχήματος Weibull, k	2,33
Συντελεστής κλίμακας Weibull, A (m/s)	7,21
Μέση τιμή (m/s)	6,4
Παραγόμενη ενέργεια (MWh)	1,91
Συντελεστής δυναμικότητας	25,7 %



Διάγραμμα 5.11 Ανεμογεννήτρια Vestas V52

Η διαφορά στην παραγόμενη ενέργεια και στον συντελεστή δυναμικότητας σε σχέση με την παραπάνω εκτίμηση οφείλεται στο γεγονός ότι στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιήθηκαν μοντελοποιημένες τιμές από δορυφορικές μετρήσεις, στις οποίες προσαρμόζεται η κατανομή Weibull. Συνεπώς, σε κάθε βήμα μετασχηματισμού των δεδομένων υπάρχει υπολογιστικό σφάλμα, το οποίο προκαλεί την διαφοροποίηση αυτή.

5.7 Συνοδά Έργα (Προκαταρκτική μελέτη πρόσβασης και μεταφοράς)

5.7.1 Έργα πρόσβασης (Οδοποιίας)

Για την εγκατάσταση του Α/Π και την μεταφορά των τμημάτων στον χώρο εγκατάστασης, προτείνεται η αξιοποίηση του υφιστάμενου οδικού δικτύου, αλλά και η διάνοιξη νέου, όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο. Πιο συγκεκριμένα, προκειμένου να αξιοποιηθεί το υφιστάμενο οδικό δίκτυο θα πρέπει να γίνει διαπλάτυνση του οδικού άξονα και βελτίωση του υποβάθρου.

Ειδικότερα, οι δρόμοι θα κατασκευαστούν ως ισότιμοι με Γ Κατηγορίας δασικούς δρόμους, με τις αντίστοιχες προβλεπόμενες προδιαγραφές για την κατηγορία αυτή του Υπουργείου Γεωργίας, ώστε ταυτόχρονα να καλύπτουν τις προδιαγεγραμμένες απαιτήσεις του κατασκευαστή. Η επιλογή της συγκεκριμένης λύσης έγινε με κριτήρια τεχνικοοικονομικά, περιβαλλοντικά και επάρκειας ως προς τη λειτουργικότητα. Το έδαφος χαρακτηρίζεται γαιώδες-ημιβραχώδες, ενώ δεν αναμένονται δυσμενείς επιδράσεις στο περιβάλλον κατά τις φάσεις κατασκευής και λειτουργίας (μηδαμινός κυκλοφοριακός φόρτος). Το σύνθηες ύψος εκσκαφών είναι 0,50 m μη αποφευγομένων τοπικά των μικρών εξάρσεων και το σύνθηες ύψος των πρανών επίχωσης είναι επίσης 0,50 m. Το μήκος των δρόμων που θα διανοιχτούν συνολικά είναι 34.437 m και το μήκος των δρόμων που θα διαπλατυθούν - βελτιωθούν είναι 31.100 m. Τέλος, θα γίνει διάνοιξη χάνδακος απορροής ομβρίων σε όσο μήκος απαιτείται κατά την κατασκευή, και χαλικόστρωση - εξομάλυνση του οδοστρώματος σε πάχος 0,20 m σε όλο το μήκος των δρόμων. Να σημειωθεί ότι σύμφωνα με ενδεικτικούς υπολογισμούς οι εκσκαφές (με επίπλησμα) ανέρχονται στα 23.460 m³ και οι επιχώσεις στα 28.900 m³, όπως θα φαίνεται από την μελέτη οδοποιίας που θα υποβληθεί σε μεταγενέστερο χρόνο σύμφωνα με την νομοθεσία. Οι εκσκαφές έχουν υπολογιστεί με συντελεστή επιπλήσματος, οπότε στην πραγματικότητα η περίσσεια που θα προκύψει θα είναι μηδενική. Τυχόν περίσσεια υλικών θα διατεθεί στην διαμόρφωση των πλατειών. Δεν κρίνεται απαραίτητη η χρήση προσωρινών πρόσθετων αποθεσιοθαλάμων, και άρα δεν απαιτούνται πρόσθετοι χώροι επέμβασης, πλην αυτών που αναφέρονται παρακάτω. Οι κλάδοι υπό κατασκευή και υπό αναβάθμιση φαίνονται στο διάγραμμα παρακάτω. Η σχετική τοποθεσία αναφέρεται στην τοποθεσία του εκάστοτε τμήματος του Α/Π ως προς το χωριό του Αγίου Γεωργίου στο Οροπέδιο Λασιθίου, και ακολουθείται η ίδια περιγραφή με αυτή της τεκμηρίωσης τοποθέτησης.

Πίνακας 5.7 Μήκος και σχετική τοποθεσία οδικών αξόνων υπό αναβάθμιση (προκαταρκτικοί υπολογισμοί)		
Α/Α	Σχετική τοποθεσία	Μήκος (m)
1	ΚΕΝΤΡΙΚΑ/ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	5358
2	ΚΕΝΤΡΙΚΑ/ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	1038
3	ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	4160
4	ΔΥΤΙΚΑ	1328
5	ΔΥΤΙΚΑ	2552
6	ΔΥΤΙΚΑ	4788
7	ΒΟΡΕΙΑ	3595
8	ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΑ	2747
9	ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	7854
10	ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	1017
ΣΥΝΟΛΟ		34437

Πίνακας 5.8 Μήκος και σχετική τοποθεσία νέων οδικών αξόνων (προκαταρκτικοί υπολογισμοί)		
Α/Α	Σχετική τοποθεσία	Μήκος (m)
1	ΔΥΤΙΚΑ	7900
2	ΔΥΤΙΚΑ	1100
3	ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΑ	9100
4	ΒΟΡΕΙΑ	3100
5	ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	2100
6	ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	3100
7	ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	4700
8	ΚΕΝΤΡΙΚΑ/ΑΝΑΤΟΛΙΚΑ	9000
ΣΥΝΟΛΟ		31100

5.7.2 Διασυνδεδετικό δίκτυο μέσης τάσης (Μ.Τ.) και υποσταθμός (Υ/Σ)

Το Α/Π αποτελείται από ογδόντα πέντε (85) ανεμογεννήτριες VESTAS V52 ισχύος 850 KW και τάσεως 690 V. Η κάθε Α/Γ συνδέεται στο δίκτυο Μ.Τ. του Α/Π πάρκου μέσω μετασχηματιστή (Μ/Σ) 1000 kVA, με λόγο 690V/20 kV, ο οποίος βρίσκεται στο εσωτερικό των Α/Γ. Το κάθε δίκτυο Μ.Τ. του εκάστοτε τμήματος του Α/Π αποτελείται από μία (1) υπόγεια γραμμή για όσα τμήματα έχουν μέχρι και δέκα (10) Α/Γ, ενώ για πλήθος μεγαλύτερο των 10 χρησιμοποιείται μία υπόγεια γραμμή ανά δέκα (10) Α/Γ, οι οποίες συνδέονται σειριακά, δημιουργώντας ένα (1) τμήμα ανά 10 Α/Γ. Οι Α/Γ διαθέτουν ασύγχρονη ηλεκτρική γεννήτρια ονομαστικής τάσης εξόδου 690 V. Διαθέτουν αντικεραυνικό σύστημα προστασίας ενσωματωμένο στα άκρα των περυγίων για την προστασία όλης της Α/Γ, αλλά και των υποσυστημάτων που διαθέτει και συνδέεται με ξεχωριστό σύστημα γείωσης, της θεμελιακής γείωσης για την προστασία των μεταλλικών μερών της. Τα ανεξάρτητα υπόγεια δίκτυα Μ.Τ. του τμημάτων του Α/Π καταλήγουν στο Κτίριο Ελέγχου του Α/Π. Εκεί μέσω των κατάλληλων πινάκων Μ.Τ., συνδέονται με ανεξάρτητες γραμμές διασύνδεσης Μ.Τ. και οι οποίες καταλήγουν στον πλησιέστερο Υ/Σ. Οι γραμμές αυτές αποτελούν το διασυνδεδετικό δίκτυο του Α/Π με τον πλησιέστερο Υ/Σ. Τα τμήματα αυτά, στο μεγαλύτερο τμήμα τους θα κατασκευαστούν πλησίον δρόμων, ενώ τόσο το υπόγειο τμήμα καλωδίων, όσο και το εναέριο τμήμα αγωγών με ξύλινους στύλους, έχουν κατασκευαστεί σύμφωνα με τις τυποποιημένες κατασκευές κατανομής της ΔΕΗ. Ο Υ/Σ είναι ο χώρος, όπου τελικά καταλήγει η παραγόμενη ισχύς του Α/Π. Από εκεί η Μ.Τ. μετατρέπεται σε Υψηλή Τάση (Υ.Τ.) και στην συνέχεια μέσω των πυλώνων Υ.Τ. γίνεται η μεταφορά της ισχύος. Παράλληλα, σχεδιάζεται και ένας σταθμός διαχείρισης ισχύος της μονάδας αντλησιοταμίευσης, με τον οποίο θα υπάρξει διασύνδεση, έτσι ώστε να μεταβιβάζεται και να αξιοποιείται η παραγόμενη ισχύς από τον υδροηλεκτρικό σταθμό (ΥΗΣ) του συστήματος της αντλησιοταμίευσης.

5.8. Ενδεικτικός προϋπολογισμός αιολικού πάρκου

Το αρχικό κόστος ίδρυσης μιας αιολικής μονάδας συνίσταται από το κόστος αγοράς των ανεμογεννητριών, καθώς και από το κόστος εγκατάστασης. Στο κόστος εγκατάστασης συμπεριλαμβάνεται το κόστος μεταφοράς και εκτελωνισμού, το κόστος θεμελίωσης και ανέγερσης των μηχανών, το κόστος διασύνδεσης με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο ή τις καταναλώσεις, τα κόστη μελέτης, επίβλεψης, διαμόρφωσης περιβάλλοντος χώρου, το κόστος των απαραίτητων αδειών και εγκρίσεων, τα πιθανά χρηματοοικονομικά έξοδα, καθώς και το κόστος αγοράς ή ενοικίασης του οικοπέδου του υπό κατασκευή αιολικού σταθμού. Για τον καθορισμό του κόστους αγοράς και εγκατάστασης μιας οποιασδήποτε ανανεώσιμης ενεργειακής μονάδας θα πρέπει να γίνει συστηματική έρευνα αγοράς, να συζητηθούν οι όροι εγγύησης και υποστήριξης από τον πωλητή και να ληφθεί υπόψη η συναλλαγματική ισοτιμία σε περιπτώσεις εισαγωγής του εξοπλισμού από χώρες με διαφορετικό νόμισμα. Τα έξοδα που περιλαμβάνονται στο αρχικό κόστος του αιολικού πάρκου και αφορούν την κατασκευή και την εγκατάσταση του είναι τα παρακάτω:

- 1. Μετεωρολογικός ιστός:** Περιλαμβάνει το κόστος αγοράς και εγκατάστασης του ιστού στην θέση του πάρκου.
- 2. Αγορά Α/Π:** Το κόστος των μηχανών, συμπεριλαμβανόμενου και του κόστους των πύργων ή του κόστους κατασκευής τους, εφόσον δεν αγοραστούν από την εταιρεία παραγωγής των ανεμογεννητριών.
- 3. Μεταφορά και ασφάλιστρα:** Μεταφορά των ανεμογεννητριών από την εταιρεία παραγωγής στη θέση εγκατάστασης του αιολικού πάρκου.
- 4. Συναρμολόγηση και εγκατάσταση:** Όλα τα έξοδα που απαιτούνται για την ανέγερση του αιολικού πάρκου.
- 5. Μετρητικές διατάξεις:** Καλωδιώσεις και λογισμικά για την παρακολούθηση της λειτουργίας του πάρκου.
- 6. Ειδικός ηλεκτρονικός εξοπλισμός:** Επιπλέον εξοπλισμός για κάθε ανεμογεννήτρια (Μετασχηματιστές, γείωσεις, αντικεραυνική προστασία, σύστημα διόρθωσης κ.τ.λ.)

- 7. Έργα Πολιτικού Μηχανικού:** Εκσκαφές, επιχώσεις, διαμόρφωση πλατειών για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών, διάνοιξη δρόμων, κτίριο ελέγχου.
- 8. Γενικός ηλεκτρολογικός εξοπλισμός:** Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός που απαιτείται για όλο το αιολικό πάρκο.
- 9. Σύνδεση με το δίκτυο:** Γραμμή μεταφοράς ενέργειας και κόστος υποσταθμού.
- 10. Μελέτες και άδειες:** Όλες οι μελέτες, οι άδειες και τα παράβολα που απαιτούνται μέχρι και την άδεια λειτουργίας του πάρκου.
- 11. Εκπαίδευση προσωπικού:** Το κόστος εκπαίδευσης του προσωπικού που θα αναλάβει τη συντήρηση και την επίβλεψη του αιολικού πάρκου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν και πιθανές παραπάνω δαπάνες που θα προκύψουν κατά την πορεία εκτέλεσης του έργου.

Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω δίνεται ο ακόλουθος Πίνακας 5.9, ο οποίος αναλύει το ποσοστιαίο κόστος στοιχείων κατασκευής ενός αιολικού πάρκου ισχύος ορισμένων MW, λαμβάνοντας υπ' όψιν ένα ανηγμένο κόστος κατασκευής αιολικού πάρκου 900 €/kWe.

Πίνακας 5.9 Ποσοστιαία κόστη	
Στοιχεία κατασκευής κόστους	% Συνολικού κόστους
Ανεμογεννήτρια	65
Έργα πολιτικού μηχανικού (συμπεριλαμβανομένης της θεμελίωσης)	13
Υποδομή ηλεκτρικών έργων	8
Σύνδεση στο δίκτυο	6
Κόστος διαχείρισης	8

Έτσι εκτιμώντας ένα συνολικό κόστος περί τα 62 εκατ. €, ο παραπάνω πίνακας διαμορφώνεται ως εξής:

Πίνακας 5.10 Υπολογισμός κόστους εργασιών	
Στοιχεία κατασκευής κόστους	Συνολικό κόστος σε εκατ. €
Ανεμογεννήτρια	42,27
Έργα πολιτικού μηχανικού (συμπεριλαμβανομένης της θεμελίωσης)	8,45
Υποδομή ηλεκτρικών έργων	5,20
Σύνδεση στο δίκτυο	3,90
Κόστος διαχείρισης	5,20

Από τα κόστη που αναφέρονται παραπάνω, εξετάζεται σε μεγαλύτερη ανάλυση το κόστος κατασκευής και διάνοιξης δρόμων, καθώς το παρόν έργο απαιτεί την κατασκευή σημαντικά μεγαλύτερου μήκους οδικών αξόνων σε σχέση με συνηθισμένα έργα κατασκευής Α/Π. Το κόστος κατασκευής των δρόμων Α Κατηγορίας είναι το μεγαλύτερο και ανέρχεται στα 135,64 €/m, της Β Κατηγορίας ανέρχεται σε 80,62 €/m και της Γ Κατηγορίας ανέρχεται μόλις σε 10,89 €/m. Παρόλο που οι δρόμοι της τελευταίας κατηγορίας έχουν το συνήθως το μεγαλύτερο μήκος, το κόστος της κατασκευής τους είναι το μικρότερο. Αυτό συμβαίνει γιατί τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δρόμων της κατηγορίας αυτής διαθέτουν τις χαμηλότερες προδιαγραφές. Στην περίπτωση της μελέτης αυτής υπολογίζεται ότι ένα ενδεικτικό κόστος κατασκευής δρόμων ανέρχεται σε 372.027 €, ενώ το κόστος αναβάθμισης σε 169.339 €. Επομένως, το συνολικό κόστος ανέρχεται στα 514.336 €.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Κατασκευή αγροφωτοβολταϊκού πάρκου

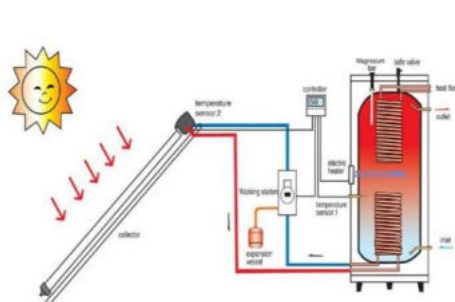
Η ζήτηση για ενέργεια παγκοσμίως αυξάνεται συνεχώς λόγω της αύξησης του πληθυσμού, της ενεργειακής αναβάθμισης του βιομηχανικού τομέα και τη γενικότερης βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων. Παράλληλα, η απειλή της κλιματικής αλλαγής έχει επίδραση στην περιβαλλοντική στρατηγική της ενέργειας. Η μετάβαση από τη χρήση συμβατικών καυσίμων στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθίσταται απαραίτητη για την αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής κρίσης του 21^{ου} αιώνα. Η ηλιακή ενέργεια παρουσιάζει όλες εκείνες τις προοπτικές αντιστάθμισης των μη ανανεώσιμων ζητήσεων ενέργειας παγκοσμίως. Είναι αυτή τη στιγμή η ταχύτερα ανερχόμενη και εξελισσόμενη πηγή παραγωγής ενέργειας.

6.1 Ηλιακή ενέργεια και εφαρμογές

Ο ήλιος ως ένα τυπικό αστέρι του γαλαξία μας, είναι μια πυρακτωμένη αεριώδης μάζα $2 \cdot 10^{30}$ kg, που αποτελείται κυρίως από υδρογόνο και ήλιο. Έχει ακτίνα 700.000 km, θερμοκρασία στην επιφάνειά του περίπου 6.000 K και στον πυρήνα του ίση με $13,6 \cdot 10^6$ K. Η ηλιακή ενέργεια προέρχεται από θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στον πυρήνα του, και συγκεκριμένα τη σύντηξη πυρήνων υδρογόνου και τη μετατροπή τους σε πυρήνες ηλίου. Μεταφέρεται, δε, στην επιφάνεια με ακτινοβολία ή με κατακόρυφη μεταφορά του υδρογόνου.

Με τον όρο ηλιακή ενέργεια αναφερόμαστε σε όλες τις μορφές ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο. Πρόκειται για μία ανεξάντλητη μορφή ενέργειας, την οποία μπορεί κανείς να εκμεταλλευτεί ανά πάσα στιγμή και σε όλα τα σημεία της γης που κατοικεί ο άνθρωπος, με περιορισμένες εξαιρέσεις. Το γεγονός αυτό καθιστά την εκμετάλλευση και διαχείριση της ένα από τα κρίσιμα ζητήματα που θα πρέπει να αντιμετωπίσει η ανθρώπινη κοινότητα για την επίλυση του ενεργειακού προβλήματος του πληθυσμού. Η αξιοποίησή της διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες: τα ενεργητικά και παθητικά ηλιακά συστήματα και τα φωτοβολταϊκά πάνελ.

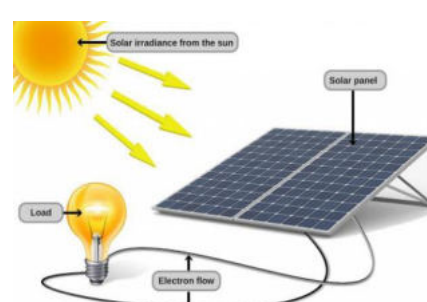
Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα λειτουργούν απορροφώντας την ηλιακή ενέργεια και μεταδίδοντάς την με τη μορφή θερμότητας σε κάποιο ρευστό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού αποτελεί ο ηλιακός θερμοσίφοντας. Τα παθητικά συστήματα ενσωματώνονται ως δομικά στοιχεία στα κτίρια με στόχο την καλύτερη, άμεση ή έμμεση, εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση, το δροσισμό ή το φωτισμό τους. Λειτουργούν χωρίς μηχανολογικά εξαρτήματα και δεν παράγουν πρόσθετη ενέργεια. Ένα κτίριο με παθητικά ηλιακά συστήματα καλείται «βιοκλιματικό» και δύναται να καλύψει μεγάλο μέρος των ενεργειακών του αναγκών. Τέλος, τα φωτοβολταϊκά πάνελ στηρίζονται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, δηλαδή την άμεση μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα αυτής της εφαρμογής είναι η δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές (μπαταρίες), με αποτέλεσμα να παράγεται άμεσα διαθέσιμη, ανανεώσιμη, οικονομική και κυρίως "καθαρή" ενέργεια.



Εικόνα 6.1 Ενεργητικό ηλιακό σύστημα



Εικόνα 6.2 Παθητικό ηλιακό σύστημα



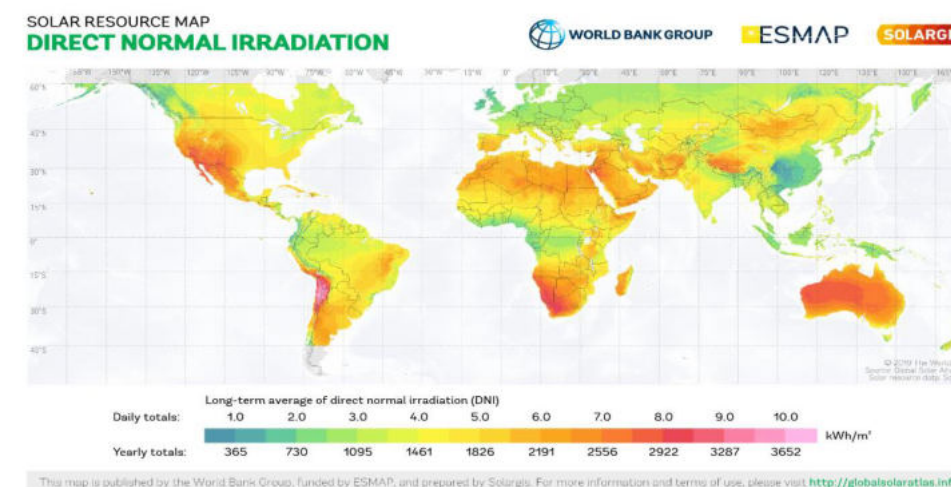
Εικόνα 6.3 Φωτοβολταϊκό σύστημα

6.2 Ηλιακή ακτινοβολία

Μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας η ηλιακή ενέργεια καταφθάνει στη γη μειωμένη, καθώς εξασθενεί διαπερνώντας το σώμα της ατμόσφαιρας. Τα φωτόνια σκεδάζονται στα μόρια της ατμόσφαιρας, στα πολύ μικρής διαμέτρου δ σωματίδια, αλλά και στα μεγαλύτερης διαμέτρου αιωρήματά της, όπως οι υδρατμοί, η σκόνη και ο καπνός. Ένα μέρος απορροφάται από τα συστατικά της ατμόσφαιρας, όπως η υπεριώδης ακτινοβολία από το όζον, ενώ ένα ποσοστό της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας φτάνει στη γη. Για το λόγο αυτό η ολική ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος διακρίνεται σε:

- **Άμεση ακτινοβολία (direct radiation):** Η ακτινοβολία που λαμβάνεται χωρίς να υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα.
- **Διάχυτη ακτινοβολία (diffuse radiation):** Η προερχόμενη από ανακλάσεις σε μόρια του αέρα ακτινοβολία η οποία φτάνει στο έδαφος.

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στη γη, κατανέμεται ανομοιόμορφα στις διάφορες περιοχές. Καθοριστικός παράγοντας είναι το γεωγραφικό πλάτος. Οι περιοχές κοντά στον Ισημερινό λαμβάνουν περισσότερη ακτινοβολία από τις υπόλοιπες, αφού η ίδια ηλιακή ενέργεια προσπίπτει σε μεγαλύτερη επιφάνεια. Η ηλιακή ακτινοβολία διαφέρει σημαντικά ανάλογα και με τις εποχές και εξαρτάται από την ώρα της ημέρας, το κλίμα (τα σύννεφα σκεδάζουν σε σημαντικό βαθμό τις ακτίνες του ήλιου) και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες επηρεάζουν αποφασιστικά το ποσό της ηλιακής ενέργειας που διατίθεται και προσπίπτει στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία (kW/m^2) αθροίζεται στη διάρκεια ενός έτους, προκύπτει η ετήσια ηλιακή ενέργεια (συνήθως σε kWh/m^2). Η τιμή αυτή διαφέρει σημαντικά ανά τον κόσμο, όπως απεικονίζεται και στο χάρτη της Εικόνας 6.4. Η Ελλάδα συγκαταλέγεται μεταξύ των χωρών υψηλής ακτινοβολίας, γεγονός που αποτελεί συγκριτικό πλεονέκτημα -ιδιαιτέρα σε σχέση με τις χώρες του ευρωπαϊκού βορρά- στην εφαρμογή των φωτοβολταϊκών συστημάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 6.4 Μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στο έδαφος (kWh/m^2)

6.3 Φωτοβολταϊκά πάνελ

6.3.1 Εισαγωγή

Τα φωτοβολταϊκά (φ/β) συστήματα διαδραματίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο στο αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις ΑΠΕ. Διαθέτουν πλεονεκτήματα που τα καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστικά στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και ειδικότερα στα πλαίσια της “πράσινης” ανάπτυξης που προωθείται παγκοσμίως. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά τους είναι τα εξής:

- Ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή
- Μηδενική ρύπανση και πλήρης απουσία αποβλήτων ή άλλων άχρηστων παραπροϊόντων
- Αθόρυβη λειτουργία
- Υψηλή αξιοπιστία των φωτοβολταϊκών συστημάτων
- Αντοχή σε ακραίες καιρικές συνθήκες (ισχυρούς άνεμους, χαλαζόπτωση κ.λπ.)
- Μεγάλη διάρκεια ζωής των ηλιακών στοιχείων (τουλάχιστον 25 χρόνια)
- Σχετικά απλή μέθοδος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων από πρώτες ύλες
- Δυνατότητα ανεξαρτησίας από τα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής για απομακρυσμένες περιοχές
- Μεγάλο εύρος εφαρμογών όσον αφορά την ισχύ, από μερικά Watt μέχρι μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (μερικών MW)

Αξιοσημείωτα είναι και τα κυριότερα μειονεκτήματα των φ/β συστημάτων, τα οποία όμως στο σύνολο τους δεν είναι ικανά να αποτελέσουν τροχοπέδη για την περαιτέρω ανάπτυξη τους:

- Υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης οφειλόμενο σχεδόν αποκλειστικά στο υψηλό κόστος κατασκευής τους και πολύ λιγότερο σε αυτό της υπόλοιπης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης (η/μ εξοπλισμός)
- Λόγω της μικρής πυκνότητας της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, απαιτείται η εγκατάσταση μεγάλων σχετικά επιφανειών.
- Εξάρτηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τις καιρικές συνθήκες, έναν απρόβλεπτο παράγοντα που επιτρέπει εκτιμήσεις μόνο σε μικρό χρονικό ορίζοντα (συνήθως σε επίπεδο έτους).

6.3.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο (photovoltaic effect) είναι η διαδικασία κατά την οποία παράγεται ηλεκτρική ενέργεια, όταν ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο έρθει σε επαφή με το ηλιακό φως. Ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Edmond Becquerel, όταν εκτελώντας πειράματα σε ένα συσσωρευτή υγρού παρατήρησε ότι η τάση του αυξανόταν όσο οι πλάκες του εκτίθονταν στο φως του ηλίου.

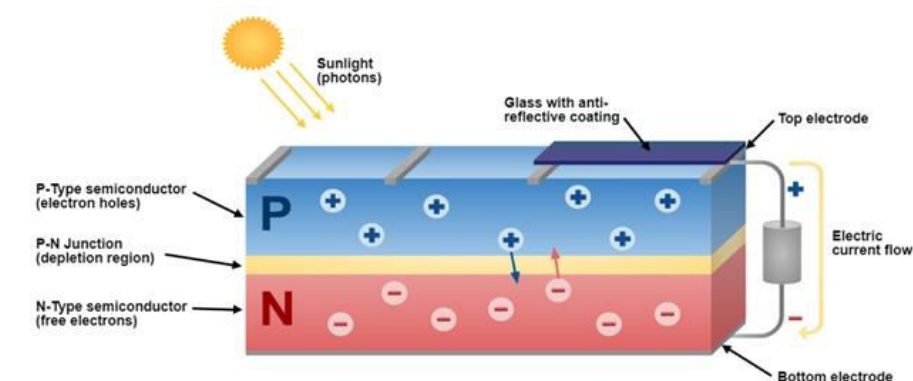
Το φως αποτελείται από φωτόνια, δηλαδή μικρές δέσμες ενέργειας. Όταν προσπίπτει στην επιφάνεια ενός υλικού, ένα μέρος του ανακλάται, ένα άλλο τη διαπερνά, ενώ το υπόλοιπο απορροφάται από το υλικό. Η απορρόφηση έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή του σε άλλη μορφή ενέργειας, η οποία συνήθως είναι θερμότητα.

Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των φωτονίων σε ηλεκτρική. Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία για την εξυπηρέτηση του συγκεκριμένου σκοπού, χρησιμοποιούνται ημιαγωγά υλικά, όπως το πυρίτιο, το αρσενιούχο γάλλιο ή ο δισελινιοϊνδιούχος χαλκός. Το στοιχείο του κρυσταλλικού πυριτίου παραμένει το πιο διαδεδομένο φωτοβολταϊκό στοιχείο, αφού αποτελεί τη βάση για το 90% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής φ/β την τελευταία πεντηκονταετία. Οι δύο τύποι ημιαγωγών που χρησιμοποιούνται είναι (α) οι ημιαγωγοί τύπου-N (N-type), οι οποίοι διαθέτουν πολλά ελεύθερα ηλεκτρόνια και (β) οι ημιαγωγοί τύπου-P (P-type), οι οποίοι έχουν πολλές ελεύθερες «οπές», δηλαδή λιγότερα ηλεκτρόνια και

άρα θετικό φορτίο. Όταν, επομένως, ένα φωτόνιο συγκρούεται με έναν ημιαγωγό τύπου-N, το ηλεκτρόνιο φεύγει από τη θέση του και λόγω του αρνητικού του φορτίου έλκεται από το θετικό φορτίο του ημιαγωγού τύπου-P. Εξαιτίας του μονωτικού υλικού ανάμεσα στα δύο είδη ημιαγωγών, ο μοναδικός τρόπος διέλευσης είναι μέσω του εξωτερικού φορτίου. Κατά αυτό τον τρόπο πραγματοποιείται η παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος.



