



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

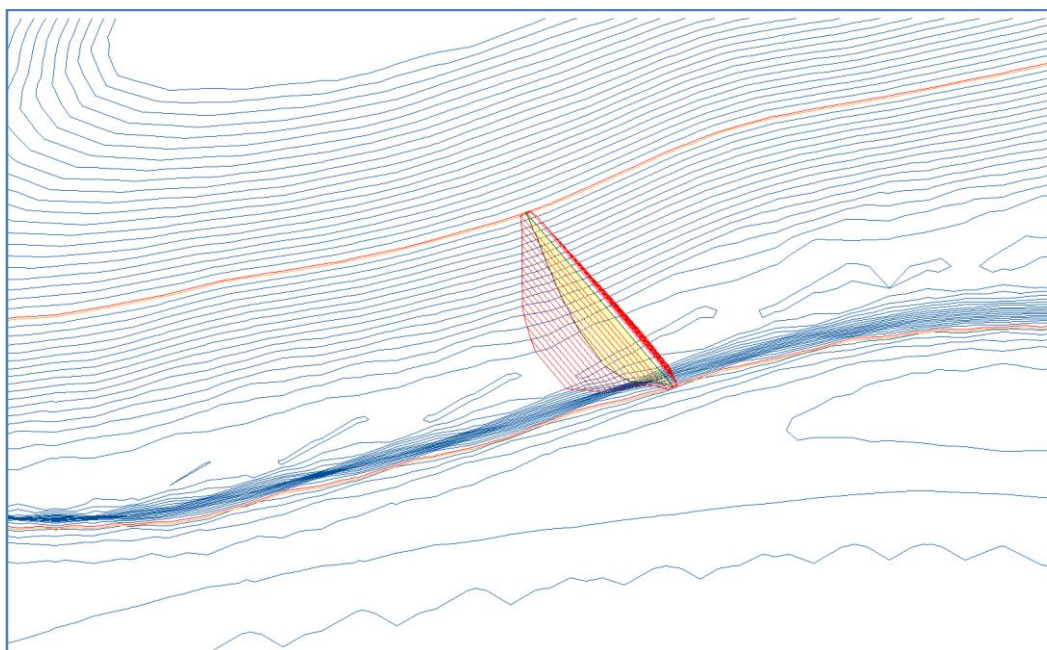
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΑΘΗΜΑ: ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΘΕΜΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ: 2020 - 21

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΡΕΜΑ ΜΑΥΡΟΖΟΥΜΕΝΑ



Φράγμα σκληρού επιχώματος - Μαυροζούμενα

ΦΟΙΤΗΤΕΣ:

ΚΑΠΕΡΩΝΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΑΜΥΓΔΑΛΛΑΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΜΟΡΑΚΗ ΑΝΤΖΕΛΑ

ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΥ ΔΑΦΝΗ

ΙΜΑΜ ΜΠΙΓΕΜ

ΚΟΡΟΝΑ ΕΝΡΙ

ΑΘΗΝΑ - ΜΑΡΤΙΟΣ 2021

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της εξαμηνιαίας εργασίας του μαθήματος “Ολοκληρωμένο θέμα υδραυλικού σχεδιασμού” 9ου εξαμήνου του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Σκοπός της εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση φράγματος το οποίο θα κατασκευαστεί στην περιοχή Βαλύρα Ιθώμης, το οποίο σχεδιάζεται να καλύψει υδρο-αρδευτικές ανάγκες της περιοχής. Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους εκείνους που βοήθησαν στην πραγματοποίησή της. Ευχαριστούμε θερμά τους καθηγητές μας, κύριο Κουτσογιάννη Δημήτριο και Μαμάση Νικόλαο , για τον προσωπικό χρόνο που αφιέρωσαν, την υπομονή και την επιμονή που υπέδειξαν κάτω από αυτές τις πρωτόγνωρες συνθήκες και τη βοήθεια που προσέφεραν στην εκπόνηση της εργασίας. Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε τους κα. Ρίσβα Κωνσταντίνα και κ. Σαρόγλου Χάρη για τη συμβολή τους στην εκπόνηση της εργασίας, καθώς επίσης και τον κ. Μακαρούνη Κώστα για τις υποδείξεις και την βοήθειά του με την εξοικείωση της περιοχής μελέτης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο την διαστασιολόγηση και τον σχεδιασμό φράγματος και των συναφών έργων στο ρέμα Μαυροζούμενα της περιοχής Βαλύρας (Ιθώμη, Μεσσηνία). Η λεκάνη κατάκλυσης δομείται από σχηματισμό φλύσχη Τριπόλεως, ενώ στην προτεινόμενη θέση κατασκευής του σώματος του φράγματος επικρατούν πετρώματα μικρής υδροπερατότητας. Η εργασία βασίστηκε στην επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων που προέρχονται τόσο βιβλιογραφικές πηγές. Αρχικά, οριοθετήθηκε η υδρολογική λεκάνη του ρέματος Μαυροζούμενα στην έξοδο ενδιαφέροντος, σχεδιάζοντας τον υδροκρίτη της λεκάνης απορροής, ενώ στη συνέχεια εκτιμήθηκαν τα μορφολογικά της χαρακτηριστικά. Συγκεντρώθηκαν τα δεδομένα του βροχομετρικού σταθμού στα Αρφαρά Μεσσηνίας και υπολογίστηκαν οι μηνιαίες τιμές εξατμοδιαπνοών, ενώ έπειτα προσδιορίστηκαν οι μέσες ετήσιες εισροές χάρη στο μοντέλο του Ζυγού του προγράμματος "Υδρογνώμων". Κατασκευάστηκε η καμπύλη στάθμης-αποθέματος του ταμιευτήρα και προσδιορίστηκε ο νεκρός όγκος που θα κατακλυστεί με φερτές ύλες στο τέλος του ωφέλιμου χρόνου ζωής του έργου. Ύστερα από εκτίμηση των αναγκών που πρόκειται να εξυπηρετεί το έργο, υπολογίστηκε η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα για ύψος υπερχειλίσης 26 m από την βάση του φράγματος, ίση με 9 hm^3 . Ακολούθησε η εκτίμηση των πλημμυρών σχεδιασμού των έργων υπερχειλίσης (περίοδος επαναφοράς $T=5000$ έτη) και εκτροπής ($T=20$ έτη), όπου με βάση την διόδευση της πρώτης πλημμύρας από τον υπερχειλιστή επιλέχθηκε η στέψη του φράγματος στο ύψος των 35.2 m για ενεργό πλάτος υπερχειλιστή $L=55$ m. Από την προσομοίωση της διόδευσης της δεύτερης πλημμύρας από την σήραγγα εκτροπής, επιλέχθηκε εσωτερική διάμετρος σήραγγας $D=8.2$ m, για την οποία προέκυψε μέγιστο υδραυλικό φορτίο ανάντη της σήραγγας $h=15.63$ m. Με βάση το παραπάνω υδραυλικό φορτίο επιλέχθηκε ύψος προφράγματος στα 16 m. Τέλος, με σκοπό την ασφαλή απαγωγή του πλεονάζοντος ύδατος πάνω από την μέγιστη στάθμη κανονικής λειτουργίας και την αποχέτευση του στην κατάντη ροή του ποταμού, κατασκευάστηκαν έργα προσαγωγής και καταστροφής της ενέργειας του ρέοντος νερού.

Η κατασκευή του συνόλου των έργων πρόκειται να πραγματοποιηθεί τους θερινούς μήνες καθώς επιλέγεται φράγμα τύπου σκληρού επιχώματος λόγω του σύντομου χρόνου κατασκευής του και της καταλληλότητας του με βάση τους γεωλογικούς σχηματισμούς στη θέση θεμελίωση.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	6
1.2 Η ΧΡΗΣΙΜΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ	6
2. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	8
2.2 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	10
3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	11
3.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ	11
3.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ	12
3.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΥΠΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	14
4. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	16
4.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ	20
4.3 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ	21
5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΝΑΓΚΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ	22
5.1 ΥΔΡΕΥΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ	22
5.2 ΑΡΔΕΥΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ	24
6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΙΣΡΟΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ	27
7. ΕΥΡΕΣΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ	32
8. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΤΑΘΜΗΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΗΣ - ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ	34
9. ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΣΤΕΡΕΟΑΠΟΡΡΟΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΝΕΚΡΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ	37
10. ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ	39
11. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	40
12. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ	44
12.1 ΔΙΟΔΕΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	45
12.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΓΕΕ	47
13. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΡΓΩΝ ΕΚΤΡΟΠΗΣ	51
13.1 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΕΚΤΡΟΠΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΔΕΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	51
13.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	54
13.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ - ΕΞΟΔΟΥ	54
14. ΕΡΓΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	57

15. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	60
15.1 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΕΡΓΩΝ	61
15.2 ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ	62
16. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	65
17. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	67

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η μελέτη έρχεται να δώσει λύση στο υδρευτικό πρόβλημα της Δ.Ε. Μεσσήνης, αλλά και στο αρδευτικό πρόβλημα των παραγωγών της ευρύτερης περιοχής με προσδοκώμενες αρδευόμενες εκτάσεις που φτάνουν τα 20.000 στρέμματα τουλάχιστον, με την προοπτική συγκέντρωσης υδατικών αποθεμάτων τα οποία θα αντλούνται από τον ταμιευτήρα που αναμένεται να δημιουργηθεί εντός του ρέματος Μαυροζούμενα, σε θέση που θα αναδείξει η παρούσα μελέτη.

1.2 Η ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Χάρη στα φράγματα, έχουμε πολλά οφέλη που διευκολύνουν την καθημερινότητά μας σε πολλά και διάφορα επίπεδα. Τέτοια οφέλη αναφέρονται παρακάτω:

- Άρδευση καλλιεργημένων εκτάσεων. Τα φράγματα συμβάλλουν στην κάλυψη αρδευτικών αναγκών σε περιόδους έντονης ξηρασίας αφού κατά τη διάρκεια των κατακρημνισμάτων τα ύδατα απορρέουν, αποθηκεύονται στις λεκάνες κατάκλισης και χρησιμοποιούνται στις περιόδους ξηρασίας. Συνεπώς, με αυτό τον τρόπο εμμέσως καθίσταται εφικτή η συνέχιση και η ανάπτυξη της αγροτικής παραγωγής και των μη εποχιακών καλλιεργειών.
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η σημαντικότερη προσφορά των υδροηλεκτρικών φραγμάτων είναι η αποθήκευση υδάτων για να παραχθεί η υδροηλεκτρική ενέργεια, η οποία αποτελεί μία από τις πιο κοινές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η κλίμακα παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να διαφέρει από φράγμα σε φράγμα και από περιοχή σε περιοχή, αφού σε κάθε σενάριο οι ενεργειακές απαιτήσεις διαφέρουν όπως και οι συνθήκες υπό τις οποίες είναι κατασκευασμένο το φράγμα.
- Ύδρευση πόλεων, οικισμών και βιομηχανικών μονάδων. Η αδιάλειπτη παροχή υδάτων για την κάλυψη αναγκών κυρίως σε περιόδους αυξημένης

ζήτησης αποτελεί βασικό πλεονέκτημα των φραγμάτων. Επίσης, η κατασκευή φραγμάτων σε περιοχές με έντονο το φαινόμενο της λειψυδρίας διευκολύνει την κάλυψη των αναγκών του πληθυσμού παρέχοντάς τους πόσιμο νερό.

- Έλεγχος και αντιμετώπιση των πλημμυρών. Τα φράγματα ελέγχουν την ροή των ποταμών. Σε περιόδους έντονων κατακρημνισμάτων, που έχουμε μεγάλη αύξηση στάθμης των υδάτων των ποταμών, με την παρουσία του φράγματος προστατεύονται οι οικισμοί, οι καλλιέργειες και οι κάτοικοι, διότι περιορίζονται σημαντικά οι πλημμυρικές παροχές.
- Εμπλουτισμός του υπόγειου υδάτινου ορίζοντα.
- Περιβαλλοντική αναβάθμιση περιοχών. Σε πολλές περιπτώσεις η τροποποίηση του ποτάμιου συστήματος σε λιμναίο δημιούργησε τοπία μεγάλης αισθητικής και οικολογικής αξίας, ελκυστικά για οικιστική και τουριστική ανάπτυξη και αναψυχή.
- Ναυσιπλοΐα. Ο έλεγχος της ροής του ποταμού βοηθά στην ανάπτυξη της ναυσιπλοΐας ανάντη του φράγματος και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την προώθηση του εμπορίου.
- Ιχθυοκαλλιέργεια. Χάρη των επικρατούντων συνθηκών εντός της λεκάνης κατάκλυσης, αυξάνεται το πλαγκτόν με επακόλουθο την συγκέντρωση όλο και περισσότερων ψαριών, αναβαθμίζοντας τον ταμιευτήρα σε περιοχή με δυνατότητα αλιείας και εξασφαλίζοντας τροφή και απασχόληση στους κατοίκους της εγγύτερης περιοχής.

Από τα παραπάνω οφέλη, εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα φράγματα είναι πολυδιάστατα τεχνικά έργα με θετική επίδραση σε πολλούς τομείς μιας χώρας, όπως η οικονομία, ο τουρισμός, η ναυτιλία, το περιβάλλον, η γεωργία, η ενέργεια και ο αθλητισμός. Θα πρέπει μάλιστα να τονιστεί πως οι θετικές επιδράσεις σε όλους αυτούς τους τομείς που προαναφέρθηκαν αλληλοεμπλέκονται δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στο πόσο σημαντικό μπορεί να καταστεί η κατασκευή ενός φράγματος σε μια περιοχή.

Έτσι μπορεί να ειπωθεί ότι τα φράγματα είναι γεωπολιτικής σημασίας για μια χώρα αφού της δίνεται η δυνατότητα να ασκήσει πίεση σε γειτονικές της χώρες και να εξυπηρετήσει τα συμφέροντά της.

2. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η Βαλύρα είναι κωμόπολη της Μεσσηνίας και ανήκει διοικητικά στον Δήμο Μεσσήνης. Είναι χτισμένη στους πρόποδες του όρους της Ιθώμης, περιβρέχεται από τον ποταμό Πάμισο και το ρέμα Μαυροζούμενα και απέχει 22 χιλιόμετρα από την πόλη της Καλαμάτας. Έχει περίπου 1000 μόνιμους κατοίκους (1.005 κατοίκους στην απογραφή του 2001, 843 κατοίκους σε αυτή του 2011), βασική απασχόληση των οποίων είναι οι αγροτικές καλλιέργειες, αφού ο κάμπος είναι κατάφυτος με ελαιόδεντρα και φημίζεται φυσικά για το καλό λάδι και τις ελιές του.

Η Βαλύρα έχει υψόμετρο 44 m από την επιφάνεια της θάλασσας με γεωγραφικό πλάτος στα 37,163929878 m, ενώ το γεωγραφικό της μήκος είναι στα 21,9798207175 m.

Η θέση της Βαλύρας ταυτίζεται με την ιστορία της Αρχαίας Μεσσήνης. Το όνομα δόθηκε από το προ-ομηρικό μουσικό Θάμυρι (Β Ραψωδία Ιλιάδα 594-605) φημισμένο για την ομορφιά, τραγούδι και λύρα του, που θέλησε να ανταγωνιστεί τις μούσες. Παρ' όλα αυτά έχασε όμως τυφλώθηκε και πέταξε τη λύρα του. Γί αυτό έγραψε ο Ιωνάς Κεφαλάς και το αφιερώνει στο Βαλυραίο δάσκαλο Νιφόρο.

Η Βαλύρα με την ενεργό συμμετοχή της στο μεγάλο ξεσηκωμό του 1821 δίνει γενναίο παρόν για την υπόθεση της πολυπόθητης λευτεριάς. Φέρνοντας στη δημοσιότητα για πρώτη φορά τα άγνωστα ντοκουμέντα, από το ΓΑΚ (Γενικά Αρχεία Κράτους) Υπουργείο πολέμου (30 Αυγούστου 1825) ρίχνει φως σε μια άγνωστη για πολλούς σελίδα της Βαλυραϊκής ιστορίας.

Οι Βαλυραίοι, ανήκαν στο σώμα των οπλαρχηγών Παναγιώτη Κεφάλα από το Δυράχι της Μεγαλόπολης και του Αλέξη Αναστασόπουλου από το Ζευγολατιό Μεσσηνίας. Έλαβαν μέρος στην πολιορκία και την απελευθέρωση της Τριπολιτσάς, στις μάχες του Βαλτετσίου των Δερβενακίων και της Κορίνθου. Συμμετείχαν επίσης το 1824 στις αμυντικές προσπάθειες στα παράλια της Μεσσηνίας, για απόκρουση πιθανής επιδρομής των Αράβων οι οποίοι βοήθούσαν τότε την καταρρέουσα Τουρκική Αυτοκρατορία, στη μάχη στο Μανιάκι και στη μάχη Βέργας – Αλμυρού στις 22-24/6/1826.

Το 1836 τα χωριά Σκάλα – Βαλύρα αποτελούσαν το Δήμο Δερών. Δήμαρχος ήταν ο Αναγνώστης Πουλόπουλος και το 1839-40 ο Βασίλης Λινάρδος.

Το 1841-50 η Βαλύρα ανήκε στο Δήμο Οιχαλίας και πρόεδρος το 1841-42 ήταν ο Παναγιώτης Μπόβης. Ο Δήμος είχε 21 χωριά και υπόγραψε από τη Βαλύρα ο Ιερέας Μιχαήλ (αγράμματος).

Το 1998 με το νόμο Καποδίστρια είναι η έδρα του Δήμου Ιθώμης και με πρώτο Δήμαρχο τον Γιατρό Γιαννακόπουλο Κωνσταντίνο από την Αρσινόη (Σιμίζα).

Μία λιθόκτιστη μνημειακή γέφυρα, η γέφυρα της Μαυροζούμενας είναι κατασκευασμένη στον αρχαίο δρόμο, που οδηγούσε από ανατολικά προς την αρχαία Μεσσήνη. Η γέφυρα στα χαμηλότερα σημεία της είναι αρχαία, χτισμένη με ορθογωνικές πέτρες, όπως τα τείχη της Μεσσήνης.

Αρχαία είναι και η θεμελίωση της γέφυρας. Βρίσκεται σε απόσταση περίπου 1,5 km βορειοανατολικά της Αρκαδικής Πύλης, στη συμβολή ακριβώς δύο ρεμάτων του ποταμού Παμίσου, στην είσοδο του χωριού Νεοχώρι στο δρόμο προς Μελιγαλά.

Η ονομασία της, Γέφυρα της Μαυροζούμενας, οφείλεται στην ανακατασκευή που έκανε τον 12ο ή 13ο αιώνα για την σύζυγό του ο επονομαζόμενος στρατηγός Μαυροζούμης.



Εικόνα 1. Γέφυρα της Μαυροζούμενας

2.2 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Το δίκτυο ύδρευσης της Βαλύρας λειτουργεί από το 1963 με την κατανάλωση νερού να ανέρχεται στα 90.000 m³ ανά έτος.

Το νερό προέρχεται από γεωτρήσεις βάθους 80 μέτρων, από το 2000, στη θέση Ξυλοκερατιά, στο όριο των δήμων Μελιγαλά- Ιθώμης.

Η παροχή είναι 70-80 m³/h και το καλοκαίρι ο Δήμος Ιθώμης χρησιμοποιεί και το δίκτυο του αγίου Φλώρου.

Η άντληση από τη γεώτρηση της Ξυλοκερατιάς σταμάτησε και έγινε νέα γεώτρηση στην περιοχή Σέλικο, στην Πέρα Μεριάτο το 2018 και με το πρόγραμμα Θησέας, έγινε αντικατάσταση του εσωτερικού δικτύου ύδρευσης και κατασκευή νέας δεξαμενής.

3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Τα φράγματα, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, αποτελούν υδραυλικά τεχνικά έργα που κατασκευάζονται με σκοπό την συγκέντρωση και αποθήκευση νερού σε ταμιευτήρα (λεκάνη κατάκλυσης), ο οποίος χρησιμοποιείται για διάφορους σκοπούς όπως παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ύδρευση αστικών κέντρων, άρδευση καλλιεργειών, βιομηχανική χρήση κ.ά. Σχεδιάζονται και υλοποιούνται σε κοίτες ποταμών και χειμάρρων εμποδίζοντας τη ροή του νερού και γι' αυτό το λόγο εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και ιδιαίτερα τη γεωλογία και το κλίμα της περιοχής που πρόκειται να κατασκευαστούν.

Προτείνεται, λοιπόν, η κατασκευή ενός φράγματος στον ποταμό Μαυροζούμαινα για την βέλτιστη επίτευξη της άρδευσης και της ύδρευσης της Βαλύρας και πιθανώς των γύρω περιοχών. Βέβαια, δεν θα πρέπει να παραλειφθεί πως πέραν των βασικών αυτών λειτουργιών του υπό μελέτη φράγματος, θα μπορούν πιθανόν να γίνουν και εναλλακτικές χρήσεις σε συνδυασμό με τις ήδη υπάρχουσες, όπως η ενεργειακή εκμετάλλευση και ο τουρισμός.

3.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ

Κατά την κατασκευή ενός φράγματος θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν πολλές παράμετροι, όπως είναι η σκοπιμότητα του έργου, τα μορφολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής ενδιαφέροντος, τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον, η διαθεσιμότητα των απαραίτητων υλικών κατασκευής (δανειοθάλαμοι) ανάλογα με τον τύπο του φράγματος που έχει επιλεγεί να κατασκευασθεί, καθώς επίσης και οικονομικά κριτήρια. Μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους είναι τα μορφολογικά και γεωλογικά κριτήρια. Επομένως, οι παράμετροι που θα πρέπει πρώτα να ελεγχθούν είναι:

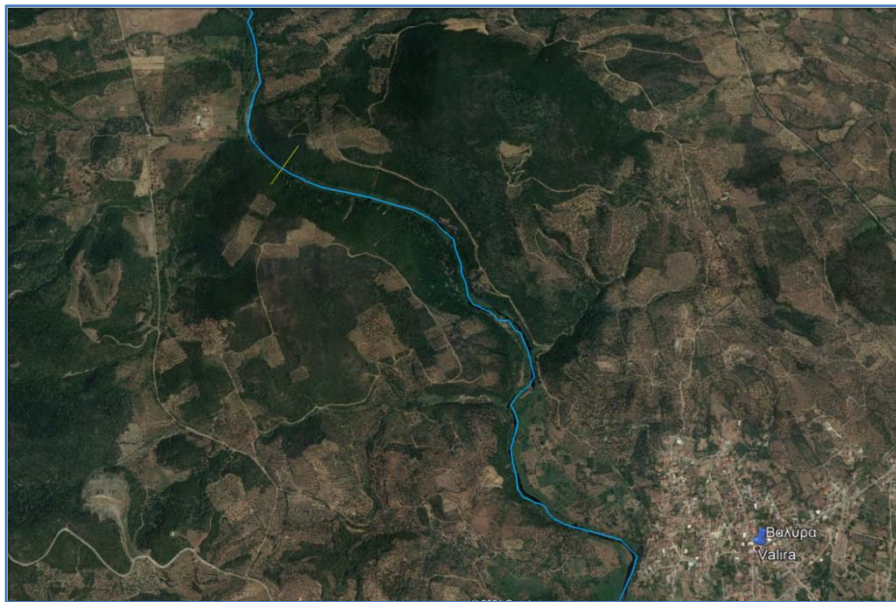
- Η μορφολογία της λεκάνης απορροής της περιοχής, το υδρογεωλογικό καθεστώς και οι γεωλογικές – τεχνικογεωλογικές συνθήκες (στρωματογραφική διάρθρωση, τεκτονική κ.α.).
- Η στεγανότητα του φράγματος και του ταμιευτήρα (λεκάνη κατάκλυσης).
- Η σεισμικότητα της περιοχής.

