ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών '' Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία ''

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΓΕΡΜΑ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ

Μεταπτυχιακός Φοιτητής

ΑΡΓΥΡΗΣ Δ. ΚΟΥΣΚΟΥΡΑΣ Γεωλόγος Υπότροφος του Ιδρύματος Κρατικών Υποτροφιών



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2005

Ψηφιακή Βιβλίοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

	6785	HB 5220158
TC.		HC 181832
558	ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ	
.673		
xe8		
2005	ΜΕΛΕΤΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΓΕΡΜΑ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ	
EID		

ΑΡΓΥΡΗΣ Δ. ΚΟΥΣΚΟΥΡΑΣ Γεωλόγος Υπότροφος του Ιδρύματος Κρατικών Υποτροφιών

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων: Καθηγητής

Μέλος: Καθηγητής

Μέλος: Καθηγητής

Γεώργιος Σούλιος Γεώργιος Δημόπουλος Βασίλειος Χρηστάρας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά την ολοκλήρωση της διατριβής αυτής αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν με οποιονδήποτε τρόπο κατά την διάρκεια της εκπόνησή της.

Ευχαριστώ ειλικρινά τον καθηγητή μου κ. Γ. Σούλιο για την πολύτιμη βοήθειά του. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Γ. Δημόπουλο για την συμπαράστασή του και τις υποδείξεις του, καθώς επίσης και τον Καθηγητή κ. Β. Χρηστάρα για τις εύστοχες επισημάνσεις του. Θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον Λέκτορα κ. Κ. Βουδούρη για τη συνεργασία και τη βοήθειά του. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Λέκτορα κ. Μ. Τρανό για τις πολύτιμες επισημάνσεις και την μεγάλη βοήθειά του.

Ειδικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τους μηχανικούς κ. Χ. Βασιλόπουλο και κ. Κ. Εμμανουήλ για την βοήθεία τους και τις πολύτιμες πληροφορίες που μου παρείχαν για την περιοχή.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους συναδέλφους υποψήφιους διδάκτορες κ. Α. Βασαλάκη, κ. Δ. Βογιατζή, κ. Χ. Μυριούνη και τη συνάδερφο μεταπτυχιακή φοιτήτρια κα. Ανθή Καραμουχτάρη για την βοήθειά τους και για την ηθική συμπαράσταση που μου προσέφεραν.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω την φίλη μου Β. Βάντα για την αγάπη της και την υπομονή της, τον Νίκο, Γιώργο, Μάκη, Βασίλη, Γιώργο και γενικά όλους τους φίλους μου, που μου συμπαραστάθηκαν ηθικά κατά την διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το Ιδρυμα Κρατικών υποτροφιών για την οικονομική υποστήριξη που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την συμπαράσταση και την απεριόριστη ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αφιερωμένο στους γονείς μου ... ένα μικρό δείγμα της αγάπης μου και σαν μικρό αντάλλαγμα για όσα προσέφεραν και συνεχίζουν να προσφέρουν.

<u>Περιεχόμενα</u>

1. Εισαγωγή	1
2. Λεκάνη απορροής του φράγματος	3
2.1. Γεωγραφικά-Γεωμορφολογικά στοιχεία, υδρογραφικό δίκτυο	3
2.2 Γεωλογικά στοιχεία	10
2.3 Υδρογεωλογικά στοιχεία	13
3. Η λεκάνη κατάκλυσης του φράγματος	15
3.1 Γεωμορφολογικά στοιχεία	15
3.2 Γεωλογικά στοιχεία	19
3.3 Υδρογεωλογικά στοιχεία – Τεχνικογεωλογικά στοιχεία : Η στεγανότητα και η	31
σταθερότητα της λεκάνης κατάκλυσης	21
4. Η ζώνη του φράγματος	24
4.1. Η θέση του άξονα του φράγματος	24
4.2. Γεωλογικά στοιχεία της ζώνης του φράγματος	25
4.3 Τεχνικογεωλογικά στοιχεία της ζώνης του φράγματος	27
4.4 Υδρογεωλογικά στοιχεία της ζώνης του φράγματος	30
5. Δανειοθάλαμοι υλικών κατασκευής φράγματος	33
5.1 Θέσεις δανειοθαλάμων	33
5.2Εργαστηριακές δοκιμές	37
5.3. Συμπύκνωση εδαφών	37
5.4.Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών	40
6. Υδρολογία	47
6.1 Κλιματικά στοιχεία της περιοχής	47
6.2 Βροχομετρικοί και μετεωρολογικοί σταθμοί	48
6.3 Υδρολογικό ισοζύγιο	49
6.4 Βροχοπτώσεις	50
6.5. Σχέση ύψους βροχόπτωσης υψομέτρου	54
6.6.Κατανομή των βροχοπτώσεων	56
6.7 Εξατμισοδιαπνοή	59
6.8 Κατείσδυση	67
6.9 Επιφανειακή απορροή	68
6.10 Προσεγγιστικό υδρολογικό ισοζύγιο	69
6.11 Υπολογισμός πλημμυρικών παροχών	69
7. Μελέτη σεισμικού κινδύνου στην περιοχή	73
7.1. Στοιχεία του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού	73
7.2 Σεισμικότητα της περιοχής	74
Παράρτημα-Βιβλιογραφία-Περιεχόμενα	77

,

ΦΡΑΓΜΑ ΓΕΡΜΑΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ

1. Εισαγωγή

Η θέση του φράγματος, που δίνεται επακριβώς σε λεπτομερείς χάρτες του παρόντος βρίσκεται σε υψόμετρο 800 μέτρων στις Νότιες πλαγιές του όρους Βέρνου, μεταξύ των χωριών Βογατσικό, Κορησός και Γέρμας, στα όρια των νομών Καστοριάς και Κοζάνης, σχ 1.1 . Βρίσκεται ακριβώς βόρεια του χωριού Γέρμας και σε ευθεία απόσταση 3 km (μετρούμενη στο χάρτη, όχι οδική) πάνω στο χείμαρρο Τιάζια' όπου και θα κατασκευαστεί. Το ρέμα Τιάζια' αφού συμβάλλει με άλλα ρέματα και χειμάρρους χύνεται τελικά στον ποταμό Αλιάκμονα λίγα χιλιόμετρα κατάντι του Βογατσικού. Σχετικά με τη λεκάνη απορροής του φράγματος σημειώνουμε ότι το κατώτερο τμήμα της ανήκει στο Δήμο Ίωνος Δραγούμη, ενώ το ανώτερο στο Δήμο Κορησού και την κοινότητα Κλεισούρας.

Η θέση αυτή του φράγματος, πέρα από τα ειδικά γεωλογικά, γεωμορφολογικά, υδρογεωλογικά και τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά που περιγράφονται, αναλύονται και αξιολογούνται σε επόμενες σελίδες, έχει και τα εξής γενικά χαρακτηριστικά :

• Βρίσκεται κοντά σε καλλιεργούμενες αγροτικές εκτάσεις, που πρόκειται να αρδεύσει, το μέγεθος των οποίων ξεπερνά τα 7.000 στρέμματα .

• Απαιτεί μικρά ή ελάχιστα έργα προσπέλασης στην περιοχή του φράγματος.

• Με την δημιουργία της τεχνητής λίμνης δεν θα κατακλυσθούν παρά ελάχιστες ιδιωτικές εκτάσεις. Άλλες εγκαταστάσεις, γραμμές ΔΕΗ ή τμήματα του οδικού δικτύου δεν βρίσκονται στη ζώνη κατάκλυσης του φράγματος.

Το φράγμα θα δημιουργήσει ένα ορεινό λιμναίο οικοσύστημα (υδροβιότοπο), με πολλαπλές θετικές οικολογικές – περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

• Πρόκειται για σημαντικό έργο, η κατασκευή του οποίου προβλέπεται να βελτιώσει σημαντικά την οικονομική κατάσταση του Δήμου Ίων. Δραγούμη.



Σχήμα 1.1:Χάρτης της περιοχής και η θέση του φράγματος Γέρμας

2. Λεκάνη απορροής του φράγματος

2.1. Γεωγραφικά-Γεωμορφολογικά στοιχεία, υδρογραφικό δίκτυο

2.1.1. Εισαγωγή

Η λεκάνη απορροής, σχήμα 2.1, βρίσκεται στα νότια του όρους Βέρνου, μεταξύ των χωριών Κορησός, Κλεισούρα, Βογατσικό και Γέρμας και συγκεκριμένα μεταξύ των τοποθεσιών "Καπισταίνα", "Οξιά", "Μπούκα", "Καψάλα" και "Άσπρη πέτρα".



Σχήμα 2.1: Γεωμορφολογικός χάρτης της περιοχής του φράγματος.

Πρόκειται για τη λεκάνη απορροής του ρέματος "Γιάζια". Η λεκάνη διοικητικά ανήκει στο Νομό Καστοριάς. Συγκεκριμένα, το κατώτερο τμήμα της ανήκει στο Δήμο Ίωνος Δραγούμη, ενώ το ανώτερο στο Δήμο Κορησού και την κοινότητα Κλεισούρας. Έχει ένα σχεδόν επίμηκες σχήμα και εκτείνεται σε μήκος 7,4 km περίπου και σε πλάτος 3,2 km (σε ευθεία γραμμή πάνω στο χάρτη).

2.1.2. Ποσοτική ανάλυση του αναγλύφου

Η ανάλυση του αναγλύφου έγινε βάσει στοιχείων, τα οποία ελήφθησαν από τους τοπογραφικούς χάρτες τις Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, κλίμακας 1:50.000, έπειτα από ψηφιοποίηση.

Με την ακρίβεια που παρέχει η ψηφιοποίηση προκύπτει πως το εμβαδόν της λεκάνης απορροής μέχρι τη θέση του φράγματος είναι 18,1 km² (Πίνακας 2.1). Η περίμετρός της είναι ίση με 19,25 km. Ο συντελεστής κυκλικότητας είναι 1,28, δηλ. το σχήμα της λεκάνης απέχει αρκετά από το κυκλικό και το κυκλοτερές.

Στη συνέχεια για τη λεκάνη απορροής του φράγματος υπολογίστηκαν το μέσο υψόμετρο καθώς επίσης η μέση κλίση και η υψογραφική καμπύλη. Οι δύο τελευταίοι παράμετροι εκφράζουν ποσοτικά το ανάγλυφο της περιοχής

Το μέσο υψόμετρο μιας περιοχής ορίζεται ως το πηλίκο του αθροίσματος των γινομένων του μέσου υψομέτρου (h') δύο διαδοχικών ισοϋψών επί την αντίστοιχη επιφάνειά τους (ε) δια του συνολικού εμβαδού (E) και δίνεται από τη σχέση

$$H_{\rm M} = \frac{\Sigma \varepsilon * h'}{E}$$
(2,1)

Η μέση κλίση (P) του εδάφους μιας περιοχής υπολογίζεται με την μέθοδο Horton R.E. (1945). Κατά τη μέθοδο αυτή η μέση κλίση δίνεται από τον τύπο

$$P = \frac{d * L}{E} \tag{2,2}$$

Όπου : Ρ = η ζητούμενη μέση κλίση %

d =η ισοδιάσταση (m) E = η συνολική επιφάνεια της λεκάνης L = $l_1 + l_2 + l_3 + l_4 \dots l_n$ το συνολικό μήκος των ισοϋψών (m)

α/α	α Ισοϋψείς (m)		Μήκος ισοϋψών (α) σε (Km)	Μέσο υψόμετρο h' μεταξύ (α) και (β) σε (m)	Επιφάνεια Ε μεταξύ (α) και (β) σε Km ²	E1 %	Ε2 % αθροι σ τικά
1	793,5	800	0	796,75	0,0196	0,1082	0,1082
2	800	820	0.4835	810	0,0916	0,5066	0,6148
3	820	840	1,6665	830	0,1448	0,8006	1,4154
4	840	860	2,7160	2,7160 850 0,2173 1,2009		1,2009	2,6164
5	860	880	3,7776	870	0,2439	1,3484	3,9648
6	880	900	4,8425	890 0,3659 2,0226		2,0226	5,9873
7	900	920	6,1467	910	0,3860	2,1334	8,1207
8	920	940	7,4446	930	0,4710	2,6034	10,7241
9	940	960	9,3777	950	0,4249	2,3488	13,0730
10	960	980	10,1689	970	0,6374	3,5232	16,5962
11	980	1000	10,7961	990	0,5856	3,2370	19,8332
12	1000	1020	12,2078	1010	0,6520	3,6043	23,4375
13	1020	1040	13,3652	1030	0,7284	4,0264	27,4638
14	1040	1060	13,8845	1050	0,7355	4,0656	31,5294
15	1060	1080	14,8730	1070	0,7327	4,0501	35,5795
16	1080	1100	14,2675	1090	0,7446	4,1157	39,6953
17	1100	1120	15,0220	1110	0,7629	4,2172	43,9125
18	1120	1140	15,8104	1130	0,8183	4,5233	48,4358
19	1140	1160	16,2907	1150	0,7485	4,1373	52,5730
20	1160	1180	16,4018	1170	0,7661	4,2345	56,8075
21	1180	1200	15,9370	1190	0,7235	3,9995	60,8071
22	1200	1220	15,4000	1210	0,6844	3,7830	64,5901
23	1220	1240	15,2290	1230	0,6613	3,6551	68,2452
24	1240	1260	14,4833	1250	0,6206	3,4303	71,6755
25	1260	1280	13,6710	1270	0,5828	3,2216	74,8971
26	1280	1300	12,7091	1290	0,6010	3,3221	78,2192
27	1300	1320	11,5805	1310	0,5429	3,0010	81,2202
28	1320	1340	11,4027	1330	0,4751	2,6260	83,8462
29	1340	1360	10,6605	1350	0,5114	2,8268	86,6730
30	1360	1380	9,0950	1370	0,4354	2,4067	89,0797
31	1380	1400	7,8170	1390	0,3535	1,9541	91,0338
32	1400	1420	7,6760	1410	0,3297	1,8223	92,8561
33	1420	1440	5,5350	1430	0,2203	1,2176	94,0737
34	1440	1460	5,0300	1450	0,1469	0,8118	94,8854
35	1460	1480	4,8613	1470	0,2170	1,1996	96,0850
36	1480	1500	4,4625	1490	0,2102	1,1620	97,2470
37	1500	1520	3,8555	1510	0,1897	1,0485	98,2956
38	1520	1540	3,0560	1530	0,1265	0,6990	98,9946
39	1540	1560	2,0420	1550	0,0527	0,2914	99,2860
40	1560	1580	0,7872	15/0	0,0434	0,2401	99,5261
41	1580	1600	0,51/4	1590	0,0348	0,1922	99,7182
42	1600	1620	0,4618	1610	0,0282	0,1557	99,8740
43	1620	1640	0,2808	1630	0,0207	0,1147	99,9886
44	1640	1660	0,0600	1650	0,0021	0,0114	100,0000
LΥΝ	0//0/				18,0909		

Πίνακας 2.1 : Ποσοτικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του ρέματος "Γιάζια"

Το μέγιστο υψόμετρο είναι 1665 m (θέση "Κορφούλα"), το ελάχιστο είναι 793,5 m (θέση φράγματος) και όπως προκύπτει από τη σχέση 2,1 το μέσο υψόμετρο είναι ίσο με 1158 m.