Εικόνα 6.5 Φωτοβολταϊκό στοιχείο

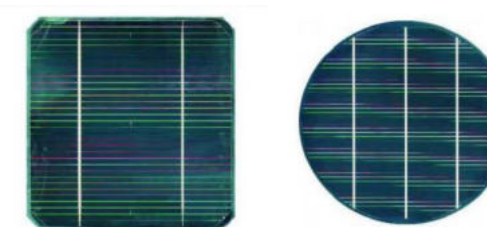


Εικόνα 6.6 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

6.3.3 Τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων

Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

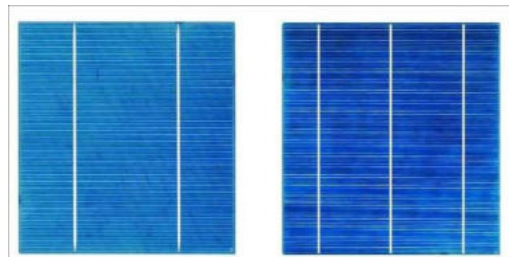
Τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από έναν μεγάλο κρυσταλλικό δίσκο (wafer) πυριτίου με τη διαδικασία που είναι γνωστή ως «Czochralski». Χαρακτηρίζονται τόσο από υψηλή απόδοση, της τάξης του 15-18%, αλλά και από υψηλότερο κόστος. Τα ηλιακά κελιά κατασκευάζονται σε σχήμα κύκλου ή τετραγώνου, με τα κυκλικά ηλιακά κελιά να είναι οικονομικότερα, λόγω των περιορισμένων υπολειμμάτων τους κατά την κατασκευή. Ωστόσο, δε χρησιμοποιούνται συχνά στην κατασκευή φωτοβολταϊκών πάνελ, διότι τα κενά στη μεταξύ τους τοποθέτηση, μειώνοντας την επιφάνεια, μειώνουν την απόδοση του συστήματος. Ενδείκνυται για ενσωμάτωση σε κτίρια, όπου απαιτείται μερική διαπερατότητα στο φως. Το χρώμα τους είναι συνήθως βαθύ μπλε έως μαύρο, όταν διαθέτουν αντί-ανακλαστική (AR) επίστρωση, αλλιώς είναι γκρι (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση).



Εικόνα 6.7 Κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

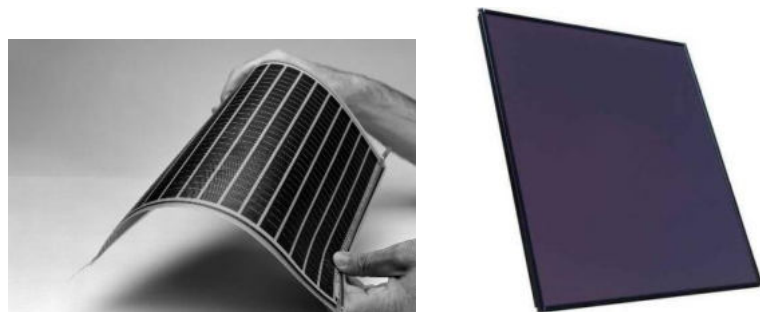
Τα κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι οικονομικότερα από αυτά του μονοκρυσταλλικού πυριτίου, αλλά λιγότερο αποδοτικά. Όπως προκύπτει και από τον όρο, κατασκευάζονται από δίσκους (wafers) πυριτίου που κόβονται από τετραγωνισμένες ράβδους πυριτίου. Η κατασκευή τους απαιτεί μικρότερη ακρίβεια και κόστος σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά κελιά, ενώ η απόδοσή τους κυμαίνεται από 13% έως 16%. Κατασκευάζονται συνήθως σε τετράγωνο σχήμα σε χρώμα μπλε (με αντί-ανακλαστική επίστρωση) ή γκρι ασημί (χωρίς επίστρωση).



Εικόνα 6.8 Κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου

Κελιά άμορφου πυριτίου (amorphous-Si)

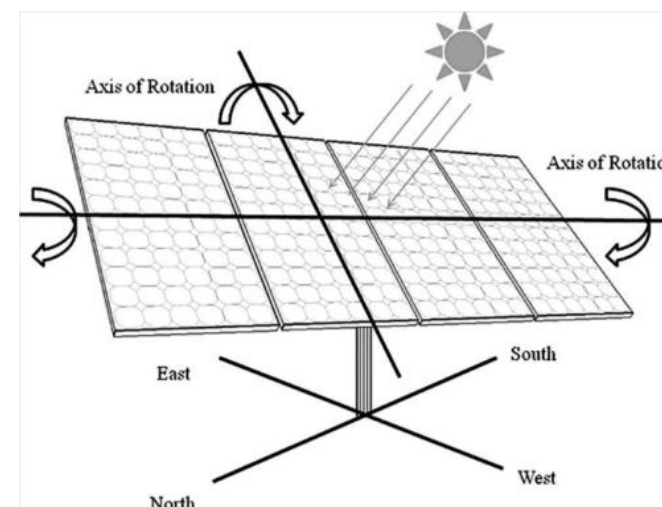
Αποτελούν την πιο συνηθισμένη μορφή κελιών λεπτής μεμβράνης με ευρεία χρήση σε ηλεκτρονικά προϊόντα (π.χ. υπολογιστές τσέπης). Το άμορφο πυρίτιο, η μη-κρυσταλλική μορφή του πυριτίου, μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα αγωγίμο υπόστρωμα σε ένα στρώμα πάχους μερικών μικρομέτρων δημιουργώντας ένα κελί τεχνολογίας λεπτού υμενίου με πάχος λιγότερο από 1% του πάχους ενός κρυσταλλικού κελιού. Δίνουν, δε, τη δυνατότητα κατασκευής εύκαμπτων φωτοβολταϊκών πάνελ. Στην Ελλάδα τα πάνελ με κελιά άμορφου πυριτίου έχουν αποδόσεις της τάξης του 6-8 %, σημαντικά μικρότερη από τους παραπάνω τύπους πλαισίων. Αυτό οφείλεται στη μεγαλύτερη ευαισθησία που παρουσιάζουν σε αυξημένες θερμοκρασίες, γεγονός που τα καθιστά ακατάλληλα για εγκατάσταση στον Ελλαδικό χώρο.



Εικόνα 6.9 Κελιά άμορφου πυριτίου (amorphous-Si)

6.3.4 Χωροθέτηση - ενεργειακή απολαβή πάνελ

Πρωτεύον ζήτημα αποτελεί η επίτευξη της μέγιστης δυνατής έντασης ακτινοβολίας σε κάθε πάνελ κατά τη διάρκεια του χρόνου. Τους καλοκαιρινούς μήνες είναι αρκετά μεγαλύτερη από τους χειμερινούς, γεγονός, ωστόσο, που μπορεί να συντελέσει αρνητικά στην παραγωγή ενέργειας. Για τη μέγιστη απολαβή ενέργειας, είναι απαραίτητο να τοποθετούνται με νότιο προσανατολισμό και με κλίση εξαρτώμενη από το γεωγραφικό πλάτος της εκάστοτε περιοχής. Για τα ελληνικά δεδομένα, μία τυπική χαρακτηριστική κλίση είναι αυτή των 30° για πάνελ με σταθερές βάσεις. Ωστόσο, με γνώμονα την αύξηση της ενεργειακής απολαβής, υπάρχει και η δυνατότητα τοποθέτησης αυτών με μεταβλητή κλίση. Είναι δυνατή τόσο η εποχιακή περιστροφή των πάνελ στη διάρκεια του χρόνου, όσο και η καθημερινή περιστροφή τους σύμφωνα με την πορεία του ηλίου, το οποίο πραγματοποιείται με την εγκατάσταση ηλιακού ιχνηλάτη.



Εικόνα 6.10 Διαξονικό σύστημα περιστροφής φ/β πάνελ

6.4 Τεχνική ανάλυση κατασκευής φωτοβολταϊκού σταθμού στο Οροπέδιο Λασιθίου

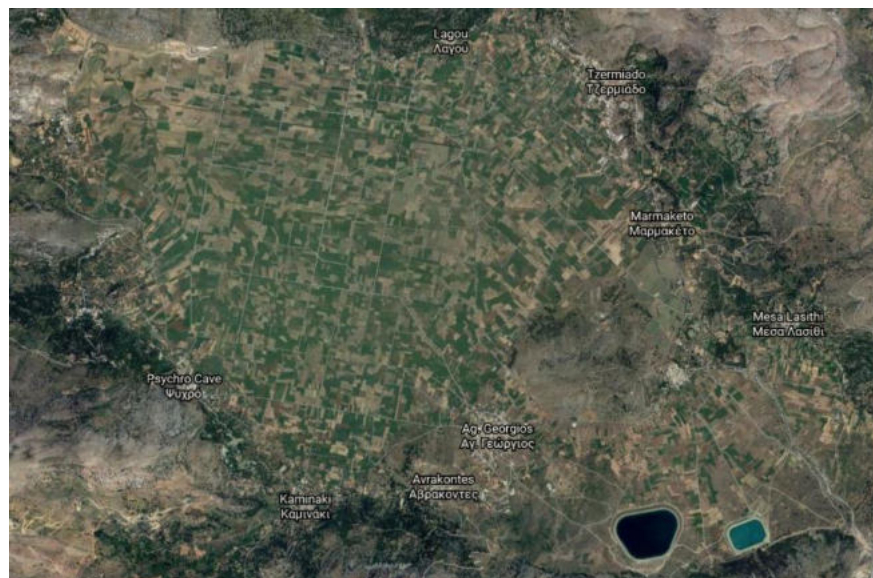
6.4.1 Γενικά στοιχεία φ/β πάρκου

Η παρακάτω τεχνική ανάλυση αφορά την μελέτη υλοποίησης αγροφωτοβολταϊκού πάρκου στο Οροπέδιο Λασιθίου του ομώνυμου νομού στην Κρήτη. Το προκείμενο έργο θα ενταχθεί σε υβριδικό σύστημα που θα συνδυάζει παραγωγή ενέργειας μέσω ανεμογεννητριών και έργου αντλησιοταμίευσης, με σκοπό την μέγιστη αξιοποίηση του δυναμικού της περιοχής σε ανανεώσιμη ενέργεια και κατ' επέκταση την κάλυψη των ενεργειακών ελλειμμάτων και αιχμών ζήτησης του νησιού.

Το πάρκο θα κατασκευαστεί με χρήση πλαισίων μονοκρυσταλλικού πυριτίου (KT70719) εγκατεστημένης ισχύος 170 W (1476 mm x 670 mm x 35 mm), όσο δηλαδή αδειοδοτεί η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας για εγκατάσταση φ/β στο Ν. Λασιθίου. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του πάρκου θα είναι 20 MW. Η έδραση των πάνελ θα γίνεται σε ειδικού τύπου μεταλλικές βάσεις περιστρεφόμενες στον άξονα Βορρά-Νότου με υδραυλικά μέσα. Η αντιστροφή της συνεχούς ισχύος θα γίνεται με την βοήθεια αντιστροφών χωρίς μετασχηματιστή μονοφασικής ισχύος. Τέλος, οι καλλιέργειες με τις οποίες θα συνυπάρξει το φ/β πάρκο καταλαμβάνουν συνολική έκταση 25 km², ενώ ένα μόνο μικρό ποσοστό αυτής της γης θα καλυφθεί με πάνελ. Με συνολικό πλήθος 117.700 πάνελ, η έκταση που θα καταλαμβάνεται από αυτά, συμπεριλαμβανομένων των κενών στη διάταξή τους, είναι περίπου 300 στρέμματα (0,30 km²), δηλαδή περιορισμένη σε σχέση με την έκταση του κάμπου του Οροπεδίου Λασιθίου.

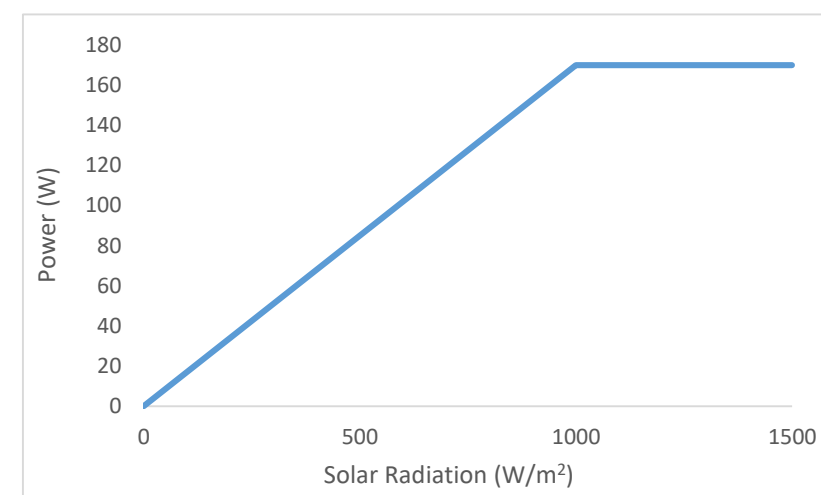
6.4.2 Χωροθέτηση

Το Οροπέδιο Λασιθίου, όπου θα εγκατασταθούν τα φ/β πάνελ περιστοιχίζεται από τους οικισμούς Τζερμιάδο, Άγιος Γεώργιος, Μέσα Λασιθί κ.α. Έχει γεωγραφικό πλάτος 35° 11', γεωγραφικό μήκος 25° 26', βρίσκεται στο υψόμετρο των 817 m και έχει μηδενική κλίση. Στον περίγυρό του υπάρχουν εμπόδια, όπως βουνά και λόφοι, που απέχουν απόσταση ικανή, ώστε να μην τίθεται θέμα σκίασης στο χώρο της εγκατάστασης. Τα δέντρα και η βλάστηση του οροπεδίου είναι περιορισμένα, διότι κατά κύριο λόγο συναντώνται καλλιέργειες κηπευτικών. Επομένως, τα πάνελ δεν παρεμποδίζονται από εμπόδια, τα οποία θα προκαλούσαν τη σκιάσή τους και άρα τη μείωση της απόδοσής τους.



Εικόνα 6.11 Χώρος εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού στο Οροπέδιο Λασιθίου (λήψη από Google Earth)

Τα φ/β πλαίσια που εγκαθίστανται έχουν ονομαστική ισχύ 170 W. Με διαστάσεις 1,476 m x 0,67 m δίνουν επιφάνεια περίπου 0,99 m² έκαστο. Επομένως, αν η μέγιστη ισχύς επιτυγχάνεται στα 1.000 W/m², τότε σε κάθε πλαίσιο προσπίπτουν 988,9 W και παράγονται 170 W, δίνοντας συντελεστή απόδοσης της τάξης του 17%. Ένας τέτοιος συντελεστής θεωρείται υψηλός και είναι αρκετά ικανοποιητικός για τη λειτουργία του φ/β σταθμού. Η καμπύλη ισχύος των προκειμένων φ/β δίνεται στο Διάγραμμα 6.2.

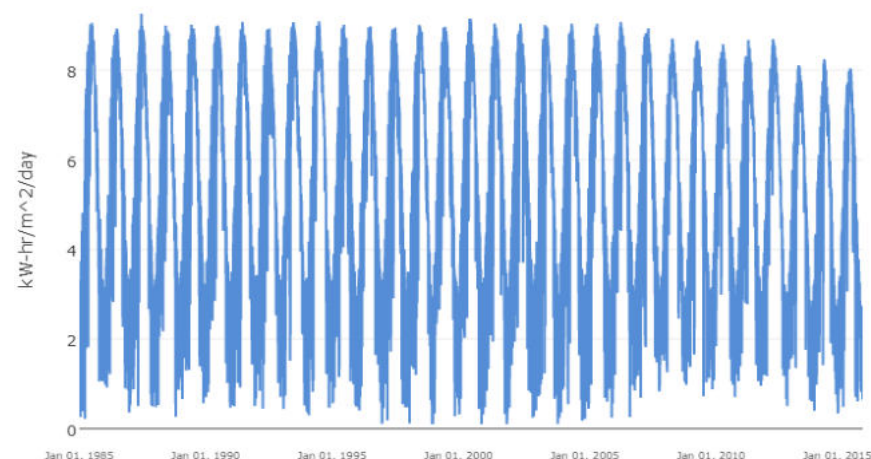


Διάγραμμα 6.2 Καμπύλη ισχύος φ/β πλαισίου 170W

6.4.3 Ενεργειακή μελέτη

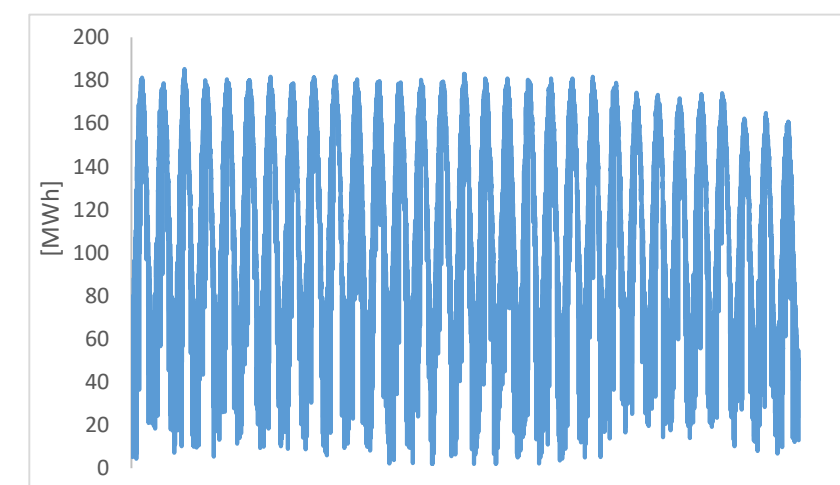
Για την αποτίμηση των ενεργειακών απολαβών από την εγκατάσταση του εν λόγω φωτοβολταϊκού πάρκου ακολουθήθηκε διαδικασία «από την πηγή προς την κατανάλωση». Πηγή ενέργειας είναι η ηλιακή ακτινοβολία και τελικός καταναλωτής το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (Δίκτυο).

Τα ετήσια δεδομένα του ηλιακού δυναμικού λήφθηκαν από την βάση δεδομένων της NASA. Η μελέτη για τις ενεργειακές απολαβές από την εγκατάσταση φ/β σταθμού σε συνδυασμό με το υπόλοιπο υβριδικό σύστημα έγινε σε επίπεδο ημέρας και για τα έτη 1985 έως 2015. Για την περίοδο των 30 αυτών ετών αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας σε μονάδες kWh/m² (Διάγραμμα 6.1), που προσπίπτουν σε οριζόντια επιφάνεια για όλες τις μετεωρολογικές συνθήκες (αίθρια ημέρα, νέφωση).

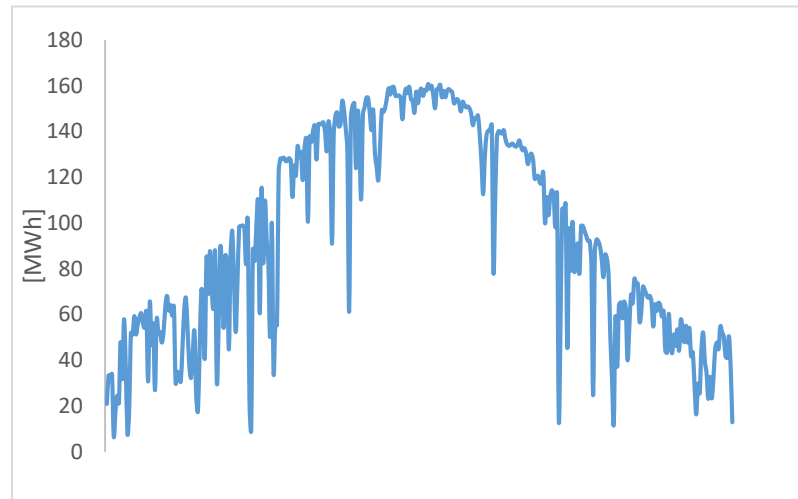


Διάγραμμα 6.1 Δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας ετών 1985-2015 στο Οροπέδιο Λασιθίου (Πηγή: Nasa DATA)

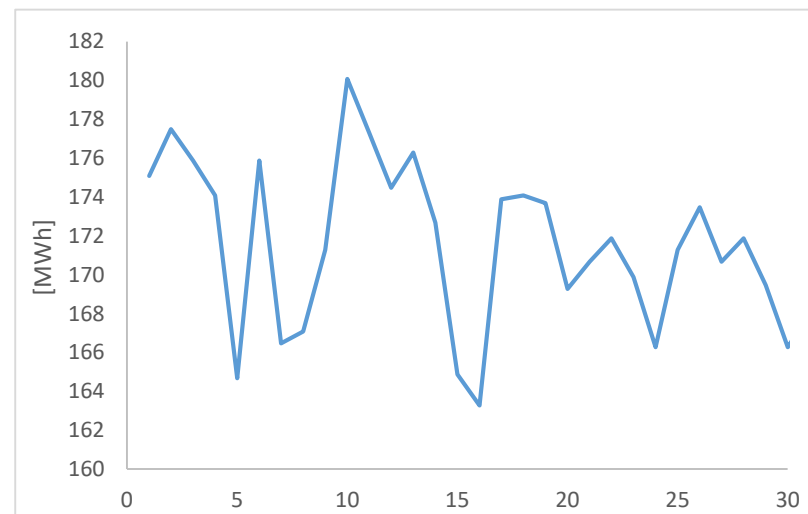
Με τα παραπάνω δεδομένα προκύπτει μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας ίση με 38,5 GWh. Διαγραμματική αναπαράσταση της παραγωγής ενέργειας στα έτη 1985-2015 παρέχεται στο Διάγραμμα 6.3, της ετήσιας παραγωγής ενέργειας ενδεικτικά για το έτος 2015 στο Διάγραμμα 4.4 και της μηνιαίας παραγωγής ενέργειας ενδεικτικά για τον Αύγουστο του 1985 στο Διάγραμμα 4.5. Η μέγιστη, μέση και ελάχιστη ωριαία παραγωγή ενέργειας που παρατηρείται στο σύνολο των 30 ετών είναι 7,7 MWh, 4,4 MWh και 0,08 MWh, αντίστοιχα. Τέλος, ο συντελεστής δυναμικότητας προκύπτει ίσος με 22%, ο οποίος είναι επίσης αρκετά ικανοποιητικός για τη λειτουργία του συστήματος, και ταυτόχρονα επιβεβαιώνει το γεγονός ότι η Κρήτη ενδείκνυται για την εγκατάσταση φ/β σταθμών λόγω του ηλιακού δυναμικού της.



Διάγραμμα 6.3 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ετών 1985-2015



Διάγραμμα 6.4 Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έτους 2015



Διάγραμμα 6.5 Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας Αυγούστου 1985

6.4.4 Επιλογή βέλτιστης κλίσης

Για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης των πάνελ είναι σκόπιμος ο προσδιορισμός των βέλτιστων κλίσεων τοποθέτησής τους. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η έδραση των πλαισίων θα γίνει σε περιστρεφόμενες βάσεις με μονοαξονικό σύστημα περιστροφής στον άξονα Βορρά - Νότου ανάλογα με το μήνα το χρόνου. Οι απώλειες στην παραγωγή ενέργειας συγκριτικά με το διαξονικό σύστημα περιστροφής, δηλαδή τη δυνατότητα περιστροφής στον άξονα Δύσης – Ανατολής σε επίπεδο ημέρας, είναι περιορισμένες (της τάξης του 8,3% κατά τους θερινούς μήνες και κατά τα ακραία καιρικά φαινόμενα, και της τάξης του 5% κατά μέσο όρο ετησίως).

Επομένως, σύμφωνα και με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής ($\phi = 35^\circ$), προέκυψαν οι γωνίες κλίσης με την οριζόντιο με τις οποίες θα τοποθετηθούν τα πάνελ κάθε μήνα και οι οποίες παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 6.1.

Μήνας	Κλίση πάνελ (°)
ΙΑΝ	56
ΦΕΒ	49
ΜΑΡ	36
ΑΠΡ	22
ΜΑΙΟΣ	10
ΙΟΥΝ	3
ΙΟΥΛ	6
ΑΥΓ	18
ΣΕΠ	33
ΟΚΤ	46
ΝΟΕ	54
ΔΕΚ	57

6.4.5 Εγκατάσταση αγροφωτοβολταϊκού σταθμού

6.4.5.1 Αγροφωτοβολταϊκά (Agrivoltaics)

Το κυρίαρχο σχέδιο της σύγχρονης παραγωγής υποδεικνύει το διαχωρισμό της γης με σκοπό την αξιοποίηση του ενός μέρους για αγροτική παραγωγή και του υπολοίπου για παραγωγή ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά πάρκα εγείρουν τον προβληματισμό για τη διαχείριση των διαθέσιμων προς αξιοποίηση εκτάσεων γης. Τη σήμερα ημέρα, 1 εκτάριο γης (1 ha = 10.000 m²) στο κέντρο της Γαλλίας επιτρέπει την εγκατάσταση φ/β σταθμού ισχύος 1 MW. Η ισχύς ανά εκτάριο είναι υψηλότερη στο Νότο και χαμηλότερη στο Βορρά. Προκειμένου το πρόγραμμα να είναι επικερδές, η ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια είναι τα 10 εκτάρια. Επομένως, η ανάπτυξη του φ/β πάρκου δημιουργεί ένα νέο κλίμα ανταγωνισμού μεταξύ της ανάγκης για τροφή με τη ζήτηση για ενέργεια. Τα πάνελ θα ανταγωνιστούν τις καλλιέργειες για τη βέλτιστη πρόσληψη ηλιακής ακτινοβολίας. Για το λόγο αυτό, προτείνεται η συνύπαρξη των φ/β με τις καλλιέργειες στην ίδια έκταση γης.

Οι Goetzberger και Zastrow είναι οι πρώτοι που θα ανακαλύψουν την παραπάνω ιδέα. Με την ανύψωση των πάνελ στα 2 m πάνω από το έδαφος και την αύξηση των μεταξύ τους αποστάσεων θα επιτύχουν την όσο το δυνατόν ομοιόμορφη κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στα πάνελ και τις καλλιέργειες (Goetzberger and Zastrow, 1982). Τα φ/β πάνελ που εγκαθίστανται σε εκτάσεις καλλιεργήσιμης γης και λειτουργούν σε συνεργασία με αυτές καλούνται Αγροφωτοβολταϊκά (Agrivoltaics) και παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως ανερχόμενη πρακτική.



Εικόνα 6.12 Επισκόπηση αγροφωτοβολταϊκού συστήματος

Το κυριότερο πλεονέκτημα του συνδυασμού των αγροτικών καλλιεργειών με το φ/β σταθμό είναι οι πολλαπλές πηγές εσόδων που προσφέρονται από το ίδιο τεμάχιο γης. Η τεχνική των αγροφωτοβολταϊκών είναι αμοιβαίως επωφελής στη σχέση φυτών-πάνελ σε όρους τόσο θερμοκρασίας εδάφους και υγρασίας, όσο και μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Ενδείκνυται, δε, για περιοχές με υψηλή ηλιοφάνεια και αυξημένη ζήτηση των καλλιεργειών σε νερό. Μέσω της σκίασης που τα πάνελ παρέχουν στις καλλιέργειες περιορίζεται το φαινόμενο της εξάτμισης από τα φύλλα των φυτών και διατηρείται η απαραίτητη για το έδαφος υγρασία και τα θρεπτικά συστατικά. Η συνεισφορά, επομένως, των πάνελ στην εξοικονόμηση της χρήσης του νερού είναι καθοριστική.

Παράλληλα, ερευνητές παρατηρούν ότι η θερμοκρασία των αγροφωτοβολταϊκών πάνελ κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να είναι έως και 9 °C λιγότερη από αυτή των συμβατικών φ/β. Το γεγονός αυτό είναι καθοριστικής σημασίας για τα πάνελ, διότι ο παράγοντας της θερμοκρασίας επιδρά άμεσα στην απόδοσή τους. Το μικροκλίμα που δημιουργείται κάτω από αυτά προκαλεί το φαινόμενο της παθητικής ψύξης, κατά το οποίο ο δροσισμός των φ/β συμβάλλει στη διατήρηση της απόδοσής τους.

Όσον αφορά τις καλλιέργειες, τα αγροφωτοβολταϊκά συντελούν στην αύξηση της αγροτικής παραγωγής. Όσο ο αέρας στη διεπιφάνεια πάνελ-καλλιέργειών παραμένει σταθερός, το έδαφος και τα φυτά παρουσιάζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες, γεγονός ιδιαίτερα θετικό για αυτές. Επομένως, υπό την σύγχρονη και ανερχόμενη απειλή της κλιματικής αλλαγής η τεχνική αυτή μπορεί να ευεργετήσει μεγάλο πλήθος -ευαίσθητων στις υψηλές θερμοκρασίες- καλλιεργειών.

Ένα μειονέκτημα των αγροφωτοβολταϊκών είναι ότι δεν ενδείκνυνται για όλα τα είδη καλλιεργειών. Παραδείγματος χάριν, η καλλιέργεια σιτηρών μπορεί να εφαρμοστεί υπό την σκιά των πάνελ σε πολύ περιορισμένες περιπτώσεις και με ενδελεχή σχεδιασμό του πάρκου, διότι η δημιουργία περιβάλλοντος μειωμένου φωτός υπονομεύει την ανάπτυξή τους.

6.4.5.2 Καλλιέργειες κάμπου Οροπεδίου Λασιθίου

Το Οροπέδιο Λασιθίου με μέσο υψόμετρο τα 850 m ανοίγεται στις δυτικές κλιτύες του όρους της Δίκτης (ύψος 2148 m). Είναι το μεγαλύτερο από τα οροπέδια της Κρήτης και αποτελείται από μια εύφορη και καλλιεργήσιμη πεδιάδα με γενικά εύκρατο κλίμα. Ο κάμπος του Οροπεδίου Λασιθίου με συνολική έκταση 25 km² συνεισφέρει σημαντικά στην αγροτική ανάπτυξη του νησιού της Κρήτης, αλλά και στην ενίσχυση της τοπικής οικονομίας. Καλλιεργείται κυρίως με πατάτα, τη γνωστή λασιθιώτικη πατάτα, κηπευτικά (κολοκύθια, λάχανα, κουνουπίδια, ντομάτες, καρπούζια κ.λπ.), όσπρια (φασόλια, κουκιά, αρακάς κ.λπ.), σιτηρά (κριθάρι, σιτάρι) και διάφορα δένδρα: αχλαδιές, μηλιές, καρυδιές, αμυγδαλιές, κερασιές, δαμασκηνιές κ.ά. Απουσιάζει, δε, η καλλιέργεια της ελιάς και των εσπεριδοειδών λόγω του ψυχρού κλίματος που επικρατεί το χειμώνα.