- Η ευστάθεια των πετρωμάτων θεμελίωσης και των πρανών του ταμειυτήρα.
- Οι δανειοθάλαμοι απόληψης κατάλληλων υλικών σε μικρή σχετικά απόσταση από το έργο.
- Η θέση του υπερχειλιστή και των άλλων συναφών έργων.

Σε προκαταρκτικό στάδιο, πραγματοποιήθηκε η αναγνώριση των πετρωμάτων που υφίστανται στην περιοχή μελέτης καθώς και ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών αυτών αλλά και του εδάφους έδρασης του έργου. Ύστερα από έρευνα σε σχετική βιβλιογραφία τα πορίσματα της έδειξαν ότι τα εμφανιζόμενα πετρώματα καθίστανται ικανοποιητικής αντοχής για τη θεμελίωση φράγματος.

3.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ

Το φράγμα πρόκειται να τοποθετηθεί στη θέση που φαίνεται στο χάρτη και το υψόμετρο θεμελίωσης θα είναι στη στάθμη των +40 m, ενώ καθορίστηκε το συνολικό ύψος του έργου(μέσω των υπολογισμών που αναφέρονται στην συνέχεια) στα 35.2 m,δηλαδή η στέψη του φράγματος στην στάθμη +75.2 m.Για την περίπτωση κατασκευής φράγματος μεγαλύτερου ύψους παρατηρούνται διαφυγές από άλλο σημείο της λεκάνης.



Εικόνα 2. Θέση του φράγματος στο Google Earth

3.3 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΥΠΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

- Γεωτεχνικές συνθήκες θεμελίωσης
 - i. Βράχος, καλή αντοχή: κάθε τύπος
 - ii. Ασθενέστερα, αποσαθρωμένα υλικά: εύκαμπτα φράγματα

- Μορφολογία
 - i. Στενές, βαθιές χαράδρες: τοξωτά, σκυρόδεμα, RCC
 - ii. Ανοιχτές κοιλάδες: εύκαμπτα

- Διαθέσιμα υλικά κατασκευής
 - i. Περίσσεια λεπτόκοκκων υλικών: χωμάτινο, λιθόρριπτο με πυρήνα
 - ii. Περίσσεια λιθορριπής, καλού υλικού: λιθόρριπτο με πυρήνα αργίλου ή άλλο υλικό ή ανάντη πλάκα σκυροδέματος

- Σεισμικότητα
- Διαθέσιμο τοπικό δυναμικό ή δυνατότητα μεταφοράς από αλλού
- Συνοδά έργα
 - i. Μέγεθος υπερχειλιστή
 - ii. Θέση για υδροληψία

- Ύψος και μήκος φράγματος
- Συσχέτιση θέσης με μέγεθος και μορφή ταμιευτήρα
- Στεγανότητα
- Αξία κατακλυζόμενης γης

- Χρήσεις γης και ποιότητα νερού ανάντη
- Περιβαλλοντικά θέματα
- Αισθητικοί περιορισμοί
- Περιορισμοί από αδυναμία απόληψης διαθέσιμων υλικών
- Καιρικές συνθήκες θέσης κατασκευής (κυρίως θερμοκρασία)
- Επιθυμητή/απαιτούμενη ταχύτητα κατασκευής
- Πιθανή επεκτασιμότητα

	Τοξωτά	Ανηριδωτά βαρύτητας	Σκυρόδεμα βαρύτητας	RCC βαρύτητας	Λιθόρριπτα με ΑΠΣ	Λιθόρριπτα με πυρήνα	Χωμάτινα
Υγής βράχος ή λίγο αποσαθρωμένος	Κατάλληλα	Κατάλληλα	Κατάλληλα	Κατάλληλα	Κατάλληλα	Κατάλληλα	Κατάλληλα
Βράχος με μέτρια αποσάθρωση	Μάλλον ακατάλληλα	Γενικά κατάλληλα	Κατάλληλα	Κατάλληλα	Κατάλληλα	Κατάλληλα	Κατάλληλα
Αποσαθρωμένος βράχος	Ακατάλληλα	Γενικά κατάλληλα	Γενικά κατάλληλα	Γενικά κατάλληλα	Κατάλληλα	Κατάλληλα	Κατάλληλα
Αλλούβια	Ακατάλληλα	Ακατάλληλα	Πιθανόν, για μικρά ύψη <20μ	Πιθανόν, για μικρά ύψη <20μ	Κατάλληλα	Κατάλληλα	Κατάλληλα
Αργιλικά ή αμμώδη	Ακατάλληλα	Ακατάλληλα	Πιθανόν, για μικρά ύψη <15μ	Πιθανόν, για μικρά ύψη <15μ	Μάλλον ακατάλληλα	Μάλλον ακατάλληλα	Πιθανόν κατάλληλα
Ανομοιογενείς	Ακατάλληλα	Πιθανόν κατάλληλα	Πιθανόν κατάλληλα	Πιθανόν κατάλληλα	Πιθανόν κατάλληλα	Πιθανόν κατάλληλα	Πιθανόν κατάλληλα

Πίνακας 1. Καταλληλότητα τύπων φραγμάτων σε αναλογία με το έδαφος θεμελίωσης

3.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΥΠΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Τα φράγματα **σκληρού επιχώματος** δεν απαιτούν υψηλή αντοχή πετρωμάτων στη θεμελίωση χάρη στο χαμηλό επίπεδο τάσεων ($\gamma \cdot h$) που ασκούν σε αυτήν. Έτσι παρέχεται η δυνατότητα κατασκευής τους σε ένα ευρύτερο φάσμα πετρωμάτων. Στο σώμα αναπτύσσονται επίσης χαμηλές τάσεις και χρησιμοποιούνται σε αυτό αδρανή χαμηλής αντοχής. Κατα αυτόν τον τρόπο εκμηδενίζεται πρακτικά η ευαισθησία σε σεισμικές καταπονήσεις και για αυτόν τον λόγο μπορούν να παρατηρηθούν φράγματα Σ.Ε. και σε περιοχές υψηλής σεισμικής δραστηριότητας. Τα φράγματα Σ.Ε. προσφέρουν ακόμα “φυσική” αποστράγγιση του σώματός τους και παράλληλα αποφυγή ανάπτυξης πίεσης των πόρων στο εσωτερικό τους.

Αξίζει βέβαια να σημειωθούν και οι αρνητικές επιπτώσεις που επιφέρουν, όπως είναι η ανάγκη κατασκευής στεγανού στοιχείου στην ανάντη παρειά του φράγματος, π.χ.

– Πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος

– Μεμβράνη

– Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (σε φράγματα μικρού ύψους) και η ανάγκη κατασκευής πλίνθου.

Παρ' ότι υπάρχουν οι προαναφερθείσες επιπτώσεις, τα θετικά τις υπερνικούν σε μεγάλο βαθμό. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα όμως στα φράγματα Σ.Ε. είναι η μεγάλη μείωση του κόστους κατασκευής υπερχειλιστή (ειδικότερα σε σύγκριση με χωμάτινα φράγματα που η κατασκευή του γίνεται ξεχωριστά από το φράγμα), η μείωση του κόστους συστήματος εκτροπής και τέλος η δραματική μείωση του χρόνου κατασκευής (πιο συγκεκριμένα είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν 2 στρώσεις πάχους 30cm ανά ημέρα, με αποτέλεσμα φράγμα 35 μέτρων να μπορεί να κατασκευαστεί μέσα σε 50-60 ημέρες). Η ταχεία ανύψωση φράγματος Σ.Ε. επιτρέπει τον περιορισμό των παραδοχών σχεδιασμού του συστήματος εκτροπής.

4. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

4.1 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του Νομού Μεσσηνίας, 20 περίπου χιλιόμετρα βορειοδυτικά της Καλαμάτας.

Η ευρύτερη περιοχή βρίσκεται εντός της υδρολογικής λεκάνης με αριθμό 20 (υπόλοιπα Ν. Μεσσηνίας) του υδατικού διαμερίσματος της νοτιοδυτικής Πελοποννήσου (01), στην οποία αναπτύσσεται το υδρογραφικό δίκτυο του ρέματος Μαυροζούμενα με τους παραποτάμους του, που σε κάποιο σημείο συνδέονται και αποστραγγίζουν τον κύριο όγκο των κατακρημνισμάτων που δέχεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης.

Η υπό μελέτη έκταση έχει ένα επίμηκες σχήμα με άξονα διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ, που αρχίζει από το βορειοδυτικό τμήμα που βρίσκεται στο σημείο που ενώνεται το ρέμα του Σφένδαμου και το ρέμα του Σιδηρογίδουρου με το ρέμα Μαυροζούμενα.

Η θέση αυτή βρίσκεται κοντά στον οικισμό Μελιγαλά, διασχίζει περιοχές και οικισμούς όπως η Βρείζα, τα Δανιλαίικα, το Κούτσουρο και τη Μούλκια, για να καταλήξει λίγο νοτιότερα από την κορυφή Τσούκα (258 μέτρα), στη Βαλύρα του δήμου Ιθώμης.

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης παρουσιάζονται σχετικά μικρές κλίσεις με εξαίρεση το νοτιότερο τμήμα όπου παρουσιάζει μεγαλύτερες κλίσεις λόγω της απότομης μείωσης του υψομέτρου σε σχέση με τις γειτονικές θέσεις.

Έως και σήμερα, η ευρύτερη και εγγύτερη περιοχή έρευνας εμφανίζεται σταθερή, χωρίς καταπτώσεις και άλλα σχετικά προβλήματα που συνήθως καθορίζουν την ύπαρξη μη σταθερής ή διαχρονικά μεταβαλλόμενης τοπογραφίας.

Συγκεκριμένα, το ανάγλυφο της περιοχής δεν υπόκειται σε μεταβολές, οι οποίες μπορεί να οφείλονται σε γεωδυναμικές διεργασίες και ανθρώπινες παρεμβάσεις, ή σε συνδυασμό αυτών, όπως έλλειψη ευστάθειας πρανών, ερπυσμούς, κατολισθήσεις, καθώς και ανθρώπινης δράσης, όπως δανειοληψία, και λατομεία, με εξαίρεση την απόρριψη μπαζών και τις επιχωματώσεις.

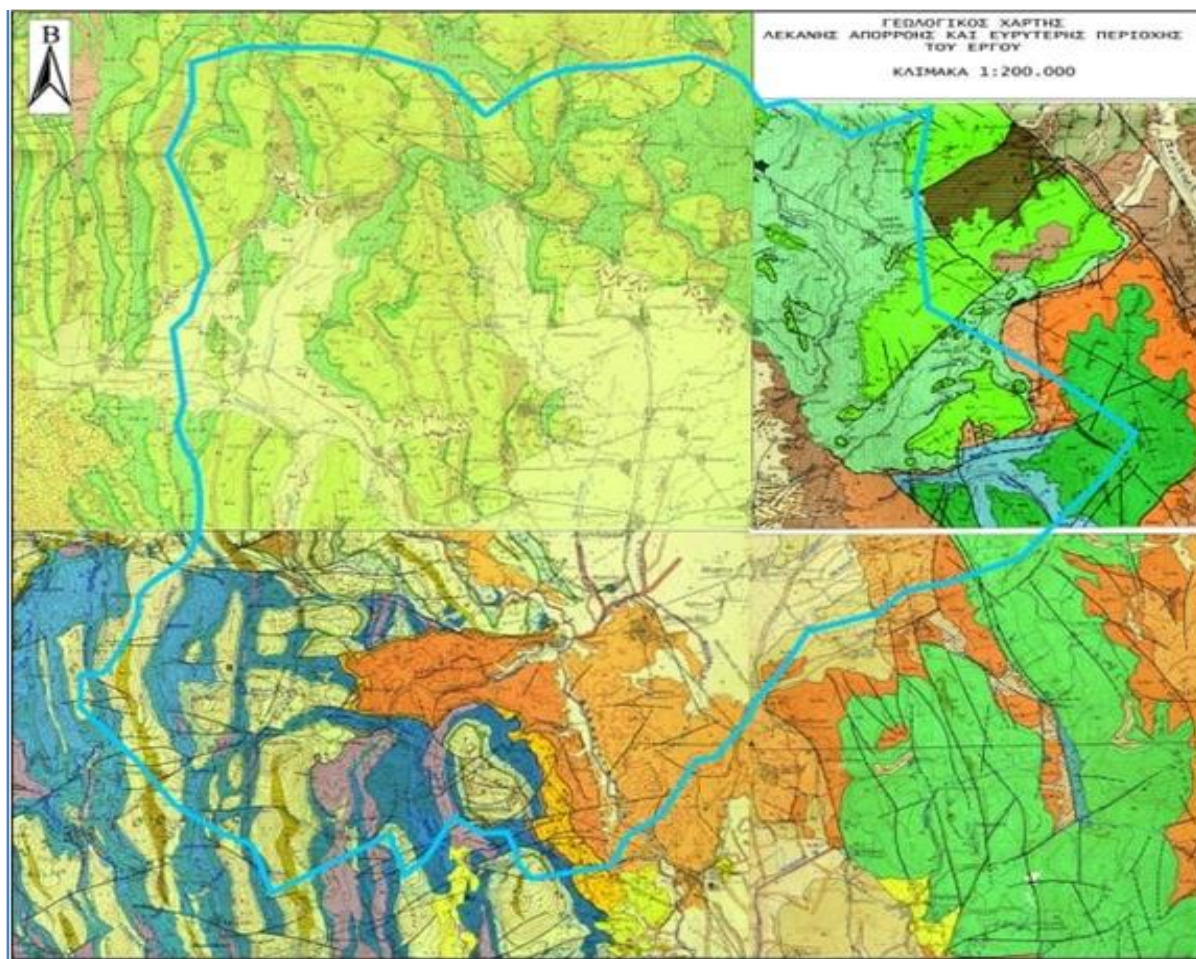
Στο παρακάτω σχήμα διακρίνονται τα όρια της υδρολογικής λεκάνης (λεκάνη απορροής), όπως αυτά καθορίστηκαν με τη χάραξη του υδροκρίτη.

Η χάραξη του υδροκρίτη έγινε σε τοπογραφικό χάρτη κλίμακας 1:50.000 με την βοήθεια του AutoCAD, ενώνοντας τις κορυφές και τις ράχες γύρω από το εξεταζόμενο υδατόρεμα και ακολουθώντας τα υψηλότερα σημεία του ανάγλυφου.

Η συνολική έκταση της λεκάνης απορροής εκτιμήθηκε ίση με 428 km² Το ελάχιστο υψόμετρο (H_{min}) στη προτεινομένη θέση έδρασης του σώματος του φράγματος, στο νοτιότερο τμήμα της λεκάνης είναι + 40 m.

Για τη μελέτη των πετρωμάτων της περιοχής μελέτης έγινε χρήση 4 γεωλογικών χαρτών, οι οποίοι συνδέθηκαν και χαραχτήκε επί των κορυφών των εδαφικών σχηματισμών ο υδροκρίτης. Στη συνέχεια μελετήθηκε ο συνδυασμένος χάρτης και εξήχθησαν τα ποσοστά των πετρωμάτων που κυριαρχούν στη λεκάνη

απορροής με βάση το υπόμνημα.



Εικόνα 3. Σχεδίαση ανάντη λεκάνης απορροής του σημείου κατασκευής του φράγματος στον γεωλογικό χάρτη της περιοχής

Η λεκάνη απορροής της περιοχής μελέτης απαρτίζεται, λοιπόν, κυρίως από τα παρακάτω πετρώματα με τα εξής χαρακτηριστικά:

- **37.2% Ασβεστόλιθοι:** Είναι ιζηματογενές πέτρωμα, χαμηλής διαπερατότητας και αποτελείται από ασβεσίτη σε ποσοστό 90-100%. Ο ασβεστόλιθος μπορεί να μετατραπεί σε καρστικό ασβεστόλιθο με την επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα παρουσία υγρασίας. Το νερό σχηματίζει ανθρακικό οξύ, ο ασβεστόλιθος αποσθρώνεται χημικά σχηματίζοντας κενά (έγκοιλα), σπήλαια με σταλακτίτες και σταλαγμίτες. Τα καρστικά πετρώματα είναι έντονα υδατοπερατά και η μη εντόπιση ύπαρξής τους δημιουργεί προβλήματα σε έργα, όπως για παράδειγμα λιμνοδεξαμενών, θεμελιώσεις τεχνικών έργων, διάνοιξη σηράγγων.

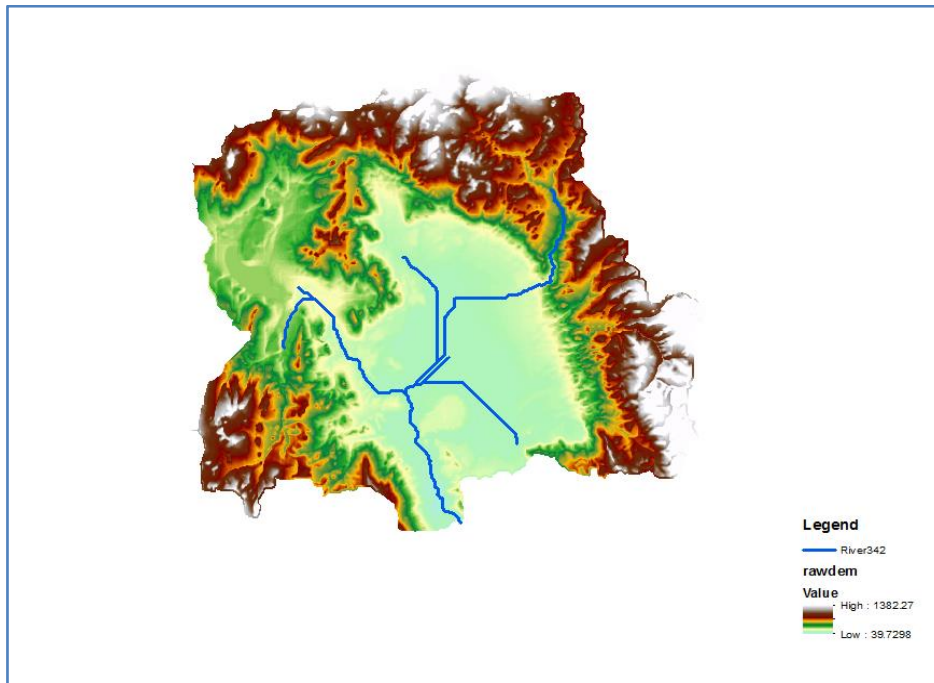
• 21.4% Αλλούβιες αποθέσεις: Οι αλλούβιες ή αλλουβιακές αποθέσεις ή προσχώσεις είναι οι αποθέσεις αργίλου, άμμου, λατυπών (χαλικιών) και άλλων φερτών υλικών που παράγονται εξαιτίας της ροής ύδατος σε ένα ποτάμιο περιβάλλον.

• 21.3% Κερατόλιθος: Είναι ιζηματογενές πέτρωμα, πολύ σκληρό και συμπαγές. Αποτελείται κατά το πλείστον από κρυσταλλικό και άμορφο διοξείδιο του πυριτίου με διάφορες ξένες προσμίξεις (αιματίτης, ασβεστίτης, αργιλικά ορυκτά).

• 7.1% Φλύσχη (θέση φράγματος): Ο φλύσχη αποτελείται από μια σειρά από εναλλαγές στρωμάτων αργίλων, ψαμμιτών, μαργών, ασβεστόλιθων και κροκαλοπαγών. Στη μία περιοχή μπορεί να παρατηρείται ρυθμική εναλλαγή λεπτών στρωμάτων αργίλων και ψαμμιτών ή κροκαλοπαγών κλπ., στην άλλη να υπερτερούν τα αργιλικά υλικά, στην άλλη οι ψαμμίτες με στρώσεις μεγάλου πάχους, στην άλλη οι μάργες κλπ. Δηλαδή μπορεί να αποτελείται από διάφορα (κυρίως) κλαστικά ιζήματα σε οποιαδήποτε αναλογία. Γενικά όταν υπερτερούν σε πάχος οι στρώσεις των αργίλων όλος ο λιθολογικός σχηματισμός χαρακτηρίζεται από τις ιδιότητες των αργίλων (πλαστικότητα, υδατοστεγανότητα, συμπίεστικότητα και τάση για κατολίσθηση). Αντίθετα όταν η σειρά αποτελείται από παχιά στρώματα ψαμμιτών χαρακτηρίζεται από ευστάθεια των κλιτύων και από υψηλή αντοχή σε φορτία. Συνήθως τα στρώματα του φλύσχη είναι πτυχωμένα και επομένως τεκτονικά καταπονημένα (πολλαπλές ρωγμές, πολλαπλοί θρυμματισμοί κλπ.) και εγκλείουν υπολειμματικές τάσεις.

• 12.9% Άλλα πετρώματα: 2.9% δολομίτες, 5% διάφορα στρώματα μετάδοσης, 3% διάφορα κλαστικά πετρώματα, 2% άλλα

Η έκταση της λεκάνης απορροής, τέλος, υπολογίστηκε από αρχείο dem στο ArcGIS ίση με **428 km²**.



Εικόνα 4. Ανάντη λεκάνη απορροής του ρέματος Μαυροζούμενα στην θέση κατασκευής του έργου

Για να γίνει αυτό λήφθηκε ψηφιακό μοντέλο εδάφους της Μεσσηνίας και κατάντη της θέσης κατασκευής του φράγματος τέθηκε σημείο πάνω στο υδρογραφικό δίκτυο από όπου ανάντη του χαράσσεται ο υδροκρίτης. Οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν είναι κατά τη σειρά του toolbox του Hec GEOHMS στο ArcMap. Δηλαδή:

- Fill DEM (διόρθωση βυθισμάτων στο DEM της Μεσσηνίας)
- Flow Direction (κάνναβος διευθύνσεων ροής)
- Flow Accumulation (κάνναβος συγκεντρωτικής ροής)
- Κατώφλι ορισμού ρέματος
- Καθορισμός θέσης προσομοίωσης
- Χάραξη υπολεκάνης απορροής
- Υπολογισμός τοπογραφικών χαρακτηριστικών

4.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ

Γεωλογικά, η λεκάνη κατάκλυσης (ο ταμειυτήρας που πρόκειται να διαμορφωθεί) δομείται από τον σχηματισμό του φλύσχη Τριπόλεως, που περιλαμβάνει μεταμορφωμένους και κατά θέσεις πτυχωμένους ψαμμίτες, αργιλικούς σχιστόλιθους και άλλα μεταμορφωμένα κλαστικά υλικά και από

πετρώματα Τεταρτογενούς ηλικίας, που καλύπτουν το υπόλοιπο της επιφάνειας της.