Επίσης, από τη σχέση 2,2 προκύπτει ότι η μέση κλίση της λεκάνης απορροής είναι ίση με P = 0,404 ή P = 40,4%, η οποία και αντιστοιχεί σε γωνία $\varphi = 22^{\circ}$. Με δεδομένο ότι η κλίση καθορίζει την ταχύτητα των επιφανειακών ρεόντων υδάτων και μέσου αυτής και των φαινομένων της διάβρωσης και της κατείσδυσης (Σούλιος 1975), είναι πιθανότερο να περιμένουμε σχετικά μεγάλο συντελεστή επιφανειακής απορροής.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η υψογραφική καμπύλη της λεκάνης απορροής. Η υψογραφική καμπύλη δείχνει με απλό τρόπο την κατανομή της μάζας του αναγλύφου σε σχέση με το υψόμετρο. Στον άξονα των x παρουσιάζεται το σχετικό εμβαδόν (εμβαδόν περιοχής που βρίσκεται πάνω από ένα συγκεκριμένο υψόμετρο / το συνολικό εμβαδόν της περιοχής) και στον άξονα των y το σχετικό υψόμετρο.

Η υψογραφική καμπύλη της λεκάνης απορροής παρουσιάζεται στο σχήμα 2,2. Σε αυτήν φαίνεται σαφώς ότι μεγάλο τμήμα της λεκάνης (περίπου 60 %) περιλαμβάνεται σε υψόμετρα από 1000 m έως 1300 m.



Σχήμα 2.2 : Υψογραφική καμπύλη της λεκάνης απορροής .

Για τον καθορισμό του ενεργειακού δυναμικού των υδάτων του υδρογραφικού δικτύου μιας περιοχής χρησιμοποιείται ο όρος « μέγιστο ανάγλυφο » (Καλλέργης 1970, Σούλιος 1975). Αυτό καθορίζεται από την υψομετρική διαφορά μεταξύ του υψηλότερου σημείου της λεκάνης και του σημείου εξόδου των υδάτων της λεκάνης. Έτσι για την λεκάνη απορροής του φράγματος το μέγιστο ανάγλυφο είναι 1665-793,5 = 871,5 m.

2.1.3 Ποσοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου

Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής όπως φαίνεται στον γεωμορφολογικό χάρτη του Σχήματος 2,2 είναι σχεδόν ομοιόμορφο σε όλη της την έκταση, με κάποια μικρή διαφοροποίηση στα τμήματα του εδάφους με μεγάλη κλίση, όπου γίνεται πυκνότερο. Στον Πίνακα 2,2 δίνονται στοιχεία του υδρογραφικού δικτύου.

Τάξη U	Αριθμός κλάδων NU	logNU	Ολικό μήκος ΣL (Km)	Μέσο μήκος κλάδων L (Km)
1	43	1,633	25,16583	0,58525
2	12	1,079	9,94166	0,82847
3	2	0,301	0,856	0,428
4	1	0	6,24946	6,24946
Σύνολο	58		42,213	

Πίνακας 2,2 : Αριθμός κλάδων και μήκος για κάθε τάξη του υδρογραφικού δικτύου

Από τον Πίνακα 2,2 προκύπτει το σχήμα 2.3 που περιλαμβάνει την ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου.



Σχήμα 2.3 : Ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου

Οι παράμετροι οι οποίοι και υπολογίστηκαν κατά την ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου είναι οι εξής:

Συντελεστής διακλάδωσης (Rb). Ο συντελεστής αυτός ορίζεται ως ο λόγος του πλήθους N_u των κλάδων μιας τάξης u προς το πλήθος N_{U+1} της επόμενης τάξης u+1. Ο συντελεστής αυτός διαφέρει από τάξη σε τάξη κυμαινόμενος συνήθως εντός στενών ορίων, αλλά τείνει να καταστεί σταθερός για ένα συγκεκριμένο υδρογραφικό δίκτυο. Στη σταθερότητα αυτή του συντελεστή διακλαδώσεως στηρίζεται ο νόμος του πλήθους των κλάδων κάθε τάξης αποτελεί μία αντίστροφη γεωμετρική πρόοδο με λόγο τον αντίστροφο του συντελεστή διακλάδωσης. Με λογαρίθμηση του λόγου από τον οποίο προκύπτει ο συντελεστής διακλάδωσης προκύπτει η παρακάτω σχέση:

 $\log Nu = n * \log Rb - u * (\log Rb)$

Η πιο πάνω σχέση εκφράζει το νόμο του πλήθους των κλάδων του Horton R.E. (1932). Για την λεκάνη απορροής του φράγματος "Γέρμα", με την χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων, προκύπτει η εξής σχέση μεταξύ του αριθμού των κλάδων Νυ και της τάξης του υδρογραφικού δικτύου u : logNu = 2,17-0,57u. Έτσι λοιπόν από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι ο συντελεστής διακλάδωσης είναι Rb = 3,69.

- Πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου (D). Η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου ορίζεται ως ο λόγος του συνολικού μήκους των τμημάτων του δικτύου, προς το εμβαδόν της λεκάνης, D=Σl/E. Έτσι για Σl=42,213 km και E=18,09 km² προκύπτει D=2,33 km⁻¹.
- Συχνότητα του υδρογραφικού δικτύου (F). Αυτή ορίζεται ως ο λόγος του συνολικού αριθμού των κλάδων όλων των τάξεων δια της επιφάνειας της λεκάνης δηλ. F=Σnu/E =58/18,09=3,21.
- Συντελεστής αποστράγγισης (d). Ο συντελεστής αποστράγγισης ορίζεται ως το πηλίκο του εμβαδού της λεκάνης προς το συνολικό μήκος των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου δηλ. d=E/ Σl=0,42.

Το μέγιστο μισγάγγειο για το σύνολο της λεκάνης έχει μήκος 7,55 km και η μέση κλίση κατά μήκος του είναι 8,8 % (αντίστοιχη γωνία $\varphi = 5^{\circ} 17'$). Στο σχήμα 2.4 παρουσιάζεται η μορφολογική καμπύλη κατά μήκος της κοίτης του μέγιστου μισγάγγειου.

Όσον αφορά την κατανομή της βλάστησης της λεκάνης απορροής του ρέματος Τιάζια', αυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 2.5 που ακολουθεί. Η λεκάνη καλύπτεται σε μεγάλο τμήμα της (65,1%) από δασώδη και μερικώς δασώδη βλάστηση ενώ σε μικρότερο (26,5%) από θαμνώδη βλάστηση. Οι γεωργικές εκτάσεις (κυρίως εγκαταλειμμένες) αποτελούν το 8,4% της έκτασης της λεκάνης απορροής (Παυλίδης, 2002). Η ύπαρξη σημαντικής βλάστησης σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία (κλίση εδάφους, λιθολογικά στοιχεία κ.τ.λ.) δεν





Σχήμα 2.4 : Μορφολογική καμπύλη κατά μήκος της κοίτης του μέγιστου μισγάγγειου



Σχήμα 2.5: Κατανομή της έκτασης της λεκάνης απορροής κατά μορφή κάλυψης γης

2.2 Γεωλογικά στοιχεία

2.2.1.Εισαγωγή

Η περιοχή μελέτης εντάσσεται γεωτεκτονικά στην Πελαγονική ζώνη, η οποία θεωρείται ότι είναι ένα υπόλειμμα ηπειρωτικού τεμάχους της Κιμμερικής ηπείρου (Brunn, 1956 – Aubouin, 1959). Εκατέρωθεν αυτής αναπτύχθηκαν δύο ωκεάνιες περιοχές, η Παλαιοτυθύς (ζώνη Αξιού) και η Νεοτυθύς (Υποπελαγονική – Πίνδος). Η ζώνη χωριζόταν σε τρία τμήματα με δύο διαύλους (Κοζάνης και Κεντρικής Εύβοιας). Στη διάρκεια του Μεσοζωικού η ιζηματογένεση στην Πελαγονική ήταν ανθρακική, καθαρά νηριτική με εξαίρεση τους παραπάνω διαύλους, όπου εμφανίζονται πελαγικά ιζήματα μαζί με οφειολιθικές μάζες.

Η ζώνη έχει διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ και εκτείνεται από τη Γιουγκοσλαβία προς τους ορεινούς όγκους της βόρειας και κεντρικής Ελλάδος, του Βέρνου, του Βόρρα (Καϊμακτσαλάν), των Πιερίων, του Ολύμπου μέχρι την Εύβοια και από εκεί κάμπτεται ανατολικά προς τις Σποράδες (Μουντράκης, 1985). Χαρακτηρίζεται από την παρουσία κρυσταλλικών πετρωμάτων και από μια σειρά ανθρακικών νηριτικών ιζημάτων. Συνοπτικά στα πετρώματα της περιοχής περιλαμβάνονται παλαιοζωικά μεταμορφωμένα και πλουτωνικά, αλπικά ανθρακικά ιζήματα και μεταλπικά μολασσικά ιζήματα της Μεσοελληνικής Αύλακας, Πλειστοκαινικά και τέλος χαλαροί Τεταρτογενείς σχηματισμοί.

2.2.2. Στρωματογραφία

2.2.2.1. Μεταμορφωμένο υπόβαθρο

Στη λεκάνη απορροής απαντούν τμήματα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου της Πελαγονικής Ζώνης τα οποία καταλαμβάνουν κυρίως τις πλάγιες του ρέματος και τα οποία αντιπροσωπεύονται από διάφορους τύπους σχιστολίθων και γνευσίων (χλωριτικοί, επιδοτιτικοί ,μαρμαρυγιακοί κτλ.)

Το προαλπικό υπόβαθρο αποτελεί ένα μεταμορφωμένο σύστημα το οποίο διακρίνεται σε δύο ορίζοντες :

Ανώτερος ορίζοντας : περιλαμβάνει μετακροκαλοπαγή, μεταψαμμίτες, 1) μετααρκόζες και φυλλίτες που εναλλάσσονται με μεταρυολίθους και μεταβασίτες έτσι ώστε σειρά να χαρακτηρίζεται ως η μία ~ ηφαιστιοϊζηματογενή σειρά » (Μουντράκης, Κίλιας, 1988). Μεταβαίνουν βαθμιαία προς τα πάνω σε σχιστολίθους (χλωριτικούς, σερικιτικούς, αμφιβολιτικούς-επιδοτιτικούς, αμφιβολιτικούς. μοσχοβιτικούς και σε μικρότερη αναλογία βιοτιτικούς). Επίσης σε μικρότερη κλίμακα περιλαμβάνει σιπολίνες, μάρμαρα, σερπεντινίτες και κατά θέσεις γαλαζίτες, ποικίλου μεγέθους, με μικρή συμμετοχή γλωριτοειδούς και με παρουσία μαρμαρυγιών (μοσχοβίτη, βιοτίτη). Τα σχιστολιθικά μέλη διαθέτουν συνδυασμούς νηματοβλαστικού - λεπιδοβλαστικού νρανοβλαστικού ιστού και προσανατολισμένη και μερικές φορές μικροπτυχωμένη υφή. Στην ευρύτερη περιοχή υπέρκειται του κατώτερου ορίζοντα άλλοτε σε ασυμφωνία και άλλοτε σε συμφωνία (Πλαστήρας και συνεργάτες, 1978).