Εικόνα 6.13 Κάμπος Οροπεδίου Λασιθίου

6.4.5.3 Σχεδιασμός αγροφωτοβολταϊκού σταθμού

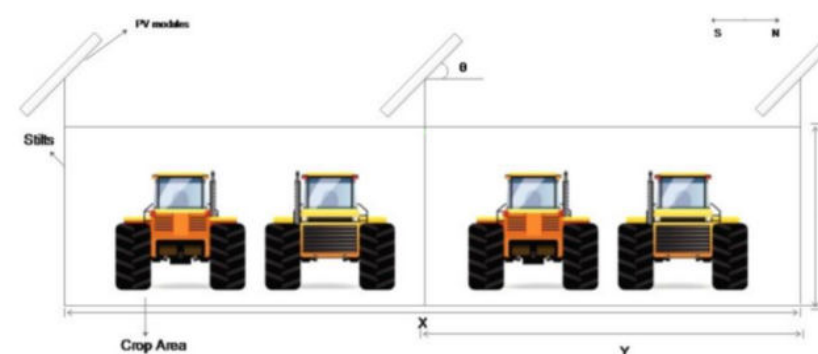
Προκειμένου να επιτευχθεί ο αποτελεσματικός συνδυασμός της παραγωγής ενέργειας με τη γεωργία, είναι απαραίτητος ο αντίστοιχος σχεδιασμός του αγροφωτοβολταϊκού σταθμού.

Σκόπιμη είναι η επιλογή των καλλιεργειών με τις οποίες θα συνδυαστούν τα πάνελ. Σε γενικές γραμμές δεν υπάρχει ακριβής σχέση μεταξύ της έκτασης που οι καλλιέργειες καταλαμβάνουν με την αγροτική τους παραγωγή. Για παράδειγμα, τα φασόλια και οι φακές δεσμεύουν μεγάλες εκτάσεις γης, αλλά παράγουν σχετικά μικρότερες ποσότητες καρπών. Τα αγροφωτοβολταϊκά συστήματα, όμως, απαιτούν μεγάλες εκτάσεις. Για το λόγο αυτό, προτιμάται η εφαρμογή τους σε κηπευτικά, όπως οι τομάτες, οι πατάτες, το μαρούλι, το λάχανο, κ.λπ. Δεν ενδείκνυνται για καρπούς που παράγονται από δένδρα, διότι υπάρχει ο περιορισμός του ύψους στο οποίο τοποθετούνται τα πάνελ.



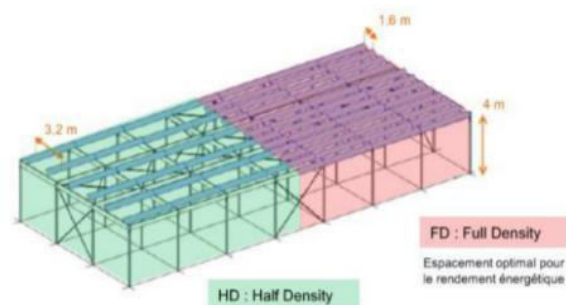
Εικόνα 6.14 Παραδείγματα αγροφωτοβολταϊκών εφαρμογών

Πραγματοποιείται, επομένως, η ανύψωση των φ/β πάνελ, σε ύψος εξαρτώμενο από το είδος των καλλιεργειών σε συνδυασμό με την απαίτηση για διέλευση των αγροτικών οχημάτων. Όσο μεγαλύτερο το ύψος τοποθέτησης, τόσο μεγαλύτερες προκύπτουν και οι απαιτήσεις ευστάθειας των βάσεων. Η ανάγκη να ανθίσταται η κατασκευή στη δράση του ανέμου την καθιστά πιο δαπανηρή σε σχέση με τα συμβατικά -στο έδαφος εδραζόμενα- πάνελ. Επιλέγεται η τοποθέτησή τους στο ύψος των 4 m.



Εικόνα 6.15 Σχηματική απεικόνιση επιλογής αποστάσεων πάνελ

Στη συνέχεια, καθορίζονται οι αποστάσεις τοποθέτησης αυτών. Παρέχεται η δυνατότητα τοποθέτησης με σκοπό την επίτευξη της μέγιστης πυκνότητας (Full Density, FD), η οποία πραγματοποιείται με μικρότερες αποστάσεις μεταξύ των πάνελ, αλλά και διαμόρφωση με μικρότερη πυκνότητα (Half Density, HD) και αποστάσεις διπλάσιες των προηγούμενων (Εικόνα 6.14). Πρέπει, παρόλα αυτά, να εξυπηρετείται η άνετη διέλευση των αγροτικών οχημάτων, αλλά και η απολαβή της ποσότητας της ηλιακής ακτινοβολίας που απαιτείται για τις καλλιέργειες. Σύμφωνα με τα παραπάνω, επιλέγεται η τοποθέτησή τους σε απόσταση 3 m μεταξύ τους.



Εικόνα 6.16 Εναλλακτικές διατάξεις πάνελ

6.5 Οικονομική ανάλυση κατασκευής φωτοβολταϊκού σταθμού στο Οροπέδιο Λασιθίου

Την τεχνική ανάλυση κατασκευής του υπό μελέτη φωτοβολταϊκού σταθμού ακολουθεί η οικονομική ανάλυση. Το συνολικό κόστος για την κατασκευή του σταθμού ανέρχεται στα 30,00,000 €, με το μηχανολογικό εξοπλισμό να καταλαμβάνει το 80% της συνολικής δαπάνης του έργου. Αναλυτικά ο ενδεικτικός προϋπολογισμός παρίσταται στον παρακάτω Πίνακα 6.2.

Πίνακας 6.2		
Ενδεικτικός προϋπολογισμός αγροφωτοβολταϊκού πάρκου		
ΚΤΙΡΙΑΚΑ	€ 294,250.00	1.0%
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	€ 23,540,000.00	80.0%
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	€ 1,912,625.00	6.5%
ΜΕΤΑΦΟΡΑ & ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΗΧ/ΚΟΥ & Λ. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	€ 147,125.00	0.5%
ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ (ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ & ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΧΩΡΟΥ)	€ 2,942,500.00	10.0%
ΦΑΚΕΛΟΙ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗΣ	€ 294,250.00	1.0%
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	€ 294,250.00	1.0%
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	€ 29,425,000.00	100.0%

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Προσομοίωση λειτουργίας υβριδικού συστήματος

7.1 Γενικά για την προσομοίωση

Η προσομοίωση είναι η διαδικασία κατά την οποία εκτελείται η αναπαράσταση μιας διεργασίας με τη βοήθεια ενός μοντέλου. Βασικός λόγος εκτέλεσης μίας προσομοίωσης είναι η χαρτογράφηση της λειτουργίας ενός έργου, αλλά και των καταστάσεων στις οποίες αναμένεται να βρεθεί εντός της διάρκειας ζωής του. Έτσι, είναι εφικτή η αξιολόγηση της επένδυσης και η εκτέλεση διαφόρων οικονομοτεχνικών μελετών που καθορίζουν το κατά πόσο αναμένεται μια τέτοια κατασκευή να είναι συμφέρουσα.

7.2 Εισαγωγή στην προσομοίωση του υβριδικού συστήματος

Η προσομοίωση του υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας μπορεί να διακριθεί σε δύο μέρη: την ενεργειακή προσομοίωση, η οποία μελετά τα έργα ως προς την ενεργειακή τους απόδοση, και έπειτα το υδρολογικό τμήμα της προσομοίωσης το οποίο περιλαμβάνει το πλήρες υδατικό ισοζύγιο ανάμεσα στον ταμιευτήρα και την λιμνοδεξαμενή, αλλά και το σύνολο των εισροών και απολήψεων. Η προσομοίωση πραγματοποιείται για 30 έτη (από 1/1/1985 έως 31/12/2015) σε ημερήσια ανάλυση. Έχουν, δε, ληφθεί υπ' όψιν αρκετές παράμετροι, οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι οι εξής:

- Έλεγχοι στάθμης ταμιευτήρα
- Έλεγχοι στάθμης λιμνοδεξαμενών
- Λειτουργία αντλιοσταμίου
 - Περιορισμός παροχευτικότητας αγωγού προσαγωγής
 - Ημερήσιοι όγκοι άντλησης
- Λειτουργία τάφρων συλλογής
- Στόχος παραγωγής ενέργειας
- Μέτρα επίδοσης συστήματος (αξιοπιστία, ευαισθησία & ανθεκτικότητα)

Η κάθε μία από τις παραμέτρους αναλύεται στη συνέχεια μαζί με τους ελέγχους που πραγματοποιούνται για την εξασφάλισή της.

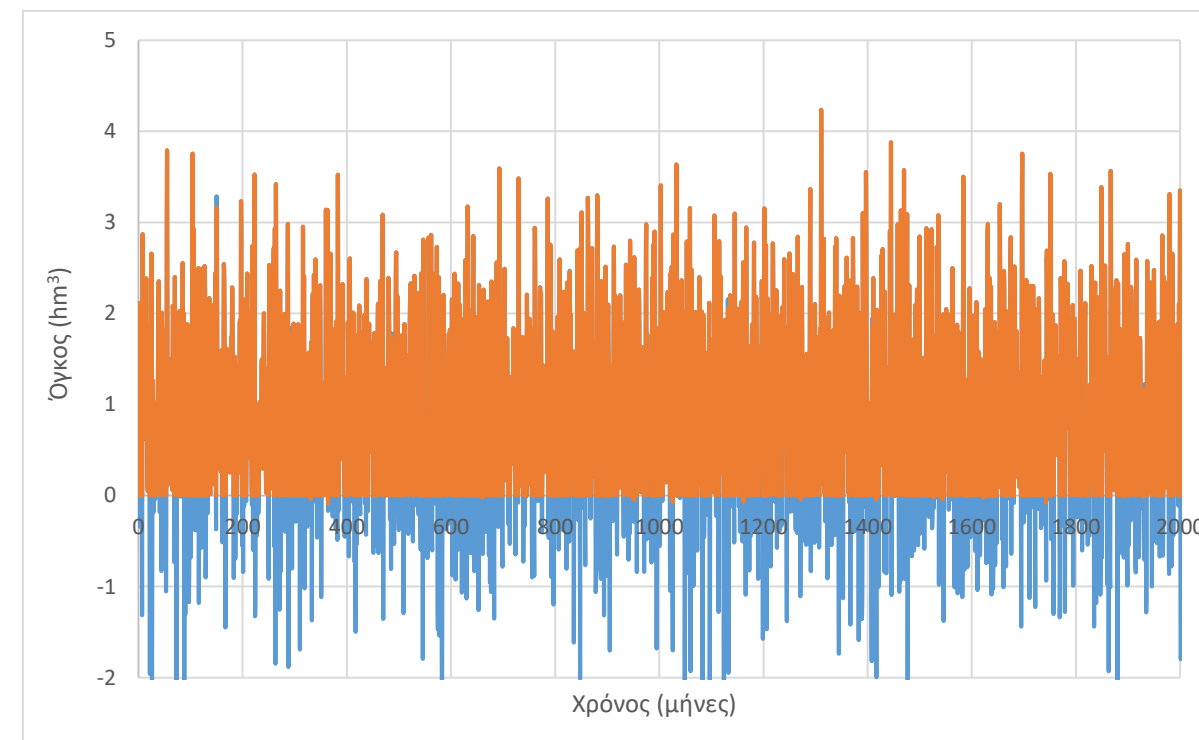
7.3 Δεδομένα προσομοίωσης

7.3.1 Δεδομένα εισροών

Η προσομοίωση θα πραγματοποιηθεί για την χρονική περίοδο 1985-2015 σε ημερήσια κλίμακα. Ωστόσο, τα διαθέσιμα δεδομένα βροχόπτωσης και εξατμοδιαπνοής, δηλαδή τα δεδομένα των εισροών του ταμιευτήρα, είναι περιορισμένα (έως το έτος 2003). Για το λόγο αυτό, πρέπει το διαθέσιμο μήκος δεδομένων να επιμηκυνθεί, ώστε να αναφέρεται στην ίδια χρονική κλίμακα με τα υπόλοιπα δεδομένα, ηλιακά και ανεμολογικά, μέσω στοχαστικών μεθόδων. Στην παρούσα μελέτη επιλέγεται το μοντέλο απλής ομοιοθεσίας και πιο συγκεκριμένα η μέθοδος του μοντέλου συμμετρικού κυλιόμενου μέσου SMA (Koutsoyiannis, 2000). Με το μοντέλο αυτό, παράγονται 2000 χρονοσειρές εισροών από το διαθέσιμο δείγμα, με σκοπό τη διατήρηση του συντελεστή Hurst. Ο συντελεστής αυτός υπολογίζεται από την κλίση του κλιμακογράμματος των διαθέσιμων δεδομένων εισροών και ελέγχεται από την κλίση του κλιμακογράμματος των παραγόμενων χρονοσειρών εισροών. Στον παρακάτω πίνακα αποτυπώνεται η διατήρηση των στατιστικών μεγεθών (μέση τιμή, διασπορά), καθώς και η διατήρηση του συντελεστή.

	Ιστορική	Συνθετική
Μέση τιμή	0,9	0,86
Διασπορά	1,156	1,17
Hurst	0,334	0,32

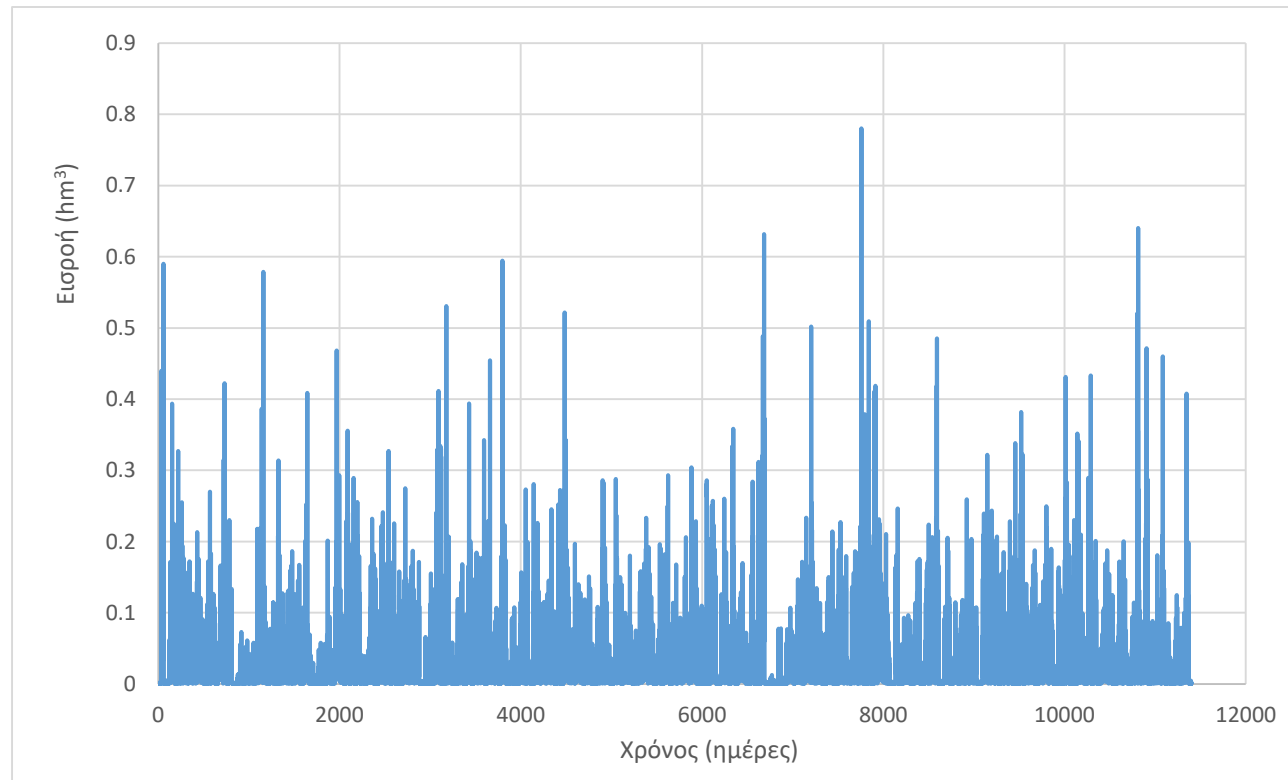
Στο παρακάτω διάγραμμα αποτυπώνεται η κατανομή των συνθετικών εισροών για δείγμα 2000 μηνών. Επειδή η μέθοδος αυτή παράγει και αρνητικές τιμές, οι οποίες δεν έχουν φυσικό νόημα, θεωρείται ότι για τις τιμές αυτές η εισροή είναι μηδενική. Με μπλε χρώμα επισημαίνονται οι συνθετικές τιμές εισροής, ενώ με πορτοκαλί οι θετικές.



Διάγραμμα 7.1 Συνθετικές μηνιαίες χρονοσειρές εισροής

Όπως όμως αναφέρθηκε, για την προσομοίωση απαιτούνται δεδομένα ημερήσιας κλίμακας και όχι μηνιαίας. Ανατρέχοντας σε δεδομένα από επίσημους φορείς, όπως η NASA και τα προγνωστικά δεδομένα *Meteoblue*, διαπιστώθηκε πως για την περιοχή μελέτης τα δεδομένα δεν επαρκούν ώστε να γίνει η απαραίτητη ανάλυση. Πιο συγκεκριμένα, τα ύψη βροχής ήταν αρκετά χαμηλότερα από τα ύψη που έχουν προκύψει στο κεφάλαιο της υδρολογικής μελέτης του ταμιευτήρα, ωστόσο η συχνότητα της βροχής φάνηκε πως ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Έτσι, τα δεδομένα αυτά θεωρήθηκαν αναξιόπιστα και τα ημερήσια δεδομένα για τις εισροές στον ταμιευτήρα παρήχθησαν από τα μηνιαία δεδομένα που υπολογίστηκαν μέσω της προηγούμενης μεθόδου. Όπως είναι γνωστό, η εκθετική κατανομή χρησιμοποιείται για την περιγραφή υδρολογικών μεταβλητών σε μικρή χρονική κλίμακα, όπως για παράδειγμα των ωριαίων ή ημερήσιων υψών βροχής. Έτσι, και στην παρούσα μελέτη θεωρήθηκε ότι τα ημερήσια ύψη βροχής ακολουθούν εκθετική κατανομή με παράμετρο κλίμακας $\lambda > 0$. Ως μέση τιμή θεωρήθηκε η μέση τιμή του κάθε μήνα διαιρεμένη κατά τις μέρες του, π.χ. για τον μήνα Νοέμβρη η μέση μηνιαία τιμή είναι $0,79 \text{ hm}^3$, άρα η μέση ημερήσια τιμή του Νοέμβρη θα είναι $0,026 \text{ hm}^3$. Υπολογίζεται, έτσι, η παράμετρος κλίμακας λ , η οποία ισούται με $\lambda = \frac{1}{\mu_x}$, όπου μ_x η μέση ημερήσια τιμή. Παρακάτω παρουσιάζονται τα στατιστικά χαρακτηριστικά των μηνιαίων δεδομένων και των φορέων που αναφέρθηκαν για λόγους σύγκρισης, καθώς και οι τελικές ημερήσιες χρονοσειρές εισροών που παρήχθησαν.

	NASA	Meteoblue	Ιστορικά Δεδομένα
Μέση τιμή	40,75	35,5	77,7
Διασπορά	1486,9	-	1584,04
Τυπική απόκλιση	38,56	-	39,8



Διάγραμμα 7.2 Συνθετικές ημερήσιες χρονοσειρές εισροής εκθετικής κατανομής

7.3.2 Ηλιακά - Ανεμολογικά δεδομένα

Για την εκτίμηση της ενεργειακής παραγωγής, έχουν χρησιμοποιηθεί δεδομένα από πλήθος φορέων. Συνοπτικά αναφέρεται ότι τα ανεμολογικά δεδομένα που έχουν χρησιμοποιηθεί προέρχονται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, την NASA, τα προγνωστικά δεδομένα του Meteoblue (προγνωστικά δεδομένα ίδιας ημέρας με 90% ακρίβεια), την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας και το Danish Wind Industry Association. Αντίστοιχα, τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας προέρχονται από την NASA και το Meteoblue. Τα παραπάνω δεδομένα αξιολογήθηκαν ως προς την καταλληλότητά τους για την χρήση ως δεδομένα εισαγωγής στην προσομοίωση. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι συνεχή σε όλο το διάστημα της προσομοίωσης (1/1/1985 - 31/12/2015) και να είναι αξιόπιστα (να παρουσιάζουν υψηλό βαθμό συσχέτισης με τα δεδομένα της ΕΜΥ που αποτελούν δεδομένα μέτρησης). Σύμφωνα με τα παραπάνω τα δεδομένα που κρίθηκαν πιο κατάλληλα για την προσομοίωση είναι τα δεδομένα της NASA.

Τα ανεμολογικά δεδομένα της NASA έχουν σημείο αναφοράς το σημείο 35° 14', 25° 51' σε σύστημα WGS84, σημείο που κρίθηκε ως αντιπροσωπευτικό σύμφωνα και με τους χάρτες αιολικού δυναμικού της ΠΑΕ. Τα εξαγόμενα δεδομένα αφορούν τη μέση ταχύτητα πνοής ανέμου (σε m/s) σε στάθμη 50 m από τη στάθμη του εδάφους. Τα ηλιακά δεδομένα εξαγονται με αντιπροσωπευτικό σημείο το σημείο με συντεταγμένες 35° 18', 25° 46' σε σύστημα, επίσης, WGS84 και αφορούν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε kWh/m².

7.3.3 Δεδομένα ηλεκτρικής ζήτησης

Προκειμένου να γίνει η προσομοίωση πιο ρεαλιστική, χρειάστηκε να προσομοιαστεί η λειτουργία του ενεργειακού δικτύου της Κρήτης, ώστε να δημιουργηθεί μία χρονοσειρά ημερήσιας ζήτησης ενέργειας, η οποία να περιγράφει όσο το δυνατόν καλύτερα τις διακυμάνσεις που παρατηρούνται. Για να γίνει αυτό, αρχικά χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία κατανάλωσης ενέργειας για την περιφέρεια της Κρήτης, ώστε να προσδιοριστεί η μέση τιμή και τυπική απόκλιση της ημερήσιας ζήτησης. Εν συνεχεία, έγινε ανάλυση των ετών 2002 – 2017 ως προς τα στοιχεία κατανάλωσης και επιλέχθηκε ως αντιπροσωπευτικό το έτος 2013, καθώς σε αυτό παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες καταναλώσεις (αιτία μείωσης της ηλεκτρικής κατανάλωσης έπειτα από το 2013 είναι η ευρύτερη οικονομική ύφεση στη χώρα). Έπειτα, λαμβάνεται υπ' όψιν η αυξητική τάση ως προς την αιχμής ζήτησης του δικτύου ίση με περίπου 8% ανά έτος.

7.3.3.1 Μέθοδος υπολογισμού

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, προσδιορίστηκαν τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ζήτησης. Στη συνέχεια, με γεννήτρια τυχαίων αριθμών παρήχθησαν αριθμοί, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν την ημερήσια ζήτηση ενέργειας στο δίκτυο της Κρήτης. Προκειμένου να αποτυπωθεί στην διαδικασία η εποχικότητα της ζήτησης και η τυχαία ημερήσια διακύμανση, η παραγωγή των τυχαίων αριθμών έγινε με μεταβλητή μέση τιμή και τυπική απόκλιση, παρατηρώντας μέγιστη ημερήσια ζήτηση κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, ελάχιστη ζήτηση τον Μάρτιο και μείωσή και κατά τους φθινοπωρινούς μήνες. Συνεπώς, οι τυχαίοι αριθμοί παράγονται με μεταβλητή μέση τιμή και τυπική απόκλιση ανάλογα με τον μήνα παρατήρησής τους. Σε περίπτωση που την εκάστοτε ημέρα η ζήτηση είναι σημαντική υψηλότερη από την βασική παραγωγή της εκάστοτε περιόδου, θεωρείται ότι υπάρχει αιχμή ζήτησής και μεγιστοποιείται η παραγωγή, ενώ σε περιπτώσεις όπου η ζήτηση είναι χαμηλότερη θεωρείται ότι υπάρχει πλεόνασμα, οπότε γίνεται αποθήκευση ενέργειας.

7.3.3.2 Παράμετροι σχεδιασμού & χαρακτηριστικά παραγόμενης χρονοσειράς

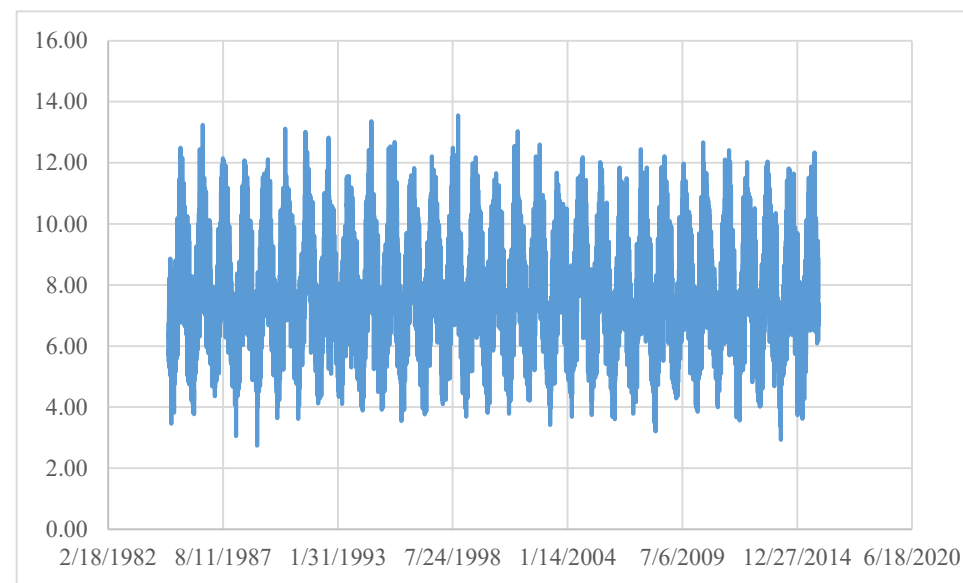
Τα χαρακτηριστικά της ζήτησης είναι τα εξής:

Μήνας	Μέση Τιμή, μ (GWh)	Τυπική Απόκλιση, σ (GWh)
Ιανουάριος	6,48	0,8
Φεβρουάριος	6	0,85
Μάρτιος	5,52	0,9
Απρίλιος	6,4	0,95
Μάϊος	7,28	1
Ιούνιος	8,16	1,05
Ιούλιος	9,6	1,2

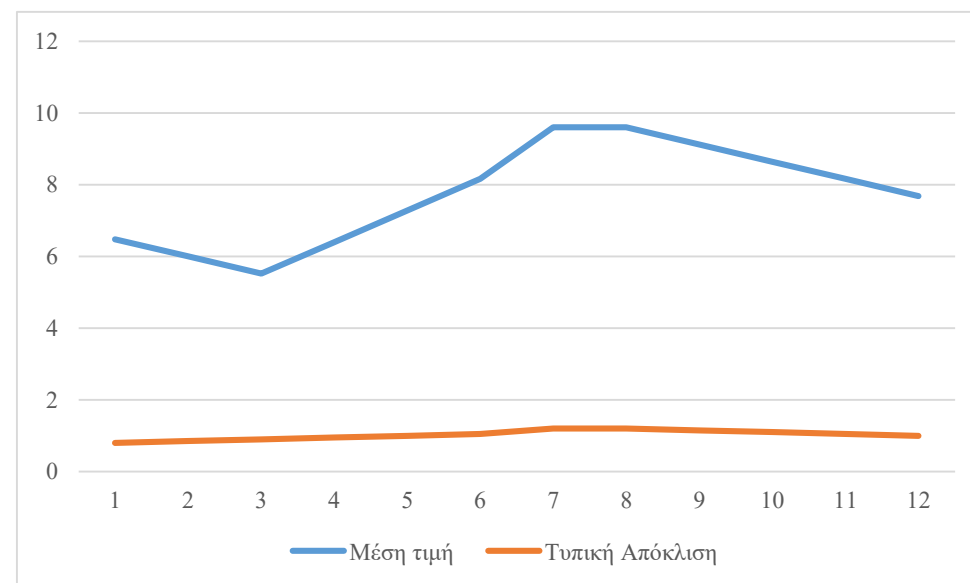
Αύγουστος	9,6	1,2
Σεπτέμβριος	9,12	1,15
Οκτώβριος	8,64	1,1
Νοέμβριος	8,16	1,05
Δεκέμβριος	7,68	1

Τα στατιστικά χαρακτηριστικά της χρονοσειράς που υπολογίστηκαν είναι τα εξής:

Πίνακας 7.4 Στατιστικά χαρακτηριστικά χρονοσειράς	
Μέση τιμή (GWh)	7,73
Τυπική απόκλιση (GWh)	1,69
Ελάχιστη ημερήσια ζήτηση (GWh)	2,61
Μέγιστη ημερήσια ζήτηση (GWh)	13,54



Διάγραμμα 7.3 Ημερήσια ζήτηση ενέργειας σε GWh/d (Συνθετική χρονοσειρά)



Διάγραμμα 7.4 Διακύμανση στατιστικών χαρακτηριστικών συνθετικής χρονοσειράς κατά την διάρκεια του έτους

7.4 Παράμετροι προσομοίωσης

Για την προσομοίωση της λειτουργίας του υβριδικού συστήματος, σκόπιμος είναι ο καθορισμός ορισμένων βασικών παραμέτρων.

7.4.1 Έλεγχοι στάθμης ταμιευτήρα

Η στάθμη του ταμιευτήρα του φράγματος κυμαίνεται στο εύρος (115z, 1178 m). Η κατώτατη στάθμη των 115z καθορίζεται από την επιμέρους χρήση που εξυπηρεείται, δηλαδή την ύδρευση, παραγωγή ενέργειας, και την άρδευση. Επομένως, η παράμετρος z αποτελεί τη στάθμη υδροληψίας για την κάθε χρήση. Η ανώτατη επιτρεπόμενη στάθμη των 1178 m αντιστοιχεί στην ανώτατη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα, δηλαδή στη στέψη του υπερχειλιστή. Στους παραπάνω περιορισμούς του εύρους της στάθμης λαμβάνεται υπόψη και η καλαισθησία του τοπίου, θέτοντας την κατώτατη στάθμη λειτουργίας φιλική στον οικοτουρισμό στα 1165 m. Στην περίπτωση που η στάθμη υποβιβαστεί κάτω από τα 1150 m, δεν γίνεται πτώση νερού στο έργο αντλησιοταμίευσης, ενώ όταν η στάθμη φτάσει την ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή της, η πτώση καθίσταται υποχρεωτική.