Από πλευράς περατότητας οι σχηματισμοί αυτοί είναι αδιαπέρατοι με πολύ μικρή, πρακτικά μηδενική υδραυλική αγωγιμότητα ($K < 10^{-7}$ m/s), και έτσι δεν παρουσιάζονται προβλήματα διαφυγών μέσα από τη μάζα τους. Επομένως δημιουργούν μια αδιαπέρατη ζώνη στην ευρύτερη περιοχή που εκτείνεται σε μεγάλο εύρος και σημαντικό πάχος το οποίο θα μπορούσε να προσδιοριστεί με γεωτεχνική έρευνα.

4.3 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ

Από πλευράς σεισμικότητας, η περιοχή βρίσκεται εντός της ζώνης II σεισμικής επικινδυνότητας της ΝΕΑΚ, με τιμή επιτάχυνσης $\alpha=0,24$ g στην οποία ανήκει όλος ο νομός Μεσσηνίας. Από απόψεως σεισμικής επικινδυνότητας οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντήθηκαν κατά μήκος της χάραξης χαρακτηρίζονται :

α) Εδάφη με μικρή σεισμική επικινδυνότητα: Ασβεστολιθικά πετρώματα. Τα συγκεκριμένα πετρώματα βρίσκονται στο βορειότερο τμήμα της ευρύτερης περιοχής και πιθανά στο υπόβαθρο αυτής. Ενδέχεται να επηρεάσουν τη συμπεριφορά των επιφανειακών πετρωμάτων κατά μήκος του άξονα του έργου ανάλογα με την κατεύθυνση της σεισμικής επιτάχυνσης και του μεγέθους πιθανού σεισμικού γεγονότος.

β) Εδάφη με μέτρια σεισμική επικινδυνότητα: Η σειρά των λεπτοπλακωδών ασβεστολίθων, των πηλιτών και κερατολίθων με το αποσαθρωμένο τμήμα αυτής.

γ) Εδάφη με μεγάλη σεισμική επικινδυνότητα: Οι αλλουβιακές αποθέσεις, οι σύγχρονες αποθέσεις χειμάρρων, και ολόκληρη η ακολουθία της κλαστικής σειράς που εμφανίζει μεγάλη ετερογένεια.

Βέβαια, λόγω της σημασίας του έργου, θα πρέπει να γίνει και ειδική σχετική μελέτη.

5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΝΑΓΚΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ

5.1 ΥΔΡΕΥΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ

Η χρήση νερού από τον ταμιευτήρα του προς μελέτη φράγματος για την κάλυψη υδρευτικών αναγκών έχει ως σκοπό την αντιμετώπιση των προβλημάτων της υδροδότησης του Δήμου Μεσσήνης. Στον συγκεκριμένο δήμο εμφανίζεται έλλειψη νερού ύδρευσης λόγω ποιοτικής υποβάθμισης των υδάτων (υφαλμήρωση λόγω υπερβολικής άντλησης νερού από γεωτρήσεις, παρουσία νιτρικών εξαιτίας των λιπασμάτων από εντατικές καλλιέργειες) και λόγω της αύξησης των αναγκών. Καθώς αναμένεται περαιτέρω αύξηση των αναγκών τα επόμενα χρόνια και περαιτέρω υποβάθμιση των υδάτων, προτείνεται ως εναλλακτική πηγή υδροδότησης ο ταμιευτήρας του προς μελέτη έργου.

α) Ανάπτυξη Πληθυσμού

Σύμφωνα με τις απογραφές του 1991, 2001 και 2011 ο πληθυσμός της Δημοτικής ενότητας Μεσσήνης και της τοπικής κοινότητας Βαλύρας ήταν:

α/α	1991	2001	2011
Μεσσήνη	6519	6403	6693
Βαλύρα	982	881	843

Πίνακας 2. Πληθυσμός Δημοτικής ενότητας Μεσσήνης και τοπικής κοινότητας Βαλύρας για τις χρονιές 1991, 2001 και 2011

Για τον σχεδιασμό των προτεινόμενων έργων κάλυψης των υδρευτικών αναγκών, εκτιμήθηκε ο μελλοντικός πληθυσμός για χρονικό ορίζοντα 60 ετών, σύμφωνα με τη μέθοδο ανατοκισμού (πρόταση Υπουργείου Εσωτερικών), ο οποίος εξελίσσεται χρονικά σύμφωνα με την εκθετική σχέση :

$$\text{Πμ} = \text{Πσ} (1 + \tau)^n$$

όπου:

Πμ: είναι ο πληθυσμός στο τέλος της χρονικής περιόδου.

Πσ: είναι ο πληθυσμός στην αρχή της περιόδου.

τ: είναι ο ρυθμός της αυξήσεως.

ν: είναι το πλήθος των ετών της χρονικής περιόδου που μελετάται.

Για την περίπτωση της Δ. Ε. Μεσσήνης προκύπτει ρυθμός αύξησης του πληθυσμού, 7,7% ανά δεκαετία, ενώ για την Τ.Κ. Βαλύρας ένας ρυθμός μείωσης 4,5% ανά δεκαετία, καθώς υπάρχει έντονη τάση αστικοποίησης και μεταναστευτικότητας, ενώ ο πληθυσμός παρουσιάζει μια φθίνουσα τάση. Με βάση τα ποσοστά αυτά προβλέπεται ότι σε χρονικό ορίζοντα 60 ετών ο πληθυσμός θα είναι 9812 κάτοικοι στη Μεσσήνη και 636 στη Βαλύρα. Δεδομένου ότι η Μεσσήνη αποτελεί τουριστική περιοχή για το καλοκαίρι, προκειμένου να καλύπτονται οι ανάγκες σε νερό την περίοδο αυτή, θεωρούμε 15% αύξηση του πληθυσμού για τους καλοκαιρινούς μήνες, γεγονός που ισοδυναμεί με 1500 τουρίστες περίπου ανά τουριστική περίοδο.

β) Ποσότητα νερού που απαιτείται για την κάλυψη αναγκών

Οι ανάγκες σε νερό υπολογίστηκαν για το έτος 2071. Στη χώρα μας ισχύει Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με την οποία καθορίζονται τα κατώτατα και τα ανώτατα όρια των ειδικών καταναλώσεων για την ορθολογική χρήση του νερού στην ύδρευση για το σύνολο της χώρας (Κ.Υ.Α. αρ.Δ11/Φ.16/8500/22-03-1991). Τα όρια αυτά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Αυτά που αφορούν υδρεύσεις οικισμών, εφαρμόζονται δηλαδή σε περιπτώσεις φορέα διανομής νερού ύδρευσης με συλλογικό δίκτυο και ορίζονται σε 100 L/d/κάτοικο νερού το κατώτατο όριο και σε 250 L/d/κάτοικο το ανώτατο. Σημειώνεται ότι τα όρια αυτά δεν περιλαμβάνουν τις απώλειες και αναφέρονται στο σύνολο των αναγκών που εξυπηρετεί το κάθε υδρευτικό δίκτυο.
2. Αυτά που αφορούν μεμονωμένη χρήση και ορίζονται σε 100 & 200 L/d/ κάτοικο το κατώτατο και ανώτατο όριο αντίστοιχα.
3. Αυτά που αφορούν τουριστικές εγκαταστάσεις, όπως ξενοδοχεία, κάμπινγκ, επιπλωμένα διαμερίσματα, κ.λ.π. πλην ενοικιαζόμενων δωματίων, τα οποία εντάσσονται στις προηγούμενες περιπτώσεις 1 και 2.

Με την ίδια Κ.Υ.Α ορίζονται επίσης τα εξής:

- a. Η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση λαμβάνεται ίση με το 1,5 της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης.

b. Οι απώλειες των δικτύων λαμβάνονται σε ποσοστό 20% σε περίπτωση δικτύων ηλικίας μέχρι 35 ετών και 40% για παλαιότερα δίκτυα.

Για τις υδρευτικές ανάγκες των μελών του Συνδέσμου θεωρούμε μέση ημερήσια κατανάλωση 200 L/d/κατ για τους μόνιμους κατοίκους και 250L/d/κατ για τους τουρίστες και απώλειες στο δίκτυο ίσες με 20%.

Οι υπολογισμοί των αναγκών θα γίνουν με αυτήν την παραδοχή η οποία συμφωνεί με την Ελληνική Νομοθεσία (Κ.Υ.Α/1991) και εναρμονίζεται με την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για εξοικονόμηση νερού στο μέλλον.

Οι ανάγκες σε νερό ύδρευσης παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα.

Αρχικοί κάτοικοι	6287												
Μελλοντικοί κάτοικοι	11000												
Παραθεριστές	1500												
ΥΔΡΕΥΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ													
Μήνας		Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	
Ημέρες ανά μήνα	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Υδρευτικές ανάγκες μόνιμων κατοίκων (L/d/κατ.)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Οικιστική χρήση(L/month/κατ)	6200	5600	6200	6000	6200	6000	6200	6200	6000	6200	6000	6200	6200
Συνολική Οικιστική Χρήση 11000 κατοίκων(hm ³ /month)	0.068	0.062	0.068	0.066	0.068	0.066	0.068	0.068	0.066	0.068	0.066	0.068	0.068
Υδρευτικές ανάγκες παραθεριστών(L/d/κατ.)	0	0	0	0	0	250	250	250	0	0	0	0	0
Παραθεριστική Χρήση(L/month/κατ.)	0	0	0	0	0	7500	7750	7750	0	0	0	0	0
Συνολική Παραθεριστική Χρήση 1500 κατοίκων(hm ³ /month)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.012	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Πίνακας 3. Υπολογισμός υδρευτικών αναγκών

5.2 ΑΡΔΕΥΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ

Οι αρδευτικές ανάγκες προσδιορίζονται αφενός από τις ανάγκες που εμφανίζουν οι καλλιέργειες, αφετέρου από τις δυνατότητες άρδευσης που μπορεί να παρέχει το προτεινόμενο μελετούμενο φράγμα πάντα σε ετήσια βάση, ενός δηλαδή υδρολογικού κύκλου.

α) Αρδευτικές ανάγκες ελιάς

Στην περιοχή ανάπτυξης μία από τις καλλιέργειες που επικρατεί και έχει ανάγκες άρδευσης την ξηρή περίοδο είναι αυτή της ελιάς. Οι ανάγκες ανά στρέμμα εκτιμώνται στα 200-250 m³/ έτος σύμφωνα με το εδαφικό υπόβαθρο, αλλά και τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής. Σε περίπτωση που εφαρμοστεί ελλειμματική άρδευση σε συνδυασμό με στάγδην τότε οι ανάγκες μπορούν να μειωθούν σε 140-180 m³/έτος /στρέμμα.

Ο αριθμός των στρεμμάτων που είναι δυνατόν να καλυφθούν προσδιορίζεται από τις δυνατότητες του φράγματος - υδροληπτικού υδραυλικού έργου.

Στην ΠΕ Μεσσηνίας έχουν μελετηθεί δύο φράγματα και έχει κατασκευαστεί το ένα εκ των δύο. Το Φιλιατρινό και το Μιναγιώτικο. Το Μιναγιώτικο εκτιμάται ότι θα αρδεύει συνολική έκταση ελαιόδεντρων της τάξης των 35.000 στρεμμάτων, περίπου, ενώ το Φιλιατρινό γύρω στα 45.000 στρέμματα.

Στην περίπτωση που εξετάζουμε επειδή η ευρύτερη περιοχή έχει πολύ λιγότερες εκτάσεις που γίνεται εντατική καλλιέργεια ελιάς αλλά και οι δυνατότητες, ή αλλιώς ο ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρα αναμένεται μικρότερος, ο στόχος είναι να καλύψουμε μία έκταση της τάξης των 20.000 στρεμμάτων.

Από βιβλιογραφικά στοιχεία η βάση των 20.000 στρεμμάτων θεωρείται ικανοποιητική για τα δεδομένα της περιοχής σύμφωνα με την εμπειρία στην ΠΕ μεσσηνίας, αλλά και στη χώρα μας γενικότερα.

Πιο αναλυτικά, σύμφωνα με το ΦΕΚ 1989 οι αρδευτικές ανάγκες των ελαιόδεντρων με φυτικό συντελεστή $K=0,55$ για το υδατικό διαμέρισμα 01 Δυτικής Πελοποννήσου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

ΑΡΔΕΥΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΕΛΑΙΟΔΕΝΤΡΩΝ														
Μήνας	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	Έτος	
Αρδευτικές ανάγκες ελιάς ανά στρέμμα	0	0	0	58	82	91	96	93	71	0	0	0	491	m ³ /στρ
Αρδευτικές ανάγκες 20.000 στρεμμάτων	0	0	0	1160000	1640000	1820000	1920000	1860000	1420000	0	0	0	9820000	m ³
Αρδευτικές ανάγκες 20.000 στρεμμάτων	0	0	0	1.16	1.64	1.82	1.92	1.86	1.42	0	0	0	9.82	hm ³

Πίνακας 4. Αρδευτικές ανάγκες ελαιόδεντρων ανά μήνα

Συνεπώς η εκτίμηση του όγκου του νερού για τις ανάγκες άρδευσης των ελαιόδεντρων ανέρχεται στα 9,82 hm³ σε ένα υδρολογικό έτος.

β) Αρδευτικές ανάγκες χειμερινών καλλιεργειών

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης εκτός των ελαιοδένδρων, αναπτύσσονται και λαχανοκομικές καλλιέργειες περιορισμένης έκτασης, σε σχέση με τις δυνατότητες που υπάρχουν, η οποία εκτιμάται περίπου στα 500 στρέμματα και εξυπηρετούν κυρίως την κάλυψη των αναγκών των τοπικών αγορών. Οι καλλιέργειες αυτές ευδοκιμούν κατά τους χειμερινούς μήνες, δηλαδή από τον μήνα Οκτώβριο μέχρι και τον Μάρτιο. Το χρονικό αυτό διάστημα θεωρούμε ότι καλύπτει δύο καλλιεργητικές περιόδους τριών μηνών έκαστη, καθώς οι καλλιέργειες που αναπτύσσονται περιλαμβάνουν κυρίως υπαίθρια και θερμοκηπιακά κηπευτικά, όπως σολανώδη, σταυρανθή, βολβώδη, σύνθετα και σκιαδανθή (π.χ μπρόκολο, κουνουπίδι, πατάτα, καρότο μαρούλι κ.τ.λ), για τα οποία απαιτείται κατά μέσο όρο διάστημα τριών μηνών από τη σπορά μέχρι τη συγκομιδή τους. Με βάση βιβλιογραφικά στοιχεία και κάνοντας την παραδοχή ότι η άρδευση πραγματοποιείται με καταιονισμό, για όλα τα παραπάνω καλλιεργούμενα είδη θεωρούμε ότι απαιτούνται περίπου 125 m³ νερού/μήνα

/στρέμμα. Παρακάτω παρατίθεται οι αρδευτικές ανάγκες ανά μήνα συνολικά για τα 500 στρέμματα μελέτης.

ΑΝΑΓΚΕΣ ΧΕΙΜΕΡΙΝΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ												
Μήνας	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Αρδευτικές ανάγκες κηπευτικών (m ³ /στρέμμα/month)	125	125	125	0	0	0	0	0	0	125	125	125
Συνολικά για 500 στρέμματα(m ³ /month)	62500	62500	62500	0	0	0	0	0	0	62500	62500	62500
Συνολικά για 500 στρέμματα(hm ³ /month)	0.0625	0.0625	0.0625	0	0	0	0	0	0	0.0625	0.0625	0.0625

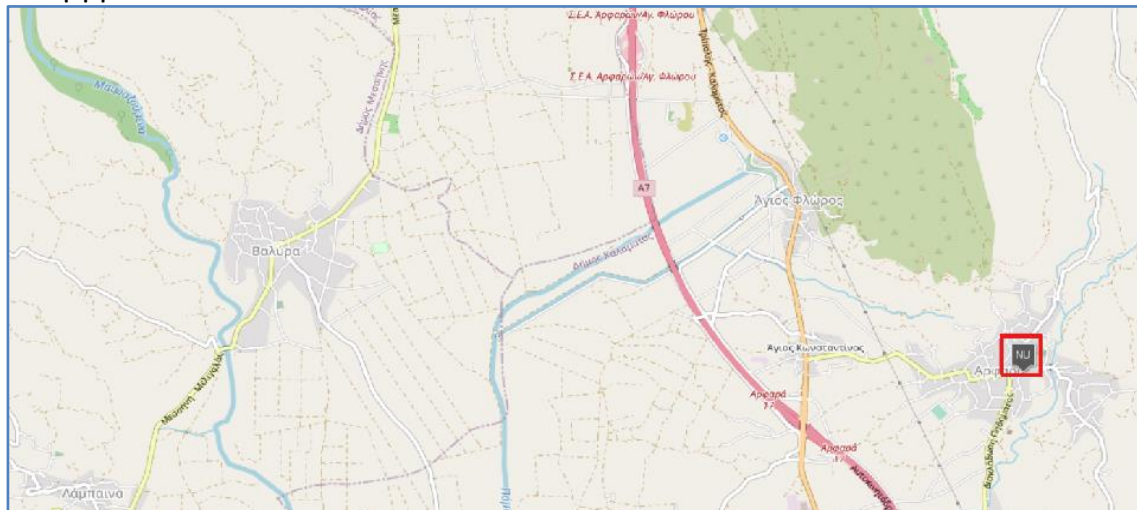
Πίνακας 5. Αρδευτικές ανάγκες χειμερινών καλλιεργειών

6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΙΣΡΟΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί σε μηνιαία βάση το ισοζύγιο του ταμιευτήρα του φράγματος (η κατάρτιση μοντέλου προσομοίωσης της μηνιαίας λειτουργίας του ταμιευτήρα) για την εκτίμηση της ωφέλιμης χωρητικότητας που εξασφαλίζει κάλυψη των αναγκών, ήταν απαραίτητη η εύρεση χρονοσειράς μηνιαίων εισροών. Για την εύρεση της παραπάνω χρονοσειράς, προσδιορίστηκαν αρχικά η μηνιαία χρονοσειρά βροχοπτώσεων και η μηνιαία χρονοσειρά εξατμοδιαπνοών με βάση τα δεδομένα του κοντινότερου μετεωρολογικού σταθμού στην περιοχή μελέτης (meteosearch.meteo.gr).

α) Μηνιαία χρονοσειρά βροχοπτώσεων

Ο κοντινότερος σταθμός στην περιοχή μελέτης βρίσκεται στα Αρφαρά Μεσσηνίας, γειτονική περιοχή της Βαλύρας και έχει τεθεί σε λειτουργία από το Νοέμβριο του 2012.



Εικόνα 5. Θέση μετεωρολογικού σταθμού Αρφαρών Μεσσηνίας (Meteo View)

Συνεπώς, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του συγκεκριμένου σταθμού, βρέθηκαν οι συνολικές μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης για τα 8 τελευταία υδρολογικά έτη της περιοχής μελέτης (Νοέμβριος 2012 -Οκτώβριος 2012). Οι τιμές αυτές συγκεντρώθηκαν στον παρακάτω πίνακα:

Έτος 12-13	Υψος Βροχής(mm)	Έτος 13-14	Υψος Βροχής(mm)	Έτος 14-15	Υψος Βροχής(mm)	Έτος 15-16	Υψος Βροχής(mm)
Νοέμβρης	116.2	Νοέμβρης	328	Νοέμβρης	77.4	Νοέμβρης	120.4
Δεκέμρης	130.4	Δεκέμρης	117.8	Δεκέμρης	247.4	Δεκέμρης	47
Ιανουάριος	169.6	Ιανουάριος	176.6	Ιανουάριος	135.6	Ιανουάριος	143.6
Φλεβάρης	90.2	Φλεβάρης	64.6	Φλεβάρης	180.4	Φλεβάρης	27
Μάρτης	69.4	Μάρτης	119	Μάρτης	122.6	Μάρτης	76.2
Απρίλης	16	Απρίλης	22.2	Απρίλης	6.6	Απρίλης	10.8
Μάιος	38.2	Μάιος	8.6	Μάιος	23.8	Μάιος	50.4
Ιούνιος	6.6	Ιούνιος	9.6	Ιούνιος	81.8	Ιούνιος	61.2
Ιούλιος	6.8	Ιούλιος	4	Ιούλιος	1.6	Ιούλιος	0
Αύγουστος	1.2	Αύγουστος	1.6	Αύγουστος	36.8	Αύγουστος	28.6
Σεπτέμβρης	8	Σεπτέμβρης	38.2	Σεπτέμβρης	103	Σεπτέμβρης	305.2
Οκτώμρης	37.2	Οκτώμρης	138	Οκτώμρης	106.2	Οκτώμρης	122.6
Συν.Υψος	689.8	Συν.Υψος	1028.2	Συν.Υψος	1123.2	Συν.Υψος	993
Έτος 16-17	Υψος Βροχής(mm)	Έτος 17-18	Υψος Βροχής(mm)	Έτος 18-19	Υψος Βροχής(mm)	Έτος 19-20	Υψος Βροχής(mm)
Νοέμβρης	190.5	Νοέμβρης	217.4	Νοέμβρης	135.4	Νοέμβρης	338.4
Δεκέμρης	130.4	Δεκέμρης	120	Δεκέμρης	130	Δεκέμρης	120.2
Ιανουάριος	172.4	Ιανουάριος	105.6	Ιανουάριος	370.4	Ιανουάριος	15.4
Φλεβάρης	36.2	Φλεβάρης	179.2	Φλεβάρης	75	Φλεβάρης	29
Μάρτης	31.4	Μάρτης	51.6	Μάρτης	77.2	Μάρτης	40.4
Απρίλης	20.9	Απρίλης	7.8	Απρίλης	62.6	Απρίλης	20.4
Μάιος	30.7	Μάιος	51.6	Μάιος	15.2	Μάιος	27
Ιούνιος	46.9	Ιούνιος	147.6	Ιούνιος	20.8	Ιούνιος	0.8
Ιούλιος	110	Ιούλιος	9	Ιούλιος	18.8	Ιούλιος	23.8
Αύγουστος	2.6	Αύγουστος	28.4	Αύγουστος	0.8	Αύγουστος	1.2
Σεπτέμβρης	4	Σεπτέμβρης	83.4	Σεπτέμβρης	40.6	Σεπτέμβρης	73.8
Οκτώμρης	32.6	Οκτώμρης	34.8	Οκτώμρης	25.8	Οκτώμρης	74.2
Συν.Υψος	808.6	Συν.Υψος	1036.4	Συν.Υψος	972.6	Συν.Υψος	764.6

Πίνακας 6. Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης στον σταθμό Αρφαρά Μεσσηνίας από την αρχή λειτουργίας του σταθμού

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής υπολογίστηκε ίσο με 944 mm.