2) Κατώτερος ορίζοντας : Αποτελείται κυρίως από γνευσίους (όρθο και παραγνεύσιοι) με παρεμβολές σχιστολίθων σε μορφή φακών ή στρωμάτων και από αμφιβολίτες σε μικρότερο ποσοστό. Τα γνευσιακά ορθοπετρώματα χαρακτηρίζονται από γρανοβλαστικό-πορφυροειδή εώς οφθαλμώδη ιστό, είναι σχιστοποιημένα κυρίως κοντά σε τεκτονικές ζώνες και συνίστανται από χαλαζία, αστρίους, μοσχοβίτη σαν κύρια ορύκτα. Οι παραγνεύσιοι είναι ανισόκοκκα πετρώματα με αρκετό χαλαζία συχνά σε φακοειδείς συγκεντρώσεις, όξινα πλαγιόκλαστα και μοσχοβίτη. Η μερική ή ολική μετατροπή του βιοτίτη σε χλωρίτη έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ανάδρομη μεταμόρφωση.

Συνήθως είναι ανοιχτόχρωμοι υπόλευκοι ή ακόμη και φαιόχρωμοι. Η περιεκτικότητά σε φεμικά συστατικά ποικίλει και αντιπροσωπεύεται κυρίως από τα ορυκτά βιοτίτη, μοσχοβίτη, κεροστίλβη, γραφίτη, επίδοτο και σερικίτη.

Αποτέλεσμα της μεγάλης ποικιλίας των ορυκτολογικών συστατικών και του ποσοστού συμμετοχής των γνευσίων είναι η δημιουργία πολλών ποικιλιών σχιστολίθων και γνευσίων που παρατηρούνται στην περιοχή (Πλαστήρας και συνεργάτες, 1978).

Επιφανειακά τόσο οι γνεύσιοι όσο και οι σχιστόλιθοι παρουσιάζουν αποσάθρωση κυρίως αργιλική, η ένταση της οποίας εξαρτάται από την θέση και την μορφή της μορφολογίας. Στα πρανή το αποσαθρωμένο υλικό απομακρύνεται οπότε δεν παρατηρείται σημαντικό πάχος μανδύα αποσάθρωσης ενώ αντίθετα σε περιοχές χωρίς κλίσεις είναι σημαντικού πάχους και τοπικά ξεπερνά και τα 6 μέτρα.

2.2.2.2. Τεταρτογενείς αποθέσεις

Στις Τεταρτογενείς αποθέσεις περιλαμβάνονται :

Οι παλαιότερες αναβαθμίδες που συναντώνται σε μικρή έκταση στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης. Πρόκειται για ποταμοχειμάρρειες αποθέσεις που συνίστανται από στρώσεις αδρομερών υλικών (κροκαλών, αμμοχάλικων) που παρεμβάλλονται μεταξύ λεπτομερέστερων υλικών (άμμων, αμμοϊλύων).

Τα κορήματα κλιτύων απαντούν στη βάση απότομων κλιτύων ενώ τα αλλουβιακά ριπίδια στις εξόδους των χειμάρρων. Το πάχος των τελευταίων αυτών αποθέσεων ποικίλει. Γενικά, αυτό είναι μικρό στις πλευρές, ενώ προς το εσωτερικό των ριπιδίων και προς τα κατάντι γίνεται μεγαλύτερο (Βαφειάδης, 1983).

2.2.3 Τεκτονική

Στην περιοχή της Πελαγονικής έλαβαν χώρα τέσσερις ορογενετικές περίοδοι:

1^η Παραμορφωτική φάση (ERC) Ερκύνιας ηλικίας. Τα πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου της Πελαγονικής υπέστησαν μια πρώτη παραμόρφωση πριν το Άνω Λιθανθρακοφόρο. Η φάση αυτή ήταν συμμεταμορφική με την πρώτη μεταμόρφωση του κρυσταλλοσχιστώδους και σχημάτισε πτυχές τέλειες ισοκλινείς, αξονικής διεύθυνσης 155° – 160°. Η παραμόρφωση αυτή σχημάτισε επίσης την κύρια φύλλωση στα πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους με τη μορφή σχιστότητας S₁ παράλληλη στα αξονικά επίπεδα των ισοκλινών πτυχών (Μουντράκης 1985,1988).

 2^{η} Ορογενετική περίοδος Ανωτέρου Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού. Στην περίοδο αυτή έγινε η καταστροφή των δύο ωκεάνιων περιοχών Αξιού και Υποπελαγονικής – Πίνδου εκατέρωθεν της Πελαγονικής ηπειρωτικής μάζας. Στο Ανώτερο Ιουρασικό υπολογίζεται ότι έγινε η επώθηση των οφειολίθων από τη ζώνη Αξιού πάνω στο ανατολικό ανθρακικό κάλυμμα της Πελαγονικής με κατεύθυνση από ΒΑ προς ΝΔ και συνοδεύονταν από μια φάση πτυχώσεων (JE₁). Αυτή σχημάτισε πτυχές υποϊσοκλινείς έως ισοκλινείς αξονικής διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ (150° – 170°) και συνοδεύονταν από σχιστότητα S₂, που ήταν η δεύτερη σχιστότητα για τα πετρώματα του υποβάθρου αλλά η πρώτη και κύρια σχιστότητα για τα πετρώματα του Μεσοζωικού. Στην ίδια φάση έγινε και η επώθηση του ανατολικού ανθρακικού καλύμματος πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο.

Το κλείσιμο της δυτικής ωκεάνιας λεκάνης και η επώθηση των οφειολίθων της Υποπελαγονικής από Δ προς Α πάνω στο δυτικό ανθρακικό περιθώριο της Πελαγονικής υπολογίζεται ότι έγινε στο Κάτω Κρητιδικό, και συνοδεύονταν από μια φάση πτυχώσεων (JE₂). Αυτή προκάλεσε πτυχές κλειστές – ανοιχτές, ισοπαχείς ή όμοιες, που πολλές φορές συνοδεύονται από σχιστότητα ολίσθησης και οι οποίες έχουν άξονες διεύθυνσης 0° – 30° και απόκλιση προς τα Α ή ΝΑ. Με τις τεκτονικές αυτές φάσεις του Ιουρασικού και Κρητιδικού, λόγω της ακαμψίας της Πελαγονικής μάζας, δημιουργήθηκαν ολισθήσεις του μεσοζωικού καλύμματος πάνω στο υπόβαθρο καθώς και μια έντονη τεκτονική θραύσης (Μουντράκης, 1976).

 3^{η} Ορογενετική περίοδος Τελικού Κρητιδικού – Μέσου Ηωκαίνου. Τριτογενείς φάσεις πτυχώσεων. Η οριστική ανάδυση της Πελαγονικής ζώνης έγινε μετά το τέλος Κρητιδικού και πριν το μέσο Ηώκαινο. Στο διάστημα αυτό έλαβαν χώρα δύο φάσεις πτυχώσεων: μια (CT₁) με πτυχές ανοιχτές, ισοπαχείς, γενικής αξονικής διεύθυνσης BΔ – NA και απόκλισης προς τα NΔ και μια άλλη (CT₂) με πτυχές κλειστές – ανοιχτές αξονικής διεύθυνσης BA – NΔ (70° – 80°) και απόκλισης προς τα NA. Τέλος στην περίοδο Ολιγοκαίνου – Μειοκαίνου έγινε η τελική Παραμόρφωση (CT₃) των σχηματισμών προκαλώντας πτυχές κάμψης πολύ ανοιχτές και τύπου knick γενικής αξονικής διεύθυνσης B – N ή BBΔ – NNA (Μουντράκης 1985,1988).

4^η Ορογενετική περίοδος Νεογενούς – Τεταρτογενούς. Κατά την περιόδου του Ανωτέρου Μειοκαίνου – Κατωτέρου Πλειοκαίνου η περιοχή βρισκόταν

κάτω από την επίδραση συμπιεστικών δυνάμεων. Κατά τη διάρκεια του Πλειοκαίνου αναπτύχθηκε εκτεταμένο εφελκυστικό πεδίο, οι τάσεις του οποίου είχαν BA – ΝΔ διεύθυνση, με αποτέλεσμα να επαναδραστηριοποιηθούν πολλά παλαιότερα ρήγματα και να δημιουργηθούν μικρά και μεγάλα τεκτονικά βυθίσματα. Στο Κατώτερο Τεταρτογενές διακόπηκε ο εφελκυσμός από συμπιεστικές τάσεις. Τέλος από το Μέσο Πλειστόκαινο μέχρι σήμερα ο ευρύτερος χώρος βρίσκεται σε μια εκτεταμένη φάση με κύρια διεύθυνση εφελκυσμού B- N (Παυλίδης, Μουντράκης, 1994).



Φωτ.2.1:Πτυχή των μοσχοβιτικών σχιστολίθων πλησίον του φράγματος συγκράτησης των φερτών υλικών.

2.3 Υδρογεωλογικά στοιχεία

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες της λεκάνης κατάκλυσης του φράγματος συνδέονται προφανώς με την γεωλογική δομή και σύστασή της. Ουσιαστικά διερευνάται και αξιολογείται η υδρολιθολογία των γεωλογικών σχηματισμών που απαρτίζουν την περιοχή καθώς επίσης η στρωματογραφική και τεκτονική τους θέση. Έτσι λοιπόν έχουμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις (χαλαρές προσχώσεις κοιλάδων, ποταμοχειμάρρειες αποθέσεις και ριπίδια, κορήματα των κλιτύων, αποσαθρώματα των διαφόρων πετρωμάτων) παρουσιάζονται κατά μήκος του χειμάρρου "Γιάζια". Γενικά αποτελούν υδροπερατούς σχηματισμούς αλλά το μικρό πάχος τους και η περιορισμένη εξάπλωσή τους στην περιοχή τα καθιστά μη αξιόλογου υδρογεωλογικού ενδιαφέροντος. Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα ,όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αντιπροσωπεύονται από διαφόρους τύπους σχιστολίθων και γνευσίων (αμφιβολιτικοί ,επιδοτιτικοί ,μαρμαρυγιακοί κτλ.) και αποτελούν το μεταμορφωμένο υπόβαθρο της Πελαγονικής. Οι σχιστόλιθοι είναι ο επικρατέστερος σχηματισμός στα περιφερειακά τμήματα της λεκάνης απορροής καταλαμβάνοντας σχεδόν τα άνω τμήματα των κλιτύων της λεκάνης ενώ οι γνεύσιοι καταλαμβάνουν το κεντρικό τμήμα της λεκάνης απορροής. Το ποσό των επικοινωνούντων διακένων που διατίθενται για την ροή του νερού (πρωτογενές, ενεργό πορώδες) στην περίπτωση ενός συμπαγούς, υγιούς χωρίς διάβρωση ή αποσάθρωση τέτοιου μεταμορφωμένου πετρώματος είναι μικρότερο του 3% (Davis and Wiest, 1967).

Ωστόσο κατά μήκος προνομιακών ζωνών που μπορεί να αναπτύσσονται σε τέτοια πετρώματα και που αυτές ταυτίζονται με διαρρήξεων ,επιφάνειες ασυνεχειών δηλαδή ζώνες στρώσεων, σχιστότητας, διακλάσεων, ρηγμάτων, ζωνών μυλωνιτίωσης και αποσάθρωσης, αναπτύσσονται υδραυλικές αγωγιμότητες και δευτερογενή ενεργά πορώδη που επιτρέπουν τη διακίνηση και αποθήκευση αξιόλογων ποσοτήτων υπόγειου νερού. Στις περιπτώσεις αυτές η υδροφορία εξαρτάται από το εύρος των δομών αυτών, το πλήθος και τη συγνότητά τους καθώς επίσης και από το υλικό πλήρωσής τους. Συγκεκριμένα, επιφανειακά τόσο οι γνεύσιοι όσο και οι σχιστόλιθοι παρουσιάζουν αποσάθρωση κυρίως αργιλλική, η ένταση της οποίας εξαρτάται από την θέση και την μορφή της μορφολογίας.

3. Η λεκάνη κατάκλυσης του φράγματος

3.1 Γεωμορφολογικά στοιχεία

Από την μορφολογία της περιοχής εξαρτώνται : η χωρητικότητα της τεχνητής λίμνης του φράγματος, η μορφή του σώματος του φράγματος και οι θέσεις στις οποίες θα τοποθετηθούν τα έργα εξόδου. Αποτελεί επίσης εκείνη την παράμετρο η οποία –μαζί με τις γεωλογικές παραμέτρους της περιοχής-καθορίζει τη θέση του άξονα του φράγματος.

Από την ψηφιοποίηση του τοπογραφικού χάρτη κλίμακας 1: 1000 και ισοδιάστασης 1 m που μας χορηγήθηκε από τον επιβλέποντα πολ. Μηχανικό κ. Εμμανουήλ της αναδόχου εταιρίας ΔΟΜΟΚΑΤ, κατασκευάστηκε η καμπύλη υψομέτρου στέψης (άρα ύψους φράγματος) \mathbf{h} – χωρητικότητας V και αντίστοιχης έκτασης κατακλυζόμενης επιφάνειας **E** του σχήματος 3.1.