7.4.2 Έλεγχοι στάθμης λιμνοδεξαμενών

Η στάθμη των προς εκμετάλλευση λιμνοδεξαμενών κυμαίνεται στο διάστημα (x, 10 m), όπου x η στάθμη εκείνη που εξυπηρετεί τις αρδευτικές ανάγκες της ευρύτερης περιοχής. Εφόσον η στάθμη έχει αυτή την τιμή x, το έργο αντλησιοταμίευσης δε λειτουργεί. Όταν φτάσει την ανώτατη τιμή των 10 m, αποφεύγεται η πτώση και παράλληλα γίνεται διάθεση του νερού στον χείμαρρο Χαυγά, ο οποίος με τη σειρά του τροφοδοτεί τον ταμιευτήρα του φράγματος Αποσελέμη. Τέλος, όταν η στάθμη υποβιβαστεί κάτω από την τιμή x, ανοίγει το θυρόφραγμα για εισροή νερού από τον χείμαρρο Χαυγά, ή εναλλακτικά συμπληρώνεται από τη μικρή λιμνοδεξαμενή. Σε κάθε ενδιάμεση περίπτωση γίνεται είτε πτώση, είτε ανύψωση νερού ανάλογα με τις ανάγκες σε παραγωγή ενέργειας, αλλά και το απόθεμα των δεξαμενών.

7.4.3 Λειτουργία αντλησιοταμίευσης

7.4.3.1 Περιορισμός παροχρησιμότητας αγωγού

Η μέγιστη παροχρησιμότητα του αγωγού προσαγωγής θέτει περιορισμό σε σχέση με τον όγκο νερού που μπορεί να παροχετεύεται από το φράγμα προς την λιμνοδεξαμενή και τανάπαλιν στην αιχμή, αλλά και στο επίπεδο της ημερήσιας κλίμακας. Διευκρινιστικά η ροή νερού μέσα στον αγωγό είναι μονοσήμαντης κατεύθυνσης, γεγονός που υπαγορεύει ότι η προσαγωγή νερού από το φράγμα και η άντληση νερού από την λιμνοδεξαμενή πραγματοποιούνται σε ανεξάρτητες χρονικές περιόδους.

7.4.3.2 Ημερήσιοι όγκοι άντλησης

Βασικό πλεονέκτημα των έργων αντλησιοταμίευσης είναι η δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας. Στην περίπτωση, λοιπόν, που η ισχύς της παραγωγής υπερβεί την ισχύ της ζήτησης, πραγματοποιείται αποθήκευση του πλεονάσματος ενέργειας. Στο ενδεχόμενο που η τιμή της kWh που δίνει το χρηματιστήριο ενέργειας (*) για εκείνη τη στιγμή είναι μικρότερη από την τιμή της kWh στην αιχμή, είναι οικονομικά συμφέρον να

πραγματοποιηθεί άντληση από την λιμνοδεξαμενή προς το φράγμα, δηλαδή να γίνει αποθήκευση ενέργειας, εφόσον βέβαια πληρούνται οι προϋποθέσεις των παραμέτρων στάθμης του ταμιευτήρα και των λιμνοδεξαμενών. (*) Σημειωτέον πως το νησί της Κρήτης, κατά την περάτωση των εργασιών κατασκευής του υβριδικού συστήματος, θα είναι διασυνδεδεμένο με την ηπειρωτική χώρα, γεγονός που την εντάσσει στην αγορά του Χρηματιστηρίου Ενέργειας.

7.4.4 Λειτουργία τάφρων συλλογής

Όπως έχει προαναφερθεί, τα υδατικό απόθεμα του ταμιευτήρα συμπληρώνουν δύο παραπλήσιοι χείμαρροι, των οποίων το νερό συγκεντρώνεται μέσω τάφρων συλλογής. Σημαντική είναι, επομένως, η εγκατάσταση σταθμογράφων μετά τη συμβολή των τάφρων για τον αποτελεσματικό έλεγχο των εισροών. Στην περίπτωση που αναμένονται εισροές από τις τάφρους και το νερό του ταμιευτήρα είναι στην ανώτατη στάθμη λειτουργίας, τίθενται οι δύο επόμενες εναλλακτικές για την διαχείριση του υδατικού πλεονάσματος. Εάν η εκτιμώμενη παροχή των τάφρων είναι μικρότερη της παροχетеυτικότητας του αγωγού προσαγωγής, πραγματοποιείται εκροή του νερού από τους στροβίλους. Εάν, όμως, η εκτιμώμενη παροχή υπερβαίνει την παροχетеυτικότητα του αγωγού μαζί με την οικολογική παροχή, γίνεται κλείσιμο των θυροφραγμάτων στις δύο θέσεις υδροληψίας, Y1 και Y2 (βλ. Χάρτη 3.2, Κεφάλαιο 3).

7.4.5 Στόχος παραγωγής ενέργειας

Στη λειτουργία του υβριδικού συστήματος πρωταρχικός παράγοντας είναι ο καθορισμός του στόχου παραγωγής ενέργειας. Η τιμή πώλησης της πρωτεύουσας ενέργειας είναι στα 100 €/GWh. Δευτερεύουσα ενέργεια παράγεται σε δύο περιπτώσεις: από τη λειτουργία των στροβίλων κατά την υπερχειλίση, αλλά και στην περίπτωση που οι εισροές των γειτονικών λεκανών δεν μπορούν να διατεθούν στον ταμιευτήρα λόγω του ήδη αυξημένου του αποθέματος. Η τιμή πώλησης της δευτερεύουσας ενέργειας είναι στα 55 €/GWh. Τέλος, αναφορά σε έλλειμμα ενέργειας γίνεται στις περιπτώσεις ανεπαρκούς ποσότητας νερού ανάντη και κατάντη του έργου αντλησιοταμίευσης, στον ταμιευτήρα και τις λιμνοδεξαμενές, αντίστοιχα. Η ρήτρα ελλείμματος είναι στα 110 €/GWh.

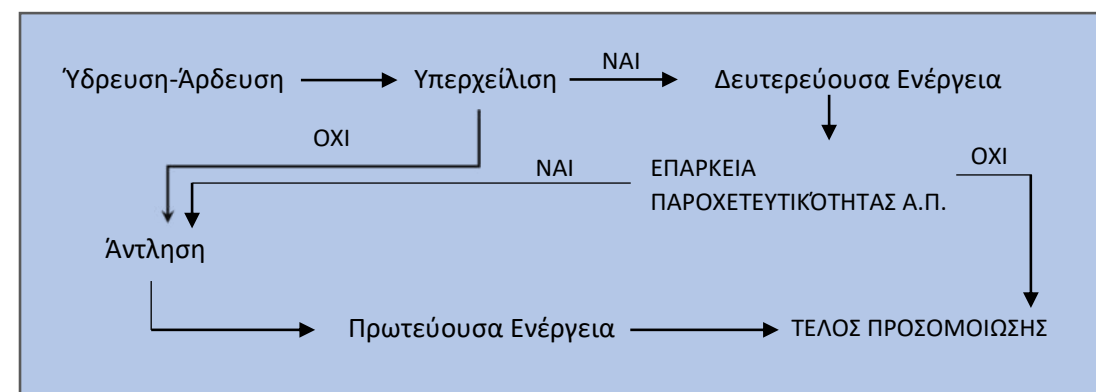
7.4.6 Μέτρα επίδοσης συστήματος – Στόχος αξιοπιστίας

Για την αξιολόγηση και τη βελτιστοποίηση του υβριδικού συστήματος είναι σημαντικός ο προσδιορισμός των μέτρων επίδοσής του. Η αξιοπιστία, ως η ικανότητα του συστήματος να καλύψει τις ανάγκες για τις οποίες σχεδιάζεται, καθορίζεται με βάση την κάθε ανάγκη που εξυπηρετείται. Ιεραρχική προτεραιότητα δίνεται, αρχικά, στην ύδρευση με επιθυμητό (και εφικτό) επίπεδο αξιοπιστίας 100%, ενώ ακολουθούν η άρδευση (με επίσης εφικτή την πλήρη κάλυψη των αναγκών) και, τέλος, η παραγωγή ενέργειας. Η ανθεκτικότητα, ως η ικανότητα του συστήματος να ανακάμπτει γρήγορα μετά από μία αστοχία, είναι επίσης ένας παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη στην αξιολόγηση της λειτουργίας του συστήματος. Τέλος, ελέγχεται και η ευαισθησία, προκειμένου να αποτυπωθεί το μέγεθος και ο αντίκτυπος των επιπτώσεων από μια επικείμενη αστοχία.

7.5 Γενική περιγραφή προσομοίωσης

Βασική προϋπόθεση για την επιτυχημένη εκτέλεση της προσομοίωσης είναι η κατάρτιση ενός αντιπροσωπευτικού διαγράμματος ροής, το οποίο να αποτυπώνει την σειρά με την οποία ρυθμίζεται και ελέγχεται το Υβριδικό Σύστημα (ΥΣ). Η σειρά με την οποία εκτελέστηκαν οι επιμέρους λειτουργίες καθορίστηκε από την επιθυμητή αξιοπιστία της κάθε μίας, αλλά και από το κατά πόσο αποτελεί ελεγχόμενη ή μη λειτουργία. Έπειτα, οι έλεγχοι της προσομοίωσης καθορίστηκαν από τους σημαντικότερους περιοριστικούς παράγοντες του συστήματος. Ο σημαντικότερος περιορισμός του συστήματος κρίθηκε πως είναι η παροχетеυτικότητα του αγωγού προσαγωγής (ΑΠ), συνεπώς το πρώτο κριτήριο ελέγχου είναι η μη υπέρβαση της ημερήσιας παροχетеυτικότητας του. Έπειτα γίνονται οι έλεγχοι στάθμης, αποθέματος κ.ο.κ., όπως αυτοί περιεγράφηκαν.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, πρώτο βήμα της προσομοίωσης είναι να καλυφθούν οι απολήψεις από τον ταμιευτήρα και την λιμνοδεξαμενή, αφού άλλωστε δεν επηρεάζουν και την παροχетеυτικότητα του ΑΠ. Στην συνέχεια, πρέπει να καθοριστεί εάν ο ταμιευτήρας θα υπερχειλίσει την εκάστοτε ημέρα. Σε περίπτωση που παρατηρείται υπερχειλίση, η ποσότητα αυτή του νερού παροχетеύεται στον ΑΠ μέχρι να καλυφθεί η παροχетеυτικότητά του. Σε περίπτωση υπέρβασης της παροχетеυτικότητας, το νερό υπερχειλίζει μέσω του βαθμιδωτού υπερχειλιστή. Στο επόμενο βήμα της προσομοίωσης, υπολογίζεται η υπολειπόμενη παροχетеυτικότητα του ΑΠ και στη συνέχεια ελέγχεται αν η αυτή επαρκεί, ώστε να γίνει η επιθυμητή άντληση. Κατά συνέπεια, η επόμενη λειτουργία του συστήματος που εκτελείται είναι αυτή της άντλησης. Είναι σημαντικό η λειτουργία αυτή να γίνεται ύστερα από αυτήν της υπερχειλίσης καθώς, διαφορετικά, υπάρχει κίνδυνος απώλειας ενέργειας μέσω της υπερχειλίσης του αντλούμενου νερού. Ακολουθεί η παραγωγή πρωτεύουσας ενέργειας σύμφωνα με την νέα υπολειπόμενη παροχетеυτικότητα του ΑΠ, η οποία αποτελεί προκύπτει έχοντας λάβει υπ' όψιν την παραγωγή δευτερεύουσας ενέργειας και την επιθυμητή άντληση. Βασικός λόγος που η πρωτεύουσα παραγωγή ενέργειας εκτελείται έπειτα από την δευτερεύουσα είναι η απλούστευση των ελέγχων, καθώς η μία αποτελεί στοιχείο που καθορίζεται από τον διαχειριστή του συστήματος, ενώ η δευτερεύουσα από πλήθος παραγόντων που είναι πολύ δύσκολο να ελεγχθούν και να καθοριστούν. Αν για παράδειγμα μία δεδομένη ημέρα προκύψει υπερχειλίση και παραγωγή δευτερεύουσας ενέργειας, τότε γίνεται κατά προτεραιότητα αξιοποίηση αυτής της ποσότητας, διότι διαφορετικά υπάρχει ο κίνδυνος να μην επαρκεί η υπολειπόμενη παροχетеυτικότητα του ΑΠ.



Σχήμα 7.1 Διάγραμμα ροής λειτουργίας ταμιευτήρα

7.6. Αποτελέσματα προσομοίωσης

Οι ημερήσιες χρονοσειρές εισροής και η μηνιαία ζήτηση ακολουθούν εκθετική και κανονική κατανομή, αντίστοιχα. Έτσι, τα δεδομένα αυτά αλλάζουν σε κάθε επανάληψη της προσομοίωσης που πραγματοποιείται. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από πολλές επαναλήψεις πολλών τυχαίων χρονοσειρών, τα οποία συγκλίνουν σε κάποια τιμή. Για τον προσδιορισμό των αποτελεσμάτων, πραγματοποιήθηκαν διάφορες δοκιμές για ένα τυπικό εύρος στόχου πρωτεύουσας ενέργειας και για καθορισμένες ώρες άντλησης, τόσο για κατώτερη στάθμη +1150 m, όσο και για στάθμη φιλική στον οικότουρισμό, η οποία τίθεται στα +1165 m. Πιο συγκεκριμένα, έγιναν ξεχωριστά για 2 h, 3 h, 4 h και 5 h άντλησης για ημερήσιο στόχο ενέργειας 0,19 GWh – 0,38 GWh (σε ορισμένες περιπτώσεις το εύρος μειώνεται, καθώς δεν έχει νόημα η προσομοίωση σε τόσο μεγάλο εύρος για πολλές ώρες άντλησης). Στους Πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται για κάθε ώρα και για κάθε στάθμη τα οφέλη που προκύπτουν από το σύστημα, καθώς και η αξιοπιστία για κάθε ζεύγος (P, A), δηλαδή για κάθε ζεύγος στόχου ενέργειας – ωρών άντλησης.

Πίνακας 7.5 Όφελος και αξιοπιστία συστήματος για 2 ώρες άντληση				
E(GWh)	z _κ = 1150 m		z _κ = 1165 m	
	Όφελος (€)	Αξιοπιστία (%)	Όφελος (€)	Αξιοπιστία (%)
0,19	-59.615.853,74 €	16,0%	-59.615.853,74 €	16,0%
0,2	78.780.141,58 €	76,6%	80.556.274,29 €	76,8%
0,21	76.341.853,33 €	73,7%	79.126.821,46 €	73,8%
0,22	72.004.109,51 €	69,3%	76.756.140,23 €	70,8%
0,23	67.541.747,70 €	65,6%	73.380.625,61 €	68,1%
0,24	63.069.665,94 €	62,0%	69.249.812,36 €	65,1%
0,25	56.942.003,63 €	59,9%	65.466.271,66 €	61,5%
0,26	52.211.731,05 €	56,3%	58.705.487,84 €	60,2%
0,27	44.684.856,94 €	54,8%	54.889.445,98 €	56,4%
0,28	39.631.995,05 €	51,0%	53.747.640 €	55,5%

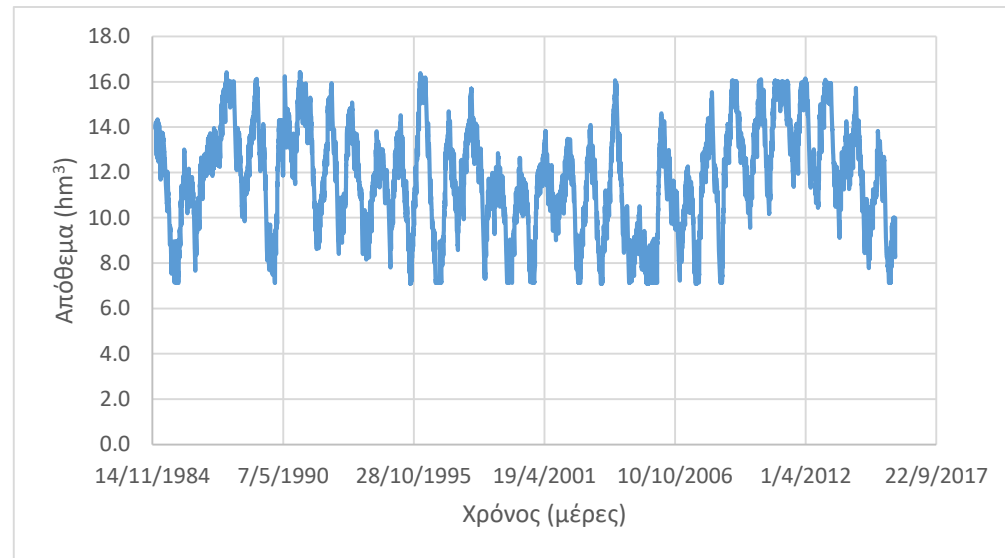
Πίνακας 7.6 Όφελος και αξιοπιστία συστήματος για 3 ώρες άντληση				
E(GWh)	z _κ = 1150 m		z _κ = 1165 m	
	Όφελος (€)	Αξιοπιστία (%)	Όφελος (€)	Αξιοπιστία (%)
0,21	-81.343.852,58 €	14,3%	-81.343.852,58 €	14,3%
0,22	-90.568.079,74 €	14,1%	-90.568.079,74 €	14,1%
0,23	99.409.591,91 €	80,9%	99.674.103,58 €	80,4%
0,24	97.574.926,68 €	78,2%	99.180.795,90 €	78,7%
0,25	94.761.033,14 €	74,9%	98.409.859,96 €	75,8%
0,26	91.096.141,89 €	70,5%	96.198.461,45 €	72,6%
0,27	86.937.576,08 €	66,9%	93.222.235,78 €	69,3%
0,28	81.892.479,13 €	63,4%	89.576.775,97 €	66,3%
0,29	75.835.711,71 €	60,4%	84.928.630,91 €	63,3%
0,3	61.079.215 €	54,0%	79.626.243,07 €	60,5%

Πίνακας 7.7 Όφελος και αξιοπιστία συστήματος για 4 ώρες άντληση				
E(GWh)	z _κ = 1150 m		z _κ = 1165 m	
	Όφελος (€)	Αξιοπιστία (%)	Όφελος (€)	Αξιοπιστία (%)
0,26	-100.728.871,81 €	14,3%	-	-
0,27	-109.755.489,25 €	14,2%	-	-
0,28	-116.022.227,79 €	14,9%	-135.675.763,13 €	16,2%
0,29	113.526.917,60 €	77,2%	-89.722.930,45 €	28,8%
0,3	109.517.500,44 €	72,6%	114.617.414,15 €	74,6%
0,31	104.531.728,11 €	67,9%	112.189.942,13 €	71,2%
0,32	99.467.717,14 €	63,8%	108.454.550,12 €	67,9%
0,33	93.704.466,35 €	60,3%	103.944.072,43 €	64,5%
0,34	87.882.826,78 €	57,1%	99.698.468,23 €	60,8%
-	-	-	-	-

Πίνακας 7.8 Όφελος και αξιοπιστία συστήματος για 5 ώρες άντληση				
E(GWh)	z _κ = 1150 m		z _κ = 1165 m	
	Όφελος (€)	Αξιοπιστία (%)	Όφελος (€)	Αξιοπιστία (%)
0,3	-159.557.187,40 €	14,9%	-159.557.187,40 €	14,9%
0,31	9.439.862,69 €	57,6%	9.439.862,69 €	57,6%
0,32	102.839.018,28 €	76,2%	102.839.018,28 €	76,2%
0,33	105.757.644,23 €	74,2%	127.801.697,27 €	79,4%
0,34	-224.945.448,10 €	7,9%	133.050.011,28 €	75,2%
0,35	122.183.317,77 €	68,1%	130.581.406,26 €	71,5%
0,36	116.692.222,82 €	64,1%	-135.469.130,44 €	25,7%
0,37	110.793.347,70 €	60,2%	-254.495.278,22 €	7,2%
0,38	104.460.652,84 €	56,9%	-154.808.441,01 €	23,1%
-	-	-	-	-

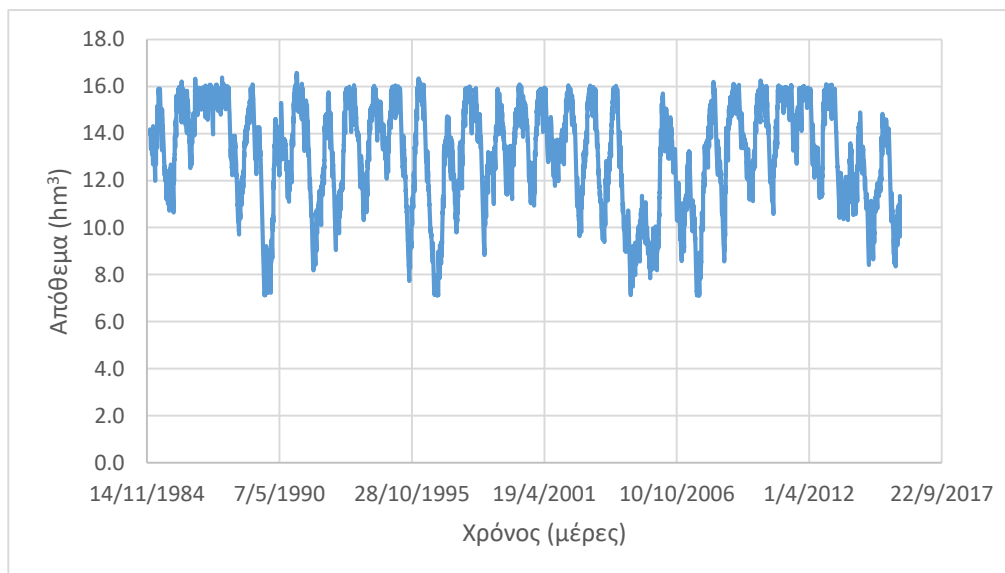
Για την πληρέστερη κατανόηση του υβριδικού συστήματος, παρατίθενται τα διαγράμματα του αποθέματος της προσφορότερης λύσης για κάθε ώρα άντλησης, δηλαδή του στόχου που δίνει το υψηλότερο όφελος και την αξιοπιστία. Όπως φαίνεται και από τους ανωτέρω πίνακες, τα μεγέθη αυτά δεν έχουν κάποια ουσιαστική διαφορά για τις 2 στάθμες που εξετάζονται, για αυτό παρουσιάζεται η περίπτωση κατώτερης στάθμης στα z_κ = 1165 m.

Πίνακας 7.9 2 ώρες άντληση για κατώτερη στάθμη +1165 m	
Ημερήσιος στόχος παραγωγής ενέργειας (GWh)	0,2
Όφελος	80.556.274,29 €
Αξιοπιστία	76,8%
Κατώτατη στάθμη λειτουργίας	1165,00



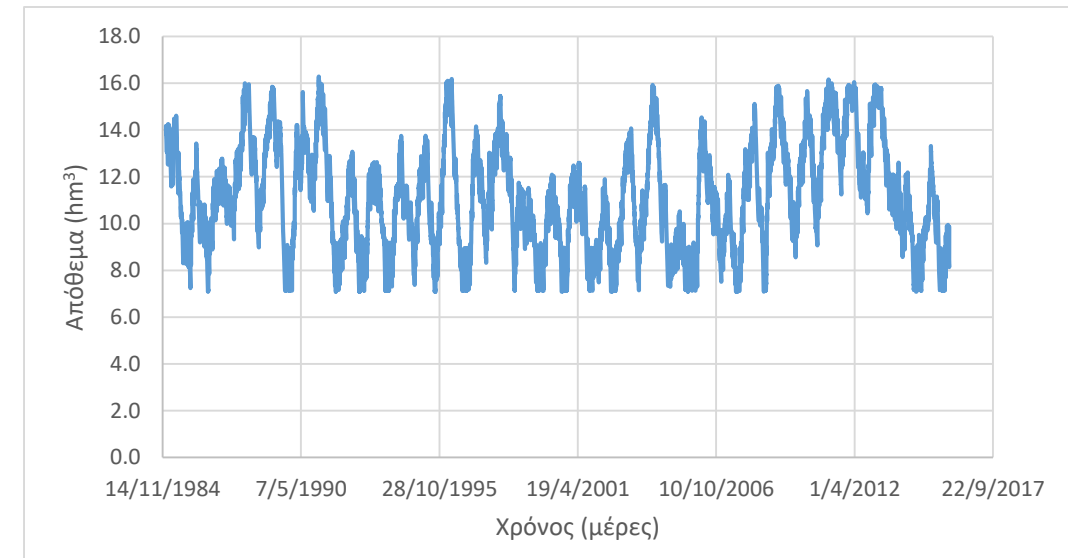
Διάγραμμα 7.5 Διακύμανση αποθέματος για 2 ώρες άντληση από τη στάθμη των 1165 m

Πίνακας 7.10 3 ώρες άντληση για κατώτερη στάθμη +1165 m	
Ημερήσιος στόχος παραγωγής ενέργειας (GWh)	0,23
Όφελος	99.674.103,58 €
Αξιοπιστία	80,392%
Κατώτατη στάθμη λειτουργίας	1165,00



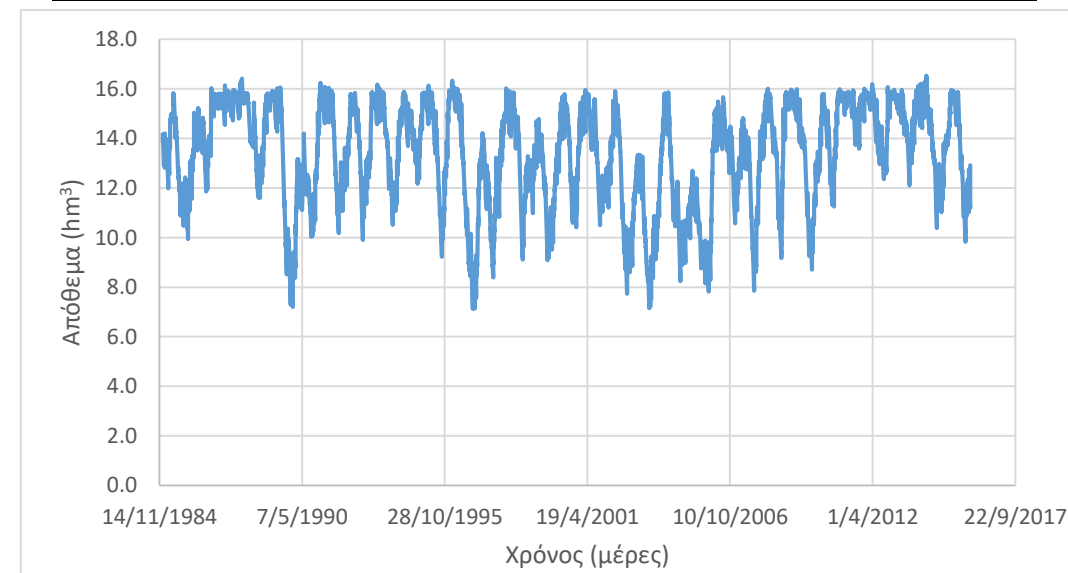
Διάγραμμα 7.6 Διακύμανση αποθέματος για 3 ώρες άντληση από τη στάθμη των 1165 m

Πίνακας 7.11 4 ώρες άντληση για κατώτερη στάθμη +1165 m	
Ημερήσιος στόχος παραγωγής ενέργειας (GWh)	0,3
Όφελος	114.617.414,15 €
Αξιοπιστία	74,589%
Κατώτατη στάθμη λειτουργίας	1165,00



Διάγραμμα 7.7 Διακύμανση αποθέματος για 4 ώρες άντληση από τη στάθμη των 1165 m

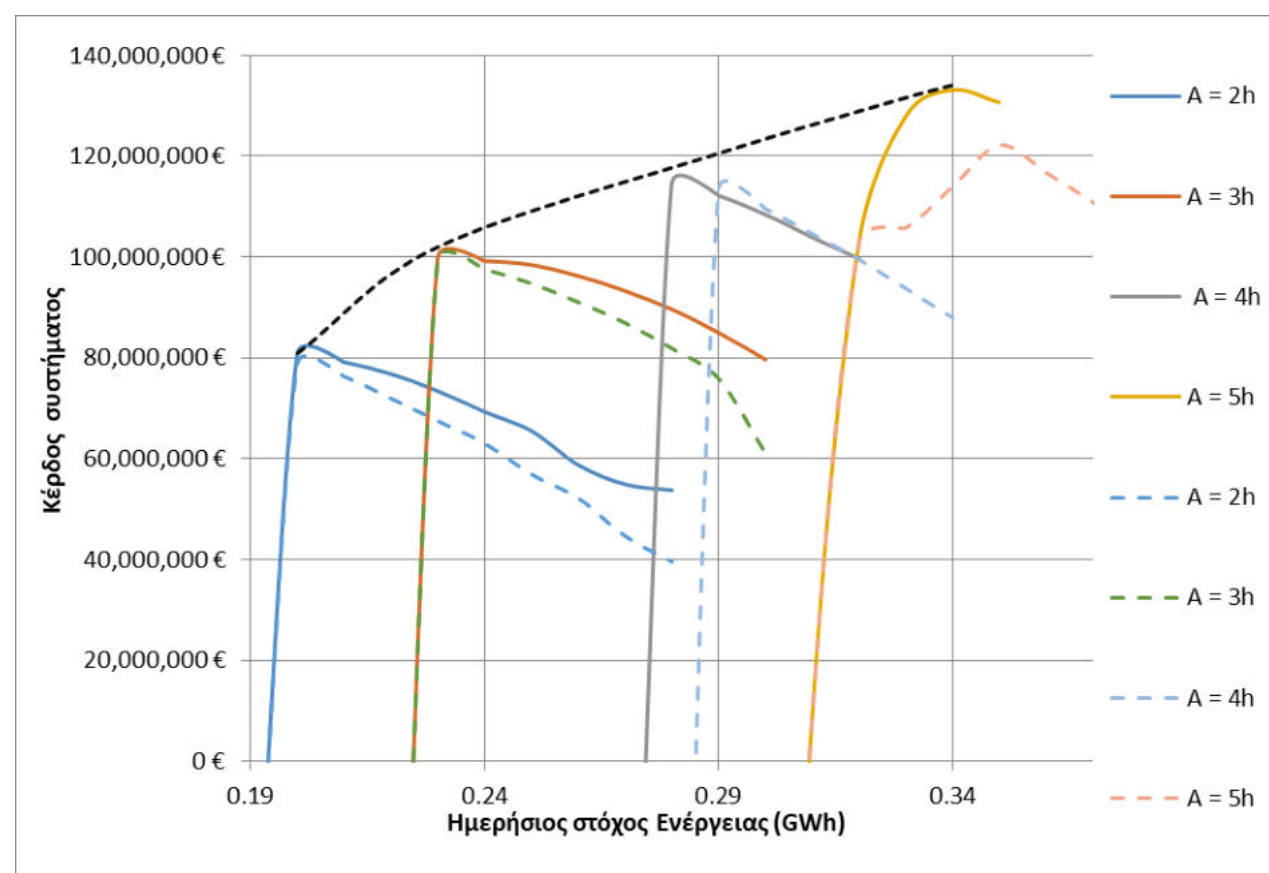
Πίνακας 7.12 5 ώρες άντληση για κατώτερη στάθμη +1165 m	
Ημερήσιος στόχος παραγωγής ενέργειας (GWh)	0,33
Όφελος	127.801.697,27 €
Αξιοπιστία	79,447%
Κατώτατη στάθμη λειτουργίας	1165,00



Διάγραμμα 7.8 Διακύμανση αποθέματος για 5 ώρες άντληση από τη στάθμη των 1165 m

7.7 Αξιολόγηση - αποτίμηση αποτελεσμάτων

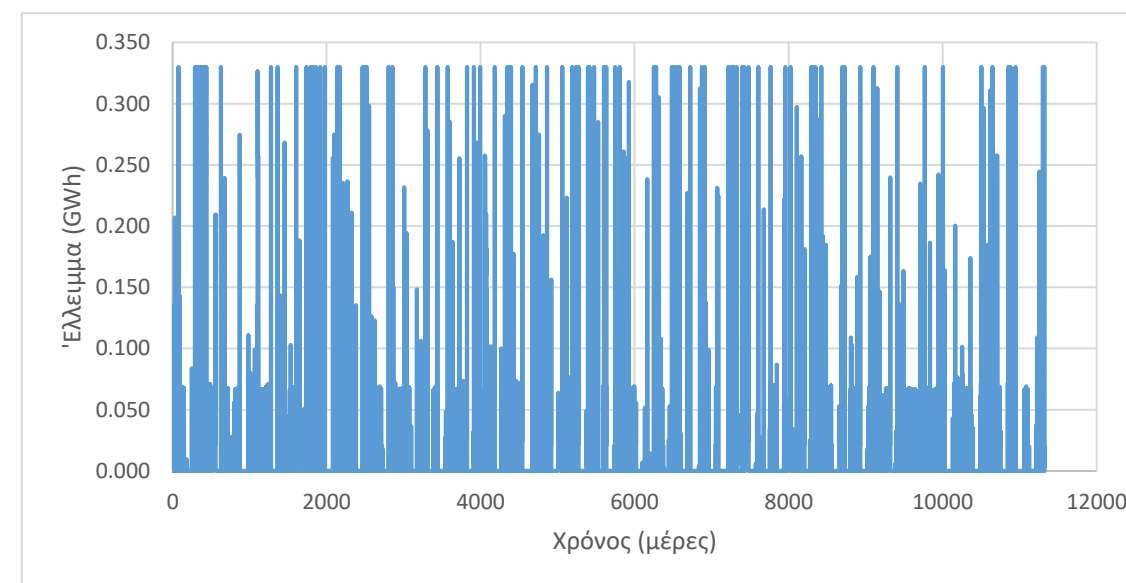
Από την παραπάνω ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το βέλτιστο ζεύγος (P, A) είναι το (0,33, 5), δηλαδή το μέγιστο όφελος προκύπτει για ημερήσιο στόχο ενέργειας P = 0,33 GWh για 5 ώρες άντλησης. Για παραπάνω ώρες άντλησης, το μέσο έλλειμμα είναι σταθερά μεγαλύτερο της παραγωγής ενέργειας, που σημαίνει ότι δεν υπάρχει κέρδος, γεγονός που καθιστά τις 5 ώρες ως βέλτιστη διάρκεια άντλησης. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι καμπύλες κέρδους – στόχου για ώρες άντλησης 2 h, 3 h, 4 h και 5 h για τις δύο κατώτατες στάθμες που έχουν αναφερθεί. Με συνεχόμενη γραμμή αποτυπώνεται η στάθμη των +1165 m, ενώ με διακεκομμένη η στάθμη των +1150 m. Τέλος, σχεδιάζεται (με μαύρη γραμμή) η περιβάλλουσα του κέρδους του συστήματος, δηλαδή η καμπύλη που περιγράφει τη σχέση κέρδους – στόχου για όλες τις δυνατές ώρες αντλήσεων έχοντας μέγιστο στη βέλτιστη, για το σύστημα, λύση.