β) Μηνιαία χρονοσειρά εξατμοδιαπνοών

Για την εκτίμηση της μηνιαίας χρονοσειράς εξατμοδιαπνοών για τα αντίστοιχα υδρολογικά έτη χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Blaney-Criddle, η οποία αποτελεί μια εμπειρική σχέση ανάμεσα στην εξατμοδιαπνοή, τη μέση θερμοκρασία του αέρα και το μέσο ποσοστό ωρών ημέρας (Τεχνική Υδρολογία, Μ.Α. Μιμίκου-Ε.Α. Μπαλάς). Εφαρμόστηκε η συγκεκριμένη μέθοδος, λόγω έλλειψης δεδομένων που χρειάζονται για την χρήση εναλλακτικών μεθόδων. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε χρήση του εξής τύπου:

$$E = \frac{K \cdot (1.8 \cdot T + 32) \cdot p}{3.94}$$

όπου:

K φυτικός συντελεστής
 T μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα σε °C
 p το ποσοστό ωρών ημέρας του συγκεκριμένου μήνα σε σχέση με το σύνολο των ωρών ημέρας του έτους (%). Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$p = 100 \cdot N \cdot \mu / (365 \cdot 12)$$

όπου:

N αστρονομική διάρκεια ημέρας (hr)
 μ ημέρες του μήνα

Αντίστοιχα με πριν,βρέθηκαν από τα δεδομένα του σταθμού Αρφαρά Μεσσηνίας οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για όλους τους μήνες των 8 ετών λειτουργίας του σταθμού.

Μέσες Μηνιαίες Θερμοκρασίες(°C)								
Μήνες/Έτη	'Ετος 12-13	'Ετος 13-14	'Ετος 14-15	'Ετος 15-16	'Ετος 16-17	'Ετος 17-18	'Ετος 18-19	'Ετος 19-20
Νοέμβρης	16.5	15.5	15.3	16.4	15.6	14.2	15.5	16.4
Δεκέμρης	10.7	11.2	12.3	11.5	9.5	11.2	11	12.6
Ιανουάριος	10.4	11.8	10.3	10.8	7.9	11	8.6	9.8
Φλεβάρης	11.5	12.4	9.8	14.1	11.6	11.6	10.9	11.8
Μάρτης	13.6	13.6	12.8	13.3	13.7	14.1	13.8	13.5
Απρίλης	17	15.9	15.9	18.7	16.8	18.9	15.6	15.8
Μάιος	21.7	20	21.1	19.6	20.6	21.9	18.6	21.4
Ιούνιος	24.6	24.7	23.9	26	24.8	24.4	25.9	23.8
Ιούλιος	27.2	27.4	28.6	28.4	28.2	27.2	27.7	27.8
Αύγουστος	28.4	28.7	27.6	28.1	28	27.2	28.6	28.3
Σεπτέμβρης	24.4	24.5	25.5	23.3	24.3	24.6	25.5	25.3
Οκτώμβρης	19.3	19	20.2	19.9	18.9	19.7	21.1	20.2

Πίνακας 7. Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες στον σταθμό Αρφαρά Μεσσηνίας από την αρχή λειτουργίας του σταθμού

Στη συνέχεια, προσδιορίστηκαν προσεγγιστικά με την χρήση κατάλληλου πίνακα(Πίνακας 3.4-Τεχνική Υδρολογία, Μ.Α. Μιμίκου -Ε.Α. Μπαλτάς) τα ποσοστά ωρών ημέρας του κάθε μήνα σε σχέση με το σύνολο των ωρών ημέρας του έτους (%) για γεωγραφικό πλάτος ίσο με 37°(γεωγραφικό πλάτος Βαλύρας).

Μηνιαία ποσοστά ωρών ημέρας % των ωρών ημέρας του έτους												
Γεωγραφικό Πλάτος	Ιανουάριος	Φλεβάρης	Μάρτιος	Απρίλης	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης	Οκτώμβρης	Νοέμβρης	Δεκέμβρης
37	6.93	6.83	8.35	8.88	9.87	9.89	10.05	9.44	8.37	7.88	6.87	6.73

Πίνακας 8. Ποσοστά ωρών ημέρας του κάθε μήνα σε σχέση με το σύνολο των ωρών ημέρας του έτους (%)

Όσον αφορά τον φυτικό συντελεστή K ,αυτός πάρθηκε ενιαίος και ίσος με 0.66 με βάση τον ακόλουθο πίνακα:

Περιοχή	Φυτικός συντελεστής k	Περιοχή	Φυτικός συντελεστής k
Δυτική Πελοπόννησος	0,66	Ανατολική Στερεά Ελλάδα	0,61
Νότια Πελοπόννησος	0,66	Θεσσαλία	0,68
Ανατολική Πελοπόννησος	0,67	Δυτική Μακεδονία	0,65
Δυτική Στερεά Ελλάδα	0,61	Κεντρική Μακεδονία	0,69
Ήπειρος	0,63	Ανατολική Μακεδονία	0,66

Πίνακας 9. Φυτικοί συντελεστές k που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο εκτίμησης Εξατμοδιαπνοής Blaney-Criddle,ενιαίοι για κάθε περιοχή της Ελλάδας(Μεταπτυχιακή Διατριβή-Εκτίμηση περιοχικής Δυνητικής Εξατμισοδιαπνοής με χρήση Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών,ΕΥΦΡΟΣΥΝΗ ΚΑΝΕΛΛΟΥ)

Αξιοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα και τον τύπο που προαναφέρθηκε,εξήχθη η μηνιαία χρονοσειρά εξατμοδιαπνοών:

Μέσες Μηνιαίες Εξατμοδιαπνοές(mm)								
Μήνες/Έτη	Έτος 12-13	Έτος 13-14	Έτος 14-15	Έτος 15-16	Έτος 16-17	Έτος 17-18	Έτος 18-19	Έτος 19-20
Νοέμβρης	71.01	68.93	68.52	70.80	69.14	66.24	68.93	70.80
Δεκέμρης	57.75	58.76	60.99	59.37	55.31	58.76	58.35	61.60
Ιανουάριος	58.88	61.80	58.67	59.71	53.66	60.13	55.12	57.63
Φλεβάρης	60.25	62.10	56.75	65.60	60.46	60.46	59.02	60.87
Μάρτης	78.95	78.95	76.94	78.20	79.20	80.21	79.46	78.70
Απρίλης	93.07	90.12	90.12	97.62	92.61	98.15	89.32	89.85
Μάιος	117.43	112.37	115.64	111.18	114.20	118.02	108.21	116.54
Ιούνιος	126.37	126.67	124.29	130.55	126.84	125.78	130.25	123.99
Ιούλιος	136.23	136.83	140.47	139.86	139.26	136.23	137.74	138.05
Αύγουστος	131.37	132.22	129.09	130.52	130.23	127.96	131.94	131.09
Σεπτέμβρης	106.45	106.70	109.22	103.67	106.19	106.95	109.22	108.72
Οκτώμβρης	88.04	87.33	90.18	89.47	87.09	88.99	92.31	90.18

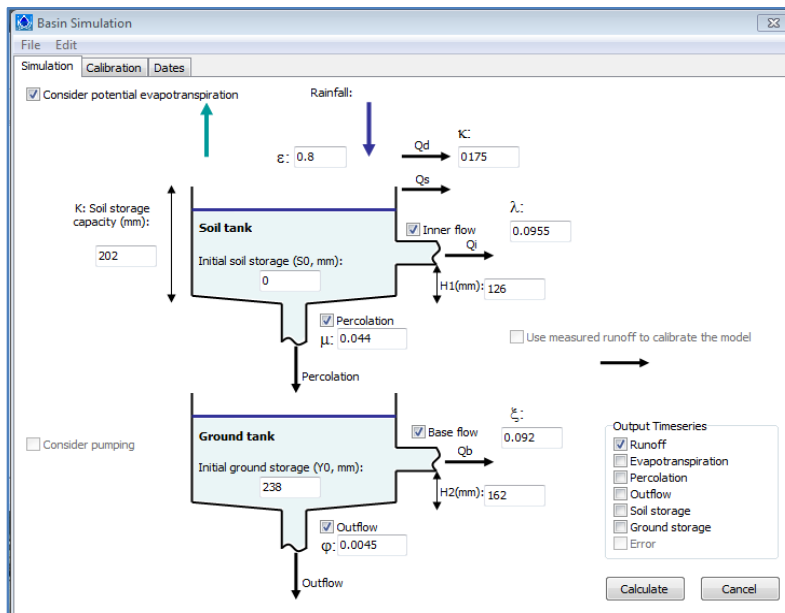
Πίνακας 10. Μηνιαίες τιμές εξατμοδιαπνοής στον σταθμό Αρφαρά Μεσσηνίας από την αρχή λειτουργίας του σταθμού

γ) Εύρεση Μηνιαίων Εισροών με χρήση του Μοντέλου Ζυγός

Εφόσον είχαν υπολογιστεί οι χρονοσειρές βροχοπτώσεων και εξατμοδιαπνοών με βάση τον μετεωρολογικό σταθμό στα Αρφαρά Μεσσηνίας, οι συγκεκριμένες χρονοσειρές εισήχθησαν στο μοντέλο του Ζυγού, του προγράμματος Hydrognomon. Όσον αφορά τις παραμέτρους που εισήχθησαν στο μοντέλο, ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία.

Έγινε σύγκριση των υπαρχόντων πετρωμάτων στη λεκάνης απορροής που μελετάται με εκείνα άλλων λεκανών απορροής στις οποίες έχει εφαρμοστεί το μοντέλο. Από τη διπλωματική εργασία της Τζούκα Αικατερίνης(ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΜΕ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΚΑΝΩΝ-ΔΙΕΥΡΥΝΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΖΥΓΟΣ), βρέθηκε ότι σε μια από τις λεκάνες απορροής στις οποίες έχει εφαρμοστεί ο Ζυγός, τα γεωλογικά της πετρώματα πλησιάζουν τις αναλογίες που έχουν αυτά στη λεκάνη της Μαυροζούμενας. Η λεκάνη αυτή βρίσκεται στον ποταμό Εύηνο στη θέση Πόρος Ρηγανίου. Επομένως, με την παραδοχή ότι η λεκάνη αυτή έχει παρόμοια υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά με την δικιά μας, ελήφθησαν οι παράμετροι για την εφαρμογή του Ζυγού, βάσει των εκτιμήσεων τους από το μοντέλο της διπλωματικής της κας Τζούκα, προσαυξάνοντας μονάχα τον συντελεστή εξάτμισης του μοντέλου στην τιμή $\epsilon=0.8$ λόγω υψηλότερων θερμοκρασιών στην περιοχή του ρέματος της Μαυροζούμενας. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν είχαν τις τιμές:

$$K=202, \epsilon=0.80, \kappa=0.175, S_0=0, \lambda=0.095, H_1=126, \mu=0.044, Y_0=2,38, H_2=162, \xi=0.092, \phi=0.0045.$$



Εικόνα 6. Ληφθείσες παράμετροι για την εφαρμογή του μοντέλου Ζυγός στο πρόγραμμα του Υδρογνώμονα

Μετά την εισαγωγή των παραμέτρων, εφαρμόστηκε το μοντέλο και προέκυψε η μηνιαία χρονοσειρά εισροών του ταμιευτήρα για τα 8 υδρολογικά έτη μελέτης. Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά οι μηνιαίες εισροές για τα 3 πρώτα υδρολογικά έτη:

date	runoff (mm)	ΕΙΣΡΟΗ (hm ³)
2012/11	54.26	23.223
2012/12	35.78	15.314
2013/01	45	19.260
2013/02	39.21	16.782
2013/03	33.98	14.543
2013/04	22.35	9.566
2013/05	12.14	5.196
2013/06	3.43	1.468
2013/07	0.24	0.103
2013/08	0.04	0.017
2013/09	0.28	0.120
2013/10	1.3	0.556
2013/11	59.16	25.320
2013/12	61.03	26.121
2014/01	81.94	35.070
2014/02	51.46	22.025
2014/03	45.8	19.602
2014/04	30.42	13.020
2014/05	16.58	7.096
2014/06	5.89	2.521
2014/07	0.41	0.175
2014/08	0.06	0.026
2014/09	1.34	0.574
2014/10	8.87	3.796
2014/11	2.71	1.160
2014/12	46.34	19.834
2015/01	60.84	26.040
2015/02	88.82	38.015
2015/03	65.510	28.038
2015/04	41.240	17.651
2015/05	24.040	10.289
2015/06	13.370	5.722
2015/07	3.770	1.614
2015/08	1.350	0.578
2015/09	3.610	1.545
2015/10	3.720	1.592

Πίνακας 11. Ενδεικτικές μηνιαίες χρονοσειρές για τα 3 πρώτα υδρολογικά έτη μελέτης

Η μέση τιμή των ετήσιων εισροών των 8 ετών ανέρχεται στα 127.747 hm³.

7. ΕΥΡΕΣΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ

Προκειμένου να διατηρούνται προσδιορισμένα ποσοτικά χαρακτηριστικά του οικοσυστήματος, είναι αναγκαία η διατήρηση μιας ελάχιστης συνεχούς ροής κατάντη του φράγματος (σταθερής ή εποχιακά μεταβαλλόμενης). Η ποσότητα αυτή του νερού που πρέπει να συνεχίσει να ρέει στο ποτάμι και στις πλημμυροπεδιάδες του κατάντη του φράγματος αποτελεί την οικολογική παροχή. Η παροχή αυτή υπολογίστηκε με βάση το ακόλουθο σχέδιο διαχείρισης λεκανών απορροής.

Το Άρθρο 16 της υπ' αρ. 49828 (ΦΕΚ Β' 2464/3-12-2008) Απόφασης της Επιτροπής Συντονισμού της Κυβερνητικής Επιτροπής στον Τομέα του Χωροταξικού Σχεδιασμού και της Αειφόρου Ανάπτυξης, όπου εγκρίθηκε το «Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» και η Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων αυτού, προβλέπει, ότι μέχρι να καθοριστούν τα κριτήρια της ελάχιστης απαιτούμενης οικολογικής παροχής ανά λεκάνη απορροής, ως ελάχιστη απαιτούμενη οικολογική παροχή νερού που παραμένει στη φυσική κοίτη υδατορεύματος, αμέσως κατάντη του έργου υδροληψίας του υπό χωροθέτηση Μ.ΥΗ.Ε., πρέπει να εκλαμβάνεται το μεγαλύτερο από τα πιο κάτω μεγέθη, εκτός αν απαιτείται τεκμηριωμένα η αύξηση της, λόγω των απαιτήσεων του κατάντη οικοσυστήματος (ύπαρξη σημαντικού οικοσυστήματος):

- 30% της μέσης παροχής των θερινών μηνών Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου ή
- 50% της μέσης παροχής του μηνός Σεπτεμβρίου ή
- 30 lt/sec σε κάθε περίπτωση.

Η κατεύθυνση αυτή, παρόλο που αφορά στην αδειοδότηση μικρών υδροηλεκτρικών έργων, εφαρμόζεται και σε άλλα έργα υδατικής αξιοποίησης καθώς δεν έχει θεσπιστεί σχετική νομοθεσία που να τα αφορά.

Με βάση όσα προαναφέρθηκαν, υπολογίστηκαν αρχικά οι μέσες μηνιαίες τιμές εισροών με βάση την 8ετή χρονοσειρά μελέτης, και αντίστοιχα τα παραπάνω ποσοστά των συγκεκριμένων παροχών. Εν τέλει χρησιμοποιήθηκε ως τιμή οικολογικής παροχής το 30% της μέσης παροχής των θερινών μηνών Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου, η οποία βρέθηκε ίση με $142 \text{ L/s} = 0.369 \text{ hm}^3/\text{μήνα}$.

Μέσες Μηνιαίες Τιμές Εισροών						
Ιούνιος	2.646	hm ³ /month	2646110	m ³ /μήνα	88204	m ³ /d
Ιούλιος	0.852	hm ³ /month	852255	m ³ /μήνα	27492	m ³ /d
Αύγουστος	0.230	hm ³ /month	230050	m ³ /μήνα	7421	m ³ /d
Σεπτέμβρης	2.847	hm ³ /month	2847270	m ³ /μήνα	94909	m ³ /d
εναλλακτικά	30	L/s	2592	m ³ /d	0.08	hm ³ /month
50% september	549	L/s	47455	m ³ /d	1.42	hm ³ /month
30% summer	142	L/s	12312	m ³ /d	0.38	hm ³ /month
Η οικολογική παροχή που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι ίση με το 30% της μέσης εισροής των μηνών Ιουνίου, Ιουλίου και Αυγούστου						
Οικολογική Παροχή	142	L/s	47455	m ³ /d		

Πίνακας 12. Εύρεση Οικολογικής Παροχής

8. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΤΑΘΜΗΣ - ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΗΣ - ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ

α) Καμπύλη στάθμης-επιφάνειας κατάκλυσης ταμιευτήρα

Προκειμένου να σχεδιαστεί η καμπύλη στάθμης νερού-επιφάνειας κατάκλυσης ταμιευτήρα, ήταν απαραίτητη η εύρεση των εμβαδών κατάκλυσης του ταμιευτήρα για διαφορετικές τιμές στάθμης.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε υπολογισμός των εμβαδών κατάκλυσης ανά σταθερό βήμα ύψους 1 m χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Autocad. Για να βρεθούν οι ισοϋψείς καμπύλες του 1 m, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Arcmap 10.6.

Συγκεκριμένα, έγινε χρήση της εντολής Contour (Spatial Analyst) και με βήμα (ισοδιάσταση) = 1 m, εξήχθησαν οι ισοϋψείς από το dem της υπολεκάνης. Στη συνέχεια, έγινε export του layer των ισοϋψών σε αρχείο AutoCAD.

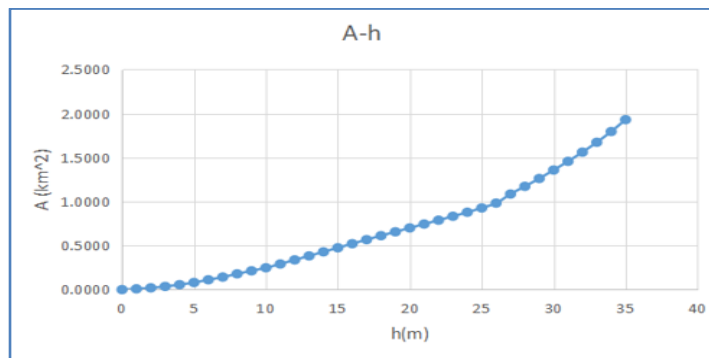
Στο Autocad για την μέτρηση των εμβαδών κατάκλυσης που περικλείονται από τις ισοϋψείς, πατώντας properties πάνω στην κάθε ισοϋψή που έχει επιλεχθεί, παρουσιάζονται σε πίνακα τα χαρακτηριστικά της γραμμής. Σε αυτά τα χαρακτηριστικά εμφανίζεται και η λέξη area που είναι το εμβαδόν που περικλείει η συγκεκριμένη ισοϋψής.

Με αυτόν τον τρόπο εξήχθησαν τα παρακάτω εμβαδά κατάκλυσης του ταμιευτήρα ανά 1 m, από τη βάση του προς κατασκευή φράγματος (40 m) έως το ύψος των 75 m.

z(m)	A(km ²)
40	0.0005
41	0.0090
42	0.0202
43	0.0363
44	0.0565
45	0.0812
46	0.1118
47	0.1427
48	0.1794
49	0.2137
50	0.2482
51	0.2911
52	0.3379
53	0.3829
54	0.4293
55	0.4753
56	0.5217
57	0.5678
58	0.6128
59	0.6568
60	0.7007
61	0.7449
62	0.7886
63	0.8330
64	0.8788
65	0.9277
66	0.9826
67	1.0856
68	1.1726
69	1.2619
70	1.3582
71	1.4569
72	1.5612
73	1.6733
74	1.7953
75	1.9300

Πίνακας 13. Εμβαδά κατάκλυσης ταμιευτήρα ανά 1 m ύψος

Με βάση τις παραπάνω τιμές δημιουργήθηκε η καμπύλη στάθμης-εμβαδού κατάκλισης ταμιευτήρα στο Excel.



Εικόνα 7. Καμπύλη στάθμης νερού-εμβαδού κατάκλισης ταμιευτήρα

β) Καμπύλη στάθμης-αποθέματος ταμιευτήρα

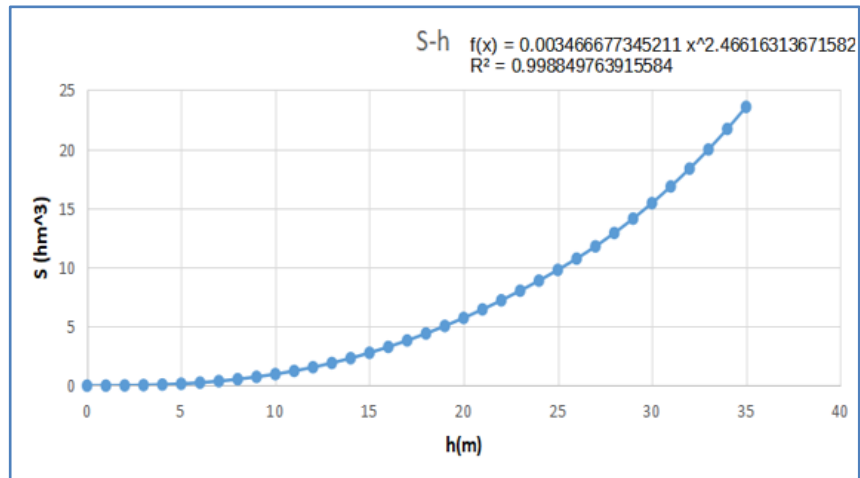
Αφού υπολογίστηκαν τα εμβαδά κατάκλισης ανά 1 m ύψους, στη συνέχεια, με την εφαρμογή του τύπου ${}^1\Delta s = (\alpha_2 + \alpha_1) * (z_2 - z_1) / 2$, υπολογίστηκαν τα αντίστοιχα αποθέματα του ταμιευτήρα ανά 1 m ύψος από τα 40 m έως τα 75 m.

z(m)	A(km ²)	DS(hm ³)	S(hm ³)	h=2-z ₀
40	0.0005	0	0	0
41	0.0090	0.0	0.0	1
42	0.0202	0.0	0.0	2
43	0.0363	0.0	0.0	3
44	0.0565	0.0	0.1	4
45	0.0812	0.1	0.2	5
46	0.1118	0.1	0.3	6
47	0.1427	0.1	0.4	7
48	0.1794	0.2	0.5	8
49	0.2137	0.2	0.7	9
50	0.2482	0.2	1.0	10
51	0.2911	0.3	1.2	11
52	0.3379	0.3	1.6	12
53	0.3829	0.4	1.9	13
54	0.4293	0.4	2.3	14
55	0.4753	0.5	2.8	15
56	0.5217	0.5	3.3	16
57	0.5678	0.5	3.8	17
58	0.6128	0.6	4.4	18
59	0.6568	0.6	5.0	19
60	0.7007	0.7	5.7	20
61	0.7449	0.7	6.4	21
62	0.7886	0.8	7.2	22
63	0.8330	0.8	8.0	23
64	0.8788	0.9	8.9	24
65	0.9277	0.9	9.8	25
66	0.9826	1.0	10.7	26
67	1.0856	1.0	11.8	27
68	1.1726	1.1	12.9	28
69	1.2619	1.2	14.1	29
70	1.3582	1.3	15.4	30
71	1.4569	1.4	16.8	31
72	1.5612	1.5	18.3	32
73	1.6733	1.6	20.0	33
74	1.7953	1.7	21.7	34
75	1.9300	1.9	23.6	35

Πίνακας 14. Υπολογισμός αποθέματος ταμιευτήρα ανά 1 m στάθμης νερού από τη βάση του φράγματος (40 m)

¹ Η σχέση $s = f(z)$ κατασκευάζεται με βάση τον γνωστό όγκο Δs που περικλείεται μεταξύ κάθε ζεύγους διαδοχικών σταθμών (z_1, z_2) και αντίστοιχων επιφανειών (α_1, α_2) (βλ. Σημειώσεις Ταμιευτήρων *mycourses*, Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα).