Απόλυτο Υψόμετρο	Ύψος φράγματος	Εμβαδόν επιφάνειας (m²)	Όγκος ζώνης ταμιευτήρα (m ³)	Συνολική χωρητικότητα (m ³)
793,5	0	0	0,0	0
795	1,5	357	267,8	268
796	2,5	803	580,0	848
797	3,5	2074	1438,5	2.286
798	4,5	4409	3241,5	5.528
799	5,5	6022	5215,5	10.743
800	6,5	7625	6823,5	17.567
801	7,5	9363	8494,0	26.061
802	8,5	11909	10636,0	36.697
803	9,5	13962	12935,5	49.632
804	10,5	16355	15158,5	64.791
805	11,5	18973	17664,0	82.455
806	12,5	21827	20400,0	102.855
807	13,5	25107	23467,0	126.322
808	14,5	28433	26770,0	153.092
809	15,5	31856	30144,5	183.236
810	16,5	35536	33696,0	216.932
811	17,5	39870	37703,0	254.635
812	18,5	44738	42304,0	296.939
813	19,5	49852	47295,0	344.234
814	20,5	54460	52156,0	396.390
815	21,5	59231	56845,5	453.236
816	22,5	63832	61531,5	514.767
817	23,5	68564	66198,0	580.965
818	24,5	73154	70859,0	651.824
819	25,5	77906	75530,0	727354,3
820	26,5	83185	80545,5	807899,8
821	27,5	89148	86166,5	894066,3
822	28,5	95020	92084,0	986150,3
823	29,5	101019	98019,5	1084169,8

Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα των εμβαδομετρήσεων και ογκομετρήσεων του ταμιευτήρα

Η καμπύλη αυτή κατασκευάστηκε μετά τον προσδιορισμό από το τοπογραφικό χάρτη της περιοχής – με εμβαδομέτρηση – των εμβαδών που περιλαμβάνονται μεταξύ δύο διαδοχικών υψομετρικών καμπυλών και στη συνέχεια των επιμέρους όγκων οι οποίοι περιλαμβάνονται μεταξύ των οριζόντιων επιπέδων των δύο αυτών διαδοχικών ισοϋψών. Οι όγκοι αυτοί είναι ίσοι με το γινόμενο της υψομετρικής διαφοράς των δυο ισοϋψών και του ημιαθροίσματος των εμβαδών των επιφανειών που περικλείονται από τις γραμμές αλληλοτομής των οριζόντιων επιπέδων που διέρχονται από τις ισοϋψείς και του σώματος φράγματος. Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εμβαδομετρήσεων και ογκομετρήσεων του ταμιευτήρα.

Το ύψος του φράγματος ,σύμφωνα με την οριστική μελέτη (Παυλίδης, 2002), επιλέχθηκε ίσο με 27 m και αφορά το υπέργειο ύψος από το βαθύτερο σημείο έναρξης κατασκευής του έργου, έως την στέψη στον άξονα του φράγματος (απόλυτο υψόμετρο στέψης φράγματος 820,5 m). Ο απαιτούμενος όγκος νερού του ταμιευτήρα υπολογίστηκε με σκοπό να εξυπηρετήσει ένα ποσοστό της ζήτησης αρδευτικού ύδατος κατά την ξηρή περίοδο του έτους. Προσθέτουμε ότι η στάθμη του ύδατος υπολογίστηκε στο απόλυτο υψόμετρο των 817 m.



Σχήμα 3.1 : Καμπύλη υψομέτρου στέψης **h** – χωρητικότητας V και αντίστοιχης έκτασης κατακλυζόμενης επιφάνειας **E**

Για τον ελληνικό χώρο, έχει δημοσιευτεί (Σούλιος, 1994) ότι η βέλτιστη ολική χωρητικότητα ενός φράγματος πρέπει να είναι ίση με 1,1-1,2 $\overline{V_{Q}}$ (όπου $\overline{V_{Q}}$ ο μέσος ετήσιος όγκος ολικής απορροής), οπότε η ωφέλιμη χωρητικότητα θα είναι 0,8-0,9 $\overline{V_{Q}}$ (χωρίς από τις ποσότητες αυτές να έχουν αφαιρεθεί οι διάφορες απώλειες). Η πρόταση αυτή όπως και το διάγραμμα του σχήματος 3.2 παίρνει υπόψη της ότι κατά την αρδευτική περίοδο (Μάιος-Σεπτέμβριος) θα εισέρχεται στον ταμιευτήρα ποσότητα νερού κατά μέσο όρο ίση με 0,07-0,14 $\overline{V_{Q}}$.





Όπως αναφέρεται στο 6° κεφάλαιο, ο μέσος ετήσιος όγκος ολικής απορροής υπολογίστηκε ίσος με 7,5.10⁶ m³. Έτσι προκύπτει ότι η βέλτιστη ολική χωρητικότητα του φράγματος Γέρμα είναι ίση με 8,25.10⁶ m³. Η ωφέλιμη χωρητικότητα είναι ίση 6.10^6 m³.

Λαμβάνοντας υπόψη την ωφέλιμη χωρητικότητα του φράγματος και το ότι η συνολική απαιτούμενη ποσότητα νερού κατά την αρδευτική περίοδο είναι 1,7.10⁶ m³ (Παυλίδης,2002), προτιμότερο θα ήτανε μεγαλύτερο ύψος φράγματος.

Για τον Ελληνικό χώρο έχουν κατασκευαστεί καμπύλες ύψους φράγματος-χωρητικότητας ταμιευτήρα που αναφέρονται στο κατά πόσο η καμπύλη ανταποκρίνεται στις γεωμορφολογικές συνθήκες.



Σχήμα 3.3 :Καμπύλες ύψους φράγματος – χωρητικότητας για θέσεις φραγμάτων στον Ελληνικό χώρο (Σούλιος, 1991)

- Το τμήμα που βρίσκεται κάτω από την καμπύλη (A) που αντιστοιχεί σε άριστες, σε ιδανικές συνθήκες.
- Το τμήμα που βρίσκεται μεταξύ των καμπύλων (A) και (Γ) που αντιστοιχεί σε συνθήκες από πολύ καλές έως μέτριες συνθήκες.
- Το τμήμα που βρίσκεται μεταξύ των καμπυλών (Γ) και (Δ) που αντιστοιχεί σε μέτριες έως οριακά αποδεκτές συνθήκες.
- Το τμήμα που βρίσκεται πάνω από την καμπύλη (Δ) που αντιστοιχεί σε μη πρόσφορες συνθήκες.

Η καμπύλη του φράγματος 'Γιαζιά', που παρουσιάζεται στο σχήμα 3.3, βρίσκεται στο τμήμα που αντιστοιχεί σε μέτριες ως οριακά αποδεκτές συνθήκες.

3.2 Γεωλογικά στοιχεία

Σε ένθετο φύλλο δίνεται ο γεωλογικός χάρτης της λεκάνης κατάκλυσης, (Χάρτης ΙΙ). Στον χάρτη αυτόν σημειώνονται οι θέσεις των ερευνητικών γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν μέσα στην λεκάνη κατάκλυσης και στον άξονα του φράγματος. Τα στοιχεία των γεωτρήσεων δίνονται σε επόμενες σελίδες. Στον γεωλογικό χάρτη δίνονται δύο χαρακτηριστικές γεωλογικές τομές ΑΑ και ´ καθώς επίσης απεικονίζεται το φράγμα Τέρμα' σε κάτοψη. Από το χάρτη, τις γεωτρήσεις και τις τομές λοιπόν προκύπτει η εξής γεωλογική δομή και σύσταση της λεκάνης κατάκλυσης (αναφέροντας τους σχηματισμούς από τους ανώτερους προς τους κατώτερους):

- Φερτά υλικά κοίτης. Πρόκειται για πρόσφατες αποθέσεις στην κοίτη του ρέματος. Αποτελούνται από άμμους, χαλίκια, κροκάλες και λίγες αργίλους χωρίς συνδετικό υλικό. Πρόκειται για πολύ περατό σχηματισμό, με μικρό όμως πάχος (λίγα μέτρα).
- Ποταμοχειμάρρειες αλλουβιακές αποθέσεις. Οι αποθέσεις αυτές (κορήματα-ριπίδια) αποτελούνται κυρίως από αργιλικό υλικό αλλά και κατά θέσεις από αμμώδες υλικό. Μέσα στη μάζα της αργίλου παρατηρούνται χάλικες και κροκάλες χαλαζία, σχιστολίθων και γνευσίων του υποβάθρου καθώς και υπολείμματα τεμαχίων του υποβάθρου. Η κατανομή αυτή διαφοροποιείται λίγο κατά θέσεις κυρίως όσον αφορά την ποιοτική σύσταση. Επίσης διαφοροποιήσεις υπάρχουν όσον αφορά το πάχος των στρωμάτων. Το πάχος των αποθέσεων αυτών κυμαίνεται από 2 έως 6 m στη δυτική πλευρά της λεκάνης κατάκλυσης, η οποία παρουσιάζει μικρή κλίση. Στην ανατολική πλευρά της λεκάνης το πάχος της ζώνης αυτής κυμαίνεται από 1 έως 2 m και περιορίζεται κυρίως χαμηλά κοντά στη κοίτη του ρέματος.



Φώτο 3.1: Ποταμοχειμάρρειες αποθέσεις

Σχιστόλιθοι. Πρόκειται για πετρώματα της μετα-κλαστικής ενότητας. του Δυτικού Πελαγονικού περιθωρίου. Στη στενή περιογή της ζώνης στρώματα μοσχοβιτικού κατάκλυσης κυριαρχούν σγιστολίθου γκριζόλευκου χρώματος με έντονη σχιστότητα. Πρόκειται για γράνο-λεπιδοβλαστικό μικρόκοκκα πετρώματα με ιστό και ορυκτολογική σύσταση από χαλαζία, λευκό μαρμαρυγία, χλωρίτη, βιοτίτη, τιτανίτη, επίδοτο αστρίους και αιματίτη (Σπυρόπουλος, 1992). Οι μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι εμφανίζονται εξαλλοιωμένοι σε χλωριτικούς σχιστολίθους ενώ η πιο συχνή εξαλλοίωση των σχιστολίθων είναι η αργιλλική κυρίως στα επιφανειακά στρώματα. Η παρατηρούμενη διεύθυνση κλίσης κυμαίνεται μεταξύ 210^{0} και 250^{0} με μικρή γωνία κλίσης 15⁰-20⁰ προς τα Δυτικά.



Φώτο 3.2: Γκριζόλευκοι μοσχοβιτικοί σχιστόλιθοι της λεκάνης κατάκλυσης

Χαλαζίτες. Συχνές παρεμβολές χαλαζιτών παρατηρούνται εντός της κοίτης αλλά και στο δυτικό πρανές του ρέματος με χαρακτηριστικά την ανθεκτικότητα και τις πολλές διαρρήξεις τους που επηρεάζουν άμεσα το βαθμό υδατοπερατότητας. Οι χαλαζίτες εμφανίζονται συνήθως σε ορίζοντες μικρού πάχους της τάξης μέτρων. Η υφή των χαλαζιτών χαρακτηρίζεται ως επίπεδη από την παρουσία προσανατολισμένου λευκού μαρμαρυγία και ο ιστός τους ως γρανοβλαστικός. Η ορυκτολογική τους σύσταση είναι : χαλαζίας, λευκός μαρμαρυγίας, βιοτίτης, τιτανίτης, γραφίτης, επίδοτο, άστριοι, γρανάτης (Σπυρόπουλος, 1992).



Φώτο 3.3: Επαφή χαλαζίτη – εξαλλοιωμένου σχιστόλιθου

Γνεύσιοι. Πρόκειται για λεπτόκοκκα έως μεσόκοκκα πετρώματα λευκού έως γκριζόλευκου χρώματος. Χαρακτηρίζονται από γρανολεπιδοβλαστικό ιστό. Ο χαλαζίας συμμετέχει σε πολύ μεγάλο ποσοστό, με ξενοβλαστικούς επιμηκυνσμένους κρυστάλλους μέσου μεγέθους που συχνά διατάσσονται παράλληλα στη σχιστότητα (Σπυρόπουλος, 1992). Στη στενή περιοχή της ζώνης κατάκλυσης, από την υπαίθρια χαρτογράφηση που πραγματοποιήθηκε, δε βρέθηκαν εμφανίσεις γνευσίων στην επιφάνεια. Από τα δεδομένα των γεωτρήσεων, που παρατίθενται στο παράρτημα, προκύπτει ότι το στρώμα των γνευσίων συναντάται σε μεγαλύτερο βάθος στη ζώνη του φράγματος.

3.3 Υδρογεωλογικά στοιχεία – Τεχνικογεωλογικά στοιχεία : Η στεγανότητα και η σταθερότητα της λεκάνης κατάκλυσης

3.3.1 Υδρογεωλογικά στοιχεία - Στεγανότητα της λεκάνης κατάκλυσης

Η γεωλογική δομή και η περατότητα της λεκάνης κατάκλυσης μπορεί να διαπιστωθεί από τη σύγχρονη αξιολόγηση των γεωλογικών τομών και κυρίως των δεδομένων των γεωτρήσεων.

Έτσι από τις τεχνικογεωλογικές τομές (που δίνονται στο Παράρτημα) των τεσσάρων γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στην λεκάνη κατάκλυσης παρατηρήθηκαν τα εξής :

Το στρώμα των ποτάμιων αποθέσεων κοίτης που αποτελείται από άμμους, χάλικες και κροκάλες και συναντάται στην γεώτρηση Γ1 έχει περατότητα k της τάξης του 10⁻³ έως 10⁻⁴ cm/sec και κατατάσσει το στρώμα αυτό στην κατηγορία των στρωμάτων υψηλής υδροπερατότητας. Στη γεώτρηση Γ3, που βρίσκεται στο Δυτικό πρανές του φράγματος συναντάται σε μεγάλο πάχος το αργιλλοχαλικώδες στρώμα των αποθέσεων και αποσαθρωμάτων. Το στρώμα αυτό, όπως προκύπτει από τις δοκιμές υδροπερατότητας που πραγματοποιήθηκαν χαρακτηρίζεται ως στρώμα χαμηλής υδροπερατότητας ή (αλλιώς εκφραζόμενο) ως στρώμα υψηλής υδροστεγανότητας. Πράγματι οι τιμές του k κυμαίνονται μεταξύ του 10^{-5} έως 10^{-6} cm/sec.