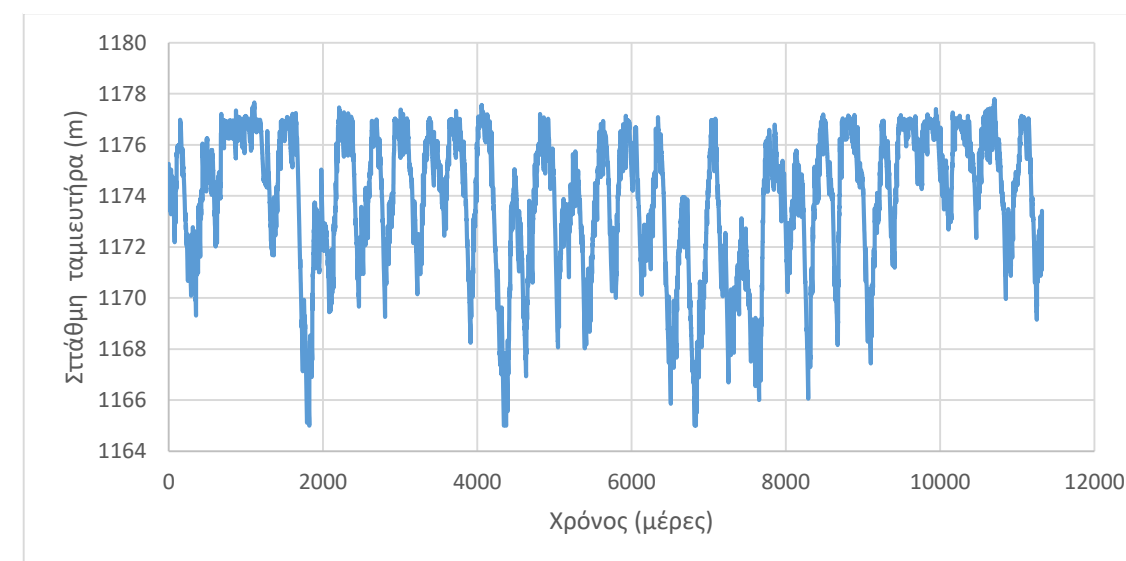
Διάγραμμα 7.9 Καμπύλες στόχου-κέρδους για 2 h, 3 h, 4 h, 5 h άντλησης

Άρα, για 5 ώρες άντλησης και ημερήσιο στόχο 0,33 GWh, το όφελος ανέρχεται στα 127.801.698 € και η αξιοπιστία του συστήματος είναι 80%. Παρακάτω, φαίνονται διαγραμματικά τα εξής μεγέθη του συστήματος:

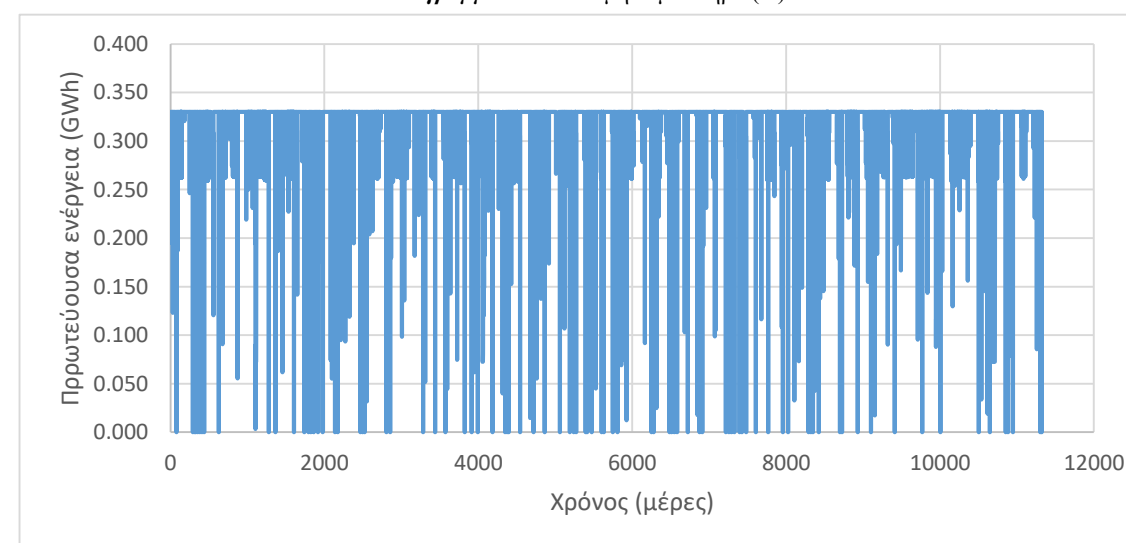
- Πρωτεύουσα ενέργεια (GWh)
- Στάθμη ταμιευτήρα (m)
- Έλλειμμα (GWh)



Διάγραμμα 7.10 Πρωτεύουσα ενέργεια που παράγεται ημερησίως (GWh)



Διάγραμμα 7.11 Στάθμη ταμιευτήρα (m)



Διάγραμμα 7.12 Ημερήσιο έλλειμμα συστήματος (GWh)

7.8 Όφελος κατά την λειτουργία

Σύμφωνα με τις τιμές πώλησης πρωτεύουσας και δευτερεύουσας ενέργειας, καθώς και τη ρήτρα ελλείμματος, για τα οποία έχει γίνει αναφορά στην Ενότητα 7.4.5 (βλ. Στόχος παραγωγής ενέργειας), το όφελος του συστήματος μόνο από το υδροηλεκτρικό έργο ανέρχεται στα 128.500.000 € για τα 30 χρόνια για τα οποία τελέστηκε η προσομοίωση, ποσό που ισοδυναμεί σε κέρδος 4.280.000 € σε ετήσια βάση. Το καθαρό κέρδος που αποφέρει το σύστημα από την ύδρευση και την άρδευση ανέρχεται στα 244.000 € ετησίως, έχοντας συμπεριλάβει και τα ελλείμματα αυτών. Τέλος, από το αιολικό και το φωτοβολταϊκό πάρκο παράγονται 210 GWh ετησίως, οι οποίες με τιμή πώλησης 70.000 €/GWh ισοδυναμούν με όφελος 14.730.000 € ετησίως.

Ακολουθεί η εκτίμηση της διάρκειας ζωής των επιμέρους έργων με σκοπό τον υπολογισμό του συνολικού οφέλους του συστήματος μέχρι το πέρας της ζωής του.

Αναμενόμενη διάρκεια ζωής Υδροηλεκτρικού Σταθμού

Κατά κανόνα, τα φράγματα και τα έργα ελέγχου πληρούν τις απαιτούμενες προδιαγραφές για χρονικό διάστημα ενός αιώνα και πλέον, με περιορισμένες επισκευές. Επομένως, και στο υπό μελέτη έργο θεωρούνται ως διάρκεια ζωής τα 100 έτη.

Αναμενόμενη διάρκεια ζωής Αιολικού Πάρκου

Η κύρια παράμετρος που καθορίζει τη διάρκεια ζωής του αιολικού πάρκου είναι η διάρκεια ζωής του κυρίως εξοπλισμού, δηλαδή των ανεμογεννητριών και των υποσταθμών ανύψωσης τάσεως. Αναφορικά με τις ανεμογεννήτριες, η διαστασιολόγησή τους έχει γίνει ώστε να εξασφαλίζεται διάρκεια ζωής τουλάχιστον 20-25 ετών. Συνεπώς, ως αναμενόμενη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης παραγωγής θεωρούνται με ασφάλεια τα 20 έτη.

Αναμενόμενη διάρκεια ζωής Φωτοβολταϊκού Πάρκου

Το φωτοβολταϊκό πάρκο που θα χωροθετηθεί στο Οροπέδιο Λασιθίου θα αποτελείται από σύγχρονες πρώτες ύλες, με τις επικαλυπτικές ουσίες να μην αποχρωματίζονται και τις πιο εύκολες κορδέλες να μην ασκούν μεγάλη πίεση στους δεσμούς συγκόλλησης και τις ηλιακές κυψέλες. Η διάρκεια ζωής των παλαιότερων πάνελ εκτιμάται περί τα 20-25 έτη, ενώ με την πάροδο του χρόνου δουλεύουν με χαμηλότερη απόδοση. Ωστόσο, τα πάνελ της προκειμένης μελέτης είναι σύγχρονης τεχνολογίας, εκτιμάται ότι μπορεί να διαρκέσουν έως και 40 χρόνια. Υπερ της ασφαλείας θεωρείται, τελικά, διάρκεια ζωής ίση με 30 έτη.

Τέλος, να σημειωθεί ότι ορίζεται ποσοστό της τάξης του 3% ως αποδοτικό όφελος στα μέλη της τοπικής κοινωνίας που θα φιλοξενήσει το έργο. Δηλαδή, το 3% του κέρδους του συστήματος θα διανεμηθεί στους ντόπιους κατοίκους των οροπέδιων Λασιθίου και Καθαρού, αλλά και της ευρύτερης δημοτικής ενότητας.

Στον παρακάτω Πίνακα 7.13 παρουσιάζεται το κέρδος του συστήματος σε ετήσια κλίμακα και ενδεικτικά για 20 χρόνια λειτουργίας του υβριδικού συστήματος.

Έτη	Υδροηλεκτρική Ενέργεια	Ύδρευση - Άρδευση	Αιολικό - Φωτοβολταϊκό Πάρκο	Ανταποδοτικά Οφέλη (3%)	Συνολικό Όφελος
1 έτος	4.280.000,00 €	244.000,00 €	14.730.000,00 €	577.620,00 €	18.676.380,00 €
20 έτη	85.600.000,00 €	4.880.000,00 €	294.600.000,00 €	11.552.400,00 €	373.527.600,00 €

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Ενδεικτικός προϋπολογισμός φράγματος και συνοδών έργων

Ο ενδεικτικός προϋπολογισμός του φράγματος καταρτίστηκε με βάση τον Κανονισμό Περιγραφικών Τιμολογίων Εργασιών, όπως αυτός εφαρμόζεται από τις αναθέτουσες αρχές κατά τη διαδικασία ανάθεσης δημοσίων συμβάσεων έργων, σύμφωνα με το ΦΕΚ Β' 1746/19-05-2017. Για την κοστολόγηση του έργου αξιοποιήθηκαν οι παρακάτω κατηγορίες πινάκων των αναλυτικών τιμολογίων:

- Πίνακας Τιμών Εργασιών Υδραυλικών Έργων, Χωμάτων και Λιθόρριπτων Φραγμάτων, και Υδραυλικών Σηράγγων
- Πίνακας Τιμών Έργων Οδοποιίας
- Πίνακας Τιμών Οικοδομικών Έργων
- Πίνακας Τιμών Έργων Πρασίνου
- Πίνακας Τιμών Ηλεκτρομηχανολογικών Εργασιών (Υδραυλικών Έργων)

Ο Κανονισμός Περιγραφικών Τιμολογίων Εργασιών αποτελείται από τα περιγραφικά τιμολόγια και τους πίνακες τιμών μονάδας των αντίστοιχων άρθρων των περιγραφικών αυτών τιμολογίων. Για την κατάρτιση του ενδεικτικού προϋπολογισμού πραγματοποιήθηκε χονδροειδής επιμέτρηση της ποσότητας των κοστολογούμενων μεγεθών.

Πίνακας 8.1						
Ενδεικτικός προϋπολογισμός φράγματος και συνοδών έργων						
A.T.	Εργασία	Μονάδα	Αναθεώρηση	Τιμή (€)	Ποσότητα	Δαπάνη (€)
ΟΜΑΔΑ Α : Χωματουργικά, Αντιμετώπιση υδάτων, Αντιστηρίξεις, Έργα προστασίας κόιτης και πρανών						
A.1	Εκτροπή - Έλεγχος και Απομάκρυνση υδάτων					
A.1.1	Εκτροπή και έλεγχος υδάτων του ποταμού	κ.α	50%ΥΔΡ 6051 +50%ΥΔΡ7003	60.000	1	60.000,00
A.1.2	Αποστράγγιση, απομάκρυνση και έλεγχος υδάτων κατά την διάρκεια κατασκευής των έργων	κ.α	ΥΔΡ 6109	80.000	1	80.000,00
A.2	Αποψίλωση και εκχέρσωση	στρ	ΥΔΡ 6051	143,00	2.100	300.300,00
A.3	Εκσκαφές θεμελίωσης φράγματος					
A.3.1	Εκσκαφές θεμελίωσης φράγματος - κοινές (γιαώδεις-ημιβραχώδεις)	κ.μ.	ΥΔΡ 6061	0,48	194.040	93.139,20
	Εκσκαφές θεμελίωσης φράγματος - βράχου	κ.μ.	ΥΔΡ 6062	2,40	129.360	310.464,00
A.4	Εκσκαφές υπαίθριων τεχνικών έργων φράγματος					
A.4.1	Εκσκαφές υπαίθριων τεχνικών έργων - κοινές (γιαώδεις-ημιβραχώδεις)	κ.μ.	ΥΔΡ 6061	0,67	4.500	3.015,00
A.5	Ράβδοι αγκύρωσης διαμέτρου Φ25	μ.μ.	ΥΔΡ 7025	10,00	8.000	80.000,00
A.6	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε υπαίθρια έργα	κ.μ.	ΥΔΡ 7017.8	76,00	2.000	152.000,00
A.7	Δομικό πλέγμα σε υπαίθρια έργα	χγρ	ΥΔΡ 7018	0,85	65.000	55.250,00
A.13	Εκσκαφές για έργα οδών μετά της μεταφοράς σε οποιαδήποτε απόσταση					
A.13.1	σε έδαφος γαιώδες ή ημιβραχώδεις	κ.μ.	ΟΔΟ 1123.Α	3,60	24.000	86.400,00
A.15	Κατασκευή επιχωμάτων οδού	κ.μ.	ΟΔΟ 1530	0,94	24.000	22.560,00
A.16	Προμήθεια αμμοχάλικου επίστρωσης αγροτικών οδών	κ.μ	ΥΔΡ 6251	3,50	1.300	4.550,00
A.17	Επιστρώσεις αγροτικών οδών με αμμοχάλικα υλικά	κ.μ	ΥΔΡ 6253	0,90	1.300	1.170,00
A.18	Υπόβαση οδοστρώσεως συμπακνωμένου πάχους 0,10 μ.	κ.μ.	ΟΔΟ 3111Β	0,90	24.000	21.600,00
					24.000	
A.19	Βάση οδοστρώσεως πάχους 0,10 μ.	τ.μ.	ΟΔΟ 3211Β	1,00	24.000	24.000,00
A.20	Κατασκευή ερεισμάτων	κ.μ.	ΟΔΟ 3311Β	15,00	3.250	48.750,00

A.21	Αποκατάσταση ασφαλτικών οδοστρωμάτων	τ.μ.	ΟΔΟ 4521Β	17,00	87.500	1.487.500,00
A.22	Ασφαλτική προεπάληψη οδού	τ.μ.	ΟΔΟ 4110	1,08	10.400	11.232,00
					10.400	
A.23	Ασφαλτική συγκολλητική επάλειψη οδού	τ.μ.	ΟΔΟ 4120	0,36	10.400	3.744,00
					10.400	
A.24	Ασφαλτική στρώση βάσης οδού πάχους 0,05 μ.	τ.μ.	ΟΔΟ 4321Β	6,00	10.400	62.400,00
					10.400	
A.25	Ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας οδού πάχους 0,05 μ.	τ.μ.	ΟΔΟ 4521Β	6,10	10.400	63.440,00
A.26	Ακαμπτα μεταλλικά στηθαία ασφαλείας τεχνικών έργων τύπου ΣΤΕ-1	χγρ	ΟΔΟ 2653	1,98	9.000	17.820,00
A.27	Μονόπλευρο χαλύβδινο στηθαίο ασφαλείας οδού τύπου ΜΣΟ-1	μ.μ.	ΟΔΟ 2653	20,20	1.700	34.340,00
A.28	Πληροφοριακές πινακίδες πλήρως αντανακλαστικές με αναγραφές και σύμβολα από μεμβράνη υψηλής ανταν/τας τύπου Π	τ.μ.	ΟΙΚ 6541	118,10	5	590,50
A.29	Πινακίδες ρυθμιστικές και ένδειξης επικινδύνων θέσεων υψηλής αντανακλαστικότητας					
A.29.1	πλευράς 0,90μ απλής όψης	τεμ.	ΟΙΚ 6541	46,95	30	1.408,50
					8	
A.29.2	μεσαίου μεγέθους απλής όψης	τεμ.	ΟΙΚ 6541	46,96	8	375,68
A.30	Στόλος πινακίδων από γαλβανισμένο σιδηρ/να 1 1/2"	τεμ.	ΟΔΟ 2653	25,60	30	768,00
A.31	Στόλος πινακίδων από γαλβανισμένο σιδηρ/λήνα 3"	τεμ.	ΟΔΟ 2653	46,85	8	374,80
A.32	Τελική διαγράμμιση οδοστρώματος	τ.μ.	ΟΙΚ 7788	5,75	4.150	23.862,50
A.33	Επένδυση πρανών με φυτική γη	τ.μ.	ΟΔΟ 1610	0,61	36.800	22.448,00
A.35	Δένδρα : Ψευδακακία ύψους 1,40 ~ 1,60 μ	τεμ.	ΠΡΣ 5210	5,25	300	1.575,00
A.36	Φύτευση φυτών με μπάλα χώματος από 2-4 λτρ	τεμ.	ΠΡΣ 5210	1,00	300	300,00
A.37	Ανοιγμα λάκκων με εργάτες διαστάσεων 0,50x0,50x0,50μ	τεμ.	ΠΡΣ 5120	1,50	300	450,00
A.39	Αποκατάσταση δανειοθαλάμων	κ.α.	20%ΟΔΟ 1120, 70%ΠΡΣ 5210, 10%ΠΡΣ 5311	50.000,00	1	50.000,00
						Άθροισμα Ομάδας Α
						1.905.258,98
ΟΜΑΔΑ Β : Σκυροδέματα, Οικοδομικές εργασίες						
B.1	Σκυροδέματα υπαίθριων έργων					
B.1.2	Για κατασκευές από Σκυρόδεμα C8/10	κ.μ.	ΥΔΡ 6323	53,00	300	15.900,00
B.1.3	Για κατασκευές από Σκυρόδεμα C12/15	κ.μ.	ΥΔΡ 6326	67,50	1.400	94.500,00
B.1.4	Για κατασκευές από Σκυρόδεμα C16/20	κ.μ.	ΥΔΡ 6328	82,50	9.100	750.750,00
B.1.5	Για κατασκευές από Σκυρόδεμα C20/25	κ.μ.	ΥΔΡ 6329	88,00	4.100	360.800,00
B.3	Μανδύας στεγανότητας από σκυρόδεμα C16/20	κ.μ.	ΥΔΡ 6327	85,00	13.500	1.147.500,00
B.4	Προκατασκευασμένα τεμάχια από οπλισμένο σκυρόδεμα					
B.4.1	Βαθμίδων υπερχείλιση από οπλισμένο σκυρόδεμα C20/25	τεμ.	ΥΔΡ 6329	455,00	210	95.550,00
B.5	Προμήθεια και τοποθέτηση οπλισμού σκυροδεμάτων	χγρ	ΥΔΡ 6311	0,90	1.500.000	1.350.000,00
B.6	Πόμα εμφράξης αγωγού εκτροπής	κ.α.	ΥΔΡ 7104	27,500	1	27.500,00
B.7	Μόνωση επιφάνειας σκυροδέματος με ασφαλτικό υλικό	τ.μ.	ΟΔΟ 2411	1,50	45.000	67.500,00

B.8	Ταινίες στεγανοποίησης αρμών από ελαστικό, πλάτους 24 cm, 2 διογκώσεις	μ.μ.	ΥΔΡ 6373	16,00	2.100	33.600,00
B.14	Κιγκλιδώματα από σιδηροσωλήνες	μ.μ.	ΥΔΡ 6810	60,00	1.860	111.600,00
B.19	Φρεάτιο υδροσυλλογής τύπου ΦΙΝ(ΠΚΕ)	τεμ.	ΟΔΟ 2548	341,00	12	4.092,00
B.20	Αποπεράτωση οικοδομικών εργασιών κτιρίου ελέγχου	τεμ.	15% ΟΙΚ 4633 20% ΟΙΚ 7163 20% ΟΙΚ 7367 20% ΟΙΚ 6224 25% ΟΙΚ 7931	42.500	1	42.500,00
				Άθροισμα Ομάδας Β		4.101.792,00
ΟΜΑΔΑ Γ : Διατρήσεις - Τιμμεντέσεις και Αποστραγγίσεις φραγμάτων, Σωληνώσεις						
Γ.1	Κινητοποίηση και αποκινητοποίηση εξοπλισμού	κ.α.	50%ΥΔΡ 7119.1 & 50%ΥΔΡ 7119.2	14.000,000	1	14.000,00
Γ.2	Εγκατάσταση εξοπλισμού διάτρησης οπών σε υπαίθριους χώρους	τεμ.	ΥΔΡ 7119.2	11,70	1.500	17.550,00
Γ.3	Περιτροφική διάτρηση οπών τιμμεντέσεων κουρτίνας 76 χλστ					
Γ.3.1	βάθους μέχρι 25,0 μέτρα	μ.μ.	ΥΔΡ 7107.1	30,00	750	22.500,00
Γ.3.2	βάθους 25,0 μέχρι 50,0 μέτρα	μ.μ.	ΥΔΡ 7107.1	35,00	250	8.750,00
Γ.4	Περιτροφική διάτρηση ερευνητικών οπών και οπών ελέγχου 76 χλστ					
Γ.4.1	βάθους μέχρι 25,0 μέτρα	μ.μ.	ΥΔΡ 7107.1	40,00	750	30.000,00
Γ.4.2	βάθους 25,0 μέχρι 50,0 μέτρα	μ.μ.	ΥΔΡ 7107.1	45,00	330	14.850,00
Γ.5	Περιτροφική διάτρηση οπών αποστράγγισης 76 mm βάθους 0-25 m	μ.μ.	ΥΔΡ 7107.1	23,50	2.000	47.000,00
Γ.6	Περιτροφική διάτρηση οπών τιμμεντέσεων 76 mm για τιμμεντέσεις τάπητα	μ.μ.	ΥΔΡ 7107.1	21,50	2.000	43.000,00
Γ.7	Περιτροφική διάτρηση οπών Φ101 χλστ για εγκατάσταση οργάνων, βάθους μέχρι 25 μ.	μ.μ.	ΥΔΡ 7107.1	40,50	800	32.400,00
Γ.9	Τιμμεντέσεις πίεσης	κ.μ.	ΥΔΡ 7104	58,50	500	29.250,00
Γ.10	Προμήθεια και ενσωμάτωση μπεντονίτη για τιμμεντέσεις	χγρ	ΥΔΡ 7107.1	0,13	40.000	5.200,00
Γ.11	Προμήθεια και διακίνηση τσιμέντου για τιμμεντέσεις	τον.	ΟΔΟ 3222	90,00	375	33.750,00
Γ.14	Αγωγός στραγγίσεως μανδύα στεγανώσεως από διάτρητους πλαστικούς σωλήνες D200 χλστ.	μ.μ.	ΥΔΡ 6711.2	20,00	5.000	100.000,00
Γ.15	Συλλεκτήριος αγωγός στραγγίσεως μανδύα στεγανώσεως φράγματος από πλαστικούς σωλήνες D630 χλστ.	μ.μ.	ΥΔΡ 6711.7	95,00	1.000	95.000,00
				Άθροισμα Ομάδας Γ		493.250,00
ΟΜΑΔΑ Δ : Ανάχωμα φράγματος - Συμπυκνωμένη επίχωση, Λιθορριπές						
Δ.1	Σκληρό επίχωμα φράγματος	κ.μ.	ΥΔΡ 6323	22,50	1.185.000	26.662.500,00
Δ.4	Προστασία κοίτης και πριανόν με λιθορριπές					
Δ.4.1	με λίθους λατομείου βάρους μέχρι 20 χγρ	κ.μ.	ΥΔΡ 6157	12,50	250	3.125,00
Δ.4.2	με λίθους λατομείου βάρους 100 ~ 200 χγρ	κ.μ.	ΥΔΡ 6158	14,50	1.700	24.650,00

				Άθροισμα Ομάδας Δ		26.690.275,00
ΟΜΑΔΑ Ε : Όργανα και συσκευές παρακολούθησης φράγματος						
E.1	Κατασκευή βάθρων τριγωνομετρικών σημείων	τεμ.	ΥΔΡ 7113	180,00	2	360,00
E.2	Κατασκευή βάθρων μέτρησης επιφανειακών μετακινήσεων	τεμ.	ΥΔΡ 7113	90,00	3	270,00
E.3	Κλισιόμετρα (Συσκευές ελέγχου πλευρικής μετακίνησης)	μ.μ.	ΥΔΡ 7113	67,50	90	6.075,00
E.4	Επιταχυνσιογράφος εξισορρόπησης δύναμης	τεμ.	ΥΔΡ 7113	12.960,00	4	51.840,00
E.5	Απλό εκκρεμές μέτρησης μετατοπίσεων φράγματος	τεμ.	ΥΔΡ 7113	7.000,00	2	14.000,00
E.6	Ανεστραμμένο εκκρεμές μέτρησης μετατοπίσεων φράγματος	τεμ.	ΥΔΡ 7113	7.500,00	2	15.000,00
E.7	Μηκυσιόμετρα					
E.7.1	5 σημείων μήκους 40 μ.	τεμ.	ΥΔΡ 7113	6.500,00	2	13.000,00
E.7.2	5 σημείων μήκους 50 μ.	τεμ.	ΥΔΡ 7113	7.000,00	2	14.000,00
E.8	Όργανο μετρήσεως ανοίγματος ρωγμών	τεμ.	ΥΔΡ 7113	600,00	2	1.200,00
E.9	Φορητό μονοαξονικό όργανο μετρήσεως ανοίγματος ρωγμών	τεμ.	ΥΔΡ 7113	2.260,00	2	4.520,00
E.10	Εξοπλισμός αρμών για μέτρηση ανοίγματος ρωγμών με φορητό μονοαξονικό όργανο	Ζεύγη	ΥΔΡ 7113	50,00	10	500,00
E.11	Όργανο δονούμενης χορδής για μέτρηση μονοδιάστατων μετατοπίσεων	τεμ.	ΥΔΡ 7113	2.500,00	5	12.500,00
E.12	Πιεζομετρική κυψέλη δονούμενης χορδής με φίλτρο μπρούντζου	τεμ.	ΥΔΡ 7113	950,00	15	14.250,00
E.13	Πιεζομετρική κυψέλη δονούμενης χορδής με φίλτρο κεραμικό	τεμ.	ΥΔΡ 7113	1.700,00	8	13.600,00
E.14	Διάταξη μέτρησης της πίεσης στον περιμετρικό αρμό του μανδύα	τεμ.	ΥΔΡ 7113	2.865,00	6	17.190,00
E.15	Συσκευή μέτρησης θερμοκρασίας σκληρού επιχώματος	τεμ.	ΗΛΜ 26	220,00	35	7.700,00
E.16	Σταθμηγράφος μέτρησης μεταβολής στάθμης ταμειυτήρα	τεμ.	ΥΔΡ 7113	6.500,00	1	6.500,00
E.17	Φρεάτιο μετρήσεως διηθήσεων	τεμ.	ΥΔΡ 7113	1.200,00	1	1.200,00
E.18	Εξοπλισμός κέντρου ελέγχων μετρήσεων	τεμ.	ΥΔΡ 7113	22.500,00	1	22.500,00
E.19	Αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός	τεμ.	ΗΛΜ 62	15.750,00	1	15.750,00
				Άθροισμα Ομάδας Ε		231.955,00
ΟΜΑΔΑ ΣΤ : Ηλεκτρομηχανολογικές εργασίες, Επικοινωνιακά συστήματα, Φωτιστικές εργασίες						
ΣΤ.1	Δικλειδα συρταρωτή με ωτίδες διαμέτρου 80 χλστ					
ΣΤ.1.1	ονομαστικής πίεσης 16 ατμ.	τεμ.	ΥΔΡ 6651.1	190,00	5	950,00
ΣΤ.1.2	ονομαστικής πίεσης 25 ατμ.	τεμ.	ΥΔΡ 6651.1	285,00	4	1.140,00
ΣΤ.2	Δικλειδα συρταρωτή με ωτίδες διαμέτρου 100 χλστ					
ΣΤ.2.1	ονομαστικής πίεσης 10 ατμ.	τεμ.	ΥΔΡ 6651.1	200,00	4	800,00
ΣΤ.2.2	ονομαστικής πίεσης 16 ατμ.	τεμ.	ΥΔΡ 6651.1	250,00	3	750,00

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις των Κύριων Έργων του Συστήματος

9.1 Εισαγωγή

Το υπό μελέτη έργο αποτελεί υβριδικό σύστημα, με πρωτεύοντα στόχο την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Όπως έχει αναφερθεί, ως στόχος ενέργειας ορίζονται οι 0,33 GWh ημερησίως, οι οποίες ισοδυναμούν με 120,5 GWh σε ετήσια βάση. Κάθε GWh που παράγεται από το υπό μελέτη έργο, και όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλων επικίνδυνων ρύπων σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 9.1 Αποφυγή παραγωγής ρύπων κατά την παραγωγή 120,5 GWh ετησίως από το υπό μελέτη έργο έναντι συμβατικών μεθόδων (Πηγή: Παράρτημα 1 του Οδηγού Αξιολόγησης Ενεργειακών Επενδύσεων Μέτρου 6.5 ΕΠΑΝ, Ιούλιος 2005)			
Ρύπος	GWh	tn ρύπου/GWh	Ρύπος (tn)
CO ₂	120,5	850	102.425,00
SO ₂	120,5	15,5	1.867,80
CO	120,5	0,18	0,32
NO _x	120,5	1,2	144,60
HC	120,5	0,05	6,03
Σωματίδια	120,5	0,8	96,40

Κάθε GWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το υπό μελέτη έργο αντισταθμίζει το ισοδύναμο των 850 tn CO₂, ανάλογα με το είδος του χρησιμοποιούμενου καυσίμου. Επίσης, αντισταθμίζει μέχρι και 15,5 tn SO₂, 1,2 tn NO_x και 0,8 tn σωματιδίων.