Με βάση τις τιμές στάθμης και αποθέματος του παραπάνω πίνακα, κατασκευάστηκε στο Excel η ακόλουθη καμπύλη:



Εικόνα 8. Καμπύλη στάθμης νερού-αποθέματος ταμιευτήρα

Με την προσαρμογή εξίσωσης δύναμης στην καμπύλη παράχθηκε η εξής σχέση: $S=0.0034*(z-z_0)^{2.4662}$, όπου S το απόθεμα του ταμιευτήρα, z το υψόμετρο και z_0 το υψόμετρο στη βάση του φράγματος (40 m).

9. ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΣΤΕΡΕΟΑΠΟΡΡΟΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΝΕΚΡΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

Εφόσον προσδιορίστηκε η σχέση στάθμης νερού- αποθέματος, ήταν δυνατή πλέον η εκτίμηση του νεκρού όγκου στον ταμιευτήρα. Ο νεκρός όγκος αποτελεί τον όγκο του ταμιευτήρα που κατακλύζεται με φερτά έως το τέλος του ωφέλιμου χρόνου ζωής του προς μελέτη φράγματος. Για τον υπολογισμό του ήταν απαραίτητη η εύρεση της μέσης ετήσιας στερεοαπορροής.

α) Μέση ετήσια στερεοαπορροή

Προκειμένου να υπολογιστεί προσεγγιστικά η μέση ετήσια απορροή φερτών στην υδρολογική λεκάνη, χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω τύπος (Sediment Yield Estimations in Greece, Δ.ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ-Κ.ΤΑΡΛΑ):

$$G = 15\gamma e^{3P}$$

G = μέση ετήσια στερεοαπορροή σε αιώρηση (t/Km²)

P = μέσο ετήσιο ύψος βροχής (m)

γ = γεωλογικός συντελεστής

$$\gamma = \kappa_1 P_1 + \kappa_2 P_2 + \kappa_3 P_3$$

κ₁, κ₂, κ₃ οι συντελεστές διαβρωσιμότητας

P₁, P₂, P₃ οι αντίστοιχες αναλογίες της έκτασης στην οποία εμφανίζεται η κάθε κατηγορία πετρωμάτων, προς τη συνολική έκταση της λεκάνης, όπως προκύπτουν από τους γεωλογικούς χάρτες.

- | | |
|---|---------------------|
| 1. Ομάδα υψηλής διαβρωσιμότητας
Αλλούβια, φλύσχης | κ ₁ =1 |
| 2. Ομάδα μέτριας διαβρωσιμότητας
Μάργες, ψαμμίτες, σχιστόλιθοι | κ ₂ =0,5 |
| 3. Ομάδα χαμηλής διαβρωσιμότητας
Ασβεστόλιθοι, δολομίτες, μεταμορφωμένα, εκκριξηγενή | κ ₃ =0,1 |

Γνωρίζοντας το μέσο ετήσιο ύψος βροχής (P=944 mm) και τα ποσοστά των πετρωμάτων (προαναφέρθηκαν νωρίτερα) που καταλαμβάνουν την λεκάνη απορροής, η μέση ετήσια στερεοαπορροή στην υδρολογική λεκάνη υπολογίστηκε ίση με G=106.706 t/km²/έτος.

β) Νεκρός Όγκος

Ο νεκρός όγκος προσδιορίστηκε ως εξής: $V_{\text{νεκρ.}}=(L/d)*A*N/(10^6)$. Ως δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν η έκταση της λεκάνης απορροής $A(428 \text{ km}^2)$, η μέση ετήσια στερεοαπορροή $L(106.706 \text{ t/km}^2/\text{έτος})$, ενώ η μέση πυκνότητα φερτών πάρθηκε ίση με 1.35 t/m^3 και ο ωφέλιμος χρόνος ζωής του έργου ίσος με $N=50$ έτη. Ο νεκρός όγκος υπολογίστηκε ίσος με 1.691 hm^3 .

Με κατάλληλη χρήση της σχέσης στάθμης αποθέματος που πλέον είναι γνωστή, υπολογίστηκε η στάθμη που αντιστοιχεί στο νεκρό όγκο ίση 52.3 m , δηλαδή 12.3 m πάνω από τη βάση του φράγματος.

A	428	km ²	
L	106.706	t/km ² /y	
d	1.35	t/m ³	
N	50	years	
Dead vol	1.691	hm ³	
Σταθερά σχέσης στάθμης όγκου	0.00346668		$S=a*(z-z_0)^b$
Εκθέτης σχέσης στάθμης όγκου	2.46616314		
z₀	40	m	$\ln(S/a)=b*\ln(z-z_0)$
z(dead vol)	52.3054309	m	

Πίνακας 15. Υπολογισμός Νεκρού Όγκου ταμιευτήρα

10. ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

Μετά την εύρεση της χρονοσειράς μηνιαίων εισροών, της οικολογικής παροχής, των αναγκών που πρόκειται να καλύπτει το προς μελέτη φράγμα, αλλά και της σχέσης στάθμης-αποθέματος, κατασκευάστηκε το ισοζύγιο του ταμιευτήρα (η κατάρτιση μοντέλου προσομοίωσης της μηνιαίας λειτουργίας του ταμιευτήρα για την εκτίμηση της ωφέλιμης χωρητικότητας που εξασφαλίζει κάλυψη των αναγκών).

Καθώς ήταν αδύνατο να προστεθούν οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν στο ισοζύγιο του ταμιευτήρα στην παρούσα τεχνική έκθεση λόγω μεγάλης έκτασης, αυτοί παρατίθενται αναλυτικά στο **Παράρτημα Υπολογισμών** της παρούσας εργασίας.

Πραγματοποιήθηκαν πολλαπλές δοκιμές, θέτοντας διαφορετικά ύψη υπερχειλίσης και εξετάστηκε για καθένα από αυτά τα σενάρια η περίπτωση ύπαρξης ελλείμματος (αδυναμία κάλυψης των απαιτούμενων αναγκών) σε ορισμένους από τους μήνες της δεδομένης χρονοσειράς εισροών.

Διαπιστώθηκε ότι για ύψος υπερχειλιστή ίσο ή μεγαλύτερο από 25.3 m (από την βάση του φράγματος), δεν εμφανίζεται έλλειμμα για κανέναν από τους μήνες της 8ετούς χρονοσειράς μελέτης.

Συνεπώς επιλέχθηκε ύψος υπερχειλιστή ίσο με 26 m από την βάση του φράγματος (στάθμη ίση με 66 m).

Η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα υπολογίστηκε αφαιρώντας το απόθεμα που αντιστοιχεί στην στάθμη του νεκρού όγκου από το απόθεμα που αντιστοιχεί στην στάθμη υπερχειλίσης: $V_{\omega\phi.} = V_{\text{υπερχ.}} - V_{\text{νεκρ.}} = 9.011 \text{ hm}^3$

Επίσης, παρατηρήθηκε ότι η ποσότητα του νερού που υπερχειλίζει τους χειμερινούς μήνες είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τις ανάγκες προς κάλυψη. Αυτό το γεγονός είναι αναπόφευκτο λόγω των πολύ υψηλών εισροών στον ταμιευτήρα τους χειμερινούς μήνες σε σχέση με τις εισροές των θερινών μηνών. Συνεπώς ο υπερχειλιστής του φράγματος θα βρίσκεται τους περισσότερους μήνες του έτους σε συνεχή λειτουργία.

11. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η θέση ενδιαφέροντος που καταρτίστηκε το πλημμυρογράφημα σχεδιασμού είναι το Πήδημα Μεσσηνίας. Για την εκτίμηση των πλημμυρών σχεδιασμού υιοθετήθηκε η μέθοδος του μοναδιαίου υδρογραφήματος.

α) Κατασκευή Συνθετικού Μοναδιαίου Υδρογραφήματος

Σημειώνεται ότι η άμεση κατάρτιση ΜΥΓ στη θέση ενδιαφέροντος είναι αδύνατη καθώς δεν υπάρχει εγκατεστημένος σταθμηγράφος σε κανένα σημείο της λεκάνης. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική του συνθετικού ΜΥΓ, η οποία αποτελεί ένα κοινώς αποδεκτό εργαλείο σε λεκάνες όπου δεν διατίθενται στοιχεία από πραγματικά επεισόδια βροχής. Από τις διάφορες μεθόδους που έχουν προταθεί, χρησιμοποιήθηκε αυτή του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας.

Η μέθοδος του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας (Sutcliffe, 1978) χρησιμοποιεί τοπογραφικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης καθώς και δεδομένα κλίσεων που προκύπτουν από τη μηκοτομή του κύριου υδατορέματος. Η εν λόγω μέθοδος συνιστά τη σύνθεση τριγωνικού υδρογραφήματος για διάρκεια βροχής $d=1h$. Ο χρόνος ανόδου του υδρογραφήματος (σε h) υπολογίζεται συναρτήσει των χαρακτηριστικών της λεκάνης από τη σχέση:

$$t_p = \frac{46.6 L^{0.14}}{S_{1085}^{0.38} (1 + \text{URBAN})^{1.99} \text{RSMD}^{0.4}}$$

και η διάρκεια πλημμύρας (ή χρόνος βάσης):

$$t_b = 2.52 t_p$$

Στη πρώτη σχέση, L είναι το μήκος της μισγάγγειας κατά μήκος του κύριου υδατορέματος της λεκάνης (σε km), S_{1085} είναι η χαρακτηριστική κλίση της λεκάνης (σε m/km), η οποία εκτιμάται λαμβάνοντας δύο χαρακτηριστικά σημεία της μηκοτομής του κύριου υδατορέματος της λεκάνης, σε απόσταση 10% και

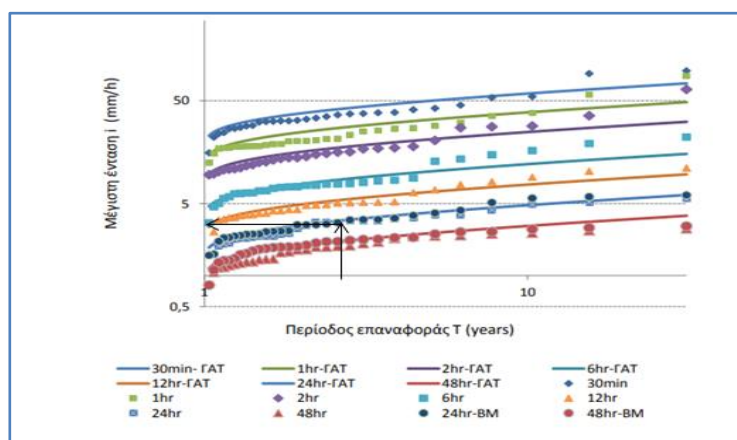
85% αντίστοιχα του ολικού μήκους του από την έξοδο της λεκάνης· URBAN είναι το ποσοστό της λεκάνης με αστική ανάπτυξη· RSMD είναι παράμετρος μεγέθους βροχοπτώσεων, που για ορεινές ή ημιορεινές λεκάνες απορροής ταυτίζεται με το μέγιστο καθαρό επιφανειακό ύψος βροχής διάρκειας 24 h, περιόδου επαναφοράς 5 ετών (σε mm).

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:

$$Q_p = \frac{2 h_0 A}{t_b}$$

όπου $h_0 = 10$ mm είναι το μοναδιαίο ύψος βροχής. Σημειώνεται ότι πριν τον υπολογισμό της παροχής αιχμής Q_p και την εφαρμογή του μοναδιαίου υδρογραφήματος, τα μεγέθη t_r και t_b στρογγυλεύονται ώστε να είναι ακέραια πολλαπλάσια του χρονικού βήματος υπολογισμών.

Λήφθηκαν, η παράμετρος URBAN προσεγγιστικά ίση με URBAN = 5% μιας και η λεκάνη μας δεν έχει ιδιαίτερη αστική ανάπτυξη, η παράμετρος RSMD από τις όμβριες καμπύλες του σταθμού του Πηδήματος που προέκυψαν με τη μέθοδο Weibull από την διπλωματική εργασία της Τσιτσέλη Θεοδώρας <<ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΣΤΗ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟ>> ίση με $RSMD = 4.5 \cdot 24 = 108$ mm, η $S_{1085} = 0.016179 \cdot 1000 = 16,179$ m/km από το ArcMap 10.6, το μήκος του κύριου υδατορέματος $L = 25.1$ km και το εμβαδόν της υπολεκάνης $A = 428$ km².



Εικόνα 9. Εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής κατά Weibull(σημεία) και θεωρητικές (ΓΑΤ-γραμμές) συναρτήσεις κατανομής για τις μέγιστες ετήσιες εντάσεις του σταθμού Πηδήματος

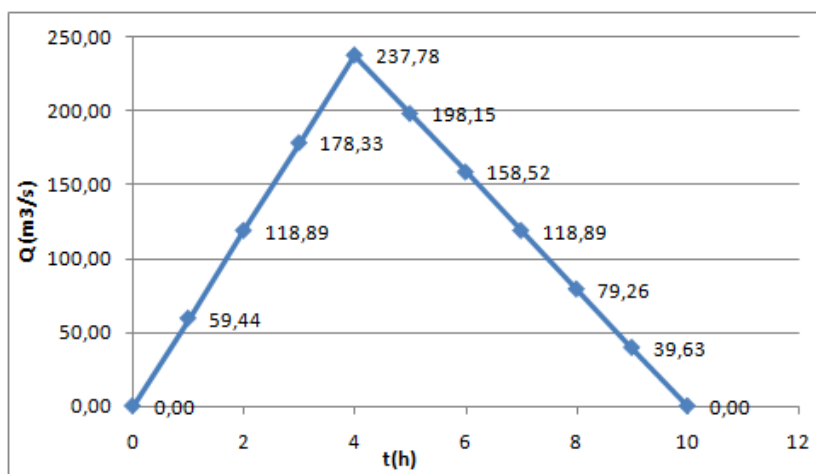
Τελικά, από τους παραπάνω τύπους, βρέθηκαν με χρήση της εντολής ROUND στο EXCEL για στρογγυλοποίηση των δεκαδικών ψηφίων, ο χρόνος ανόδου του ΜΥΓ: $t_p = 4h$, ο χρόνος βάσης $t_b = 10h$ και η παροχή αιχμής $Q_p = 237.8 \text{ m}^3/s$.

Η τιμή της παροχής αιχμής ελέγχθηκε και με την ορθολογική μέθοδο με την οποία προκύπτει:

$$Q_p = 0.278 * C * i * A = 0.278 * 0.45 * 4.5 * 428 = 240.9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Οι τιμές των Q_p που προέκυψαν με τις δύο μεθόδους συγκλίνουν σε ικανοποιητικό βαθμό.

Στη συνέχεια κατασκευάστηκε το Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα:



Εικόνα 10. Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα για το σταθμό Πήδημα

β) Κατασκευή Πλημμύρων Σχεδιασμού Υπερχειλιστή και Έργων Εκτροπής

Η περίοδος επαναφοράς της πλημμύρας σχεδιασμού του υπερχειλιστή επιλέγεται ίση με $T=5000$ έτη, ενώ αυτή της πλημμύρας σχεδιασμού των έργων εκτροπής ίση με $T=20$ έτη.

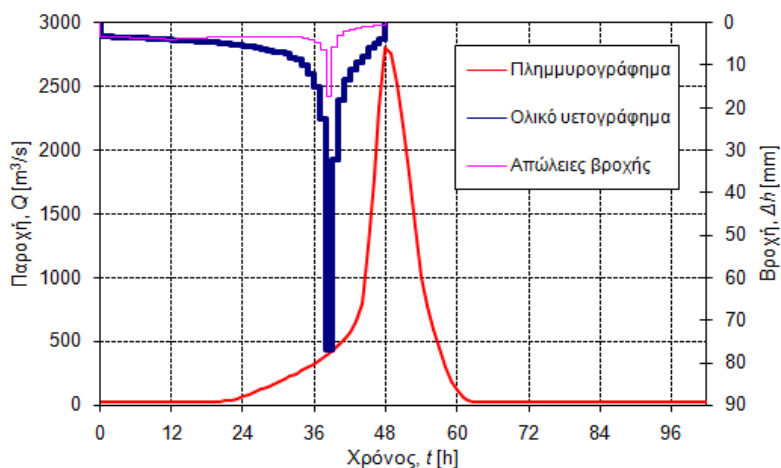
Χρησιμοποιήθηκε και για τις δύο πλημμύρες χρονικό βήμα 1 h και θεωρήθηκε διάρκεια βροχής ίση με 48 h.

Οι συντελεστές όμβριων καμπυλών προκύπτουν από την ίδια διπλωματική εργασία και έχουν ως εξής:

$$k=0,1, \lambda'=378,41, \psi'=0,65, \theta=0,07, \eta=0,65$$

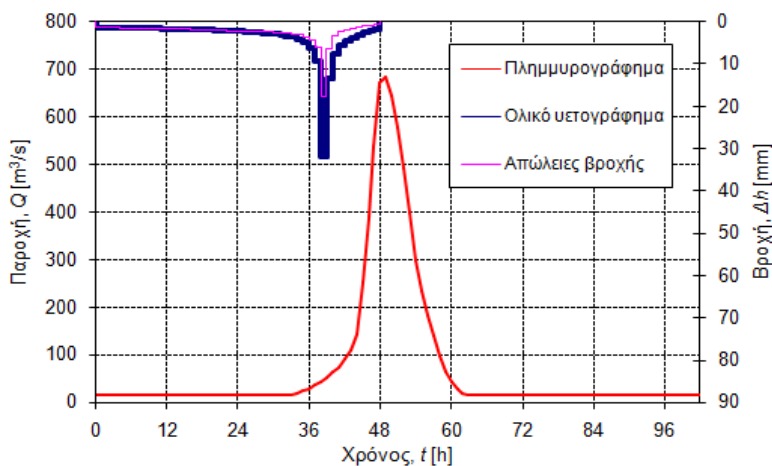
Ο αριθμός καμπύλης CN υπολογίστηκε με βάση τα ποσοστά συμμετοχής των πετρωμάτων στην λεκάνη απορροής ίσως με 56,1 με χρήση κατάλληλων πινάκων με ενδεικτικές τιμές του CN(Πίνακας 4.1-Τεχνική Υδρολογία, Μ.Α. Μιμίκου-Ε.Α. Μπαλτάς).

Το πλημμυρογράφημα που προέκυψε από την πλημμύρα σχεδιασμού για περίοδο επαναφοράς 5000 ετών σε παράθεση με το υετογράφημα και τις απώλειες βροχής παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 11. Πλημμυρογράφημα περιόδου επαναφοράς 5000 ετών

Παρόμοια διαδικασία ακολουθήθηκε και για την πλημμύρα περιόδου επαναφοράς $T=20$ ετών. Παρατίθεται το αντίστοιχο πλημμυρογράφημα:



Εικόνα 12. Πλημμυρογράφημα περιόδου επαναφοράς 20 ετών

Οι πίνακες όπου έγιναν οι υπολογισμοί παρουσιάζονται στο **Παράρτημα Υπολογισμών**.

12. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ

Με σκοπό την ασφαλή απαγωγή του πλεονάζοντος ύδατος πάνω από την μέγιστη στάθμη κανονικής λειτουργίας και την αποχέτευση του στην κατάντη ροή του ποταμού, απαιτείται η κατασκευή έργων υπερχειλίσης, προσαγωγής και καταστροφής της ενέργειας του ρέοντος νερού. Για την ανεύρεση της παροχής σχεδιασμού και την διαστασιολόγηση των ανωτέρω, χρησιμοποιήθηκε η πλημμύρα σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5000 ετών και διάρκειας 48 ωρών. Όλοι οι τύποι που πρόκειται να παρατεθούν παρακάτω πάρθηκαν από την εξής πηγή: <<Συνοπτικές οδηγίες για την επίλυση του προβλήματος διόδευσης πλημμύρας από ελεύθερο υπερχειλιστή, Α.Ευστρατιάδης-Π.Παπανικολάου>> .

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της μελέτης, η στέψη του υπερχειλιστή θα είναι τύπου Ogee με κατακόρυφη την ανάντη παρειά.

Η εξίσωση στάθμης παροχής του Ogee είναι :

$$Q = c \sqrt{2g} L H^{3/2}$$

όπου H είναι το υδραυλικό φορτίο και c είναι συντελεστής, που εξαρτάται από τη γεωμετρία του υπερχειλιστή και την διερχόμενη παροχή. Το φορτίο H, που αντιστοιχεί στην απόσταση της στέψης του Ogee από τη γραμμή ενέργειας ορίζεται από τη σχέση:

$$H = h + \frac{V^2}{2g}$$

με h να συμβολίζεται το βάθος ροής και V η ταχύτητα εκροής ίση με :

$$V = \frac{Q}{L(P+h)}$$

Ο όρος P αναφέρεται στο ύψος της διατομής εισόδου και σημειώνεται πως η ταχύτητα εκροής αναφέρεται σε βρεχόμενη επιφάνεια διαστάσεων $L^*(P+h)$. Παράλληλα, ο συντελεστής c_0 , δεδομένης παροχής σχεδιασμού, προσδιορίζεται βάση της αναλυτικής σχέσης:

$$c_0 = 0.708 \left(\frac{P}{H}\right)^3 - 0.976 \left(\frac{P}{H}\right)^2 + 0.508 \left(\frac{P}{H}\right) + 0.376, \text{ για } P/H < 0.5$$
$$c_0 = 0.003 \left(\frac{P}{H}\right)^3 - 0.019 \left(\frac{P}{H}\right)^2 + 0.043 \left(\frac{P}{H}\right) + 0.458, \text{ για } 0.5 < P/H < 2.5$$

12.1 ΔΙΟΔΕΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Με σκοπό τον υπολογισμό της παροχής και του φορτίου σχεδιασμού , χρησιμοποιήθηκε ένα ρητό αριθμητικό σχήμα που εκφράζει την μεταβολή του αποθηκευμένου όγκου του ταμιευτήρα συναρτήσει του βάθους ροής και γράφεται ως εξίσωση διαφορών σε κάθε χρονικό διάστημα Δt .

$$S(z_j) - S(z_{j-1}) = \frac{\Delta t}{2} [(I_{j-1} + I_j) - (Q_{j-1} + Q_j)]$$

Στην ανωτέρω εξίσωση με I_{j-1} και I_j συμβολίζονται οι δεδομένες παροχές της πλημμύρας εισροής για τις χρονικές στιγμές j και $j-1$, με Q οι παροχές εκροής και με $S(z_j)$ η σχέση όγκου τα ταμιευτήρα - στάθμης που υπολογίστηκε σε προκαταρκτικό επίπεδο. Για αρχική συνθήκη της επίλυσης της διόδευσης θεωρείται πως η στάθμη της έναρξης της ορίζεται η στέψη του υπερχειλιστή κάτι που αποτελεί συντηρητική επιλογή. Επιπρόσθετα για τις παροχές εκροής ισχύει η εξίσωση στάθμης παροχής του Ogee παραλείποντας σε προκαταρκτικό στάδιο τον όρο της κινητικής ενέργειας, οπότε ισχύει:

$$Q = c \sqrt{2g} L (z - z_c)^{3/2}$$

Ως υδραυλικό φορτίο θεωρήθηκε το ύψος του νερού πάνω από την υπερχείλιση, $H = z - z_c$, ενώ παράλληλα ο συντελεστής c λαμβάνεται αρχικά ίσος με $c=0,50$, τιμή που αντιστοιχεί σε μέγιστη παροχή, και καλύπτει εν μέρει την απουσία του όρου της κινητικής ενέργειας. Τέλος, το ενεργό πλάτος του υπερχειλιστή ορίστηκε για $L = 55$ m (το συγκεκριμένο πλάτος επιλέχθηκε ύστερα από δοκιμές προς μείωση της ανώτερης στάθμης της πλημμύρας σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5000 ετών).