Από τα δεδομένα των δύο τελευταίων γεωτρήσεων Γ2 και Γ4, που βρίσκονται στο ανατολικό πρανές και στην κοίτη του ρέματος ανάντι προφράγματος αντίστοιχα, προκύπτει πως στα μεταμορφωμένα πετρώματα του υποβάθρου παρατηρούνται μεγαλύτερες τιμές υδροπερατότητας .Τα πετρώματα αυτά είναι λιγότερο εξαλλοιωμένα και οι τιμές k που εμφανίζουν είναι ως επί το πλείστον 10^{-4} cm/sec. Ειδικά στις περιπτώσεις των ενστρώσεων των χαλαζιτών οι ασυνέχειες παραμένουν ανοιχτές με αποτέλεσμα να παρατηρείται μεγαλύτερη διαπερατότητα k = 10^{-3} - 10^{-4} cm/sec.

Τελικά, η γεωλογική σύσταση, όπως προκύπτει από τις παρατηρήσεις υπαίθρου, από τις τομές του χάρτη και από τα δεδομένα των γεωτρήσεων, δημιουργεί κάποιες ανησυχίες για υπόγειες διαφυγές μη αμελητέων ποσοτήτων νερού. Το πρανές της δυτικής όχθης παρουσιάζει μικρότερο κίνδυνο διαφυγών μιας και αποτελείται ως επί το πλείστον από αργιλικής σύστασης στρώματα (αλλουβιακές αποθέσεις, προϊόντα αποσάθρωσης και εξαλλοίωσης του μεταμορφωμένου υποβάθρου).

Αντίθετα στα πρανή της ανατολικής όχθης ο σχιστόλιθος εμφανίζεται λιγότερο εξαλλοιωμένος, παρουσιάζοντας αυξημένη περατότητα. Η διεύθυνση και η κλίση των στρωμάτων του σχιστολίθου είναι προς την κοίτη του ρέματος και αυτό είναι θετικό όσον αφορά το θέμα των διαφυγών του νερού εκτός λεκάνης.

3.3.2 Τεχνικογεωλογικά στοιχεία - Σταθερότητα των πρανών της λεκάνης κατάκλυσης

Από τις παρατηρήσεις υπαίθρου και την μελέτη των γεωλογικών χαρτών της λεκάνης κατάκλυσης δεν παρατηρήθηκαν στοιχεία και δεν διαπιστώθηκαν συνθήκες που να δημιουργούν υπόνοιες για ύπαρξη ζωνών με προβλήματα ευστάθειας δηλ. προβλήματα κατολισθήσεων στα πρανή της λεκάνης.

Τα πρανή της ανατολικής πλευράς της λεκάνης κατάκλυσης παρουσιάζουν μέτριες κλίσεις. Οι κλίσεις αυτές σε συνδυασμό με το μικρό πάχος της αποσαθρωμένης ζώνης των πετρωμάτων του υποβάθρου και με την έλλειψη έντονων κατακερματισμένων ζωνών δεν προβληματίζουν έναντι κατολισθήσεων κατά την διάρκεια πληρώσεως και λειτουργίας της λεκάνης κατάκλυσης. Συγκεκριμένα οι κλίσεις των πρανών της ανατολικής πλευράς της λεκάνης κατάκλυσης κυμαίνονται μεταξύ 11° και 28°.

Με βάση τα βιβλιογραφικά στοιχεία για την σταθερότητα των βραχωδών πρανών της λεκάνης μπορούμε να αναφέρουμε τις κλίσεις και τις μορφές των πρανών που δίνει ο Brandecker (1971), σχήμα 3.4. Πράγματι ο Brandecker διαιρεί τα διάφορα πετρώματα σε 5 κατηγορίες και αναφέρει τιμές κλίσεων των πρανών για κάθε κατηγορία.



Σχήμα 3.4 Διαμόρφωση βραχωδών πρανών (κατά Brandecker, 1971)

Τα πετρώματα του υποβάθρου της ανατολικής πλευράς του φράγματος ανήκουν στην Β κατηγορία μαζί με άλλα μεταμορφωμένα πετρώματα μικρής αποσάθρωσης και μικρής κατατμητικότητας. Παρατηρείται ότι έχουν πολύ μικρότερες κλίσεις από τις αναφερόμενες στο παραπάνω σχήμα.

Περισσότερο ικανοποιητική είναι η κατάσταση για τα για πρανή της δυτικής πλευράς της λεκάνης κατάκλυσης μιας και οι κλίσεις από την πλευρά αυτή παρουσιάζονται πιο ήπιες 9°-26°. Τα πετρώματα που την αποτελούν ανήκουν στην Ε κατηγορία και οι παρατηρούμενες κλίσεις είναι μικρότερες από τις αναφερόμενες στο σχήμα 3.4.

Τέλος, τόσο στο ανατολικό όσο και στο δυτικό αντέρεισμα σε διάφορα σημεία και αποστάσεις από το φράγμα είναι πιθανόν να παρουσιαστούν ερπυσμοί εδαφών χωρίς όμως καμία συνέπεια για το φράγμα.

4. Η ζώνη του φράγματος

4.1. Η θέση του άξονα του φράγματος

Η θέση του άξονα του φράγματος επιλέχθηκε στο συγκεκριμένο σημείο της λεκάνης γιατί σε αυτή τη θέση παρουσιάζεται η μικρότερη διατομή. Πράγματι παρατηρείται ότι τόσο ανάντι όσο και κατάντι του φράγματος παρουσιάζονται μεγαλύτερες διατομές, πρόκειται δηλαδή για ΄΄τοπικό΄ στένεμα της λεκάνης. Τέλος, επιλέχθηκε γιατί τοπογραφικά προσφέρεται καλύτερα για την κατασκευή του υπερχειλιστή.

Στο σχήμα 4.1 δίνεται η μορφολογική διατομή κατά μήκος του άξονα. Για λόγους ασφαλείας η στέψη του φράγματος βρίσκεται ψηλότερα από τη στάθμη της λίμνης. Προβλέπεται έτσι ένα ύψος ασφαλείας d, η τιμή του οποίου συναρτάται με το αναμενόμενο μέγιστο ύψος του κύματος της λίμνης. Εφαρμόζεται η σχέση του Samarion : $d = 1,5 \cdot (0,7+0,1 \cdot I) + K$ (4,1) Όπου I το μήκος της λίμνης σε km (0,6 km)

K = 0.5-3.0 m. Επιλέγουμε K = 1.0

Έτσι από τη σχέση (4.1) προκύπτει d =2,14. Θεωρώντας 0,5 m ένα ύψος ασφαλείας προκύπτει d =2,6. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το συνολικό κόστος κατασκευής ενός φράγματος είναι μια συνάρτηση της τρίτης δύναμης του ύψους του, θεωρούμε ότι η υψομετρική αυτή διαφορά (d =2,6) μεταξύ υψομέτρου στέψης και πυθμένα υπερχειλιστή είναι αρκετή για το φράγμα Γέρμα Καστοριάς.

Η οριστική μελέτη του φράγματος (Παυλίδη,2002) προβλέπει υψόμετρο πυθμένα υπερχειλιστή στα 817.0 m δηλ. με υψόμετρο στέψης φράγματος στα 820.5 m.



Σχήμα 4.1: Τοπογραφική τομή στη θέση του άζονα του φράγματος

Για το συγκεκριμένο υψόμετρο σχεδιασμού της στάθμης του ύδατος η χωρητικότητα του ταμιευτήρα είναι **580.965** m³. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι η χωρητικότητα του ταμιευτήρα θα αυξηθεί με το πέρας των εργασιών κατασκευής του φράγματος μιας και σχεδόν το σύνολο του αργιλικού υλικού, που θα χρειαστεί για την κατασκευή του, προέρχεται από τους δανειοθαλάμους της λεκάνης κατάκλυσης. Λαμβάνοντας υπ΄ όψη τα στοιχεία της οριστικής μελέτης ο όγκος του σώματος του φράγματος είναι ίσος με 240.000 m³. Έτσι προκύπτει πως ο συνολικός όγκος του ταμιευτήρα θα είναι περίπου **820.000** m³. Ο λόγος (ω) του όγκου του φράγματος V_{ϕ} προς τη συνολική χωρητικότητα του ταμιευτήρα V_{o} είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστικός για την καταλληλότητα της θέσης κατασκευής. Για τιμές του λόγου ω= V_{ϕ}/V_{o} μεταξύ 0,02-0,05, αντιστοιχούν θέσεις σχεδόν ιδανικές έως πολύ καλές, για ω=0,1~0,2 από καλές έως οριακά αποδεκτές και τέλος για ω= 0,20~0,25 συνθήκες μη πρόσφορες έως απαράδεκτες (Σούλιος, 1991). Ο δείκτης ω στη συγκεκριμένη θέση κατασκευής του φράγματος Γέρμα είναι 0,29 και θεωρείται κακός.

4.2. Γεωλογικά στοιχεία της ζώνης του φράγματος

Σε ένθετο φύλλο δίνεται ο τεχνικογεωλογικός χάρτης της ζώνης του φράγματος με ισοδιάσταση 1m. Στο χάρτη αυτό παρουσιάζεται η γεωλογική δομή της περιοχής, γίνεται τεχνική ταξινόμηση του βαθμού αποσάθρωσης των βραχωδών υλικών, παρουσιάζονται οι θέσεις των γεωτρήσεων, καθώς και τα κυριότερα συστήματα ασυνεχείων. Πρέπει να τονιστεί στο σημείο αυτό, ότι ο χάρτης αυτός συντάχθηκε την περίοδο Ιουνίου-Σεπτεμβρίου του 2005 όταν ήδη είχαν προχωρήσει οι εργασίες διάστρωσης του σώματος του φράγματος με αργιλικό υλικό με αποτέλεσμα, ο χάρτης του σχήματος 4.2, να στερείται στοιχείων στη θέση έδρασης του φράγματος. Επίσης στο σχήμα 4.3 δίνεται η γεωλογική τομή κατά μήκος του άξονα του φράγματος.



Σχήμα 4.3: Γεωλογική τομή κατά μήκος του άζονα του φράγματος.

Η περιοχή της ζώνης θεμελίωσης συνίσταται γεωλογικά από τους πιο κάτω σχηματισμούς :

- Φερτά υλικά κοίτης : Πρόκειται για πρόσφατες αποθέσεις στην κοίτη του ρέματος. Αποτελούνται από άμμους, χαλίκια, κροκάλες και λίγες αργίλους. Πρόκειται για πολύ περατό σχηματισμό με μικρό όμως πάχος.
- Ποταμοχειμάρρειες αλλουβιακές αποθέσεις : Οι αποθέσεις αυτές αποτελούνται κυρίως από αργιλικό υλικό αλλά και κατά θέσεις από αμμώδες υλικό. Μέσα στη μάζα της αργίλου παρατηρούνται χάλικες και κροκάλες χαλαζία, σχιστολίθων και γνευσίων του υποβάθρου. Κατά θέσεις παρουσιάζουν κάποια στρώση και υψηλή συνοχή. Επίσης παρατηρούνται και υπολείμματα τεμαχίων του υποβάθρου, κυρίως σχιστόλιθων που έχουν υποστεί αργιλική εξαλλοίωση.



Φώτο 4.1: Τεχνητή τομή στην έζοδο του υπερχειλιστή στην οποία διακρίνονται το στρώμα των αλλουβιακών αποθέσεων και το στρώμα του εζαλλοιωμένου σχιστολίθου.

✓ Σχιστόλιθοι : Στη ζώνη του φράγματος κυριαρχούν στρώματα μοσχοβιτικού σχιστολίθου γκριζόλευκου χρώματος με έντονη σχιστότητα. Πρόκειται για μικρόκοκκα πετρώματα με ιστό γρανολεπιδοβλαστικό. Σε όλη τη ζώνη του φράγματος εμφανίζονται κατακερματισμένοι. Οι σχιστόλιθοι του δυτικού αντερείσματος εμφανίζουν αργιλλική εξαλλοίωση σε αντίθεση με τους αντίστοιχους του ανατολικού. Η παρατηρούμενη διεύθυνση κλίσης κυμαίνεται μεταξύ 210⁰ και 240⁰ με μικρή γωνία κλίσης ≈ 20⁰ προς τα Δυτικά. Η διεύθυνση κλίσης και η γωνία κλίσης των σχιστολίθων, στις διάφορες θέσεις, δίνεται στον τεχνικογεωλογικό χάρτη του σχήματος 4.2.