Σύμφωνα με την υπ' αριθμόν ΔΠΠΑ/οικ. 37674/27.07.2016 Υ.Α. (Φ.Ε.Κ. 2471/Β/10-8-2016), όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει, το υπό μελέτη έργο κατατάσσεται στις εξής ομάδες:

- Ομάδα 2^η – Υδραυλικά έργα
- Ομάδα 10^η - Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι η συνοπτική και κωδικοποιημένη περιγραφή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των σημαντικότερων έργων του συστήματος, ήτοι του υδροηλεκτρικού έργου, των ανεμογεννητριών και του φωτοβολταϊκού πάρκου, καθώς η πρόταση μέτρων αποφυγής και αντιμετώπισής τους.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αναμένονται αρνητικές αλλά ασθενείς σε μορφολογικά και τοπικά επίπεδα, όμως στο σύνολό του το έργο αναμένεται να έχει θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

9.2 Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις για τα τρία (3) βασικά έργα υποδομής που αφορούν τόσο τη φάση κατασκευής, όσο και τη φάση λειτουργίας, αντίστοιχα:

- Υδροηλεκτρικό Έργο
- Αιολικό Πάρκο
- Φωτοβολταϊκό Πάρκο

Πίνακας 9.2

Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Υδροηλεκτρικού Έργου κατά τη Φάση Κατασκευής

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ/ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ	ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ - ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ
Κλιματικά - Βιοκλιματικά χαρακτηριστικά	Η απόσταση του έργου από κατοικημένους οικισμούς και άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι παράγοντες που επιτρέπουν τον χαρακτηρισμό των επιπτώσεων στο <u>ατμοσφαιρικό περιβάλλον</u> ως αμελητέες κατά τη διάρκεια κατασκευής	ουδέτερες	Δεν απαιτείται η λήψη προληπτικών ή επανορθωτικών μέτρων προστασίας.
Μορφολογικά - τοπικά χαρακτηριστικά	1. Για την κατασκευή όλων των εγκαταστάσεων του υδροηλεκτρικού σταθμού θα πρέπει να απομακρυνθεί μέρος της <u>φυσικής βλάστησης</u> και επομένως θα επέλθει αλλοίωση του φυσικού τοπίου της περιοχής 2. Επιπτώσεις που σχετίζονται με την κυκλοφορία οχημάτων και μηχανημάτων που σχετίζονται με την κατασκευή, την <u>εκπομπή σκόνης</u> , την <u>απόθεση εκχωματισμών και αδρανών υλικών</u> και την μεταφορά και απόθεση υλικών κατασκευής	τοπικά μέτριες αρνητικές, μερικώς αντιμετωπίσιμες, βραχυχρόνιες και μερικώς αναστρέψιμες	1. Αποκατάσταση της βλάστησης, διατήρηση της κλίσης των πρανών σε επίπεδα κατάλληλα για την ανάπτυξη βλάστησης 2. Στην φάση κατασκευής θα πρέπει να λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα για την αποφυγή ρύπανσης των εδαφών τόσο από τους εργαζόμενους (αστικού τύπου απορρίμματα) όσο και από τα λειτουργούντα μηχανήματα (ρύπανση πετρελαιοειδών). Τα πετρελαιοειδή θα πρέπει να διαχειρίζονται σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία.
Γεωλογικά - τεκτονικά - εδαφολογικά χαρακτηριστικά	Το υπό μελέτη φράγμα θεμελιώνεται πάνω σε φλύσχη, οπότε <u>δεν απαιτούνται</u> μεγάλης κλίμακας <u>έργα στεγανοποίησης</u> . Οι συνθήκες ευστάθειας που επικρατούν είναι γενικά <u>καλές</u> . <u>Χαμηλός</u> κίνδυνος κατολισθήσεων.	ουδέτερες	Διατήρηση των φυσικών κλίσεων του εδάφους ώστε να μην υπάρξει αλλαγή στην απορροή των επιφανειακών υδάτων και λήψη μέτρων αποστράγγισης στην περίπτωση που συναντηθεί υδροφορία
Φυσικό περιβάλλον (Χλωρίδα, Πανίδα)	1. <u>Αποψίλωση</u> της παρόχθιας βλάστησης και κατάληψη της υφιστάμενης κοίτης 2. Αναμένονται μικρής έκτασης και έντασης <u>οχλήσεις στην πανίδα</u> από την εκτέλεση των κατασκευαστικών εργασιών	μέτριες αρνητικές, τοπικές, βραχυχρόνιες και μερικώς αναστρέψιμες.	1. Οι αποψιλώσεις της βλάστησης θα πρέπει να περιοριστούν στις απαραίτητες αναγκαίες. Λήψη κατάλληλων προληπτικών μέτρων αποφυγής πρόκλησης και αντιμετώπισης πυρκαγιάς. 2. Αποφυγή περιφράξεων περιοχών, όταν αυτό δεν είναι απολύτως αναγκαίο για λόγους ασφαλείας. Η λεκάνη κατάκλισης θα πρέπει να μείνει ελεύθερη από οποιαδήποτε περιφράξη στο μεγαλύτερο τμήμα του μήκους της.
Ανθρωπογενές περιβάλλον	Οι ανθρωπογενείς χρήσεις είναι περιορισμένες στην περιοχή μελέτης και σχετίζονται κυρίως με τις <u>κτηνοτροφικές δραστηριότητες</u> .	ασθενείς αρνητικές, περιορισμένης χρονικής διάρκειας και μερικώς αντιμετωπίσιμες	Οποιοσδήποτε χρήσεις γης θα κατακλυστούν από το υπό μελέτη έργο θα πρέπει να αποζημιωθούν ή αποκατασταθούν από το φορέα που θα κατασκευάσει το έργο.
Κοινωνικο-οικονομικές	1. Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας σε εργάτες και τεχνικό προσωπικό της περιοχής κατά τη φάση κατασκευής, <u>ενίσχυση τοπικής οικονομίας</u>	θετικές, βραχυχρόνιες και μακροχρόνιες	Λήψη απαιτούμενων μέτρων για την προστασία των εργαζομένων στην κατασκευή, όσο και για την προστασία των περίοικων.
Τεχνικές υποδομές	1. Προβλέπεται <u>μικρή αύξηση της κυκλοφορίας</u> λόγω της διακίνησης φορτηγών, εκσκαπτικών και δομικών μηχανημάτων και λόγω της μετακίνησης του προσωπικού, σε μικρή κλίμακα 2. <u>Βελτίωση υφιστάμενων τοπικών οδών και διάνοιξη νέας οδικής πρόσβασης</u> , για την πρόσβαση στην θέση της υδροληψίας - φράγματος και την πρόσβαση στην θέση του σταθμού παραγωγής	ασθενείς αρνητικές, μερικώς αντιμετωπίσιμες, βραχυχρόνιες, θετικές, μακροχρόνιες	Λήψη όλων των απαιτούμενων μέτρων για την διασφάλιση ότι δεν θα αποκοπούν προσβάσεις σε ιδιοκτησίες.
Ανθρωπογενείς πιέσεις	Η κατασκευή του έργου δεν σχετίζεται με την πιθανότητα υπέρμετρης ενίσχυσης μίας ή περισσότερων από τις ανθρωπογενείς πιέσεις στο περιβάλλον ή την πιθανότητα δημιουργίας νέων πιέσεων στο περιβάλλον.	ουδέτερες	
Ποιότητα του αέρα	Ρύπανση από αιωρούμενα σωματίδια (<u>σκόνη</u>), καθώς και <u>εκπομπές ρύπων</u> από τη λειτουργία μηχανημάτων και εξοπλισμού του εργοταξίου.	τοπικά μέτριες αρνητικές, τοπικές, βραχυχρόνιες και μερικώς αναστρέψιμες	Συχνή και περιοδική συντήρηση όλων των μηχανημάτων. Διαβροχή των αδρανών υλικών καθώς και κάλυψη των βαρέων οχημάτων μεταφοράς με κατάλληλο ύφασμα.
Θόρυβος - Δονήσεις	Σχετική επιβάρυνση του ακουστικού περιβάλλοντος στην άμεσα γειτνιάζουσα περιοχή, με <u>μικρή όμως ένταση</u> .	μέτριες αρνητικές, τοπικές, βραχυχρόνιες και μερικώς αντιμετωπίσιμες	1. Τμηματική ολοκλήρωση εργασιών 2. Τήρηση ορίων εκπεμπόμενων θορύβων 3. Χρήση κινητών ηχοπετασμάτων
Ηλεκτρομαγνητικά πεδία	Η κατασκευή του έργου δεν σχετίζεται με την παραγωγή ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων.	ουδέτερες	
Ύδατα (επιφανειακά, υπόγεια)	1. <u>Απορροές</u> από χώρους στάθμευσης εργοταξιακών οχημάτων (λιπαντικά κλπ) [επιφανειακά] 2. Πιθανή <u>απαίτηση άντλησης</u> ή αλλαγή της κίνησης των υπόγειων νερών [υπόγεια]	ουδέτερες, ασθενείς αρνητικές, τοπικά περιορισμένες, βραχυχρόνιες, μερικώς αντιμετωπίσιμες, μερικώς αναστρέψιμες	Απορρόφηση από τα ανώτερα εδαφικά στρώματα πριν προλάβουν να διηθηθούν σε μεγαλύτερο βάθος. Όλα τα απόβλητα και απορρίμματα που θα παράγονται κατά την κατασκευή του έργου θα συλλέγονται και θα τυγχάνουν κατάλληλης διαχείρισης.
Στερεοαπορροή	Δεν θα υπάρξει περίοδος που δε θα αποδίδεται στα κατάντη η στερεοαπορροή.	ουδέτερες, βραχυπρόθεσμες, αντιστρέψιμες και μερικώς αντιμετωπίσιμες	Τμηματικά η κατασκευή του φράγματος επί του ρέματος

Πίνακας 9.3
Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Υδροηλεκτρικού Έργου κατά τη Φάση Λειτουργίας

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ/ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ	ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ - ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ
Κλιματικά – Βιοκλιματικά χαρακτηριστικά	Κάθε GWh που παράγεται έργο, και όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την <u>αποφυγή έκλυσης εκπομπών CO₂ και άλλων επικίνδυνων ρύπων (NO_x, CO κ.α.)</u>	θετικές	
Μορφολογικά - τοπικά χαρακτηριστικά	Δημιουργία λεκάνης κατάκλυσης → <u>Δισθητική αναβάθμιση</u> και την τουριστική αξιοποίηση του τοπίου της ευρύτερης περιοχής	θετικές, μακροχρόνιες	
Γεωλογικά - τεκτονικά - εδαφολογικά χαρακτηριστικά	1. <u>Φαινόμενα διάβρωσης</u> στα πρανή από τη δημιουργία του ταμιευτήρα και την υψηλότερη στάθμη του νερού από την τωρινή στάθμη. 2. Η λειτουργία της γραμμής διασύνδεσης δεν σχετίζεται με αξιοσημείωτες αρνητικές επιπτώσεις στα εδαφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. 3. <u>Υποβάθμιση της ποιότητας των εδαφών</u> (π.χ. ως προς τη δομή, τη γονιμότητα κ.α.), λόγω ενδεχόμενης μακρόχρονης απόθεσης υλικών με τη μορφή σωρών ή διάβρωσης των εδαφών	ασθενείς αρνητικές, τοπικά περιορισμένες, μακροχρόνιες, μερικώς αντιμετωπίσιμες, μη αναστρέψιμες με φυσικές διεργασίες.	Κατασκευή προστατευτικών τοίχων. Προληπτικά μέτρα για την αποφυγή ρύπανσης των εδαφών (συλλογή μεταχειρισμένων ορυκτελαίων σε στεγανά δοχεία κλπ.)
Φυσικό περιβάλλον (Χλωρίδα, Πανίδα)	1. <u>Μη εξασφάλιση διαρκών συνθηκών υγρού εδάφους</u> για τη βλάστηση εντός της κοίτης. 2. Δεν αναμένεται <u>μεταβολή ποικιλίας ή αριθμού ειδών χερσαίας πανίδας και ορνιθοπανίδας</u> κατά τη λειτουργία του έργου.	ασθενείς αρνητικές, τοπικά περιορισμένες, μακροχρόνιες, μερικώς αντιμετωπίσιμες, αναστρέψιμες με φυσικές διεργασίες	Εξασφάλιση οικολογικής παροχής
Ανθρωπογενές περιβάλλον	1. Το δομημένο περιβάλλον δεν επηρεάζεται από τη λειτουργία του έργου 2. Η κατάκλυση του νερού θα γίνει σε περιορισμένη περιοχή κοντά στη φυσική κοίτη, οπότε <u>δε θα επηρεαστούν οι χρήσεις γης</u> της ευρύτερης περιοχής	ουδέτερες	Υλοποίηση εργασιών αποκατάστασης στις περιοχές επέμβασης
Κοινωνικο-οικονομικές	1. Δημιουργία <u>νέων θέσεων εργασίας</u> σε εργάτες και τεχνικό προσωπικό της περιοχής κατά τη φάση λειτουργίας, ζύσχυση τοπικής οικονομίας.	θετικές	
Τεχνικές υποδομές	Δεν αναμένονται θέματα <u>επάρκειας</u> ή δημιουργία πρόσθετων αναγκών για νέες τεχνικές υποδομές ή ανάγκες ενίσχυσης των υφιστάμενων υποδομών.	ουδέτερες	
Ανθρωπογενείς πιέσεις	1. Ενδιαφέρον για τουριστική περιήγηση στην περιοχή. <u>Πόλος έλξης</u> για τους επισκέπτες της ευρύτερης περιοχής. 2. Παραγωγή υγρών και στερεών αποβλήτων, σε περιορισμένες ποσότητες. Το νερό που θα αξιοποιείται ενεργειακά στο έργο <u>θα επιστρέφεται</u> στη λιμνοδεξαμενή	θετικές, μακροχρόνιες	Συλλογή και κατάλληλη διαχείριση υγρών και στερεών αποβλήτων.
Ποιότητα του αέρα	Κάθε GWh που παράγεται έργο, και όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την <u>αποφυγή έκλυσης εκπομπών CO₂ και άλλων επικίνδυνων ρύπων (NO_x, CO κ.α.)</u>	θετικές	
Θόρυβος - Δονήσεις	<u>Μη εκπομπή αυξανόμενων επιπέδων θορύβων</u> , παρά μόνο των στροβίλων και των μετασχηματιστών που όμως δεν θα επιβαρύνει τους κοντινούς οικισμούς.	ουδέτερες	
Ηλεκτρομαγνητικά πεδία	Η λειτουργία του υπό μελέτη έργου δεν σχετίζεται με αρνητικές επιπτώσεις, λόγω ηλεκτρικών ή μαγνητικών πεδίων	ουδέτερες	
Υδατα (επιφανειακά, υπόγεια)	Το νερό που θα συλλέγεται στη λεκάνη κατάκλυσης από το ρέμα Χανγά θα οδηγείται μέσω της υδροληψίας στη λιμνοδεξαμενή, οπότε <u>δε θα διαφοροποιηθεί σημαντικά η ποσότητα νερού για άρδευση</u> στο οροπέδιο Λασιθίου.	ασθενείς αρνητικές, τοπικά περιορισμένες, βραχυχρόνιες, μερικώς αναστρέψιμες με φυσικές διεργασίες.	Εξασφάλιση οικολογικής παροχής.
Στερεοαπορροή	<u>Διαφοροποίηση των παροχών</u> στη φυσική κοίτη του ρέματος, λόγω της εκτροπής από την υδροληψία του μέχρι την επαναφορά του νερού από τον υδροηλεκτρικό σταθμό στη λιμνοδεξαμενή Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του έργου υπολογίζεται ότι φερτές ουσίες θα καταλαμβάνουν 0,5 hm ³ (~3% του ταμιευτήρα) → καμία αξιόλογη επίπτωση για το έργο	ασθενείς αρνητικές, περιορισμένης κλίμακας	Η διαχείριση της στάθμης της λεκάνης κατάκλυσης καθώς και η λειτουργία του φράγματος θα πρέπει να γίνεται με γνώμονα όχι μόνο την ενεργειακή απόδοση του έργου, αλλά και τη διατήρηση των βέλτιστων οικολογικών συνθηκών. Δυνατότητα απαγωγής των φερτών υλών μέσω θυροφραγμάτων έκπλυσης φερτών

Πίνακας 9.4
Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Αιολικού Πάρκου κατά τη Φάση Κατασκευής

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ/ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ	ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ - ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ
Βιοκλιματικά χαρακτηριστικά - Ατμόσφαιρα	Εκπομπές αέριων αποβλήτων (CO, HC, SO ₂ , NO _x , σωματίδια) από τη λειτουργία των μηχανημάτων και των οχημάτων του εργοταξίου για την κατασκευή. Η απόσταση του έργου από κατοικημένους οικισμούς και άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες καθιστά τις επιπτώσεις αυτές περιορισμένες.	μικρές, αρνητικές, τοπικού χαρακτήρα, βραχυχρόνιες, αντιμετώπισιμες	Βελτίωση ποιότητας καυσίμων των μηχανημάτων, ορθολογικότερες παραγωγικές τεχνικές για την εξοικονόμηση καυσίμων και τη μείωση των εκπομπών των αέριων αποβλήτων
	Έκλυση σκόνης από τις χωματουργικές εργασίες και την κίνηση των οχημάτων	μικρές, αρνητικές, τοπικού χαρακτήρα, βραχυχρόνιες, αντιμετώπισιμες, αναστρέψιμες	Διαβροχή σωρών χωμάτων και μετώπων εκσκαφών ξηρών γαιών, χρήση πτυσσόμενων καλυμμάτων (μουσαμάδες) για τον περιορισμό διαρροής σκόνης κατά την μεταφορά, χρήση μηχανημάτων με εξατμίσεις στραμμένες μακριά από το έδαφος
Μορφολογικά χαρακτηριστικά - Ανάγλυφο	Επιπτώσεις στη μορφολογία του εδάφους σχετιζόμενες με την κατασκευή του αιολικού πάρκου και συγκεκριμένα τις εκσκαφές και την τοποθέτηση των βάσεων των Α/Γ και των υπόλοιπων τεχνικών υποδομών	μικρές, αρνητικές, εντός ορίων εργοταξίου, βραχυχρόνιες, μερικώς αναστρέψιμες	Χρήση χώματος εκσκαφών από την κατασκευή έργων υποδομής για τη διαμόρφωση επιφανειών μέσα στα έργα και γύρω από αυτά, χρήση υπολειπόμενου χώματος στη γεωργία ως εδαφοβελτιωτικό
Εδαφολογικά χαρακτηριστικά	Πιθανή ρύπανση του εδάφους από διαρροές η ανεξέλεγκτη χρήση των υλικών κατασκευής και συγκεκριμένα του σκυροδέματος	μικρές, αρνητικές, εντός ορίων εργοταξίου, βραχυχρόνιες, μερικώς αναστρέψιμες	Λήψη απαραίτητων μέτρων για την αποφυγή ρύπανσης των εδαφών από εργαζόμενους (αστικά απορρίμματα) και από μηχανήματα σε λειτουργία (ρύπανση από πετρελαιοειδή), διαχείριση πετρελαιοειδών σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία
Φυσικό περιβάλλον (Χλωρίδα, Πανίδα)	Αραιώση, αποξήλωση βλάστησης για τη διευκόλυνση των κατασκευών και τη μετακίνηση των οχημάτων του εργοταξίου	μέτριες αρνητικές, τοπικές, βραχυχρόνιες, μερικώς αναστρέψιμες	Οι αποξηλώσεις της βλάστησης θα πρέπει να περιοριστούν στις απαραίτητες αναγκαίες. Λήψη κατάλληλων μέτρων αποφυγής πρόκλησης και αντιμετώπισης πυρκαγιάς.
	Αναμένονται μικρής έκτασης και έντασης οχλήσεις στην πανίδα από την εκτέλεση των κατασκευαστικών εργασιών		Αποφυγή περιφράξεων περιοχών, όταν δεν είναι απολύτως αναγκαίο
Ανθρωπογενές περιβάλλον	Η κατασκευή του έργου λαμβάνει χώρα σε βουνοκορφές με υψηλά υψόμετρα, επομένως δε θα επηρεαστούν οι χρήσεις γης της ευρύτερης περιοχής.	θετικές, μακροχρόνιες	Οποιοσδήποτε χρήσεις γης θα κατακλυστούν από το υπό μελέτη έργο θα πρέπει να αποζημιωθούν ή αποκατασταθούν από το φορέα που θα κατασκευάσει το έργο.
Κοινωνικο-οικονομικές	Δημιουργία θέσεων εργασίας για εργάτες και τεχνικό προσωπικό κατά τη φάση λειτουργίας του αιολικού πάρκου, ενίσχυση τοπικής οικονομίας	θετικές, βραχυχρόνιες, περιφερειακής εμβέλειας	Λήψη μέτρων για την εξασφάλιση της δημόσιας υγείας (προστασία εργαζομένων στην κατασκευή και προστασία των περίοικων)
Τεχνικές υποδομές	Αναβάθμιση οδικού δικτύου και δικτύου μεταφορών για την πρόσβαση στο αιολικό πάρκο, μικρή επιβάρυνση αυτού, μικρή αύξηση της κυκλοφορίας λόγω κίνησης οχημάτων εργοταξίου	ουδέτερες (θετικές και αρνητικές), μερικώς αντιμετώπισιμες, βραχυχρόνιες	Μετακινήσεις οχημάτων καθορισμένες σε ώρες και καθορισμένα δρομολόγια, ώστε να μην επιβαρύνονται οι τοπικές οδοί
	Επιβάρυνση ηλεκτρικού δικτύου, χρήση ενέργειας και καυσίμων για τη λειτουργία των μηχανημάτων και των οχημάτων που απαιτούνται στην κατασκευή		Εγκατάσταση γεννητριών για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος
	Επιβάρυνση δικτύου ύδρευσης για την κάλυψη των αναγκών των εργασιών κατασκευής, αλλά και των εργαζομένων	αμελητέες, αρνητικές, βραχυχρόνιες, μερικώς αντιμετώπισιμες	Κάλυψη αναγκών από το υπό κατασκευή φράγμα στην περιοχή
	Επιβάρυνση ΧΥΤΑ με την εναπόθεση των στερεών αποβλήτων που προκύπτουν από τις εργασίες της κατασκευής		Περιορισμός των στερεών αποβλήτων, χρήση χώματος εκσκαφών στη γεωργία
	Ουδέτερη επίδραση στον χωροταξικό σχεδιασμό της περιοχής λόγω της χωροθέτησης και κατασκευής αιολικού πάρκου		Προσεκτικός χωροταξικός σχεδιασμός έργου
Ανθρωπογενείς πιέσεις	Η περιοχή κατασκευής του αιολικού πάρκου είναι μακριά από οικισμούς, επομένως η αισθητική του τοπίου λόγω του εργοταξίου δε θα επηρεαστεί σημαντικά	αμελητέες, βραχυχρόνιες	Επιλογή της θέσης κατασκευής του έργου σε κατάλληλες αποστάσεις από τους οικισμούς και εκτίμηση οπτικών οχλήσεων
Θόρυβος - Δονήσεις	Επιβάρυνση του ακουστικού περιβάλλοντος στην άμεσα γειτνιάζουσα περιοχή από τις εργασίες της κατασκευής	Μέτριες, αρνητικές, εντός ορίων εργοταξίου, βραχυχρόνιες, μερικώς αντιμετώπισιμες	Τμηματική ολοκλήρωση εργασιών, τήρηση ορίων εκπεμπόμενων θορύβων, χρήση κινητών ηχοπετασμάτων
Ύδατα (επιφανειακά, υπόγεια)	Πιθανές απορροές αποβλήτων (απόβλητα εργοταξιακών οχημάτων, οικοδομικών υλικών και απόβλητα εργαζομένων) στα επιφανειακά ύδατα των τοπικών ρεμάτων/ χειμάρρων	μικρές, αρνητικές, τοπικά περιορισμένες, μερικώς αντιμετώπισιμες, μερικώς αναστρέψιμες	Απορρόφηση από τα ανώτερα εδαφικά στρώματα πριν προλάβουν να διηθηθούν σε μεγαλύτερο βάθος, προσεκτική εργασία εκ μέρους των εργαζομένων, συλλογή αποβλήτων από την κατασκευή και κατάλληλη διαχείριση αυτών
	Πιθανές υπόγειες διαφυγές υγρών αποβλήτων (απόβλητα εργοταξιακών οχημάτων, οικοδομικών υλικών και απόβλητα εργαζομένων), ανάλογα με τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής κατασκευής του έργου		Προσεκτική εργασία εκ μέρους των εργαζομένων, συλλογή αποβλήτων από την κατασκευή και κατάλληλη διαχείριση αυτών, μέτρα για την αποφυγή της ρύπανσης του εδάφους και του υπόγειου νερού ή μέτρα απορρύπανσης αυτών

Πίνακας 9.5
Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Αιολικού Πάρκου κατά τη Φάση Λειτουργίας