Η εξίσωση επιλύθηκε ως σύστημα μη γραμμικής βελτιστοποίησης, με ζητούμενο την ελαχιστοποίηση του αθροιστικού σφάλματος των εξισώσεων υδατικού ισοζυγίου σε όλο το χρονικό ορίζοντα της διόδευσης. Με αρχική συνθήκη στάθμης τα 66 m προέκυψε μέγιστη στάθμη διόδευσης $z_{\max}=73.9$ m και μέγιστη παροχή εκροής $Q=2691 \text{ m}^3/\text{s}$.

Καθώς οι υπολογισμοί παρήχθησαν δίχως να συμπεριληφθεί σε πρώτο επίπεδο ο όρος της κινητικής ενέργειας, απαιτήθηκε η δημιουργία της ακριβής σχέσης στάθμης – παροχής υπερχειλιστή. Ως προς τις διαστάσεις του Ogee επιλέχθηκε

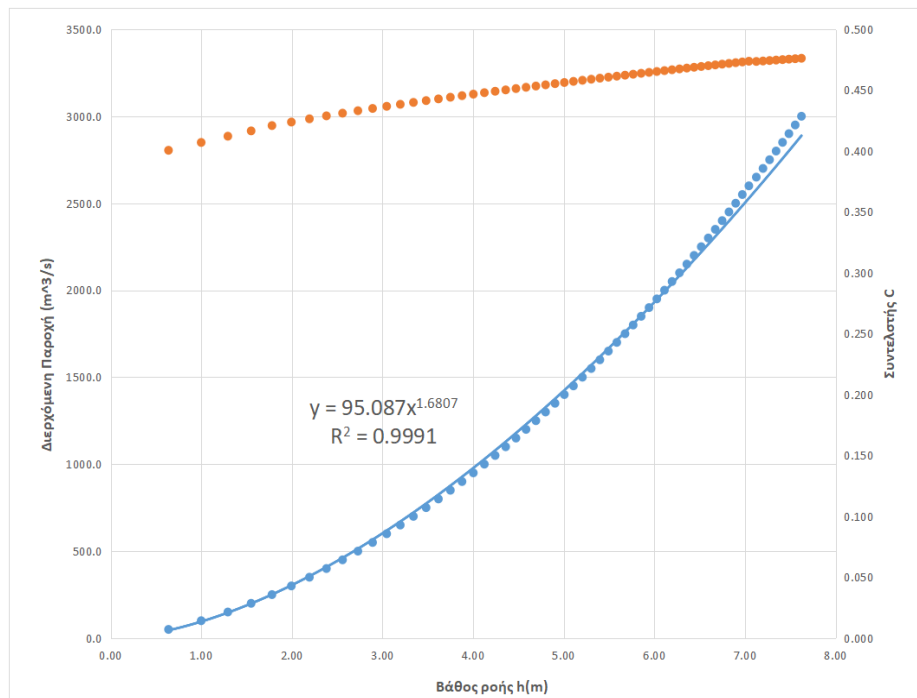
ενεργό πλάτος $L=55$ m και ύψος ανάντη τοίχου υπερχειλίσης $P = 4$ m. Το πλάτος που χρησιμοποιήθηκε στους υπολογισμούς προέκυψε σχεδιάζοντας καθαρό πλάτος υπερχειλιστή $L'=57.12$ m και εφαρμόζοντας την παρακάτω σχέση για $N=3$ μεσόβαθρα, **Η φορτίου σχεδιασμού ίσο με 8.16 m**, $K_p=0.01$ και $K_a=0.1$:

$$L = L' - 2(N K_p + K_a) H$$

Ακολουθήθηκε επαναληπτική διαδικασία, μέσω της οποίας επιλέχθηκε αρχικό ύψος στάθμης και χρησιμοποιώντας τις προαναφερθέντες σχέσεις και την ακόλουθη διορθωτική σχέση του συντελεστή c :

$$\left(\frac{c}{c_0}\right) = 0.03 \left(\frac{H}{H_d}\right)^3 - 0.14 \left(\frac{H}{H_d}\right)^2 + 0.32 \left(\frac{H}{H_d}\right) + 0.79$$

επιδιώχθηκε η σύγκλιση της υπολογιζόμενης παροχής με την ζητούμενη. Μέσω αυτής της διαδικασίας παρήχθη μια πυκνή σειρά σημείων (h, Q) , (Εικόνα 14) και σε αυτή προσαρμόστηκε μια σχέση τύπου δύναμης.



Εικόνα 13. Καμπύλη παροχής υπερχειλιστή – βάθους ροής, συνάρτηση δύναμης και καμπύλη συντελεστή C -βάθους ροής

Η συνάρτηση δύναμης βάθους ροής – παροχής υπερχειλιστή που προσεγγίζει με σχετική ακρίβεια την καμπύλη του παραπάνω διαγράμματος προέκυψε:

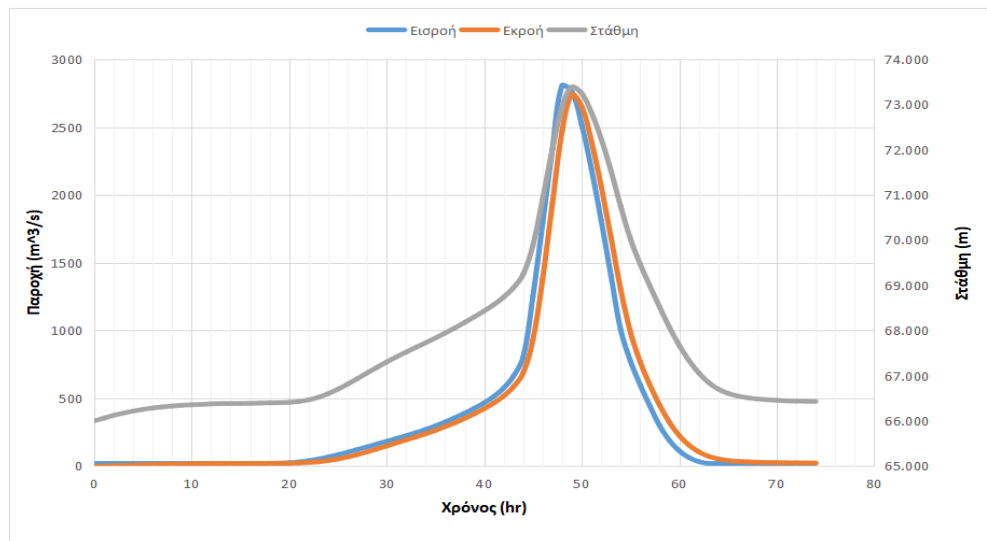
$$Q=95.087 \cdot h^{1.6807}$$

όπου Q και h ο όγκος του ταμιευτήρα και το βάθος ροής αντίστοιχα. Σημειωτέων, πως όπως διακρίνεται και στο διάγραμμα για μεγάλες παροχές η καμπύλη συνάρτηση δύναμης που προέκυψε, και πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την ανεύρεση του υδραυλικού φορτίου, αποκλίνει από την καμπύλη των αναπαριστώμενων σημείων. Για ίδια ποσότητα διερχόμενης παροχής, η παραχθείσα εξίσωση δίνει υψηλότερα βάθη ροής. Εντούτοις ο σχεδιασμός βάση αυτής είναι ενδεδειγμένος καθώς βασίζεται σε δυσμενέστερα αποτελέσματα και τείνει υπέρ της ασφάλειας της κατασκευής.

Τελικά, με την εκ νέου επίλυση της πλημμύρας σχεδιασμού και την χρήση της συνάρτησης δύναμης, η **μέγιστη παροχή εκροής προκύπτει ίση με $2741 \text{ m}^3/\text{s}$** και η **ανώτατη στάθμη πλημμύρας ίση με 73.4 m** (7.4 m πάνω από τη στέψη του υπερχειλιστή).

Επομένως η στέψη του φράγματος θα πρέπει να σχεδιαστεί πάνω από την στάθμη των 73.4 m .

Στα παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα πλημμυρογραφήματα εισόδου και εξόδου και η χρονική εξέλιξη της στάθμης του ταμιευτήρα αντίστοιχα.



Εικόνα 14. Πλημμυρογραφήματα εισόδου, εξόδου και στάθμη ταμιευτήρα ως προς τον χρόνο

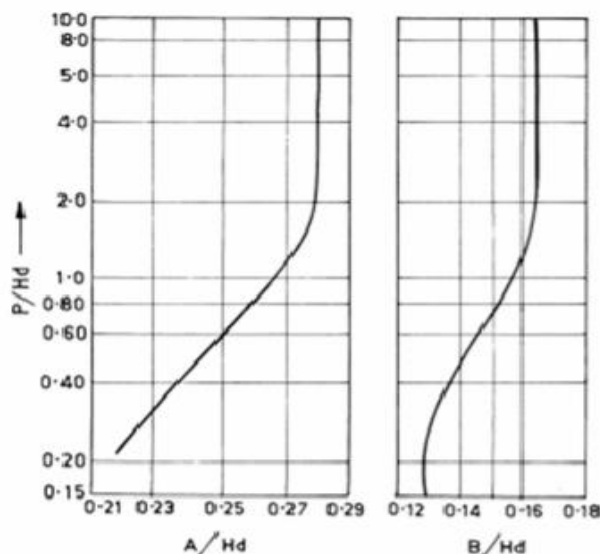
12.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ OGEE

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ολοκληρωμένος σχεδιασμός του υπερχειλιστή Ogee. Πέρα από την κάθετη ανάντη παρειά της οποίας το ύψος επιλέχθηκε ίσο

με P=4 m, σχεδιάστηκαν και οι δύο καμπύλες του Ogee, η πρώτη ανάντη της στέψης και η δεύτερη κατάντη αυτής. Τα διαγράμματα και οι τύποι που πρόκειται να παρατεθούν παρακάτω πάρθηκαν από την εξής πηγή: <<Notes Ogee Spillway, PN Papanicolaou>>.

Και για τις δύο καμπύλες χρησιμοποιήθηκαν ως X και Y η οριζόντια και κατακόρυφη συντεταγμένη λαμβάνοντας ως αρχή των συντεταγμένων την στέψη του σώματος του Ogee.

Η καμπύλη ανάντη της στέψης σχεδιάστηκε με την μορφή έλλειψης $X^2/A^2 + Y^2/B^2 = 1$ όπου οι παράμετροι της έλλειψης A και B προσδιορίστηκαν ίσες με 1.975 και 1.151 αντίστοιχα από τα παρακάτω διαγράμματα:



Εικόνα 15. Προσδιορισμός παραμέτρων έλλειψης A και B

όπου Hd το φορτίο σχεδιασμού του υπερχειλιστή Ogee ίσο με 8.16 m.

Κατάντη της αρχής των αξόνων η καμπύλη σχεδιάστηκε με βάση την εξής εξίσωση:

$$\frac{y}{H_o} = -K \left(\frac{x}{H_o} \right)^n$$

όπου τα K και n προσδιορίζονται στις τιμές 0.507 και 1.831 από τα παρακάτω διαγράμματα που προέκυψαν από πειράματα (Σημειώσεις Π. Παπανικολάου, Ogee Spillway)

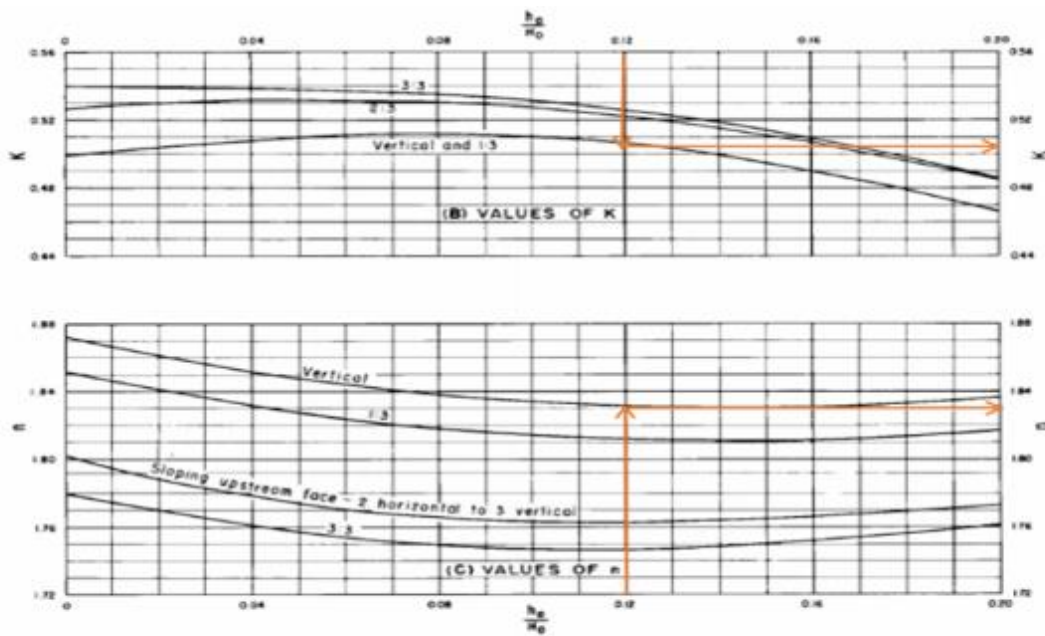
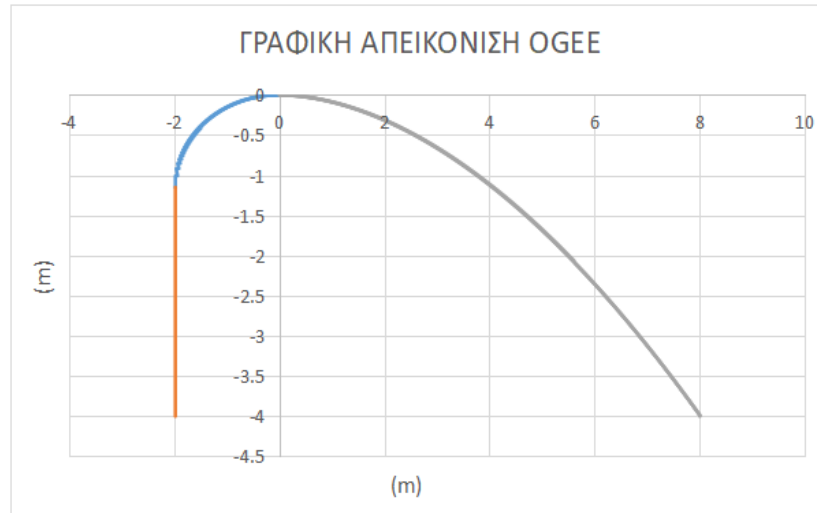


Figure 9-21.—Factors for definition of nappe-shaped crest profiles. 288-D-2406. (Sheet 1 of 2).

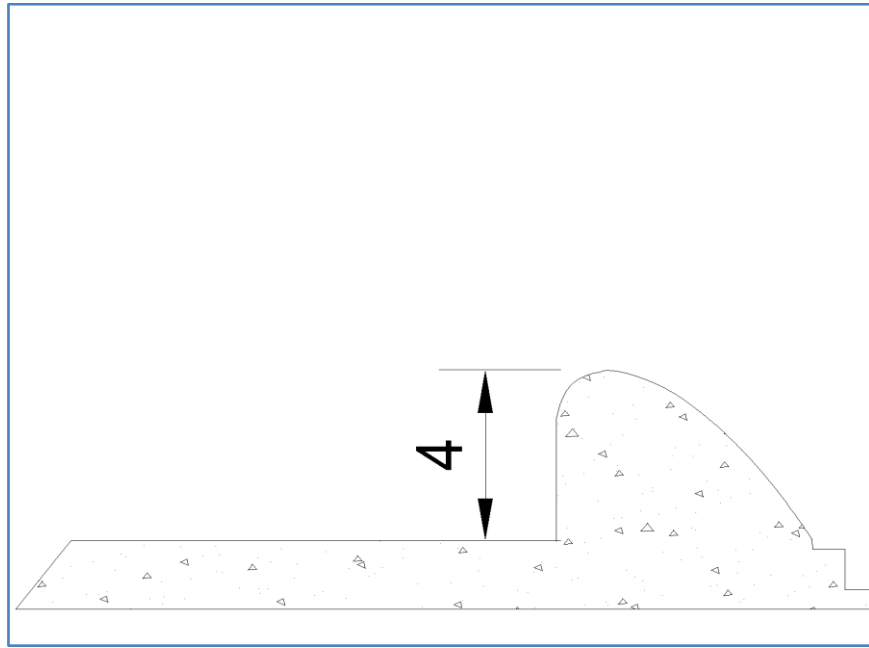
Εικόνα 16. Προσδιορισμός παραμέτρων K και n

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση της μορφής του Ogee που επιλύθηκε στο περιβάλλον του προγράμματος Excel καθώς και οι διαφορετικές καμπύλες που το αποτελούν.



Εικόνα 17. Γραφική Απεικόνιση Ogee

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα πραγματοποιήθηκε σχεδίαση της λεπτομέρειας του υπερχειλιστή Ogee σε περιβάλλον Autocad. Παρακάτω παρουσιάζεται η κατά μήκος τομή:



Εικόνα 18. Σχέδιο υπερχειλιστή Ogee σε περιβάλλον AutoCAD

13. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΡΓΩΝ ΕΚΤΡΟΠΗΣ

Κατά την διάρκεια της κατασκευής του έργου, απαιτείται η ασφαλή εκτροπή της ροής του ποταμού και η διέλευση του στα κατάντη του φράγματος. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται μέσα από την δημιουργία σήραγγας εκτροπής αλλά και προφράγματος το οποίο αποσκοπεί στην προστασία του εργοταξίου.

13.1 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΕΚΤΡΟΠΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΔΕΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του έργου, η σήραγγα εκτροπής θα είναι κυκλικής διατομής, διαμέτρου 8.2 m και η είσοδος της θα βρίσκεται 3 m πάνω από την κοίτη του ποταμού με σκοπό να αποφευχθεί ενδεχόμενη έμφραξη της από ροή φερτών. Είναι επιθυμητό να πραγματοποιείται υπερκρίσιμη ροή εντός αυτής ώστε οι συνθήκες στα κατάντη της σήραγγας να μην επηρεάζουν την μορφή της ροής. Όλοι οι τύποι που πρόκειται να παρατεθούν παρακάτω πάρθηκαν από την εξής πηγή: <<Διόδευση πλημμυρών από έργα εκτροπής και υπερχείλισης, Ανδρέας Ευστρατιάδης, Π. Παπανικολάου & Σπύρος Μίχας >>.

Για την επίτευξη υπερκρίσιμης ροής απαιτείται ελάχιστη κλίση σήραγγας ίση με:

$$J_{\min} = \frac{4^{10/3} n_0^2}{\pi^2 D^{16/3}} Q_{0,\min}^2$$

όπου n_0 είναι η τραχύτητα του αγωγού ίση με 0.014 (επένδυση με σκυρόδεμα), D η διάμετρος της σήραγγας και $Q_{0,\min}$ είναι:

$$Q_{0,\min} = 2.60 b D^{3/2}$$

με b να συμβολίζεται το ενεργό πλάτος της διατομής εισόδου ίσο με 13.7 m

Με υπολογισμούς, προκύπτει ελάχιστη κλίση σήραγγας $J_{\min}=0.01879$. Συνεπώς επιλέχθηκε κλίση 1.952% που εξασφαλίζει συνθήκες υπερκρίσιμης ροής. Παράλληλα καθορίστηκε το συνολικό μήκος της σήραγγας ίσο με 153.7 m (κανονικό μήκος, όχι κάτοψη).

Καθώς το ποτάμι διέρχεται διαμέσου της σήραγγας εκτροπής, η ροή πραγματοποιείται με συνθήκες ελεύθερης επιφάνειας όσο το ύψος του νερού ανάντη της διατομής εισόδου είναι $h < 1,2 D$, όπου D η διάμετρος της σήραγγας εκτροπής. Σε περίπτωση, που η στάθμη του ύδατος ξεπεράσει ύψος $h > 1,5 D$ τότε η ροή εντός της σήραγγας διέρχεται υπό πίεση ενώ για ύψη $1,2 D < h < 1,5 D$ η ροή βρίσκεται σε μεταβατική κατάσταση και οι συνθήκες δεν δύναται να υπολογιστούν με ακρίβεια.

Για ροή με ελεύθερη επιφάνεια, η σχέση που συνδέει την διερχόμενη παροχή Q με το βάθος ροής h , είναι :

$$Q = b \sqrt{\frac{8gh^3}{(3+k)^3}}$$

όπου b είναι το ενεργό πλάτος της ορθογωνικής διατομής εισόδου και k ο συντελεστής τοπικών απωλειών.