Φώτο 4.2 : Σχιστόλιθοι με χαλαζίτες του ανατολικού αντερείσματος

- Χαλαζίτες : Συχνές παρεμβολές χαλαζιτών παρατηρούνται στην στενή περιοχή της ζώνης του φράγματος. Εμφανίζονται σε ορίζοντες μικρού πάχους της τάξης μέτρων. Η υφή των χαλαζιτών χαρακτηρίζεται ως επίπεδη από την παρουσία προσανατολισμένου λευκού μαρμαρυγία και ο ιστός τους ως γρανοβλαστικός. Οι πολλές ρωγμές τους επηρεάζουν άμεσα το βαθμό υδατοπερατότητας. Τα κύρια συστήματα ρηγματώσεών τους δίνονται στον τεχνικογεωλογικό χάρτη του σχήματος 4.2.
- Γνεύσιοι : Πρόκειται για λεπτόκοκκα έως μεσόκοκκα πετρώματα λευκού έως γκριζόλευκου χρώματος. Χαρακτηρίζονται από γρανολεπιδοβλαστικό ιστό. Ο χαλαζίας συμμετέχει σε πολύ μεγάλο ποσοστό. Το στρώμα των γνευσίων συναντάται σε μεγαλύτερο βάθος, και όχι επιφανειακά, στη ζώνη του φράγματος. Από τα δεδομένα των γεωτρήσεων προκύπτει ότι οι γνεύσιοι στην περιοχή έδρασης του φράγματος είναι κατακερματισμένοι ενώ εμφανίζουν αργιλλική εξαλλοίωση σε μεγάλο βάθος (15-18 m).

4.3 Τεχνικογεωλογικά στοιχεία της ζώνης του φράγματος

4.3.1 Εισαγωγή

Η τεχνικογεωλογική έρευνα που εκπονήθηκε και παρουσιάζεται στην περιοχή έδρασης του φράγματος, διακρίνεται στη διερεύνηση των συνθηκών θεμελίωσης του φράγματος και στη διερεύνηση τις ευστάθειας των αντερεισμάτων του.

4.3.2 Θεμελίωση του φράγματος

Αρχικά πρέπει να καθοριστούν οι μηχανικές παράμετροι του υποβάθρου, η φέρουσα ικανότητά του καθώς επίσης και η διαπερατότητά του. Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής θεμελίωσης του φράγματος στο μεγαλύτερο μέρος του συνίσταται, όπως είδαμε, από μεταμορφωμένα πετρώματα (σχιστόλιθους και γνευσίους του μεταμορφωμένου παλαιοζωικού υποβάθρου).

Για τον ακριβή και ασφαλή σχεδιασμό του φράγματος απαιτείται ο προσδιορισμός του μοντέλου παραμόρφωσης και των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του υποβάθρου θεμελίωσης. Για τον προσδιορισμό αυτών των χαρακτηριστικών πραγματοποιήθηκαν 4 γεωτρήσεις στις οποίες προσδιορίστηκε η αποληψιμότητα των γεωλογικών καρότων και το R.Q.D. Επίσης πραγματοποιήθηκαν δοκιμές εισπίεσης νερού, οι οποίες περιγράφονται αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο 4.4. Οι θέσεις των γεωτρήσεων παρουσιάζονται στον χάρτη του σχήματος 4.2, ενώ τα προφίλ των γεωτρήσεων με τα δεδομένα των δοκιμών δίνονται στο παράρτημα.

Όπως προκύπτει από τα προφίλ λοιπόν των γεωτρήσεων, στην περιοχή θεμελίωσης του φράγματος, το βραχώδες υπόβαθρο χαρακτηρίζεται από μηδενικές, ως επί το πλείστον, τιμές του R.Q.D. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την γενική εικόνα των γεωλογικών σχηματισμών, οι οποίοι παρουσιάζονται κατακερματισμένοι και εξαλλοιωμένοι, χαρακτηρίζει πτωχής ποιότητας βραχομάζα και προβληματίζει τους μελετητές σχετικά με την διαπερατότητα και την φέρουσα ικανότητα του υποβάθρου. Αναφορικά με την αποληψιμότητα των γεωλογικών καρότων των γεωτρήσεων, αυτή κυμαίνεται μεταξύ 70 % και 100 % για το στρώμα των σχιστολίθων και 90 % για το στρώμα των γνευσίων.

Όσον αφορά των βαθμό ρωγμάτωσης δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία από τα φύλλα των γεωτρήσεων.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί πως ειδικά για το δυτικό αντέρεισμα η παρουσία των αλλουβιακών αποθέσεων διαφοροποιεί τις συνθήκες θεμελίωσης του φράγματος. Παράγοντες όπως τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών καθώς και η συνεκτικότητα και η συμπιεστότητά τους, θα αποτελέσουν καθοριστικούς παράγοντες που θα διαμορφώσουν και θα επηρεάσουν τις συνθήκες θεμελίωσης του φράγματος.

4.3.3 Έλεγχος ευστάθειας των αντερεισμάτων

Ο έλεγχος ευστάθειας των αντερεισμάτων αρχικά πρέπει να προσδιοριστεί τόσο για τους εδαφικούς σχηματισμούς που συναντώνται (για τις όποιες κρίσιμες διατομές επιλεγούν) όσο και για τους βραχώδεις σχηματισμούς.

Στην παρούσα εργασία θα διερευνηθούν οι συνθήκες ευστάθειας του βραχώδους υποβάθρου.

Δυτικό αντέρεισμα : Αρχικά μπορεί να αναφερθεί πως παρουσιάζει διεύθυνση κλίσης προς ΝΑ περίπου 115^0 με μικρή γωνία κλίσης $< 26^0$. Στην περιοχή του δυτικού αντερείσματος επικρατούν 3 κύρια συστήματα

διαρρήξεων K₁: $270^{0}/75^{0}$, K₂: $240^{0}/25^{0}$, K₃: $120^{0}/65^{0}$. Με την χρήση του τεστ Markland (Markland ,1972) και τη βελτίωσή του όπως διατυπώθηκε από τον Hocking, διερευνώνται οι πιθανές μορφές αστοχίας που μπορούν να παρουσιαστούν (ολίσθηση βραχοσφήνας, ολίσθηση σε ένα επίπεδο, ανατροπή). Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.3) παρουσιάζεται η προβολή των κύριων συστημάτων διάρρηξης καθώς επίσης και η εφαρμογή του τεστ Markland.





Βάσει του παραπάνω σχήματος, το πρανές του Δυτικού αντερείσματος κρίνεται ασφαλές έναντι ολίσθησης ή ανατροπής καθώς μεταξύ του μέγιστου κύκλου που ορίζει την επιφάνεια του πρανούς και του κύκλου που ορίζεται από τη γωνία τριβής φ, δεν περικλείεται οποιαδήποτε περιοχή.

Ανατολικό αντέρεισμα: Το Ανατολικό αντέρεισμα παρουσιάζει διεύθυνση κλίσης προς τα ΒΔ περίπου 290^{0} και γωνία κλίσης μέχρι 28^{0} . Στην περιοχή του Ανατολικού αντερείσματος παρουσιάζονται τα εξής κύρια συστήματα διαρρήξεων : K₁: $220^{0}/25^{0}$, K₂: $30^{0}/40^{0}$, K₃: $270^{0}/70^{0}$.



Σχήμα 4.4: Τεστ Markland στη περιοχή του Ανατολικού αντερείσματος

Στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 4.4) παρουσιάζεται η προβολή των κύριων συστημάτων διάρρηξης καθώς επίσης και η εφαρμογή του τεστ Markland, βάσει του οποίου το πρανές του Ανατολικού αντερείσματος κρίνεται ασφαλές έναντι ολίσθησης ή ανατροπής καθώς μεταξύ του μέγιστου κύκλου που ορίζει την επιφάνεια του πρανούς και του κύκλου που ορίζεται από τη γωνία τριβής φ, δεν περικλείεται οποιαδήποτε περιοχή.

Στον τεχνικογεωλογικό χάρτη δίνεται για διάφορες θέσεις η προβολή του συνόλου των αντιστοίχων ασυνεχειών σε διάγραμμα Schmidt.

4.4 Υδρογεωλογικά στοιχεία της ζώνης του φράγματος

Για τον προσδιορισμό των συνθηκών στεγανότητας που παρουσιάζονται στη θέση θεμελίωσης του φράγματος στηριχθήκαμε : στα δεδομένα των δοκιμών εισπίεσης νερού Lugeon (WD-tests) καθώς επίσης και σε αυτά των δοκιμών Maag και Lefranc που πραγματοποιήθηκαν. Η θέσεις των γεωτρήσεων παρουσιάζονται στο χάρτη του σχήματος 4.3 ενώ τα προφίλ των γεωτρήσεων με τα δεδομένα των δοκιμών δίνονται στο παράρτημα.

Βάσει των δοκιμών εισπίεσης νερού που πραγματοποιήθηκαν, μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής σε σχέση με την περατότητα που είναι καίριο στοιχείο για την στεγανότητα :

Δοκιμές εισπίεσης νερού Lugeon (WD-test)

Οι δοκιμές εισπίεσης νερού (WD-tests) γίνονται σε σκληρά πετρώματα, κατά κατερχόμενα τμήματα, με την πάροδο της γεώτρησης. Με την μέθοδο αυτή είναι δυνατόν να υπολογιστεί η τιμή του συντελεστή περατότητας για τα διάφορα βάθη και άρα να προσδιοριστούν οι συνθήκες στεγανότητας της περιοχής. Επίσης είναι δυνατόν να εξαχθούν ορισμένα συμπεράσματα αναφορικά με την

παραμορφωσιμότητα του υποβάθρου βάσει των διαφόρων διαγραμμάτων που προκύπτουν για το κάθε ένα δοκιμαζόμενο τμήμα της γεώτρησης. Για τιμές της προσλαμβανόμενης ποσότητας του ύδατος μικρότερες από 1 lit/m*min, για πίεση ίση με 10 Atm, η περιοχή μας θεωρείται στεγανή.

Δοκιμές εισπίεσης νερού Lugeon (WD-test) πραγματοποιήθηκαν στις γεωτρήσεις Γ-1, Γ-2, Γ-4. Συγκεκριμένα, στις γεωτρήσεις Γ-1 και Γ-2 πραγματοποιήθηκαν στο στρώμα των σχιστολίθων και σε βάθη 11-15 m και 7-10 m αντίστοιχα. Στα βάθη αυτά οι σχιστόλιθοι εμφανίζονται κατακερματισμένοι με χαλαζίτες και η δοκιμές έδωσαν τιμές του συντελεστή περατότητας $k=1,3*10^{-3}$ m/sec για την Γ-1 και 7,1*10⁻⁴ m/sec για την Γ-2.

Στη γεώτρηση Γ-4 πραγματοποιήθηκε η δοκιμή στο στρώμα του γνευσίου και σε βάθος 10-14 m. Η τιμή του συντελεστή περατότητας μετρήθηκε ίση με $2,8*10^{-4}$ m/sec.

Επίσης, από την ερμηνεία των διαγραμμάτων μανομετρικής πίεσης P (Atm)προσλαμβανόμενης ποσότητας Q (lit/m*min) προκύπτει ότι η βραχομάζα εμφανίζει σε μεγάλο βαθμό ελαστική συμπεριφορά.

<u>Δοκιμές Maag</u>

Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιούνται σε χαλαρά εδάφη. Εφαρμόστηκε μόνο στη Γ-2 στο στρώμα των σχιστολίθων και η τιμή του συντελεστή περατότητας που μετρήθηκε είναι ίση με $k=2,2*10^{-4}$ m/sec.

Δοκιμές Lefranc

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε χαλαρά μικρής συνοχής πετρώματα τα οποία για να συγκρατηθούν απαιτούν προσωρινή σωλήνωση της εκτελούμενης γεώτρησης (Βαφειάδης,1999). Εφαρμόστηκε στις γεωτρήσεις Γ-1 και Γ-2, στο στρώμα των κατακερματισμένων σχιστολίθων με χαλαζίτες, σε διάφορα βάθη και παρατηρήθηκε ότι στη Γ-1 ο συντελεστής περατότητας κυμαίνεται μεταξύ 10⁻³ m/sec και 10⁻⁴ m/sec. Αντίθετα στη Γ-2 εμφανίζεται της τάξης μεγέθους του 10⁻⁵ m/sec.

Στη γεώτρηση Γ-3 πραγματοποιήθηκαν αποκλειστικά δοκιμές Lefranc. Η γεώτρηση αυτή διαπερνά κυρίως το στρώμα του γνευσίου που έχει υποστεί αργιλική εξαλλοίωση. Οι τιμές του συντελεστή περατότητας κυμαίνονται μεταξύ του 10^{-5} και 10^{-6} m/sec. Αντίθετα η υδροπερατότητα του γνευσίου, όπως αυτή μετρήθηκε στη γεώτρηση Γ-4 παρουσιάζεται αυξημένη (k= 10^{-3} έως 10^{-4} m/sec)

Συνοψίζοντας τα παραπάνω λοιπόν, μπορούμε να σημειώσουμε τα εξής:

✓ Το Δυτικό αντέρεισμα έχει σχετικά πολύ καλύτερη στεγανότητα από το Ανατολικό, μια περατότητα που αγγίζει τα όρια του αποδεκτού. Πράγματι, όπως προκύπτει από τα στοιχεία της γεώτρησης Γ-3 ο συντελεστής περατότητας κυμαίνεται μεταξύ 10⁻⁵ m/sec και 10⁻⁶ m/sec. Το γεγονός αυτό
οφείλεται στο ότι αποτελείται ως επί το πλείστον από αργιλικής σύστασης στρώματα (αλλουβιακές αποθέσεις, προϊόντα αποσάθρωσης και εξαλλοίωσης του μεταμορφωμένου υποβάθρου). Σύμφωνα με Μαραγκό (2001), για φράγματα ύψους μέχρι 40 m, τιμές της τάξης του k =10⁻⁵ m/sec θεωρούνται ικανοποιητικές.