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ/ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ	ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ - ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ
Βιοκλιματικά χαρακτηριστικά - Ατμόσφαιρα	Παραγωγή ενέργειας χωρίς τη χρήση συμβατικών καυσίμων, αποφυγή έκλυσης CO ₂ και άλλων επικίνδυνων ρύπων (NO _x , CO), περιορισμός φαινομένου του θερμοκηπίου	θετικές, μακροχρόνιες	
Φυσικό περιβάλλον (Χλωρίδα, Πανίδα)	Αραίωση, αποξήλωση βλάστησης για τη λειτουργία των Α/Γ		Μερική αποκατάσταση της βλάστησης
	Απώλεια βιοτόπων λόγω εγκατάστασης Α/Γ και λοιπών υποδομών, διατάραξη πουλιών και αναγκαστική μετατόπιση ή εμπόδια στη μετακίνησή τους, αύξηση του ποσοστού θνησιμότητας της ορνιθοπανίδας από την περιστροφή των πτερυγίων των Α/Γ	μέτριες, αρνητικές, τοπικά περιορισμένες, μακροχρόνιες, μερικώς αντιμετωπίσιμες, αναστρέψιμες με φυσικές διεργασίες	Χωροθέτηση έργου σε περιοχή μορφολογικά «ανοιχτή», ώστε τα διερχόμενα πουλιά να διακρίνουν τις Α/Γ και τους πυλώνες και να αποφεύγεται η σύγκρουσή τους με αυτές
Ανθρωπογενές περιβάλλον	Το δομημένο περιβάλλον δεν επηρεάζεται από τη λειτουργία του έργου		
	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Η κατασκευή του έργου λαμβάνει χώρα σε βουνοκορφές με υψηλά υψόμετρα, επομένως δε θα επηρεαστούν οι χρήσεις γης της ευρύτερης περιοχής.	θετικές, μακροχρόνιες	
Κοινωνικο-οικονομικές	Δημιουργία θέσεων εργασίας για εργάτες και τεχνικό προσωπικό κατά τη φάση λειτουργίας του αιολικού πάρκου, ενίσχυση τοπικής οικονομίας	θετικές, μακροχρόνιες, τοπικής εμβέλειας	
	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, οικονομική ανάπτυξη	θετικές, περιφερειακής εμβέλειας	
Τεχνικές υποδομές	Αναβάθμιση οδικού δικτύου και δικτύου μεταφορών για την πρόσβαση στο αιολικό πάρκο	θετικές, τοπικής εμβέλειας	
	Οι Α/Γ λειτουργούν αυτόνομα ενεργειακά, περιορισμένη έως αμελητέα χρήση ενέργειας για της λειτουργία τους	αμελητέες	
Ανθρωπογενείς πιέσεις	Επέμβαση στην αισθητική του τοπίου, αμφιλεγόμενη επίπτωση διότι παρατηρούνται τόσο θετικές όσο και αρνητικές αντιδράσεις από την τοπική κοινωνία	ουδέτερες, μακροχρόνιες	Επιλογή της θέσης κατασκευής του έργου σε κατάλληλες αποστάσεις από τους οικισμούς και εκτίμηση οπτικών οχλήσεων
Θόρυβος - Δονήσεις	Ηχητική όχληση από τα περιστρεφόμενα μηχανικά τμήματα των Α/Γ (κιβώτιο ταχυτήτων, ηλεκτρογεννήτρια, έδρανα κλπ.) και την περιστροφή των πτερυγίων	αμελητέες, αρνητικές, αντιμετωπίσιμες	Ελαχιστοποίηση μηχανικών θορύβων με την εξαρχής βέλτιστη σχεδίαση (γρανάζια πλάγιας οδόντωσης), εσωτερική ηχομονωτική επένδυση στο κέλυφος της κατασκευής, ηχομονωτικά πετάσματα και αντικραδασμικά πέλματα στήριξης. Αντιμετώπιση αεροδυναμικού θορύβου με προσεκτική σχεδίαση των πτερυγίων και τη λειτουργία τους σε χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής.
Ηλεκτρομαγνητικά πεδία	Πιθανές ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές από την κίνηση των πτερυγίων, η οποία προκαλεί αυξομείωση σήματος λόγω αντανάκλασεων	αμελητέες, αρνητικές, αντιμετωπίσιμες	Κατασκευή πτερυγίων από συνθετικά υλικά για την ελαχιστοποίηση της επίπτωσης στη μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
Υδατα (επιφανειακά, υπόγεια)	Πιθανές απορροές αποβλήτων (αντικατάσταση συστημάτων, συντήρηση, απόβλητα εργαζομένων) στα επιφανειακά ύδατα των τοπικών ρεμάτων/ χειμάρρων	μικρές, αρνητικές, τοπικά περιορισμένες, βραχυχρόνιες, μερικώς αντιμετωπίσιμες,	Απορρόφηση από τα ανώτερα εδαφικά στρώματα πριν προλάβουν να διηθηθούν σε μεγαλύτερο βάθος, προσεκτική εργασία και χειρισμός συστημάτων εκ μέρους των εργαζομένων
	Πιθανές υπόγειες διαφυγές υγρών αποβλήτων (αντικατάσταση συστημάτων, συντήρηση, απόβλητα εργαζομένων), ανάλογα με τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής κατασκευής του έργου	μερικώς αναστρέψιμες με φυσικές & χημικές διεργασίες	Προσεκτική εργασία και χειρισμός συστημάτων εκ μέρους των εργαζομένων, μέτρα για την αποφυγή της ρύπανσης του εδάφους και του υπόγειου νερού ή μέτρα απορρύπανσης αυτών

Πίνακας 9.6
Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Φωτοβολταϊκού Πάρκου κατά τη Φάση Κατασκευής

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ/ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ	ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ - ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ
Βιοκλιματικά χαρακτηριστικά - Ατμόσφαιρα	Εκπομπές αέριων αποβλήτων (CO, HC, SO ₂ , NO _x , σωματίδια) από τη λειτουργία των μηχανημάτων και των οχημάτων του εργοταξίου για την κατασκευή. Η απόσταση του έργου από κατοικημένους οικισμούς και άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες καθιστά τις επιπτώσεις αυτές περιορισμένες.	μικρές, αρνητικές, τοπικού χαρακτήρα, βραχυχρόνιες, αντιμετώπισιμες	Βελτίωση ποιότητας καυσίμων των μηχανημάτων, ορθολογικότερες παραγωγικές τεχνικές για την εξοικονόμηση καυσίμων και τη μείωση των εκπομπών των αέριων αποβλήτων
	Έκλυση σκόνης από τις χωματοургικές εργασίες και την κίνηση των οχημάτων	μικρές, αρνητικές, τοπικού χαρακτήρα, βραχυχρόνιες, αντιμετώπισιμες, αναστρέψιμες	Διαβροχή σωρών χωμάτων και μετώπων εκσκαφών ξηρών γαιών, χρήση πτυσσόμενων καλυμμάτων (μουσαμάδες) για τον περιορισμό διαρροής σκόνης κατά την μεταφορά, χρήση μηχανημάτων με εξατμίσεις στραμμένες μακριά από το έδαφος
Μορφολογικά χαρακτηριστικά - Ανάγλυφο	Επιπτώσεις στη μορφολογία του εδάφους σχετιζόμενες με την κατασκευή του Φ/Β πάρκου και συγκεκριμένα τις εκσκαφές και την τοποθέτηση των βάσεων των Φ/Β	αμελητέες, αρνητικές, εντός ορίων εργοταξίου, βραχυχρόνιες, αναστρέψιμες	Χρήση χώματος εκσκαφών στη γεωργία ως εδαφοβελτιωτικό
Εδαφολογικά χαρακτηριστικά	Επιβάρυνση του εδάφους των καλλιεργειών ή πιθανή ρύπανσή του από διαρροές η ανεξέλεγκτη χρήση των υλικών κατασκευής	μέτριες, αρνητικές, εντός ορίων εργοταξίου, βραχυχρόνιες, μερικώς αναστρέψιμες	Λήψη απαραίτητων μέτρων για την αποφυγή ρύπανσης των εδαφών από εργαζόμενους (αστικά απορρίμματα) και από μηχανήματα σε λειτουργία (ρύπανση από πετρελαιοειδή), διαχείριση πετρελαιοειδών σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία
Φυσικό περιβάλλον (Χλωρίδα, Πανίδα)	Περιορισμένη αραίωση και αποξήλωση βλάστησης για τη διευκόλυνση των κατασκευών και τη μετακίνηση των οχημάτων του εργοταξίου	μέτριες αρνητικές, τοπικές, βραχυχρόνιες, μερικώς αναστρέψιμες	Οι αποξηλώσεις της βλάστησης θα πρέπει να περιοριστούν στις απαραίτητες αναγκαίες. Λήψη κατάλληλων μέτρων αποφυγής πρόκλησης και αντιμετώπισης πυρκαγιάς.
	Αναμένονται μικρής έκτασης και έντασης οχλήσεις στην πανίδα από την εκτέλεση των κατασκευαστικών εργασιών		Αποφυγή περιφράξεων περιοχών, όταν δεν είναι απολύτως αναγκαίο
Ανθρωπογενές περιβάλλον	Το φωτοβολταϊκό πάρκο θα συνυπάρχει με τις αγροτικές καλλιέργειες της περιοχής, επομένως δε θα επηρεαστούν οι χρήσεις γης της ευρύτερης περιοχής.	θετικές, μακροχρόνιες	Οποιοσδήποτε χρήσεις γης θα κατακλυστούν από το υπό μελέτη έργο θα πρέπει να αποζημιωθούν ή αποκατασταθούν από το φορέα που θα κατασκευάσει το έργο.
Κοινωνικο-οικονομικές	Δημιουργία θέσεων εργασίας για εργατές και τεχνικό προσωπικό κατά τη φάση λειτουργίας του Φ/Β πάρκου, ενίσχυση τοπικής οικονομίας	θετικές, βραχυχρόνιες, περιφερειακής εμβέλειας	Λήψη μέτρων για την εξασφάλιση της δημόσιας υγείας (προστασία εργαζομένων στην κατασκευή και προστασία των γειτόνων)
Τεχνικές υποδομές	Πιθανή αναβάθμιση οδικού δικτύου και δικτύου μεταφορών για ευκολότερη πρόσβαση στο Φ/Β πάρκο με σκοπό τη συντήρηση και τον έλεγχο του, παράλληλη διευκόλυνση αγροτών, μικρή επιβάρυνση αυτού, μικρή αύξηση της κυκλοφορίας λόγω κίνησης οχημάτων εργοταξίου	ουδέτερες (θετικές και αρνητικές), μερικώς αντιμετώπισιμες, βραχυχρόνιες	Μετακινήσεις οχημάτων σε καθορισμένες ώρες και καθορισμένα δρομολόγια, ώστε να μην επιβαρύνονται οι τοπικές οδοί
	Επιβάρυνση ηλεκτρικού δικτύου, χρήση ενέργειας και καυσίμων για τη λειτουργία των μηχανημάτων και των οχημάτων που απαιτούνται στην κατασκευή	αμελητέες, αρνητικές, βραχυχρόνιες, μερικώς αντιμετώπισιμες	Εγκατάσταση γεννητριών για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος
	Επιβάρυνση δικτύου ύδρευσης για την κάλυψη των αναγκών των εργασιών κατασκευής, αλλά και των εργαζομένων		Κάλυψη αναγκών από το υπό κατασκευή φράγμα στην περιοχή
	Επιβάρυνση ΧΥΤΑ με την εναπόθεση των στερεών αποβλήτων που προκύπτουν από τις εργασίες της κατασκευής		Περιορισμός των στερεών αποβλήτων, χρήση χώματος εκσκαφών στη γεωργία
Ουδέτερη επίδραση στον χωροταξικό σχεδιασμό της περιοχής λόγω της χωροθέτησης και κατασκευής Φ/Β πάρκου	Προσεκτικός χωροταξικός σχεδιασμός έργου		
Ανθρωπογενείς πιέσεις	Η περιοχή κατασκευής του Φ/Β πάρκου είναι μακριά από οικισμούς, επομένως η αισθητική του τοπίου λόγω του εργοταξίου δε θα επηρεαστεί σημαντικά	αμελητέες, βραχυχρόνιες	Επιλογή της θέσης κατασκευής του έργου σε κατάλληλες αποστάσεις από τους οικισμούς και εκτίμηση οπτικών οχλήσεων
Θόρυβος - Δονήσεις	Επιβάρυνση του ακουστικού περιβάλλοντος στην άμεσα γειτνιάζουσα περιοχή από τις εργασίες της κατασκευής	Μέτριες, αρνητικές, εντός ορίων εργοταξίου, βραχυχρόνιες, μερικώς αντιμετώπισιμες	Τμηματική ολοκλήρωση εργασιών, τήρηση ορίων εκπεμπόμενων θορύβων, χρήση κινητών ηχοπετασμάτων
Ύδατα (επιφανειακά, υπόγεια)	Πιθανές απορροές αποβλήτων (απόβλητα εργοταξιακών οχημάτων, οικοδομικών υλικών και απόβλητα εργαζομένων) στα επιφανειακά ύδατα των τοπικών ρεμάτων/ χειμάρρων	μικρές, αρνητικές, τοπικά περιορισμένες, μερικώς αντιμετώπισιμες, μερικώς αναστρέψιμες	Απορρόφηση από τα ανώτερα εδαφικά στρώματα πριν προλάβουν να διηθηθούν σε μεγαλύτερο βάθος, προσεκτική εργασία εκ μέρους των εργαζομένων, συλλογή αποβλήτων από την κατασκευή και κατάλληλη διαχείριση αυτών
	Πιθανές υπόγειες διαφυγές υγρών αποβλήτων (απόβλητα εργοταξιακών οχημάτων, οικοδομικών υλικών και απόβλητα εργαζομένων), ανάλογα με τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής κατασκευής του έργου		Προσεκτική εργασία εκ μέρους των εργαζομένων, συλλογή αποβλήτων από την κατασκευή και κατάλληλη διαχείριση αυτών, μέτρα για την αποφυγή της ρύπανσης του εδάφους και του υπόγειου νερού ή μέτρα απορρύπανσης αυτών

Πίνακας 9.7
Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Φωτοβολταϊκού Πάρκου κατά τη Φάση Λειτουργίας

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ/ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ	ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ - ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ
Βιοκλιματικά χαρακτηριστικά - Ατμόσφαιρα	Παραγωγή ενέργειας χωρίς τη χρήση συμβατικών καυσίμων, αποφυγή έκλυσης CO ₂ και άλλων επικίνδυνων ρύπων (NO _x , CO), περιορισμός φαινομένου του θερμοκηπίου	θετικές, μακροχρόνιες	
	Δημιουργία μικροκλίματος στην περιοχή ανάμεσα στα Φ/Β και τις καλλιέργειες, θετική επίδραση στα πάνελ, διότι λόγω παθητικής ψύξης δροσίζονται και αυξάνουν την απόδοσή τους, ουδέτερη επίδραση στις καλλιέργειες	θετικές, ουδέτερες, μακροχρόνιες, τοπικά περιορισμένες	
Φυσικό περιβάλλον (Χλωρίδα, Πανίδα)	Συνύπαρξη των φωτοβολταϊκών με τις καλλιέργειες και τη βλάστηση της περιοχής, αμελητέα επίδραση στη χλωρίδα με την τοποθέτηση των βάσεων των Φ/Β	μικρές, αρνητικές, τοπικά περιορισμένες, μακροχρόνιες, μερικώς αντιμετωπίσιμες, αναστρέψιμες	Μερική αποκατάσταση της βλάστησης
	Η εγκατάσταση των αγροφωτοβολταϊκών δε συνεπάγεται την απώλεια βιοτόπων ή τη μεταβολή στην ποικιλία και τον αριθμό οποιονδήποτε ειδών/ζώων, ενδέχεται να παρεμποδίζει μερικώς την μετακίνηση των εντόμων		
Ανθρωπογενές περιβάλλον	Το δομημένο περιβάλλον δεν επηρεάζεται από τη λειτουργία του έργου	θετικές, μακροχρόνιες	
	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας		
	Εγκατάσταση πάρκου σε περιοχή με υψηλή, αύξηση της αγροτικής παραγωγής, εξοικονόμηση στη χρήση νερού		
	Το φωτοβολταϊκό πάρκο θα συνυπάρχει με τις αγροτικές καλλιέργειες της περιοχής, επομένως δε θα επηρεαστούν οι χρήσεις γης της ευρύτερης περιοχής.		
Κοινωνικο-οικονομικές	Δημιουργία θέσεων εργασίας για εργάτες και τεχνικό προσωπικό κατά τη φάση λειτουργίας του αιολικού πάρκου, ενίσχυση τοπικής οικονομίας	θετικές, μακροχρόνιες, τοπικής εμβέλειας	
	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ΑΠΕ, οικονομική ανάπτυξη	θετικές, περιφερειακής εμβέλειας	
Τεχνικές υποδομές	Πιθανή αναβάθμιση οδικού δικτύου και δικτύου μεταφορών για ευκολότερη πρόσβαση στο Φ/Β πάρκο με σκοπό τη συντήρηση και τον έλεγχο του, παράλληλη διευκόλυνση αγροτών	θετικές, τοπικής εμβέλειας	
	Τα Φ/Β λειτουργούν αυτόνομα ενεργειακά, περιορισμένη έως αμελητέα χρήση ενέργειας για της λειτουργία τους	αμελητέες	
Ανθρωπογενείς πιέσεις	Μικρή επέμβαση στην αισθητική του τοπίου, διότι με την τοποθέτηση των Φ/Β γίνεται απόκρυψη των καλλιεργειών και άρα παραμορφώνεται η φυσική όψη του τοπίου, αμφιλεγόμενη επίπτωση διότι παρατηρούνται τόσο θετικές όσο και αρνητικές αντιδράσεις από την τοπική κοινωνία	ουδέτερες, μακροχρόνιες	Κατάλληλη χωροθέτηση των Φ/Β, ώστε να περιοριστεί όσο τον δυνατόν η παραμόρφωση του φυσικού τοπίου
Θόρυβος - Δονήσεις	Η λειτουργία του Φ/Β δεν προκαλεί κανένα είδος θορύβου και δονήσεων, ούτε οι διαδικασίες τις συντήρησης των συστημάτων είναι θορυβώδεις	αμελητέες	
Ύδατα (επιφανειακά, υπόγεια)	Πιθανές απορροές αποβλήτων (αντικατάσταση συστημάτων, συντήρηση, απόβλητα εργαζομένων) στα επιφανειακά ύδατα των τοπικών ρεμάτων/ χειμάρρων	μικρές, αρνητικές, τοπικά περιορισμένες, βραχυχρόνιες, μερικώς αντιμετωπίσιμες, μερικώς αναστρέψιμες με φυσικές & χημικές διεργασίες	Απορρόφηση από τα ανώτερα εδαφικά στρώματα πριν προλάβουν να διηθηθούν σε μεγαλύτερο βάθος, προσεκτική εργασία και χειρισμός συστημάτων εκ μέρους των εργαζομένων
	Πιθανές υπόγειες διαφυγές υγρών αποβλήτων (αντικατάσταση συστημάτων, συντήρηση, απόβλητα εργαζομένων), ανάλογα με τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής κατασκευής του έργου		Προσεκτική εργασία και χειρισμός συστημάτων εκ μέρους των εργαζομένων, μέτρα για την αποφυγή της ρύπανσης του εδάφους και του υπόγειου νερού ή μέτρα απορρύπανσης αυτών

Πίνακας 9.8 Πίνακας Leopold για το Υδροηλεκτρικό Έργο κατά τη Φάση Κατασκευής								
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ/ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	Πιθανότητα εμφάνισης	Χαρακτήρας	Έκταση	Βαρύτητα	Διάρκεια	Αναστρεψιμότητα	Δυνατότητα Πρόληψης	Αξιολόγηση Επίπτωσης
Κλιματικά - Βιοκλιματικά χαρακτηριστικά	-	Ουδέτερος	-	-	-	-	-	-
Μορφολογικά - τοπικά χαρακτηριστικά	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής εμβέλειας	Μέτρια	Προσωρινή	Μέτρια	Ναι	Μέτρια
Γεωλογικά - τεκτονικά - εδαφολογικά χαρακτηριστικά	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής εμβέλειας	Μέτρια	Προσωρινή	-	Ναι	Μέτρια
Φυσικό περιβάλλον (Χλωρίδα, Πανίδα)	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής εμβέλειας	Μέτρια	Προσωρινή	Μέτρια	Ναι	Μέτρια
Ανθρωπογενές περιβάλλον	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής εμβέλειας	Μικρή	Προσωρινή	-	Ναι	Μικρή
Κοινωνικο- οικονομικές	Υψηλή	Θετικός	Περιφερειακής εμβέλειας	Μικρή	Προσωρινή	-	-	Θετική
Τεχνικές υποδομές	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής εμβέλειας	Μικρή	Προσωρινή	-	-	Μικρή
	Υψηλή	Θετικός	Περιφερειακής εμβέλειας	Μικρή	Μακροπρόθεσμη	-	-	Μικρή
Ανθρωπογενείς πιέσεις	-	Ουδέτερος	-	-	-	-	-	-
Ποιότητα του αέρα	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής εμβέλειας	Μέτρια	Προσωρινή	Μέτρια	Ναι	Μέτρια
Θόρυβος - Δονήσεις	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής εμβέλειας	Μέτρια	Προσωρινή	-	Ναι	Μέτρια
Ηλεκτρομαγνητικά πεδία	-	Ουδέτερος	-	-	-	-	-	-
Ύδατα (επιφανειακά, υπόγεια)	Μέτρια	Αρνητικός	Τοπικής εμβέλειας	Μικρή	Προσωρινή	Μέτρια	Ναι	Μικρή
Στερεοαπορροή	-	Ουδέτερος	Τοπικής εμβέλειας	-	Προσωρινή	-	Ναι	-

Πίνακας 9.9 Πίνακας Leopold για το Υδροηλεκτρικό Έργο κατά τη Φάση Λειτουργίας								
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ/ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	Πιθανότητα εμφάνισης	Χαρακτήρας	Έκταση	Βαρύτητα	Διάρκεια	Αναστρεψιμότητα	Δυνατότητα Πρόληψης	Αξιολόγηση Επίπτωσης
Κλιματικά - Βιοκλιματικά χαρακτηριστικά	Υψηλή	Θετικός	Τοπικής εμβέλειας	Μέτρια	Μακροπρόθεσμη	-	-	Θετική
Μορφολογικά - τοπικά χαρακτηριστικά	Υψηλή	Θετικός	Τοπικής εμβέλειας	Μέτρια	Μακροπρόθεσμη	-	-	Θετική
Γεωλογικά - τεκτονικά - εδαφολογικά χαρακτηριστικά	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής εμβέλειας	Μικρή	Μακροπρόθεσμη	-	Ναι	Μικρή
Φυσικό περιβάλλον (Χλωρίδα, Πανίδα)	Μικρή	Αρνητικός	Τοπικής εμβέλειας	Μικρή	Μακροπρόθεσμη	Υψηλή	Ναι	Μικρή
Ανθρωπογενές περιβάλλον	-	Ουδέτερος	-	-	-	-	Ναι	-
Κοινωνικο- οικονομικές	Υψηλή	Θετικός	Περιφερειακής εμβέλειας	Μικρή	Προσωρινή	-	-	Θετική
Τεχνικές υποδομές	-	Ουδέτερος	-	-	-	-	-	-
Ανθρωπογενείς πιέσεις	Υψηλή	Θετικός	Τοπικής εμβέλειας	Μέτρια	Μακροπρόθεσμη	-	Ναι	Θετική
	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής εμβέλειας	Μικρή	-	-	-	Μικρή
Ποιότητα του αέρα	Υψηλή	Θετικός	Τοπικής εμβέλειας	Μέτρια	Μακροπρόθεσμη	-	-	Θετική
Θόρυβος - Δονήσεις	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής εμβέλειας	Μέτρια	Προσωρινή	-	Ναι	Μέτρια
Ηλεκτρομαγνητικά πεδία	-	Ουδέτερος	-	-	-	-	-	-
Ύδατα (επιφανειακά, υπόγεια)	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής εμβέλειας	Μικρή	Προσωρινή	Μέτρια	Ναι	Μικρή
Στερεοαπορροή	-	Αρνητικός	Τοπικής εμβέλειας	Μικρή	Προσωρινή	-	Ναι	Μικρή

Πίνακας 9.10 Πίνακας Leopold για το Αιολικό Πάρκο κατά τη Φάση Κατασκευής								
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ/ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	Πιθανότητα Εμφάνισης	Χαρακτήρας	Έκταση	Βαρύτητα	Διάρκεια	Αναστρεψιμότητα	Δυνατότητα Πρόληψης	Αξιολόγηση Επίπτωσης
Κλιματικά - Βιοκλιματικά χαρακτηριστικά	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής Εμβέλειας	Μικρή	Προσωρινή	Υψηλή	Όχι	Μικρή
Μορφολογικά - τοπικά χαρακτηριστικά	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής Εμβέλειας	Μέτρια	Προσωρινή	Μικρή	Ναι	Μέτρια
Γεωλογικά - τεκτονικά - εδαφολογικά χαρακτηριστικά	Υψηλή	Αρνητική	Εντός Ορίων	Μικρή	Προσωρινή	Μέση	Ναι	Μικρή
Φυσικό Περιβάλλον (Χλωρίδα, Πανίδα, Αισθητική Τοπίου)	Υψηλή	Αρνητικός	Εντός Ορίων	Μέτρια	Προσωρινή	Υψηλή	Ναι	Μέτρια
	Υψηλή	Αρνητικός	Εντός Ορίων	Μικρή	Προσωρινή	Μέση	Όχι	Μικρή
	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής Εμβέλειας	Μέτρια	Προσωρινή	Μη Αναστρέψιμη	Ναι	Μικρή
Ανθρωπογενές περιβάλλον	Υψηλή	Θετικός	Περιφερειακής Εμβέλειας	Μικρή	Μακροπόθεση	-	-	Θετική
Κοινωνικο- οικονομικές	Υψηλή	Θετικός	Περιφερειακής Εμβέλειας	Μικρή	Προσωρινή	-	-	Θετική
Τεχνικές υποδομές (Χωροταξικός Σχεδιασμός, Οδικό Δίκτυο, Δίκτυο Υδρευσης, ΧΥΤΑ)	Υψηλή	Ουδέτερος	Τοπικής Εμβέλειας	Μέτρια	Μόνιμη	Μέση	Ναι	Αμελητέα
	Μέτρια	Ουδέτερος	Τοπικής Εμβέλειας	Μικρή	Προσωρινή	Μέση	-	Αμελητέα
	Υψηλή	Αρνητικός	Εντός Ορίων	Μικρή	Προσωρινή	Μικρή	Ναι	Μικρή
	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής Εμβέλειας	Μικρή	Προσωρινή	Μη Αναστρέψιμη	Ναι	Αμελητέα
	Υψηλή	Αρνητικός	Εντός Ορίων	Μικρή	Μακροπόθεση	Υψηλή	Όχι	Μικρή
Ανθρωπογενείς πιέσεις	Μικρή	Αρνητικός	Τοπικής Εμβέλειας	Μέτρια	Προσωρινή	Υψηλή	-	Αμελητέα
Ποιότητα του αέρα	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής Εμβέλειας	Μέτρια	Προσωρινή	Μέση	Ναι	Μικρή

Θόρυβος - Δονήσεις	Υψηλή	Αρνητικός	Εντός Ορίων	Μέτρια	Προσωρινή	Υψηλή	Ναι	Μικρή
Ηλεκτρομαγνητικά πεδία	Υψηλή	Αρνητικός	Εντός Ορίων	Μικρή	Προσωρινή	Μικρή	Ναι	Μικρή
Υδατα (επιφανειακά, υπόγεια)	Μικρή	Αρνητικός	Τοπικής Εμβέλειας	Μέτρια	Προσωρινή	Μέση	Ναι	Αμελητέα
	Μικρή	Αρνητικός	Τοπικής Εμβέλειας	Μέτρια	Μακροπρόθεσμη	Μικρή	Ναι	Αμελητέα

Πίνακας 9.11 Πίνακας Leopold για το Αιολικό Πάρκο κατά τη Φάση Λειτουργίας								
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ/ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	Πιθανότητα Εμφάνισης	Χαρακτήρας	Έκταση	Βαρύτητα	Διάρκεια	Αναστρεψιμότητα	Δυνατότητα Πρόληψης	Αξιολόγηση Επίπτωσης
Κλιματικά - Βιοκλιματικά χαρακτηριστικά	Υψηλή	Θετικός	Περιφερειακής Εμβέλειας	Μεγάλη	Μακροχρόνια	-	-	Θετική
Φυσικό Περιβάλλον (Χλωρίδα, Πανίδα)	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής Εμβέλειας	Μέτρια	Μακροχρόνια	Υψηλή	Ναι	Μέτρια
Ανθρωπογενές περιβάλλον	Υψηλή	Θετικός	Περιφερειακής Εμβέλειας	Μικρή	Μακροπρόθεσμη	-	-	Θετική
Κοινωνικο- οικονομικές	Υψηλή	Θετικός	Περιφερειακής Εμβέλειας	Μεγάλη	Μακροχρόνια	-	-	Θετική
Τεχνικές υποδομές	Υψηλή	Θετικός	Τοπικής Εμβέλειας	Μέτρια	Μόνιμη	-	-	Θετική
Ανθρωπογενείς πιέσεις	Υψηλή	Ουδέτερος	Τοπικής Εμβέλειας	Υψηλή	Μακροχρόνια	-	-	Σοβαρή
Θόρυβος - Δονήσεις	Υψηλή	Αρνητικός	Εντός Ορίων	Μέτρια	Προσωρινή	Υψηλή	Ναι	Αμελητέα
Ηλεκτρομαγνητικά πεδία	Μέτρια	Αρνητικός	Εντός Ορίων	Μικρή	Προσωρινή	Μικρή	Ναι	Αμελητέα
Υδατα (επιφανειακά, υπόγεια)	Μέτρια	Αρνητικός	Τοπικής Εμβέλειας	Μικρή	Προσωρινή	Μέση	Ναι	Μικρή

Πίνακας 9.12 Πίνακας Leopold για το Φωτοβολταϊκό Πάρκο κατά τη Φάση Κατασκευής								
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ/ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	Πιθανότητα Εμφάνισης	Χαρακτήρας	Έκταση	Βαρύτητα	Διάρκεια	Αναστρεψιμότητα	Δυνατότητα Πρόληψης	Αξιολόγηση Επίπτωσης
Κλιματικά - Βιοκλιματικά χαρακτηριστικά	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής Εμβέλειας	Μέτρια	Προσωρινή	Υψηλή	Ναι	Μικρή
Μορφολογικά - Τοπικά χαρακτηριστικά	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής Εμβέλειας	Μικρή	Προσωρινή	Υψηλή	Ναι	Αμελητέα
Γεωλογικά - Τεκτονικά - Εδαφολογικά χαρακτηριστικά	Μέτρια	Αρνητικός	Εντός Ορίων	Μέτρια	Προσωρινή	Μέτρια	Ναι	Μέτρια
Φυσικό Περιβάλλον (Χλωρίδα, Πανίδα)	Υψηλή	Αρνητικός	Τοπικής Εμβέλειας	Μέτρια	Προσωρινή	Μέτρια	Ναι	Μέτρια
Ανθρωπογενές περιβάλλον	Υψηλή	Θετικός	Τοπικής Εμβέλειας	Υψηλή	Μακροπόθεσμη	-	-	Θετική
Κοινωνικο- οικονομικές	Υψηλή	Θετικός	Περιφερειακής Εμβέλειας	Μεγάλη	Μακροχρόνια	-	-	Θετική
Τεχνικές υποδομές	Υψηλή	Ουδέτερος	Τοπικής Εμβέλειας	Μέτρια	Μόνιμη	Μέση	Ναι	Αμελητέα
Ανθρωπογενείς πιέσεις	Μικρή	Ουδέτερος	Τοπικής Εμβέλειας	Μέτρια	Προσωρινή	Υψηλή	-	Αμελητέα

Πίνακας 9.13								
Πίνακας Leopold για το Φωτοβολταϊκό Πάρκο κατά τη Φάση Λειτουργίας								
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ/ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	Πιθανότητα Εμφάνισης	Χαρακτήρας	Έκταση	Βαρύτητα	Διάρκεια	Αναστρεψιμότητα	Δυνατότητα Πρόληψης	Αξιολόγηση Επίπτωσης
Κλιματικά - Βιοκλιματικά χαρακτηριστικά	Υψηλή	Θετικός	Περιφερειακής Εμβέλειας	Υψηλή	Μακροχρόνια	-	-	Θετική
Φυσικό Περιβάλλον (Χλωρίδα, Πανίδα)	Μικρή	Αρνητικός	Τοπικής Εμβέλειας	Μικρή	Μακροχρόνια	Μέτρια	Ναι	Μικρή
Ανθρωπογενές περιβάλλον	Υψηλή	Θετικός	Περιφερειακής Εμβέλειας	Υψηλή	Μακροπρόθεσμη	-	-	Θετική
Κοινωνικο- οικονομικές	Υψηλή	Θετικός	Τοπικής Εμβέλειας	Μεγάλη	Μακροχρόνια	-	-	Θετική
Τεχνικές υποδομές	Υψηλή	Θετικός	Τοπικής Εμβέλειας	Μικρή	Μακροπρόθεσμη	-	-	Θετική
Ανθρωπογενείς πιέσεις	Μικρή	Ουδέτερος	Τοπικής Εμβέλειας	Μέτρια	Μακροπρόθεσμη	Μικρή	-	Μέτρια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: Οικονομική ανάλυση του έργου

Συνοψίζοντας, γίνεται αντιληπτό πως το εν λόγω έργο απαιτεί μια αξιόλογη επένδυση για την κατασκευή του. Παράλληλα όμως, αναμένεται να αποφέρει σημαντικά έσοδα. Συνεπώς, προκειμένου να εξασχθεί ένα ασφαλές συμπέρασμα, απαιτείται η περαιτέρω ανάλυση των οικονομικών του έργου.