Για ύψος ύδατος ανάντη της διατομής εισόδου $h > 1,5 D$ και ροή υπό πίεση τότε ισχύει:

$$\Delta h = \left(\frac{8}{\pi^2 g D^4} + \frac{k}{2g A_{\text{εισ}}^2} + \frac{4^{10/3} n_0^2 L}{\pi^2 D^{16/3}} \right) Q^2$$

όπου $A_{\text{εισ}}$ αναπαριστά το εμβαδόν της ορθογωνικής διατομής εισόδου, n_0 τον συντελεστή Manning και L το ολικό μήκος της σήραγγας εκτροπής. Το Δh προσδιορίζεται από την σχέση:

$$\Delta h = h + \Delta z - D$$

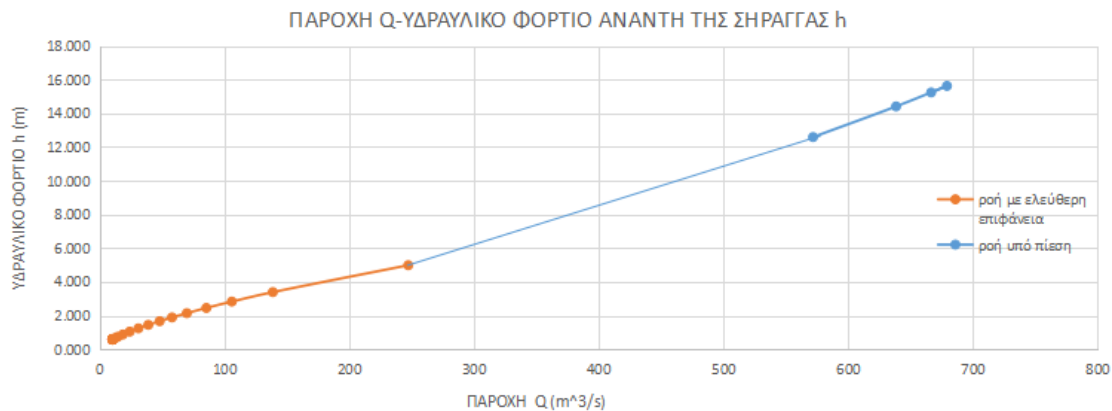
με h το υδραυλικό φορτίο ανάντη της εισόδου της σήραγγας (ταυτίζεται με την στάθμη του νερού ανάντη της εισόδου), Δz την υψομετρική διαφορά των διατομών εισόδου και εξόδου και D την διάμετρο της σήραγγας.

Για τον σχεδιασμό των διαστάσεων των έργων εκτροπής, έγινε χρήση του πλημμυρογραφήματος για πλημμύρα σχεδιασμού 20 ετών και πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση της διόδου της, διαμέσου της σήραγγας. Τα δεδομένα της εισροής εισήχθησαν με την μορφή χρονοσειράς διακριτοποιημένης για χρονικό βήμα Δt με συνολική διάρκεια πλημμύρας τις 48 ώρες. Παράλληλα, καθορίστηκαν τα χαρακτηριστικά της διατομής εισόδου αλλά ολόκληρης της σήραγγας εκτροπής, όπου παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα:

b (m)	13.7
Αεισ (m ²)	168.1
k	0.1
L (m)	153.662
D (m)	8.2
n ₀	0.014
ΔZ (m)	3

Πίνακας 16. Χαρακτηριστικά μεγέθη διατομής εισόδου και ολόκληρης της σήραγγας εκτροπής

Η επίλυση για κάθε σημείο (h , Q) αναπαρίσταται γραφικά και παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα. Καθώς η παροχή αυξάνεται, αυξάνεται παράλληλα και το υδραυλικό φορτίο, και ειδικά για ροή υπό πίεση, για μικρή αύξηση της παροχουτευτικότητας παρατηρείται μεγάλη αύξηση του ανάντη ύψους στάθμης ύδατος.



Εικόνα 19. Καμπύλη παροχής- υδραυλικού φορτίου h

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων ανέδειξαν μέγιστο υδραυλικό φορτίο $h_{\max}=15.63$ m.

13.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Το πρόφραγμα θα κατασκευαστεί για ύψος 16 m, ώστε η στάθμη της στέψης του να υπερβαίνει το $h_{max} = 15.63m$ με μια μικρή αύξηση προς όφελος της ασφάλειας. Η κατασκευή του θα είναι ανάλογη του κυρίως φράγματος. Η στέψη του θα κατασκευαστεί με πλάτος 3 m και θα έχει κλίση $\alpha=53,3^\circ$ όπως και το τελικό φράγμα. Η ανέγερση του προφράγματος δεν διέπεται από εξίσου αυστηρές απαιτήσεις με το κύριο έργο και ο χρόνος περάτωσης του πρέπει να είναι σχετικά σύντομος με σκοπό την έναρξη των εργασιών.

13.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ - ΕΞΟΔΟΥ

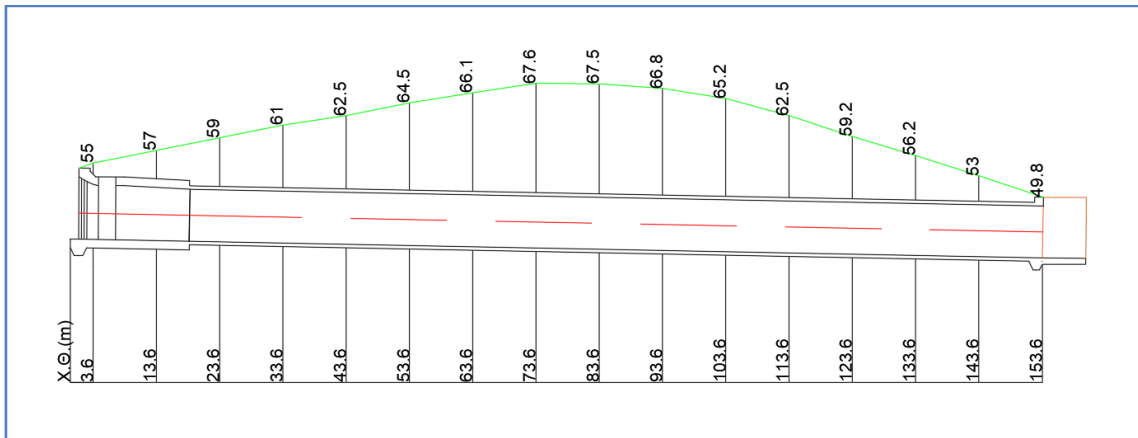
Σε πρώτο επίπεδο, κατασκευάζεται ορθογωνική διατομή για την είσοδο της σήραγγας εκτροπής από οπλισμένο σκυρόδεμα με λεπτομέρειες που παρουσιάζονται στα επισυναπτόμενα σχέδια. Η είσοδος της σήραγγας πρόκειται να βρίσκεται 3 m περίπου από την κοίτη του ποταμού με σκοπό την αποφυγή έμφραξης της από φερτά. Η ορθογωνική διατομή χωρίζεται στα δύο από ενδιάμεσο μεσόβαθρο με πλάτος 2 m και έχει ενεργό πλάτος 13.7 m και ύψος 8.5 m. Η προσαρμογή από ορθογωνική σε κυκλική διατομή της σήραγγας εκτροπής πραγματοποιείται σταδιακά με σκοπό να αποφευχθεί μείωση της παροχετευτικότητας. Η κατασκευή και η ανέγερση του φράγματος θα πραγματοποιηθεί κατά την διάρκεια των θερινών μηνών του καλοκαιριού (διάρκεια 50-60 μέρες), όπου οι εισροές από το ρέμα είναι πολύ μικρές όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Μέσες Τιμές Μηνιαίων Εισροών Θερινών Μηνών		
Ιούνιος	2.65	hm ³ /month
Ιούλιος	0.85	hm ³ /month
Αύγουστος	0.23	hm ³ /month

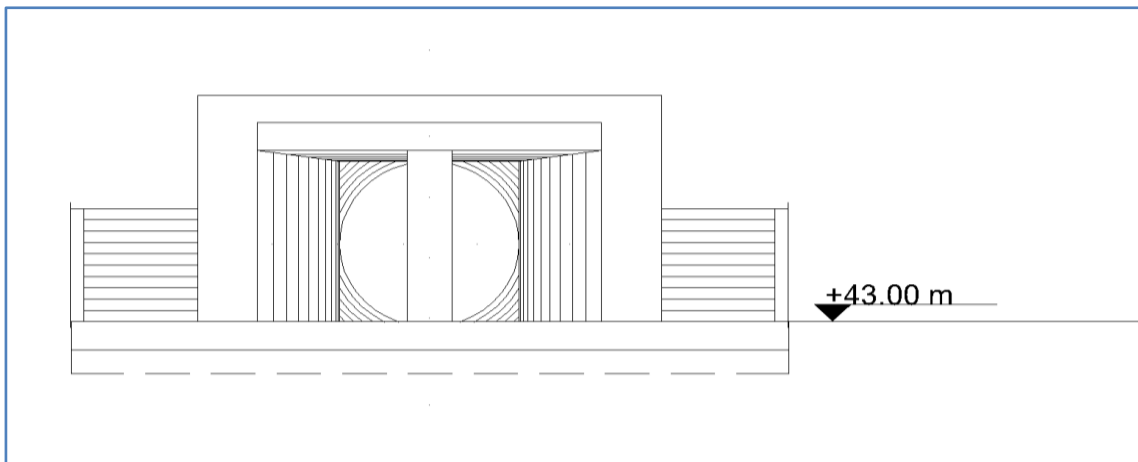
Πίνακας 17. Μέσες Τιμές Μηνιαίων Εισροών Θερινών Μηνών

Συνεπώς, θεωρούμε ότι κατά την διάρκεια λειτουργίας της σήραγγας εκτροπής (θερινοί μήνες) το νερό που οδηγείται από την σήραγγα κατάντη του εργοταξίου θα έχει πολύ μικρή στάθμη. Ως προς τα έργα εξόδου, η κατάντη τελική διατομή διατηρείται κυκλική και ο πυθμένας της τοποθετείται στη

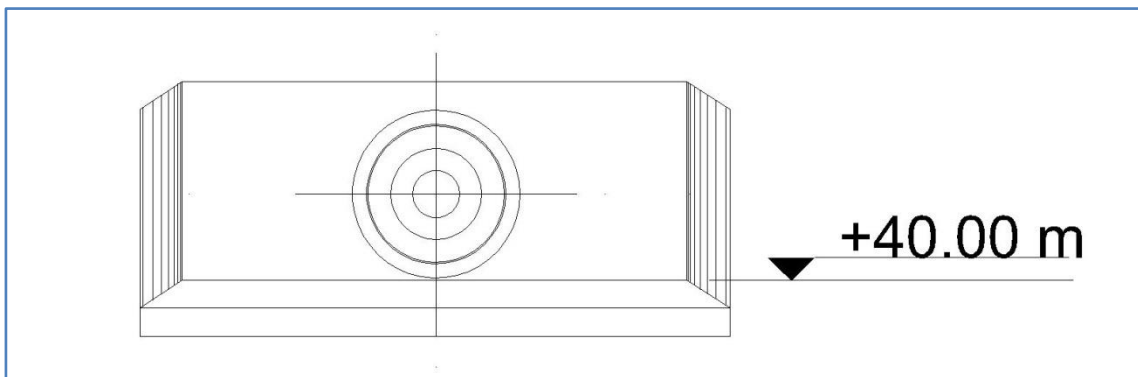
στάθμη των 40 m. Για τον έλεγχο της ροής αλλά και την καταστροφή της εναπομένουσας ενέργειας κατασκευάζεται λεκάνη καταστροφής μήκους 17.77 m και πλάτους 61.6 m χωρίς αυξημένες απαιτήσεις προστασίας.



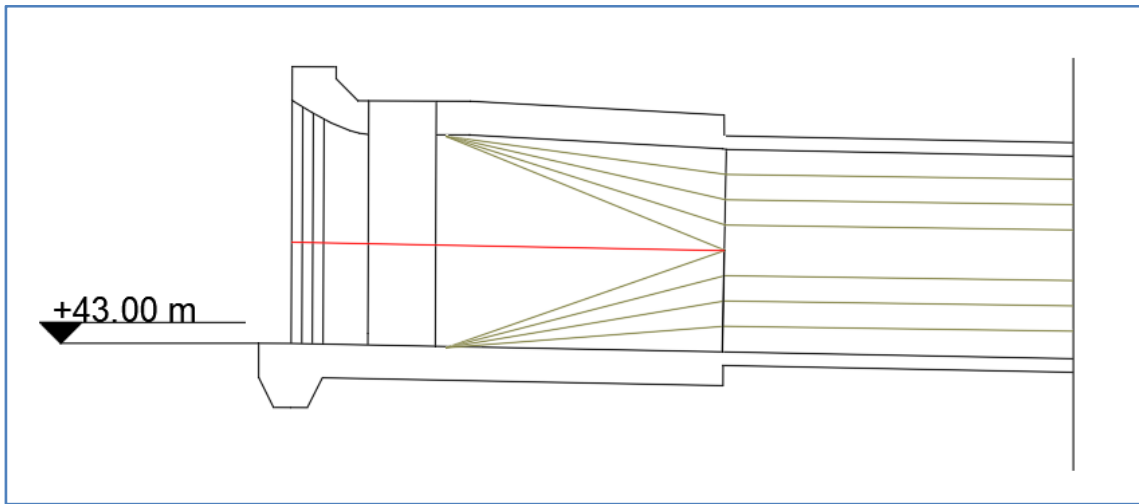
Εικόνα 20. Μηκοτομή σήραγγας εκτροπής



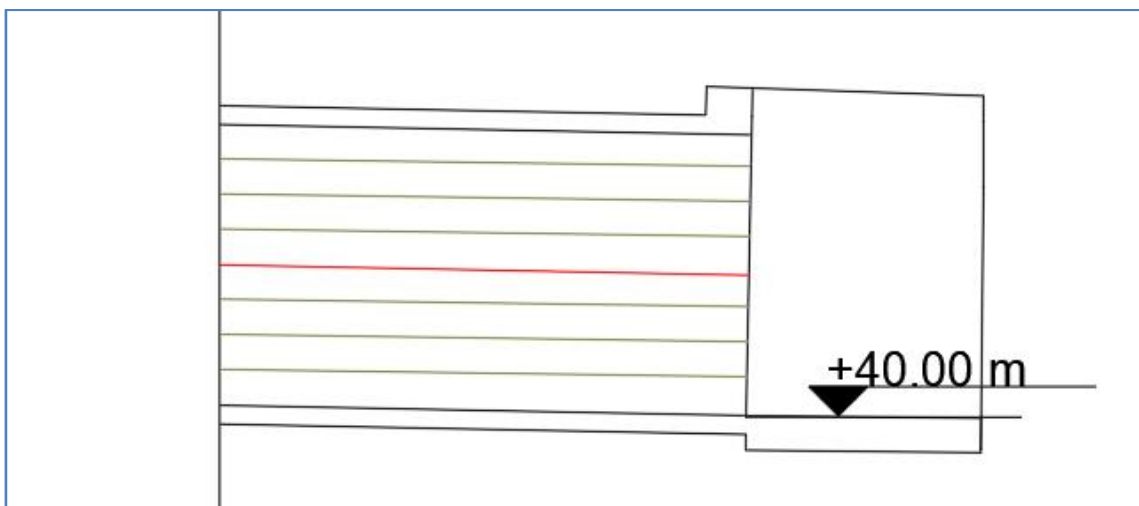
Εικόνα 21. Όψη εισόδου σήραγγας εκτροπής



Εικόνα 22. Όψη εξόδου σήραγγας εκτροπής



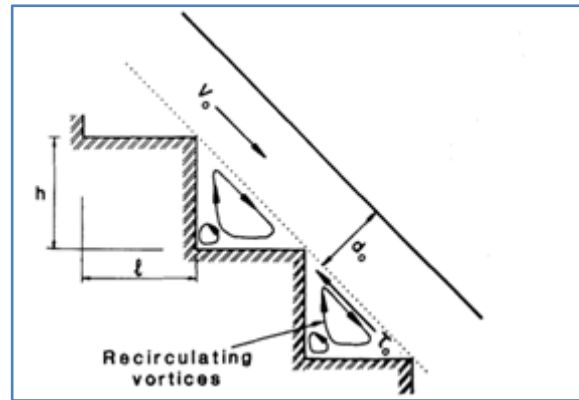
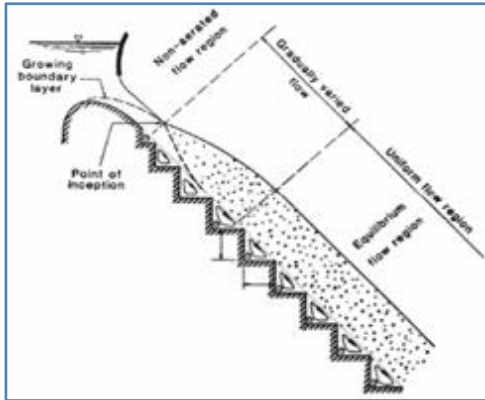
Εικόνα 23. Κατά μήκος τομή εισόδου σήραγγας εκτροπής



Εικόνα 24. Κατά μήκος τομή εξόδου σήραγγας εκτροπής

14. ΕΡΓΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Με σκοπό την μεταφορά στα κατάντη και την αποτόνωση της διερχόμενης ενέργειας της ροής, επιλέγεται βαθμιδωτός υπερχειλιστής, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το ύψος κάθε αναβαθμού είναι $h = 1,00$ m και το πλάτος κατασκευάζεται $l = 0,75$ m, με προκύπτουσα κλίση $\tan\alpha = 1/0,75 = 1,333$, $\alpha = 53,13^\circ$.



Εικόνα 25. Περιοχές ροής βαθμιδωτού υπερχειλιστή

Εικόνα 26. Βαθμιδωτός υπερχειλιστής με ολισθαίνουσα ροή

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται το μήκος ανάπτυξης του οριακού στρώματος πάνω στο Ogee. Όταν αυτό αγγίζει την ελεύθερη επιφάνεια ξεκινά πρακτικά ο αερισμός της ροής, που ολοκληρώνεται μετά από κάποιο μήκος στα κατάντη, πέραν του οποίου η ροή είναι ομοιόμορφη και δεν απορροφά περαιτέρω ποσότητες αέρα.

Υπολογίζεται πρώτα το κρίσιμο βάθος $d_c = 6.33$ m από την σχέση

$$d_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3}$$

με $q = Q_{\max}/L = 49.84$, όπου $Q_{\max} = 2741$ m³/s (παροχή αιχμής) και ενεργό πλάτος υπερχειλιστή $L = 55$ m.

Ο λόγος $d_c/h = 6.33$ προκύπτει μεγαλύτερος του άνω ορίου για την εξασφάλιση της ροής καταρράκτη $0.9 - 0.4 \cdot h/L = 0.367$ οπότε η ροή πραγματοποιείται μέσω ενός συνεχούς στρώματος νερού (ολισθαίνουσα), κάτι που ενδείκνυται καθώς η ροή καταρράκτη ενδέχεται να προκαλέσει φθορές στις βαθμίδες.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή τραχύτητας εφαρμόστηκε ο παρακάτω τύπος που προκύπτει από την εξίσωση Darcy-Weisbach:

$$f = \frac{8g \sin a d_o^2}{q^2} R$$

όπου R η υδραυλική ακτίνα και το ομοιόμορφο βάθος προκύπτει από τον τύπο

$$\frac{d_o}{d_c} = \left(\frac{f}{8 \sin a} \right)^{1/3}$$

λύνοντας ως προς d_o . Για τον λόγο ότι αυτοί οι δύο τύποι αλληλεξαρτώνται πραγματοποιήθηκαν επαναλήψεις θέτοντας στο συντελεστή f μία αρχική τιμή $f_{\text{αρχικό}}$ και υπολογίζοντας έτσι το τελικό $f = 0.17245$. Το ομοιόμορφο βάθος βρέθηκε τελικά ίσο με $d_o = 1.94$ m.

Η διαδικασία αυτή ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό του αριθμού Froude χάρη στον οποίο θα επιλεγεί η κατάλληλη λεκάνη ηρεμίσσεως. Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για την ανεύρεση του είναι ο παρακάτω:

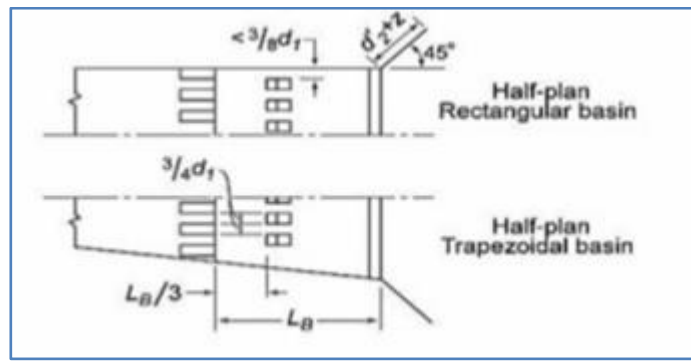
Froude number defined as $Fr = q_w / \sqrt{gd^3}$ και δίνει $Fr = 5.91$

Για $4.5 < Fr < 9$ το μόνιμο άλμα είναι εξαιρετικά αποτελεσματικό στην καταστροφή ενέργειας και έχουν μελετηθεί διάφοροι τύποι λεκανών ηρεμίσσεως με μειωμένες διαστάσεις, στις οποίες δεν μειώνεται η αποτελεσματικότητα του άλματος.

Η καταστροφή ενέργειας που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 60% που υπολογίζεται μέσω του τύπου:

$$\frac{\Delta H}{H_{\max}} = 1 - \frac{\frac{d_o}{d_c} \cos a + \frac{E}{2} \left(\frac{d_c}{d_o} \right)^2}{\frac{H_{dam}}{d_c} + \frac{3}{2}}$$

Κατάντη του πόδα επιλέγεται να κατασκευαστεί λεκάνη ηρεμίσσεως τύπου SAF η οποία διαστασιολογείται σύμφωνα με το παρακάτω σκαρίφημα:



Εικόνα 27. Saint Antony Falls (SAF) stilling basin, Blaisdell, 1959

$$L_b = \left(\frac{4.5}{F_1^{0.76}} \right) y_2; 1.7 < F_1 < 17$$

Το μήκος της λεκάνης υπολογίζεται τελικά ίσο με $L_b=17.77\text{m}$, ενώ το πλάτος της όσο το συνολικό του υπερχειλιστή ($L=61.62\text{ m}$). Για την εύρεση των απαιτούμενων λεπτομερειών πραγματοποιήθηκε υδραυλική επίλυση της προβλεπόμενης ροής για την παροχή σχεδιασμού και βρέθηκαν το βάθος της ροής στον πόδα του βαθμιδωτού υπερχειλιστή y_1 (ομοιόμορφο βάθος d_0) και το συζυγές του μετά την δημιουργία του υδραυλικού άλματος y_2 ίσα με 1.94 και 15.24 m αντίστοιχα με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right]$$

όπου: $y_1=d_0$ (ομοιόμορφο βάθος ροής)=1.94 m.

15. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

Ως κριτήριο επιλογής της θέσης του άξονα του φράγματος ήταν η σχετικά μεγάλη κλίση των πρανών. Έτσι επιλέχθηκε η θέση όπου η κοίτη του ποταμού παρουσιάζει σχετική στένωση.

Σύμφωνα με το ανάγλυφο της περιοχής και την έντονη σεισμική δραστηριότητα της χώρας, επιλέχθηκε φράγμα βαρύτητας τύπου σκληρού επιχώματος (HardFill) με ύψος 35,2 m, όσο ήταν και η μέγιστη επιτρεπόμενη δυνατότητα ανέγερσης από τις απαιτήσεις της μελέτης και κλίση 1,0/0,75 τόσο στο ανάντη όσο και στο κατόντη πρανές. Πιο συγκεκριμένα, οι υδρολογικοί υπολογισμοί έθεσαν την ανώτατη στάθμη της πλημμύρας σχεδιασμού του υπερχειλιστή στα 33,4 m πάνω από τη βάση του φράγματος και προσαυξήθηκε αυτή κατά 1,8 m (σύνολο 35,2m) με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$H = 0.005 * V^{1.06} * L^{0.47} = 0.005 * 93.7^{1.06} * 8^{0.47} = 1.6m \text{ (1.8 για λόγους ασφαλείας)}$$

(πηγή: Υδροδυναμικά Έργα - Φράγματα, Χρήστος Ε. Τσόγκας, Ελισάβετ Χ. Τσόγκα)

όπου:

H = το μέσο ύψος των κυματισμών σε m.