✓ Το Ανατολικό αντέρεισμα εμφανίζει μη ικανοποιητική στεγανότητα. Όπως προκύπτει από τα στοιχεία των γεωτρήσεων Γ-1 και Γ-2 ο συντελεστής περατότητας κυμαίνεται μεταξύ 10⁻³ m/sec και 10⁻⁴ m/sec. Ο μοσχοβιτικός σχιστόλιθος παρουσιάζεται λιγότερο εξαλλοιωμένος με ενστρώσεις χαλαζιτών. Τα πετρώματα αυτά εμφανίζονται ρωγματωμένα (δευτερογενές πορώδες). Οι πολλές ρωγμές τους επηρεάζουν άμεσα το βαθμό υδατοπερατότητας και δημιουργούν την ανάγκη στεγανοποίησης με τσιμεντενέσεις.

5. Δανειοθάλαμοι υλικών κατασκευής φράγματος

5.1 Θέσεις δανειοθαλάμων

Από την γεωλογική και γεωτεχνική μελέτη της λεκάνης κατάκλυσης και της θέσης θεμελίωσης του φράγματος, διαπιστώθηκε ότι σε μικρή απόσταση από τη θέση θεμελίωσης του φράγματος, το δυτικό πρανές της λεκάνης κατάκλυσης καλύπτεται, σχεδόν στο σύνολό του, από αργιλικούς σχηματισμούς (Παυλίδης, 2002).

Για να διαπιστωθεί το πάχος των αργιλικών αυτών υλικών πραγματοποιήθηκαν 4 ερευνητικά φρεάτια κατά το στάδιο της προμελέτης του φράγματος (Παυλίδης, 2002). Οι θέσεις αυτών φαίνονται στο χάρτη του σχήματος 5.1. Από τις θέσεις αυτές ελήφθησαν αντιπροσωπευτικά δείγματα τα οποία στάλθηκαν σε εδαφοτεχνικό εργαστήριο για την εκτέλεση εργαστηριακών δοκίμων από τις οποίες διαπιστώθηκε η καταλληλότητα του υλικού αυτού για τη χρησιμοποίησή του στην κατασκευή του φράγματος (Εργ. Εδαφομηχανικής κ. Διδασκάλου).

Δεδομένου λοιπόν ότι το υλικό αυτό κρίθηκε ότι είναι κατάλληλο για την κατασκευή του φράγματος και προς αποφυγή του κόστους μεταφοράς του απαιτούμενου όγκου των υλικών κατασκευής του από μεγαλύτερη απόσταση, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν τα αργιλικά υλικά της λεκάνης κατάκλυσης, αλλουβιακές αποθέσεις και προϊόντα αποσάθρωσης των πετρωμάτων του υποβάθρου, ως υλικά κατασκευής του φράγματος. Με τον τρόπο αυτό μετά την απομάκρυνση και την χρήση των υλικών αυτών επιτυγχάνεται συγχρόνως και η αύξηση του ωφέλιμου όγκου του ταμιευτήρα φράγματος κατά τον αντίστοιχο όγκο των υλικών που θα του χρησιμοποιηθούν. Με τη χρήση των αργιλλικών υλικών της λεκάνης κατάκλυσης ενδέχεται να δημιουργηθούν προβλήματα στεγανότητας του πυθμένα του ταμιευτήρα και αύξηση του κινδύνου υδραυλικής υποσκαφής, καθώς όπως παρατηρήθηκε από τον συγγραφέα της παρούσας εργασίας στις περισσότερες περιπτώσεις οι ανασκαφές φτάνουν μέχρι το στρώμα του αποσαθρωμένου σχιστολίθου.

Οι θέσεις των δανειοθαλάμων παρουσιάζονται στο χάρτη του σχήματος 5.1 και έχουν ως εξής :

Δανειοθάλαμος Α : Βρίσκεται στο δυτικό πρανές σε μικρή απόσταση από το φράγμα (περίπου 60 m). Περιέχει υλικό κυρίως αργιλικό για τον πυρήνα και το σώμα του φράγματος. Έγιναν σε αυτόν 2 εκσκαφές (Φ No 1, Φ No 2). Τα χαρακτηριστικά του υλικού του δανειοθαλάμου για κάθε μία θέση έχουν ως εξής :

Εκσκαφή Νο 1	
Συνολικό βάθος εκσκαφής: 4 m	
Βάθος 0 - 0,5 m	Λεπτόκοκκο εδαφικό υλικό (φυτική γη), αργιλοαμμώδες με σχιστολιθικούς χάλικες διαμέτρου 2-3 cm.Η άμμος είναι μεσόκοκκος έως χονδρόκοκκος .Η συμμετοχή του αργιλικού υλικού είναι σε μεγάλο ποσοστό.
Βάθος 0,5 - 2,00 m	Αργιλοαμμώδες υλικό μεγάλης συνεκτικότητας με χάλικες διαμέτρου 3-5 cm από τα υποκείμενα πετρώματα του υποβάθρου.
Βάθος 2,00 - 4,00 m	Αργιλικό υλικό μεγάλης συνεκτικότητας προϊόν αποσάθρωσης του υποκείμενου σχιστολίθου με κροκάλες διαμέτρου 10-15 cm
Βάθος 4,00 m	Σχιστόλιθος

Εκσκαφή Νο 2	
Συνολικό βάθος εκσκαφής: 4 m	
Βάθος 0 - 0,5 m	Λεπτόκοκκο εδαφικό υλικό (φυτική γη), αργιλικής σύστασης με άμμο και χάλικες διαμέτρου 2-3 cm
Βάθος 0,5 - 4,00 m	Αργιλικό υλικό μεγάλης πλαστικότητας και συνεκτικότητας με άμμο και χάλικες διαμέτρου 3-5 cm.
Βάθος 4,00 - 6,00 m	Αργιλικό υλικό μεγάλης πλαστικότητας και συνεκτικότητας με άμμο, χάλικες και κροκάλες

Συνθήκες εκσκαφής και φόρτωσης καλές.

Δανειοθάλαμος Β : Βρίσκεται επίσης κοντά στο φράγμα σε μέση απόσταση 200 m. Περιέχει αργιλικό υλικό πάρα πολύ καλής ποιότητας για τον πυρήνα του φράγματος. Έγινε εκσκαφή (No 3) στο δανειοθάλαμο αυτό. Τα χαρακτηριστικά του υλικού του δανειοθαλάμου έχουν ως εξής :

Εκσκαφή Νο 3	
Συνολικό βάθος εκσκαφής : 6 m	
Βάθος 0 - 0,5 m	Φυτική γη αργιλικής σύστασης με άμμο και χάλικες διαμέτρου 2-3 cm
Βάθος 0,5 - 6,00 m	Άργιλος πολύ καλής ποιότητας με άμμο και χάλικες διαμέτρου 2-3 cm.

Δανειοθάλαμος Γ : Είναι ο πιο απομακρυσμένος από τους δανειοθαλάμους σε απόσταση περίπου 300 m . Περιέχει αργιλοαμμώδες υλικό με πολλές κροκάλες. Έγινε εκσκαφή (No 4) στο δανειοθάλαμο αυτό. Τα χαρακτηριστικά του υλικού του δανειοθαλάμου έχουν ως εξής :

Εκσκαφή Νο 4	
Συνολικό βάθος εκσκαφής: 3,5 m	
Βάθος 0 - 0,5 m	Λεπτόκοκκο αργιλικό υλικό (φυτική γη) με άμμο και χαλίκια διαμέτρου 2-3 cm
Βάθος 0,5 - 1,50 m	Αργιλοαμμώδες υλικό ερυθρού χρώματος με χάλικες και κροκάλες διαμέτρου έως 30 cm
Βάθος 1,50-3,50 m	Αργιλοαμμώδες υλικό με χαλίκια και πολλές κροκάλες. Μέτριας ποιότητας αργιλικό υλικό
Βάθος >3,50 m	Σχιστόλιθος



5.2 Εργαστηριακές δοκιμές

Στα πλαίσια της διερεύνησης των φυσικών ιδιοτήτων και μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών των δανειοθαλάμων, πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές.

Στην παρούσα εργασία πάρθηκαν 6 συνολικά δείγματα, 2 από κάθε δανειοθάλαμο. Τα δείγματα αυτά αναλύθηκαν και αξιολογήθηκαν ως προς την ικανότητα συμπύκνωσής τους. Για κάθε δείγμα χωριστά προσδιορίστηκε η σχέση πυκνότητας- υγρασίας και συγκεκριμένα βρέθηκαν οι τιμές της βέλτιστης υγρασίας για τις οποίες επιτυγχάνεται η μέγιστη ξηρά πυκνότητα σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο Proctor (AASHO T-99/74, ASTM D-698/78).

Η δειγματοληψία καθώς και οι εργαστηριακές δοκιμές έγιναν στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., κατά το χρονικό διάστημα Φεβρουαρίου – Σεπτεμβρίου 2005.

5.3. Συμπύκνωση εδαφών.

Προσδιορισμός της βέλτιστης υγρασίας συμπύκνωσης των εδαφών με την πρότυπη μέθοδο Proctor.

5.3.1. Σκοπός της συμπύκνωσης

Ονομάζεται συμπύκνωση η δια μηχανικών μέσων αναδιάταξη του πλέγματος των κόκκων των εδαφικών υλικών σε μία πυκνότερη δομή. Η μακροσκοπική φυσική έκφραση του φαινομένου είναι η αύξηση της πυκνότητας του υλικού. Ως μέθοδος βελτίωσης των χαρακτηριστικών του εδάφους η συμπύκνωση εντάσσεται, μαζί με τη διόρθωση της κοκκομετρίας εδαφικών και αδρανών υλικών, στις κύριες μεθόδους μηχανικής σταθεροποίησης.

Η συμπύκνωση του εδάφους είναι μια διεργασία καθοριστική για την ποιοτική επάρκεια κατασκευών έργων υποδομής, φραγμάτων, οδοποιίας, αεροδρομίων κτλ. Η απαίτηση μηχανικής σταθεροποίησης των εδαφικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ενός τέτοιου έργου πηγάζει από την ανάγκη διατήρησης μιας σταθερής μηχανικής συμπεριφοράς και αποτροπής των κινδύνων εμφάνισης καθιζήσεων και παραμορφώσεων στο σώμα του έργου κατά την φάση λειτουργίας αυτού. Η συμπύκνωση αποτελεί μια πάγια πρακτική για όλες τις γεωκατασκευές των έργων υποδομής. Είναι η πιο παλιά και η πιο σημαντική μέθοδος σταθεροποίησης ενώ, παράλληλα, είναι και η περισσότερο οικονομική από τις εν χρήσει τεχνικές (Α. Μουρατίδης, 2005).

Τα πλεονεκτήματα τα οποία προσφέρει η συμπύκνωση στις εδαφικές δομές, σε σχέση με την βραχυχρόνια και μακροχρόνια συμπεριφορά τους, είναι πολλά. Με την συμπύκνωση του εδάφους επιτυγχάνεται :

Η μείωση της υδροπερατότητας του εδάφους, ιδιότητα πολύ χρήσιμη όταν πρόκειται για υλικά κατασκευής φραγμάτων και επίστρωσης του πυθμένα των ταμιευτήρων.

- Η αύξηση της διατμητικής αντοχής και της φέρουσας ικανότητας του εδάφους.
- Η μείωση της συμπιεστότητας και επομένως των προκαλούμενων καθιζήσεων του εδάφους, σε συνθήκες εξωτερικής φόρτισης.
- Η αύξηση της αντίστασης του εδάφους σε αποσάθρωση.

5.3.2 Συνθήκες συμπύκνωσης

Για την εκτέλεση της συμπύκνωσης μιας εδαφικής μάζας μπορούν να προκαθορισθούν, ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα, τρεις βασικοί παράγοντες : η περιεχόμενη υγρασία του υλικού, η ενέργεια συμπύκνωσης και ο τρόπος συμπύκνωσης. Κάθε ένας από τους παράγοντες αυτούς επηρεάζει, όπως προαναφέρθηκε, τις ιδιότητες της εδαφικής δομής που υπόκειται σε συμπύκνωση και ιδιαίτερα :α) τη διαπερατότητα β) τη συμπιεστότητα γ) την αντοχή και τους νόμους τάσεων-παραμορφώσεων.

Καθοριστικό κριτήριο για την ποιότητα της συμπύκνωσης αποτελεί η τιμή της ξηράς πυκνότητας γ_d . Για μια συγκεκριμένη ενέργεια συμπύκνωσης η τιμή της ξηράς πυκνότητας του εδαφικού υλικού που υφίσταται συμπύκνωση είναι συνάρτηση της φυσικής υγρασίας. Το διάγραμμα (W, γ_d) έχει τη μορφή μιας καμπύλης που στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω ενώ η μέγιστη ξηρά πυκνότητα επιτυγχάνεται για μία συγκεκριμένη τιμή W_{opt} της φυσικής υγρασίας. Η τιμή αυτή ονομάζεται βέλτιστη φυσική υγρασία και για κάθε υλικό είναι συνάρτηση της ενέργειας συμπύκνωσης.