Το συνολικό **κόστος** κατασκευής των έργων ανέρχεται στα **136.623.894 €** υπολογιζόμενο από την άθροιση του κόστους των επιμέρους κατασκευών (βλ. *Πίνακα 10.1*). Λαμβάνεται από την προσομοίωση μία ενδεικτική τιμή για τα αναμενόμενα **έσοδα** 20ετίας, ήτοι 373.527.600 €, ή **18.676.380 € ετησίως** για τον ορίζοντα των 20 ετών, που αποτελεί την τυπική διάρκεια δανειοδότησης των μονάδων ΑΠΕ με δυνατότητα ανανέωσης κατά ίσο χρονικό διάστημα. Θεωρείται επιτόκιο δανεισμού 5% για την κατασκευή του έργου.

Στο παρόν κεφάλαιο εκτελούνται δύο ενδεικτικές χρηματοοικονομικές αναλύσεις του έργου. Συγκεκριμένα, εξετάζονται δύο ενδεικτικά σενάρια αποπληρωμής:

- **Αποπληρωμή με σταθερή ετήσια δόση**

Σε αυτή την περίπτωση θεωρείται ότι η κάθε δόση περιλαμβάνει το επιτόκιο (τόκος) και την αποπληρωμή κεφαλαίου. Προκειμένου να επιτευχθεί αποπληρωμή του δανείου σε 20ετή ορίζοντα, υπολογίζεται κατόπιν βελτιστοποίησης, ότι η ετήσια δόση αποπληρωμής θα πρέπει να είναι 10.656.131 €, με τον πρώτο χρόνο να επιμερίζεται σε 6.831.194 € για αποπληρωμή τόκων και 341.559 € για αποπληρωμή κεφαλαίου, ενώ το 20^ο έτος 507.435 € για αποπληρωμή τόκων και 10.148.696 € για αποπληρωμή κεφαλαίου, με γραμμική παρεμβολή για όλα τα ενδιάμεσα έτη. Εν συνεχεία, υπολογίζοντας το ύψος των αποσβέσεων από τους τόκους, αλλά και τις αποσβέσεις των εξοπλισμών, προκύπτουν αποσβέσεις ύψους 13.662.389 €, οι οποίες εκπίπτουν από τις φορολογικές υποχρεώσεις. Συνεπώς, καθώς το ύψος των αποσβέσεων είναι μεγαλύτερο από την κερδοφορία της επιχείρησης, δεν προκύπτουν φορολογικές υποχρεώσεις κερδών έως και το 18^ο έτος λειτουργίας. Ο **βαθμός απόδοσης κεφαλαίου** υπολογίζεται σε **5,86%** για τον πρώτο τρόπο αποπληρωμής.

- **Ταχεία αποπληρωμή**

Στην δεύτερη περίπτωση, εξετάζεται η ταχεία αποπληρωμή του δανείου μέσω της διάθεσης της συνολικής κερδοφορίας σε αποπληρωμή δόσεων (ταχύτερη αποπληρωμή κεφαλαίου). Εν προκειμένω, προκύπτει πλήρης αποπληρωμή στο 9^ο έτος λειτουργίας με το ύψος των τόκων να είναι σημαντικά χαμηλότερο, οι αποσβέσεις είναι σημαντικά μικρότερες, γεγονός που συνεπάγεται και πιο αυξημένη φορολογία. Ο **μέσος βαθμός απόδοσης** της επένδυσης υπολογίζεται στο **5,94%**, δηλαδή ελαφρώς αυξημένος συγκριτικά με την προηγούμενη λύση.

Συνολικά, η δεύτερη λύση αποπληρωμής είναι ελαφρώς πιο συμφέρουσα, αλλά η πρώτη αποφέρει πιο σταθερά έσοδα καθ' όλη τη διάρκεια της 20ετίας.

Συμπερασματικά, κρίνεται συμφέρουσα επένδυση και στις δύο εναλλακτικές αναλύσεις που εκτελέστηκαν, γεγονός που μπορεί να αποτελέσει σημαντικό κίνητρο για την κατασκευή της εν λόγω επένδυσης. Σε κάθε περίπτωση αναφέρεται ότι πέραν των οικονομικών αποδόσεων του έργου, σημαντικό κίνητρο αποτελεί η παραγωγή πράσινης ενέργειας, αλλά και η αναβάθμιση των υποδομών και του βιοτικού επιπέδου μιας απομακρυσμένης περιοχής, όπως η ευρύτερη περιοχή των Οροπεδίων Λασιθίου και Καθαρού, που αποτελεί την περιοχή μελέτης του έργου.

Περιγραφή	Κόστος
Φράγμα	55.184.287 €
Αιολικό Πάρκο	62.000.000 €
Φωτοβολταϊκό Πάρκο	29.425.000 €
Υδροστρόβιλοι	9.900.000 €
Αγωγός Προσαγωγής	17.757.798 €
Έργα Εκτροπής	1.400.000 €
Αρχιτεκτονικά του Φράγματος	281.808 €
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	136.623.894 €

Στο Παράρτημα ΣΤ περιλαμβάνονται οι αναλυτικοί υπολογισμοί για τις δύο χρηματοοικονομικές αναλύσεις που εφαρμόστηκαν στην παρούσα μελέτη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

- “Αιολική Ενέργεια.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 6 Dec. 2020, el.wikipedia.org/wiki/Αιολική_ενέργεια.
- “Αιολικό Πάρκο.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 19 Feb. 2018, el.wikipedia.org/wiki/Αιολικό_πάρκο.
- Ανδρεαδάκης, Ανδρέας. *Επεξεργασία νερού Βασικές αρχές και διεργασίες* Εκδόσεις Συμμετρία: 2009.
- “Ανεμογεννήτρια.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 21 Oct. 2020, el.wikipedia.org/wiki/Ανεμογεννήτρια.
- “Ανεμόμυλοι.” *Δήμος Οροπεδίου Λασιθίου*, lasithi.gov.gr/sights/anemomyloi/.
- Iefimerida.gr, Newsroom. “Οι Ανεμόμυλοι Στο Οροπέδιο Λασιθίου Ξαναζωντανεύουν -Θα Γίνουν Παραγωγικοί Και Θα Βγάσουν Νερό [Εικόνες]: ΕΛΛΑΔΑ.” *Iefimerida.gr*, 7 Apr. 2019, www.iefimerida.gr/news/335112/oi-anemomyloi-sto-oropedio-lasithiyo-xanazontaneyoyn-tha-ginoyn-paragogikoi-kai-tha.
- Efsyn.gr. “Οι Ανεμόμυλοι Του Οροπεδίου Λασιθίου Στην Άυλη Πολιτιστική Κληρονομιά Της Ελλάδας.” *Η Εφημερίδα Των Συντακτών*, 12 Aug. 2020, www.efsyn.gr/efkriti/koinonia/255594_oi-anemomyloi-toy-oropedioy-lasithiyo-stin-ayli-politistikhi-klironomia-tis.
- “ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ: Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης”. *ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ | Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης*, www.apdkritis.gov.gr/el/dataset/βροχομετρικα-στοιχεια-τησ-νησου-κρητης.
- “Γενικές Πληροφορίες”. *Δήμος Οροπεδίου Λασιθίου*, lasithi.gov.gr/genikes-plirofories/.
- ΓΙΓΑΝΤΙΔΟΥ, Α. «ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗ ΚΡΗΤΗ», ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Α.Ε.
- “Δεξαμενή Αγίου Γεωργίου Οροπεδίου Λασιθίου”. *ΟΑΚΑΕ*, oakae.gr/erga-yprodomon/ydravlika-erga/limnodeksameni-ag-georgiou-oropediou-lasithiou/.
- “Δίκη.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 31 Dec. 2020, el.wikipedia.org/wiki/Δίκη.
- Δούλος Η., Μηχανολόγος Μηχανικός, Υπ. Δρ. ΕΜΠ, «Η ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας – Υφιστάμενη κατάσταση και εξελίξεις», *Ανανεώσιμη Ενέργεια και Υδροηλεκτρικά Έργα, Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ακαδημαϊκό έτος 2018-19.*
- Δρακωνάκης, Ηλίας. “Ανάπτυξη Εναλλακτικού Τουρισμού Στο Οροπέδιο Λασιθίου.” *Πτυχιακή Εργασία*, 2012, nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sdo/tour/2012/DrakonakisIlias/attached-document-1329385855-40168-6853/Drakonakis2012.pdf.
- Ευστρατιάδης Α., Μαμάσης Ν., Κουτσογιάννης Δ., «Υδροηλεκτρική ενέργεια – Γενικές διατάξεις υδροενεργειακών έργων», *Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ακαδημαϊκό έτος 2019-20*
- Ευστρατιάδης, Α., Παπανικολάου, Π., & Μίχας, Σ., *Σημειώσεις Διόδευσης Πλημμυρών από έργα εκτροπής και υπερχείλισης*, , Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ακαδημαϊκό έτος 2019-20.
- Ευστρατιάδης, Α., Παπανικολάου, Π., & Μίχας, Σ., *Σημειώσεις Συστημάτων Εκτροπής*, Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ακαδημαϊκό έτος 2019-20.
- “Ηλιακά Συστήματα.” *Περιβάλλον Και Διαχείριση Ενέργειας*, www.allaboutenergy.gr/HliakaSistimata.html.

“ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ - CASA CALORE - ΗΛΙΑΚΟΙ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΕΣ - ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ ΧΑΤΖΗΦΩΤΙΟΥ Και ΣΙΑ Ο.Ε.” *4ty.Gr*, www.casacalore.gr/more.php?l=el&id=3493.

Θεοχάρης Μ, Κατέρης Δ. «Οδηγίες για την σύνταξη μελετών αρδευτικών συγκροτημάτων καταιονισμού». https://theoxar2.weebly.com/uploads/1/7/9/7/17970951/%CE%93%CE%95%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%95%CE%A3_%CE%9F%CE%94%CE%97%CE%93%CE%99%CE%95%CE%A3.pdf.

ΘΥΜΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΤΣΟΥΝΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, «ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΙΣΧΥΟΣ 2.4 MW», ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ, ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ, ΑΘΗΝΑ 2013.

“Καθαρό Λασιθίου”. *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 9 Nov. 2019, el.wikipedia.org/wiki/Καθαρό_Λασιθίου.

Καλδερών, Μωρίς, «ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΣΕ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΟ ΡΗΓΜΑ», ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ, ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2015.

«Καλλιέργεια ντομάτας θερμοκηπίου». http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%9A%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1_%CE%BD%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%AC%CF%84%CE%B1%CF%82_%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%AF%CE%BF%CF%85.

Γ. Καμάρας, Κ. Ντελκής, Μ. Παπαδόπουλος, Μ. Ασλάνογλου, Μ. Κανναβού, Σ. Νάνου, Δ. Περονικολής, Π. Κάπρος, «ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΚΡΗΤΗΣ (αναθεωρημένη εκδοχή)», ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Ε3Μ-Lab, Απρίλιος 2016.

Γιώργος Καμάρας – Συντονιστής, «Ενεργειακός Σχεδιασμός Περιφέρειας Κρήτης ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΠΡΟΟΔΟΥ», ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Αθήνα 9.5.2016.

«Κανονισμός Περιγραφικών Τιμολογίων Εργασιών για δημόσιες συμβάσεις έργων». Υπουργείο Υποδομών & Μεταφορών, 2017. http://www.pesede.gr/sites/default/files/upload/2017_05_19_fek_v1746_19-05-2017_ya_kanonismos_timologia.pdf.

Κατσανεβάκη, Άννα, «Συστήματα αντλησοταμίευσης – Εφαρμογή σε υφιστάμενες υποδομές (Λίμνη Πλαστήρα)», Πτυχιακή Εργασία, 2018, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

«Το κόστος, η χρηματοδότηση και η διαδικασία για την κατασκευή θερμοκηπίου». <https://www.yraithros.gr/to-kostos-h-diadikasia-kai-oi-ekselikseis-stin-kataskeui-thermokipion/>.

Κουτσογιάννης, Δ., Α. Ευστρατιάδης, Ν. Μαμάσης, Ι. Ναλμπάντης, και Λ. Λαζαρίδης, Υδρολογική μελέτη λειτουργίας του ταμιευτήρα, *Τεχνικός Σύμβουλος για το έργο "Υδρευση Ηρακλείου και Αγίου Νικολάου από το φράγμα Αποσελέμη"*, Εργοδότης: ΥΠΕΧΩΔΕ, Ανάδοχος: Κ/Ξ Αποσελέμη, Αθήνα, 2001.

Κουτσογιάννης, Δ., Ευστρατιάδης, Α., *Σημειώσεις Αστικών Υδραυλικών Έργων, Υδροδοτικά Έργα*, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Φεβρουάριος 2015.

Κουτσογιάννης, Δ., Μελέτη επιφανειακής υδρολογίας, *Ειδική προκαταρκτική μελέτη αρδύσεως οροπεδίου Λασιθίου*, Ανάθεση: Νομαρχιακό Ταμείο Λασιθίου, Ανάδοχοι: ΜΕΤΕΡ, Εξάρχου και Νικολόπουλος, Καλατζόπουλος, Αριθμός τεύχους 1, 59 pages, Αθήνα, Οκτώβριος 1982.

Δ. Κουτσογιάννης, Ι. Ναλμπάντης, Ν. Μαμάσης, Α. Ευστρατιάδης, Λ. Λαζαρίδης, και Α. Δανιήλ, *Υδρολογική μελέτη πλημμυρών*, Τεχνικός Σύμβουλος για το έργο "Υδρευση Ηρακλείου και Αγίου Νικολάου από το φράγμα Αποσελέμη".

Κουτσογιάννης, Δ., και Ξανθόπουλος, Θ., *«Τεχνική Υδρολογία»*. ΕΜΠ, Αθήνα, 1997

Κουτσογιάννης, Δ., *Σημειώσεις Στοχαστικών Μεθόδων*, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2017.

Κουτσογιάννης, Δ., *«Στατιστική Υδρολογία»*. ΕΜΠ, Αθήνα, 1997.

Κουτσογιάννης, Δ., Τεχνική έκθεση, *Ειδική προκαταρκτική μελέτη αρδεύσεως οροπέδιου Λασιθίου*, Ανάθεση: Νομαρχιακό Ταμείο Λασιθίου, Ανάδοχοι: ΜΕΤΕΡ, Εξάρχου και Νικολόπουλος, Καλατζόπουλος, 90 pages, Αθήνα, Οκτώβριος 1982.

Μαθιουδάκη, Μαρία, *«Διερεύνηση παραμέτρων υδρολογικού σχεδιασμού με χρήση συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφήματων μέσω ανάλυσης χαρακτηριστικών επεισοδίων πλημμύρας στην πειραματική λεκάνη λυκορέματος Ραφήνας»*, Μεταπτυχιακή Εργασία, 2012, ΕΜΠ, Αθήνα.

ΜΑΚΗΣ, ΑΔΑΜΑΝΤΙΟΣ, and Γ. ΚΡΑΝΑΣΑΚΗΣ. *ΚΡΗΤΗ ΟΡΟΠΕΔΙΟ ΛΑΣΙΘΙΟΥ. Α, Η ΑΘΗΝΑ*, kritesnotou.files.wordpress.com/2017/09/cebfcf81cebfcf80ceadceb4ceb9cebfcf85.pdf.

Μαλτέζος, Φώτιος. "Αποτίμηση Λειτουργίας Φωτοβολταϊκών Σταθμών". *Διπλωματική Εργασία*, 2013. *ΕΜΠ Σχολή Πολιτικών Μηχανικών*, www.itia.ntua.gr/el/getfile/1422/1/documents/Diplomatiki_Full_Maltezos.pdf.

Μαμάσης, Νίκος. Ευστρατιάδης, Ανδρέας. "Ηλιακή Ενέργεια". *Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία*, 2018-2019. *ΕΜΠ Σχολή Πολιτικών Μηχανικών*, http://mycourses.ntua.gr/courses/CIVIL1131/document/%D3%E7%EC%E5%E9%FE%F3%E5%E9%F2_%E1%EA%E1%E4%E7%EC%E1%FA%EA%EF%FD_%DD%F4%EF%F5%F2_2019_20/ET2018_SolarEnergy.pdf.

Μίχας Σ., Ευστρατιάδης Α., Μαμάσης Ν., Κουτσογιάννης Δ., «Υδροληψίες και αγωγοί πτώσης», Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ακαδημαϊκό έτος 2016-17

Μιμίκου, Μ., και Μπαλάς, Ε., *«Τεχνική Υδρολογία»*. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2018.

Μουτάφης, Ν. *Φράγματα βαρύτητας τύπου σκληρού επιχώματος*. Σημειώσεις μαθήματος Φράγματα. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών/ΕΜΠ.

Μπαϊρακτάρης Κωνσταντίνος, «ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΙΣΧΥΟΣ 2,4 MW», ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ, ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, Αθήνα, Οκτώβριος 2018.

Α. Νάνου, *Σημειώσεις Υδραυλικής και Υδραυλικών Έργων: Ροή με Ελεύθερη Επιφάνεια*, 101 pages, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Νοέμβριος 2018.

Νουτσόπουλος, Χριστοδούλου, Παπαθανασιάδης. *Υδραυλική ανοικτών αγωγών*. Εκδόσεις ΕΜΠ, 2007.

"Οροπέδιο Καθαρό Λασιθί Κρήτη - Οροπέδιο Λασιθίου - Πεζοπορίες Οροπέδιο Λασιθίου". *Δωμάτια Αργυρώ*, www.argyrorooms.com/el/destinations/plateau-of-katharo.

"Οροπέδιο Λασιθίου: Κοντά Στη Χερσόνησο Και Τα Μάλα." *Chersonissos - Land of Experiences*, landofexperiences.gr/el/travels/lasithi-plateau/.

"Οροπέδιο Λασιθίου". *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 4 Dec. 2020, el.wikipedia.org/wiki/Οροπέδιο_Λασιθίου.

Παπακωνσταντίνου, Κωνσταντίνος Χ. "Μελέτη Διαστασιολόγησης Και Ενσωμάτωσης Στο Δίκτυο Φωτοβολταϊκών-Αποθηκευτικών Συστημάτων Υπό Τον Θεσμό Της Ιδιοκατανάλωσης". *ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ*, Απρ. 2015. *ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ*, artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jsui/bitstream/123456789/12753/1/DT2015-0104.pdf.

Παπανικολάου, Π. *Υδραυλική ανοικτών αγωγών* (Κεφάλαια: Υπερχειλιστής Ogee, Λεκάνες καταστροφής ενέργειας). Σημειώσεις μαθήματος σχολής ΠΜ/ΕΜΠ, 2019.

«Πατάτα: Οδηγός καλλιέργειας». <https://www.gemma.gr/gr/symvoules-arthra/leptomereies/12388/>.

ΠΕΛΕΚΗΣ ΣΩΚΡΑΤΗΣ, «ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ», ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ, ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ Τ.Ε., ΠΑΤΡΑ 2018.

Περονικολής, Δ. «Πρόβλεψη Ζήτησης Ενέργειας Κρήτης», ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας», Αθήνα, Φεβρουάριος 2016.

Πρίνος, Παναγιώτης. *Υδραυλική Ανοικτών Αγωγών*. Εκδόσεις Ζήτη: 2009, σ. 224.

«Πρόγραμμα Αγροτικής Ανάπτυξης». Γενική Γραμματεία Αγροτικής Πολιτικής και Διαχείρισης Κοινοτικών Πόρων, Ειδική Υπηρεσία Διαχείρισης. Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων: 2014-2020. <http://www.agrotikianaptixi.gr/el/content/leader-clld>.

Ρούστας, Γιώργος. «Τα πλεονεκτήματα των καλλιεργειών λαχανικών σε θερμοκήπια». https://www.yraithros.gr/ta-pleonektimata-twn-kalliergeiwn-laxanikwn-se-thermokiopia-dixtiokiria/?cli_action=1614867973.554.

«Ρύθμιση των συνθηκών περιβάλλοντος του θερμοκηπίου». Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. Λευκωσία: 2016. [http://www.moa.gov.cy/moa/da/da.nsf/All/F1117FBF1DF50E3EC22580AE002D7411/\\$file/%CE%A1%CE%A5%CE%98%CE%9C%CE%99%CE%A3%CE%97%20%CE%A3%CE%A5%CE%9D%CE%98%CE%97%CE%9A%CE%A9%CE%9D%20%CE%A0%CE%95%CE%A1%CE%99%CE%92%CE%91%CE%9B%CE%9B%CE%9F%CE%9D%CE%A4%CE%9F%CE%A3%20%CE%98%CE%95%CE%A1%CE%9C%CE%9F%CE%9A%CE%97%CE%A0%CE%99%CE%9F%CE%A5.pdf?OpenElement](http://www.moa.gov.cy/moa/da/da.nsf/All/F1117FBF1DF50E3EC22580AE002D7411/$file/%CE%A1%CE%A5%CE%98%CE%9C%CE%99%CE%A3%CE%97%20%CE%A3%CE%A5%CE%9D%CE%98%CE%97%CE%9A%CE%A9%CE%9D%20%CE%A0%CE%95%CE%A1%CE%99%CE%92%CE%91%CE%9B%CE%9B%CE%9F%CE%9D%CE%A4%CE%9F%CE%A3%20%CE%98%CE%95%CE%A1%CE%9C%CE%9F%CE%9A%CE%97%CE%A0%CE%99%CE%9F%CE%A5.pdf?OpenElement).

Ι.Π. Στεφανάκος Δρ. Πολ. Μηχανικός, «Υδροηλεκτρικά Έργα & Φράγματα Μέρος Α: Παραδείγματα Υ/Η έργων», Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ακαδημαϊκό έτος 2018-19.

Ι.Π. Στεφανάκος Δρ. Πολ. Μηχανικός, «Υδροηλεκτρικά Έργα & Φράγματα Μέρος Β: Κατασκευή - Λειτουργία», Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ακαδημαϊκό έτος 2018-19.

ΤΑΜΠΕΚΗΣ Θ. ΣΤΕΡΓΙΟΣ, Δασολόγος Μ.Sc., «ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ ΔΑΣΟΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΟΡΕΙΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΤΣΟΒΟΥ», ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΣΧΟΛΗ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΤΟΜΕΑΣ ΔΑΣΟΤΕΧΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΥΔΡΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2009.

ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Β.Ε.Τ.Ε., «ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΙΣΧΥΟΣ 20 MW ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΜΑΥΡΟΠΛΑΓΙΑ-ΚΑΣΤΡΟ, ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΔΕΡΒΕΝΟΧΩΡΙΩΝ, ΔΗΜΟΥ ΤΑΝΑΓΡΑΣ, Π.Ε. ΒΟΙΩΤΙΑΣ», 2014.

“Τεύχη Δημοπράτησης Για Την Ανάθεση Της Σύμβασης Κατασκευής Του Έργου: «ΑΡΔΕΥΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΓ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΟΡΟΠΕΔΙΟΥ ΛΑΣΙΘΙΟΥ»”. *ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ*, ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΥΠΟΔΟΜΩΝ, Μαΐ. 2015.

Τσόγκα, Χ. & Τσόγκα, Ε. *Υδροδυναμικά Έργα - Φράγματα*. Εκδόσεις Ίων, 2009.

“ΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΙ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΤΟΥ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΤΡΟΦΙΜΩΝ”. *ΝΕΑ ΕΡΓΑ*, Β, Feb. 2006. *Υπ.Α.Α.Τ.*, Ειδική Γραμματεία Γ' Κ.Π.Σ., www.ekke.gr/projects/estia/gr_pages/F_synerg/mikra_fragmata_yp.georgias/mikra_fragmata.pdf.

“Υδροσκόπιο: Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής Και Μετεωρολογικής Πληροφορίας”. *Υδροσκόπιο | Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής Και Μετεωρολογικής Πληροφορίας*, www.hydroscope.gr/.

Ξένη βιβλιογραφία

“Agrivoltaic.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 9 Jan. 2021, en.wikipedia.org/wiki/Agrivoltaic.

Georgios, Aidonopoulos. *Εγγυημένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα - Heliosystems*, selasenergy.gr/solar-inclination-monthly.php.

Boyce, Brian. “Agrivoltaics Proving a Responsible Way to Blend Solar and Traditional Farms.” *AGDAILY*, 20 July 2020, www.agdaily.com/crops/agrivoltaics-blend-solar-fields-and-traditional-ag/.

“Capacity Factor.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 12 Dec. 2020, en.wikipedia.org/wiki/Capacity_factor.

Chanson, H. *Stepped spillway flows and air entrainment*. Australia, 1992.

“CLC 2018”. *Copernicus*, 3 June 2020, land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018.

Communications, Gkal. “KRITSA”. *KPITSA ΠΥΛΗ - KRITSA PORTAL*, www.kritsa.eu/oropedio_ka8aro.htm.

DOS SANTOS, Charline. “Agrivoltaic System: a Possible Synergy between Agriculture and Solar Energy.” *MASTER THESIS REPORT*, Mar. 2020, kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1427912/FULLTEXT01.pdf.

Andreas Efstratiadis, Nikos Mamassis & Demetris Koutsoyiannis, “Aeolic energy”, Department of Water Resources & Environmental Engineering, NTUA Academic year 2019-20.

Andreas Efstratiadis, Nikos Mamassis & Demetris Koutsoyiannis, “Energy storage”, Department of Water Resources & Environmental Engineering, NTUA Academic year 2019-20.

Andreas Efstratiadis, Nikos Mamassis & Demetris Koutsoyiannis, “Hydroelectric reservoirs: technology and operation”, Department of Water Resources & Environmental Engineering, NTUA Academic year 2019-20.

Andreas Efstratiadis, Nikos Mamassis & Demetris Koutsoyiannis, “Penstocks & turbines”, Department of Water Resources & Environmental Engineering, NTUA Academic year 2019-20.

Andreas Efstratiadis, Nikos Mamassis & Demetris Koutsoyiannis, “Simulation and optimization for the design and management of hydroelectric works”, School of Civil Engineering, National Technical University of Athens.

“Katharo”. *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 26 July 2015, en.wikipedia.org/wiki/Katharo.

D. Koutsoyiannis, Lecture notes on Hydrometeorology - Part 1, Edition 2, 157 pages, National Technical University of Athens, Athens, 2000.

D. Koutsoyiannis, and Y. Markonis, Hydrological study of the Xerias Basina, Magnesia, Greece, *Study of urgent flood protection works of the Xerias, Seskouliotis and Kakaviotis streams*, Commissioner: Prefectural Government of Magnesia, Contractor: Grafeio Mahera, Athens, 2010.

D. Koutsoyiannis, Y. Markonis, A. Koukouvinos, S.M. Papalexidou, N. Mamassis, and P. Dimitriadis, Hydrological study of severe rainfall in the Kephisos basin, Greece, *Study of the management of Kephisos*, Commissioner: General Secretariat of Public Works – Ministry of Environment, Planning and Public Works, Contractors: Exarhou Nikolopoulos Bensasson, Denco, G. Karavokiris, et al., 154 pages, Athens, 2010.

“Maps”. *GeoData.gov.gr*, geodata.gov.gr/maps/?package=289263ce-04be-4e88-941c-81ea79da7169&resource=4e523e93-70b2-4297-a470-278cb708913e&locale=en.

“NASA POWER.” NASA, NASA, power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/.

Newsroom, et al. “Λασιθί: Καλλιεργούνται Σπουδαία Προϊόντα, Ταξιδεύουν Σε Όλο Τον Κόσμο”. *Ypaithros.gr*, 18 June 2018, www.ypaithros.gr/avra-trion-pelagon-gia-to-evlogimeno-lasithi/.

“Photovoltaic Effect.” *Photovoltaic Effect - Energy Education*, energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_effect#:~:text=The photovoltaic effect is a,convert sunlight to electrical energy.

Ragheb, M. *MODERN WIND GENERATORS*. 17 Sept. 2019, www.ragheb.co/NPRE_475_Wind_Power_Systems/Modern_Wind_Generators.pdf.

“Renewable Energy Job Opportunities Archives.” *Solar PV Training for Installers and DIY*, 10 Mar. 2019, solarpvtrainingclass.com/tag/renewable-energy-job-opportunities/.

Siddiqui, Mohsin. *Spillway and energy dissipators*. University of Sharjah, 2016.

SOLARGIS. “File: Ensoleillement Global Annuel Dans Le Monde.png.” commons.wikimedia.org/wiki/File:Ensoleillement_global_annuel_dans_le_monde.png.

“Solar Tracker.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 31 Dec. 2020, en.wikipedia.org/wiki/Solar_tracker.

“Vestas V164.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 8 Oct. 2020, en.wikipedia.org/wiki/Vestas_V164.

Vestas Wind Systems A/S. *V52-850 KW The Turbine That Goes Anywhere*. Vestas Wind Systems A/S, www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_1242006/html/EIA_Report/Annex_A3.3.pdf.

The Swiss Wind Power Data Website. “Die Website Für Windenergie-Daten Der Schweiz.”, <https://wind-data.ch/>.