V = η ταχύτητα ανέμου σε km/h, η τιμή της οποίας βρέθηκε από τα ανεμολογικά δεδομένα που παρέχονται από την ιστοσελίδα meteo.gr για τον σταθμό Αρφαρά Μεσσηνίας. Επιλέχθηκε η μέγιστη τιμή ταχύτητας ανέμου για την κατάλληλη κατεύθυνση κάθετα στον άξονα του φράγματος (ΒΒΔ) από όλους τους μήνες λειτουργίας του σταθμού (Νοέμβριος 2012 - Ιανουάριος 2021).

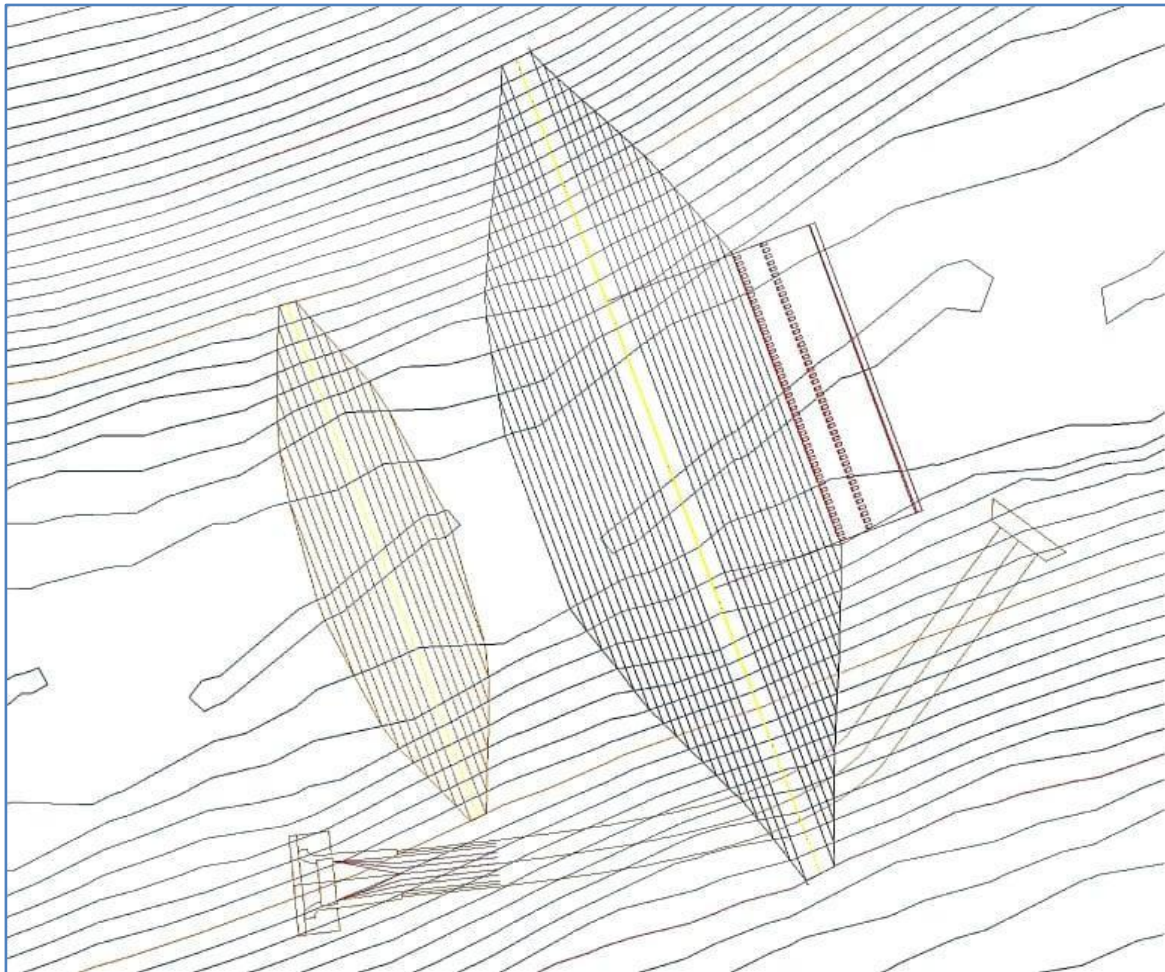
L = το μήκος της λεκάνης κατάκλισης σε km, το οποίο υπολογίστηκε χάρη στην εντολή Length του προγράμματος "AutoCAD" για την λεκάνη κατάκλισης.

Επιπρόσθετα, η στέψη του φράγματος διαστασιολογήθηκε για πλάτος 6 m καθώς προβλέπεται να κατασκευαστεί δρόμος κατά μήκος της για την διέλευση οχημάτων. Το μήκος υπολογίστηκε στα 156 m.

Αναφορικά με την διαδικασία της ανέγερσης, πρόκειται να γίνει χρήση υλικών χαμηλής διαπερατότητας και ισχνού σκυροδέματος πυκνότητας $\rho = 50\text{kg/m}^3$, καθώς σε αντίθεση με τα χωμάτινα, δεν υφίσταται πυρήνας, απαιτείται η

προστασία του όγκου του έργου από την είσοδο του νερού. Υπό αυτό το σκεπτικό θα κατασκευαστεί στην ανάντη παρειά, πλάκα σκυροδέματος και υπό αυτής κατάλληλο γεώφασμα για να μην διέλθει νερό διαμέσου της πλάκας. Ως πρόσθετο μέτρο, αποφασίστηκε η δημιουργία αποστραγγιστικής στοάς στην ανάντη πλευρά του έργου με λεπτομέρειες που φαίνονται στα επισυναπτόμενα σχέδια. Η ανέγερση πρόκειται να πραγματοποιηθεί κατά στρώσεις, όπου κάθε μια θα διαβρέχεται κατάλληλα για την επίτευξη κατάλληλης συνάφειας μεταξύ των στρώσεων. Η διάστρωση θα πραγματοποιηθεί με κατάλληλο όχημα και η συμπύκνωση μέσω δονητικού κυλίνδρου.

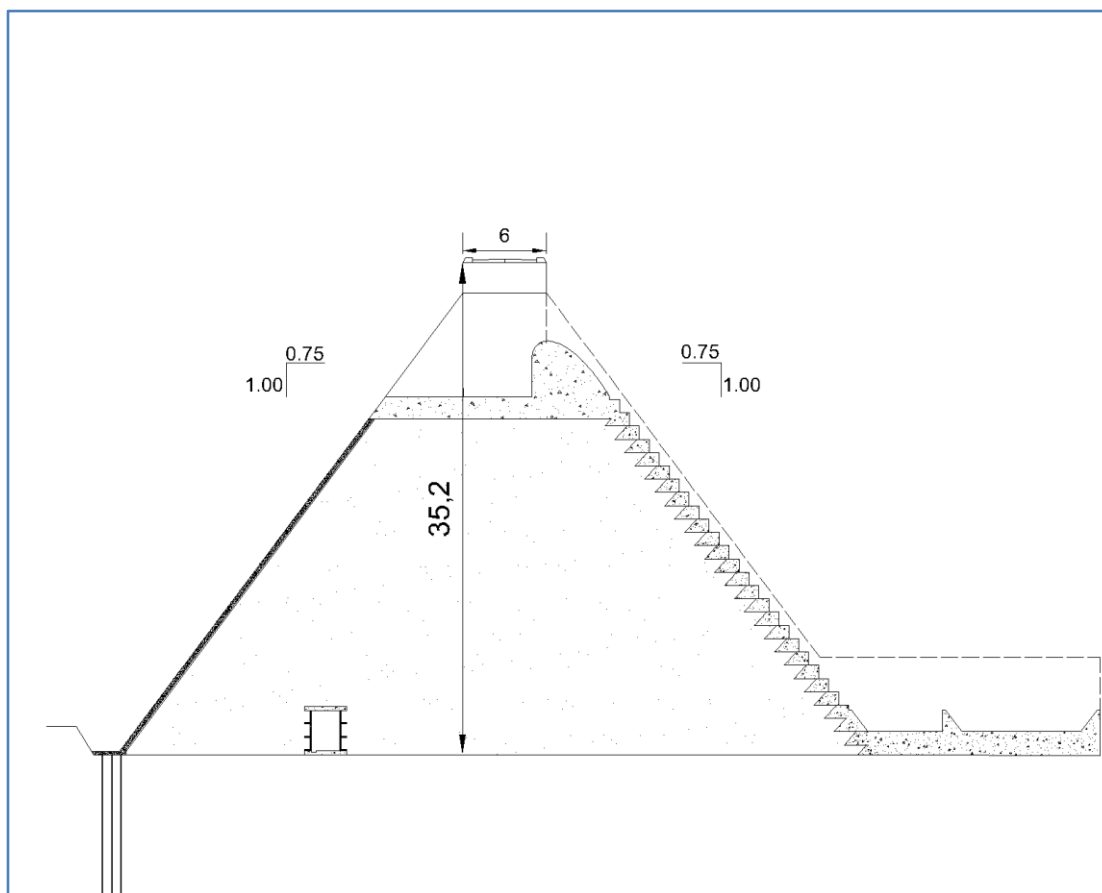
15.1 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΕΡΓΩΝ



Εικόνα 28. Χωροθέτηση έργων σε οριζοντιογραφία

15.2 ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ

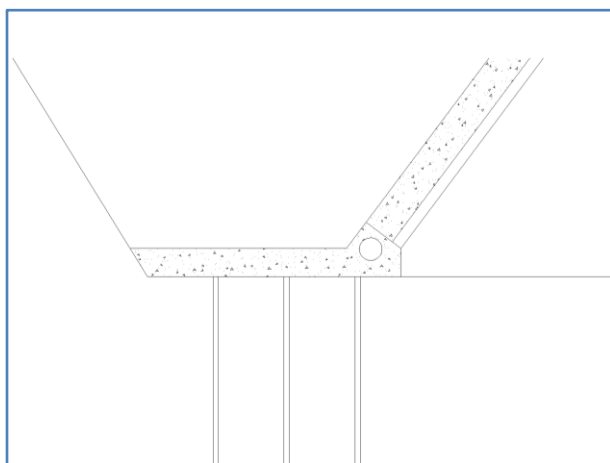
Η τυπική διατομή του υπό μελέτη φράγματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 11 μαζί με τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες που απαιτούνται. Στην επίπεδη ανάντη παρειά έχει τοποθετηθεί πλάκα σκυροδέματος πάχους 30 cm από την επαφή με την πλίνθο μέχρι και τη στέψη του φράγματος. Στο μέσον της πλάκας τοποθετείται κάνναβος χαλύβδινου οπλισμού $\Phi 20/25$ που εξασφαλίζει καμπτική λειτουργία. Παράλληλα σε αυτήν έχει τοποθετηθεί γεωύφασμα 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 $\Phi 25$, μαζί με τους σωλήνες αποστράγγισης. Στον άξονά της τοποθετούνται τσιμεντενέσεις για την αποφυγή διήθησης, διαφυγών νερού και δημιουργίας μεγάλων ανωστικών δυνάμεων. Κατασκευάζεται, τέλος, αποστραγγιστική στοιά με τοιχώματα από σκυρόδεμα και προκατασκευασμένα στοιχεία και δάπεδο που επιτρέπει την παροχέτευση των υδάτων.



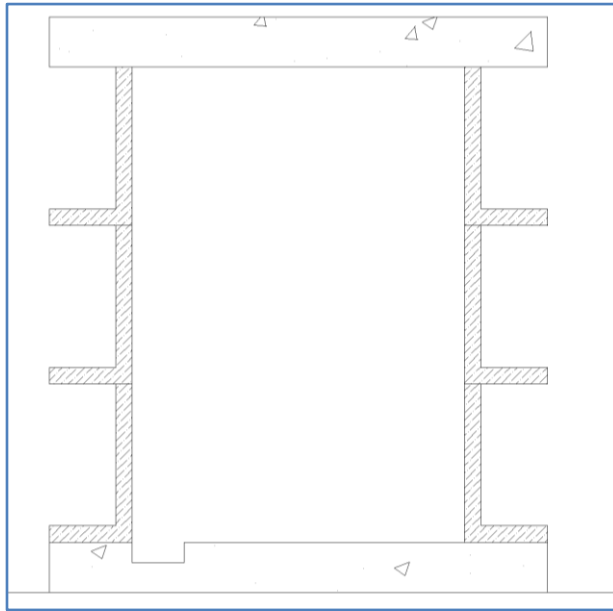
Εικόνα 29. Τυπική Διατομή φράγματος



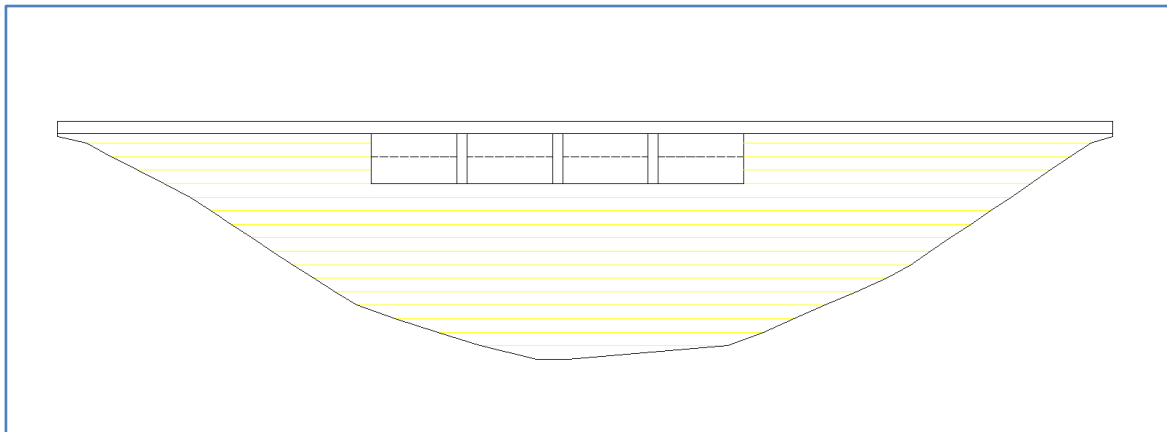
Εικόνα 30. Διαμόρφωση ανάντη παρειάς



Εικόνα 31. Πλίνθος από σπλισμένο σκυρόδεμα



Εικόνα 32. Αποστραγγιστική στοά



Εικόνα 33. Κατά μήκος τομή φράγματος

16. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Η κατασκευή ενός φράγματος σε ένα ποταμό και η δημιουργία τεχνητής λίμνης, μετατρέπει το φυσικό ποτάμιο σύστημα σε λιμναίο. Η ανθρώπινη αυτή επέμβαση επιφέρει, κάποιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι κυριότερες από αυτές, προέρχονται από τη δημιουργία της τεχνητής λίμνης που έχει ως συνέπεια την κατάκλιση μεγάλων εκτάσεων, τη διακοπή τμήματος όγκου της ροής του ποτάμιου συστήματος και τη διακοπή της τροφοδοσίας των κατάντη εκτάσεων με φερτές ύλες. Όλα τα παραπάνω, επιδρούν ως ένα βαθμό στην αλλαγή της χλωρίδας και πανίδας της περιοχής, καθώς επίσης και στο τοπικό κλίμα.

Ωστόσο, οι νέοι οικότοποι, με λιμναίες πλέον οικολογικές συνθήκες, ευνοούν την ανάπτυξη αρκετών υδρόβιων οργανισμών (ψαριών και αμφίβιων), που προσφέρουν τροφή και καταφύγιο σε μεγάλο αριθμό αποδημητικών ή μη πουλιών, με τα πρώτα να χρησιμοποιούν τους ταμιευτήρες ως ενδιάμεσους σταθμούς στο μακρύ τους ταξίδι. Επίσης, οι ίδιοι επιστήμονες αναφέρουν ότι τα μεγάλα έργα και η τεχνολογία δε συμβαδίζουν πάντα με την καταστροφή της φύσης. Επομένως, μπορεί να ειπωθεί ότι τα φράγματα, ως έργα αξιοποίησης των υδατικών πόρων της χώρας μας, έχουν συνεισφέρει θετικά στο περιβάλλον, ενώ παράλληλα επιφέρουν θετικές επιπτώσεις στην οικονομία και στην ανάπτυξη.

17. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το εν λόγω έργο πρόκειται για μια σημαντική παρέμβαση στο φυσικό περιβάλλον της περιοχής, το οποίο θα προσφέρει μια σειρά από οφέλη στην ανάπτυξη και την οικονομία της ευρύτερης περιφέρειας. Η περιοχή αυτή της Μεσσηνίας παρουσιάζει έντονο πρόβλημα ποιοτικά υποβαθμισμένων υδάτων και αρδευτικού ελλείμματος. Η κατασκευή του θα εξαλείψει το αρδευτικό ζήτημα και θα δημιουργήσει εξαιρετικές συνθήκες για τις καλλιέργειες θέτοντας τα θεμέλια για την ανάπτυξη του αγροτοδιατροφικού τομέα στη περιοχή. Το φράγμα αυτό ως μέρος ενός μεγαλύτερου σχεδίου θα συμβάλει στην άρδευση 20.500 στρεμμάτων και στην υδροδότηση δυνητικά 5 οικισμών. Επίσης, η κατασκευή του, εξ ορισμού, θα παρέχει αντιπλημμυρική προστασία τον χειμώνα στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις, αποτρέποντας ολέθριες επιπτώσεις για αυτές και κατά συνέπεια την οικονομία της περιοχής. Παράλληλα θα αποτελέσει πόλο έλξης για τουρίστες και εγχώριους επισκέπτες χάρη στο αισθητικό κάλλος της λίμνης που θα δημιουργηθεί ανάντη του φράγματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Γαλανόπουλος Α.**, Σεισμική γεωγραφία της Ελλάδας. Γεωλογικά Χρονικά Ελληνικών Χώρων. Αθήνα 1995
- **Δημόπουλος Γ.**, «Γεωλογικές μελέτες τεχνικών έργων», Υδρογεωλογικές Μελέτες, 2007
- **Ε.Ε.Τ.Α.Α.**, ΦΕΚ απογραφών πληθυσμού
- **Ευστρατιάδης Α, Σαργέντης Γ.Φ. & Μαμάσης Ν.**, Ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεγάλων υδραυλικών έργων, Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2019
- **Ευστρατιάδης Α., Παπανικολάου Π., Μίχας.**, Διόδευση πλημμυρών από έργα εκτροπής και υπερχειλίσης. Σημειώσεις μαθήματος Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών/ΕΜΠ
- **Ευστρατιάδης Α., Παπανικολάου Π.**, Συνοπτικές οδηγίες για την επίλυση του προβλήματος διόδευσης πλημμύρας από ελεύθερο υπερχειλιστή
- **Ευστρατιάδης Α., Παπανικολάου Π.**, Ταμειυτήρες-Υδραυλικές Κατασκευές & Φράγματα
- **Ζαμπάκα Ιωάννου Δ.**, Γενική Κλιματολογία. Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα 1981
- **ΙΓΜΕ**, Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας. Κλίμακα 1:500.000. Αθήνα 1983

- **Ευφροσύνη Κανέλλου**, Μεταπτυχιακή Διατριβή-Εκτίμηση περιοχικής Δυνητικής Εξατμισοδιαπνοής με χρήση Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών
- **Καρατόσιος Χ.**, Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ., Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Διερεύνηση της δυνατότητας κατασκευής φράγματος στην περιοχή Παλαιοκάστρου Ελασσόνας.
- **Κατσικάτος Γ.**, Γεωλογία της Ελλάδας. Αθήνα 1992
- **Κουτσογιάννης Δ. & Ευστρατιάδης Α.**, Υδρευτικές καταναλώσεις, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα 2011
- **Κουτσογιάννης Δ., Μαχαίρας Γ.**, «Υδρολογική Μελέτη Λεκάνης Ξηριά Μαγνησίας»
- **Κουτσογιάννης Δ., Ταρλά Κ.**, Sediment Yield Estimations in Greece
- **Τζούκα Α.**, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- **Τσιτσέλη Θ.**, «Κατάρτιση Ομβρίων Καμπυλών στην Πελοπόννησο»
- **Μαρίνος Π.** Επί της μείωσης των παροχών των πηγών. Εφαρμογή ετέρας εξισώσεως επί της εξαντλήσεως και προγνώσεως αυτών. Αθήνα 1973.
- **Μαριολάκος Ι., Η. Schneider, Φουντούκης Ι., Βουλουμάνος Ν.**, Παλαιογεωγραφία, Ιζηματολογία και Νεοτεκτονική στο βύθισμα του Κάμπου και στην περιοχή του κόλπου των Κιτριών. Αθήνα 1993.
- **Μιμίκου Μ.Α., Μπαλτάς Ε.Α.**, «Τεχνική Υδρολογία», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 6η Έκδοση, Αθήνα, 2018.
- **Μουτάφης Ν.**, Φράγματα βαρύτητας τύπου σκληρού επιχώματος. Σημειώσεις μαθήματος Φράγματα. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών/ΕΜΠ.

- **Ο.Α.Σ.Π.**, Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΝΕΑΚ). 1995.
- **Ολύμπιος Χ.**, Η τεχνική της καλλιέργειας των υπαίθριων κηπευτικών. Φεβρουάριος 2015.
- **Παναγούλια Δ.**, Εισαγωγή στα Εγγειοβελτιωτικά Έργα. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. Αθήνα 1998.
- **Παπαζάχος Β. – Παπαζάχου Κ.**, Οι σεισμοί της Ελλάδας. Θεσσαλονίκη 1989.
- **Παπαμιχαήλ Δ.**, Τεχνική υδρολογία επιφανειακών υδάτων. Θεσσαλονίκη 2001.
- **Παπανικολάου Δ.**, Κεφάλαια Γεωλογίας Ελλάδας. Πανεπιστήμιο Αθηνών, Γεωλογικό τμήμα. Αθήνα 1984.
- **Παπανικολάου Π.**, Notes Ogee Spillway, Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα
- **Παπανικολάου Π.**, Notes Stepped Spillway, Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα
- **Σουβατζή Γ.**, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης. Χανιά 2017
- **Σούλιος Γ.**, «ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΝΑΓΚΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΛΑΡΙΣΑΣ ΚΑΙ ΟΜΟΡΩΝ ΔΗΜΩΝ». Θεσσαλονίκη 2008.
- **Τσακίρης Γ.**, Υδατικοί πόροι, Ι. Τεχνική υδρολογία. Αθήνα 1995.
- **Chanson H.** Stepped spillway flows and air entrainment. Australia
- **Design of Gravity Dams**, Bureau of Reclamation, Denver, CO, 1976.
- <https://www.itia.ntua.gr/el/documents/2/>
- www.gargalianoionline.gr/τα-γεωλογικά-χαρακτηριστικά-και-το-υδ/
- <http://meteosearch.meteo.gr/>
- <http://stratus.meteo.noa.gr/>