Η βέλτιστη φυσική υγρασία είναι η τιμή της περιεχόμενης υγρασίας για την οποία το υλικό γίνεται αρκετά εργάσιμο ώστε, υποκείμενο σε θλιπτικά φορτία, να οδηγηθεί σε μία πυκνή δομή στερεών κόκκων και σε απομάκρυνση του αέρα από την μάζα του. Κατά την διαδικασία συμπύκνωσης, στόχος είναι η υγρασία του εδαφικού υλικού να είναι κατά το δυνατόν πλησιέστερα στη βέλτιστη. Για τιμές της φυσικής υγρασίας μεγαλύτερες της βέλτιστης, τα περισσότερα εδάφη δεν μπορούν να αποκτήσουν πυκνή δομή, επειδή το νερό εμποδίζει την προσέγγιση των στερεών κόκκων.

Η ασκούμενη ενέργεια συμπύκνωσης είναι καθοριστική για κάθε υλικό. Όσο υψηλότερη είναι η ενέργεια συμπύκνωσης, τόσο αυστηρότερος πρέπει να είναι ο έλεγχος της περιεχόμενης υγρασίας. Για την ίδια τιμή φυσικής υγρασίας, η δυσκολία συμπύκνωσης που παρουσιάζεται στην υψηλή ενέργεια είναι μεγαλύτερη και το υλικό τείνει σε κατάσταση κορεσμού.

Η σχέση πυκνότητας-υγρασίας είναι χαρακτηριστική και χρησιμεύει για τον προσδιορισμό της κατάλληλης, από πλευράς εργασιμότητας, κατάστασης του εδάφους, μέσα σε ένα πεδίο διαφόρων τιμών υγρασίας. Η σχέση αυτή και η σχετική καμπύλη αντιστοιχούν σε προκαθορισμένη ενέργεια συμπύκνωσης, η οποία, στο πλαίσιο του εργαστηριακού ελέγχου είναι, για κάθε μέθοδο, απόλυτα συγκεκριμένη. Έτσι στον εργαστηριακό έλεγχο ζητείται να προσδιοριστεί η τιμή της φυσικής υγρασίας για την οποία επιτυγχάνεται η μέγιστη τιμή της ξηράς πυκνότητας.

5.3.3 Πρότυπη μέθοδος Proctor (AASHO T-99/74, ASTM D-698/78)

Η δοκιμή Proctor είναι ένας ποιοτικός έλεγχος των υλικών στο εργαστήριο. Σκοπός της είναι να προσδιορίσει για κάθε υλικό, υπό συγκεκριμένη ενέργεια συμπύκνωσης, ένα ζεύγος τιμών (W, γ_d) που θα αποτελέσει σημείο αναφοράς για την εκτέλεση των εργασιών στο εργοτάξιο. Περιγραφή εξοπλισμού

- Τύπος : Είναι κυλινδρικού σχήματος, κατασκευασμένος από μέταλλο και έχει έναν πρόσθετο δακτύλιο ύψους 60,3 mm. Η χωρητικότητα και οι διαστάσεις του είναι οι ακόλουθες : Χωρητικότητα: (943 ± 8)*10³ mm³ Εσωτερική διάμετρος: 101,6± 0,406 mm Ύψος: 116,4± 0,127 mm
- Κόπανος (τύπτρο): Ένας μεταλλικός κόπανος με κυκλική διατομή διαμέτρου 50,8 ± 0,127 mm και βάρους 2,49 ± 0,01 Kgr. Ο κόπανος είναι εφοδιασμένος με κατάλληλο οδηγό (διάταξη) για τον έλεγχο του ύψους πτώσεως, ώστε να πέφτει ελεύθερα από ύψος 304,8 ± 1,524 mm από τη στάθμη του εδαφικού δοκιμίου.

Περιγραφή μεθόδου

Από κάθε εδαφικό υλικό, μορφώνονται 4-5 δείγματα τα οποία υφίστανται αποξήρανση και στη συνέχεια διαβρέχονται ούτως ώστε να αποκτήσουν διαφορετική το καθένα περιεκτικότητα σε νερό W. Το κάθε δείγμα τοποθετείται κατόπιν στην μήτρα Proctor σε 3 ισοπαχείς στρώσεις, όπου κάθε στρώση δέχεται 25 κτύπους από το τύπτρο.



Σχήμα 5.1:Μέθοδος Proctor

Η ενέργεια συμπύκνωσης είναι στην περίπτωση αυτή ίση με 60 Kgr/lit και προσδιορίζεται από τη σχέση

$$E = \frac{N * G * h}{V} \tag{5.1}$$

ópou N : o ariquós two ktúpwo

- G : το βάρος του τύπτρου
- h : το ύψος της πτώσης
- V : ο όγκος του δοκιμίου

Μετά την δοκιμή λαμβάνεται δείγμα βάρους G = 50-100 gr από τη βάση του κυλίνδρου. Το δείγμα υφίσταται αποξήρανση και υπολογίζεται στη συνέχεια το βάρος του G_s . Η φυσική υγρασία του δείγματος και η ξηρά πυκνότητα προσδιορίζονται από τις σχέσεις :

$$W(\%) = \frac{G - G_S}{G_S} \times 100, \gamma_d = \frac{G_S}{V}$$
(5.2)

Προκύπτει κατά τον τρόπο αυτό, ένα ζεύγος τιμών (W, γ_d), για κάθε ένα από τα δείγματα του εδάφους και οι τιμές μεταφέρονται σε ένα διάγραμμα (W, γ_d) όπου χαράσσεται η αντίστοιχη χαρακτηριστική καμπύλη που ονομάζεται καμπύλη Proctor.

5.4 Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών

Αναλυτικά τα αποτελέσματα των συμπυκνωθέντων δειγμάτων όσον αφορά στις βέλτιστες υγρασίες και στις μέγιστες πυκνότητες αυτών καθώς επίσης και ο μέσος όρος αυτών για τον κάθε δανειοθάλαμο ξεχωριστά, δίνονται στον πίνακα 5.1 που ακολουθεί. Στο εργοτάξιο η επιδιωκόμενη συμπύκνωση είναι της τάξης του 90 % της μέγιστης εργαστηριακής ξηρής πυκνότητας.

	Δανειοθά	οθάλαμος Α Δανειοθάλαμος Β Δανειοθά		Δανειοθάλαμος Β		άλαμος Γ
Συμπυκνωθέντα	A 1	A 2	B 1	B 2	Γ1	Γ2
δείγματα						
Βέλτιστες	11,62 %	14,50 %	16 %	15,50 %	9 %	8,20 %
υγρασίες						
Wopt.(%)						
M.O.	13,06 %		15,75 %		8,60 %	
Μέγιστες	1930	1920	1900	1865	1805	2010
πυκνότητες						
$(\gamma dmax, Kgr/m^3)$						
M.O.	1925		1882,5		1907,5	

Πίνακας 5.1 : Αποτελέσματα των συμπυκνωθέντων δειγμάτων

ΦΡΑΓΜΑ ΓΕΡΜΑΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ			Πρότυπη μέθοδος Proctor (AASHO T-99/74, ASTM D-698/78)				
		ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ Δ	ΕΙΓΜΑΤΟΣ:	Θέση Α 1			
				А	Δανειοθάλα	αμος	
			Βάθος λήψης : 2	2,5 - 3,0 m		· •	
	Αριθμός δοκιμής		1	2	3	4	
	Βάρος υγρού δείγματος + τύπου						
1	Wt of mould + contents	(gr)	4.310	4.510	4.490	4.480	
2	Βάρος τύπου - Wt of mould	(gr)	2.500	2.500	2.500	2.500	
3	Βάρος υγρού δείγματος - Wt of contents	(gr)	1.810	2.010	1.990	1.980	
4	Ογκος τύπου - Volume of mould	(cm3)	933	933	933	933	
5	Υγρά πυκνότητα - Wet density	(Kg/m3)	1.940	2.154	2.133	2.122	
6	Περιεχόμενη υγρασία - Moisture content	(%)	5,14	11,62	15,54	17,72	
	Ξηρά εργαστηριακή πυκνότητα						
7	Dry density	(Kg/m3)	1.845	1.930	1.846	1.803	
	Προσδιορισ	μός υγ	ρασίας - Μο	oisture cont	ent calcula	tions	
1	Αριθμός κάψας - Container No		1	2	3	4	
	Βάρος υγρού δείγματος + κάψα						
2	Cont + wet soil	(gr)	246,95	206,65	238,31	267,40	
	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψα						
3	Cont + dry soil	(gr)	239,56	194,45	218,14	240,78	
4	Βάρος νερού - Water wt	(gr)	7,39	12,20	20,17	26,62	
5	Βάρος κάψας - Cont wt	(gr)	95,77	89,42	88,31	90,53	
6	Βάρος ξηρού δείγματος - Dry soil wt	(gr)	143,79	105,03	129,83	150,25	
7	Περιεχόμενη υγρασία - Moisture content	(%)	5,14	11,62	15,54	17,72	



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-RESULTS

Μέγιστη Ξηρά	
Πυκνότητα (Kg/m3):	1930

Βέλτιστη Υγρασία (%): 11,62

	ΦΡΑΓΜΑ ΓΕΡΜΑΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ	Πρότυπη μέθοδος Proctor (AASHO T-99/74, ASTM D- 698/78)				TM D-	
			ΠΡΟΕΛΕΥ	ΣΗ ΔΕΙΓΜΑ	ΑΤΟΣ : Α 2 Α Δανειοί	θάλαμος	
			Βάθος λήψ	ης : 1,5-2,0 n	n		
	Αριθμός δοκιμής		1	2	3	4	
1	Βάρος υγρού δείγματος + τύπου Wt of mould + contents	(gr)	4.150	4.310	4.560	4.400	
2	Βάρος τύπου - Wt of mould	(gr)	2.500	2.500	2.500	2.500	
3	Βάρος υγρού δείγματος - Wt of contents	(gr)	1.650	1.810	2.060	1.900	
4	Ογκος τύπου - Volume of mould	(cm3)	933	933	933	933	
5	Υγρά πυκνότητα - Wet density	(Kg/m3)	1.768	1.940	2.208	2.036	
6	Περιεχόμενη υγρασία - Moisture content	(%)	4,70	9,82	14,98	21,97	
7	Ξηρά εργαστηριακή πυκνότητα Dry density	(Kg/m3)	1.689	1.766	1.920	1.670	
	Προσδιορισμ	ός υγρα	ασίας - Μ	loisture cont	tent calculat	ions	
1	Αριθμός κάψας - Container No		1	2	3	4	
2	Βάρος υγρού δείγματος + κάψα Cont + wet soil	(gr)	220,51	267,64	278,84	249,03	
3	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψα Cont + dry soil	(gr)	214,84	251,77	253,91	220,63	
4	Βάρος νερού - Water wt	(gr)	5,67	15,87	24,93	28,40	
5	Βάρος κάψας - Cont wt	(gr)	94,11	90,22	87,54	91,37	
6	Βάρος ξηρού δείγματος - Dry soil wt	(gr)	120,73	161,55	166,37	129,26	
7	Περιεχόμενη υγρασία - Moisture content	(%)	4,70	9,82	14,98	21,97	



|--|

Μέγιστη Ξηρά	
Πυκνότητα (Kg/m3):	1920

<u>Βέλτιστη Υγρασία (%):</u> 14,50

	ΦΡΑΓΜΑ ΓΕΡΜΑΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ		Πρότυπη μέθ	οδος Procto	r (AASHO T	-99/74, AST	M D-698/78)
		ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ : Θέση Β 1 Β Δανειοθάλαμος					
			Βάθος λήψης :	3,0-3,5 m	1	· -	
	Αριθμός δοκιμής		1	2	3	4	
1	Βάρος υγρού δείγματος + τύπου Wt of mould + contents	(gr)	4.125	4.240	4.540	4.500	
2	Βάρος τύπου - Wt of mould	(gr)	2.500	2.500	2.500	2.500	
3	Βάρος υγρού δείγματος - Wt of contents	(gr)	1.625	1.740	2.040	2.000	
4	Ογκος τύπου - Volume of mould	(cm3)	933	933	933	933	
5	Υγρά πυκνότητα - Wet density	(Kg/m3)	1.742	1.865	2.186	2.144	
6	Περιεχόμενη υγρασία - Moisture content	(%)	4,70	7,44	15,17	18,25	
[_	Ξηρά εργαστηριακή πυκνότητα	(ka/m^2)	1 664	4 706	1 000	4 010	
1		(Kg/113)	1.004	1./ 30		1.013	
\vdash	Ιροσοιομιο	μος υγι	ρασιας - ινι Τ		ent calcula	tions	r
1	Αριθμός κάψας - Container No		1	2	3	4	
2	Bαρος υγρου οειγματος + καψα Cont + wet soil	(gr)	246,95	206,65	238,31	267,40	
	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψα	(, , , , , , , , , , , , , , , ,		400.44	040 57		
3		(gr)	239,79	198,44	218,57	240,11	
4	Βάρος νερού - Water wt	(gr)	7,16	8,21	19,74	27,29	
5	Βάρος κάψας - Cont wt	(gr)	87,36	88,12	88,47	90,55	
6	Βάρος ξηρού δείγματος - Dry soil wt	(gr)	152,43	110,32	130,10	149,56	
7	Περιεχόμενη υγρασία - Moisture content	(%)	4,70	7,44	15,17	18,25	
ήτητα	2.000		ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-RESULTS				
≩				Μέγιστη	Ξηρά	_	
ļ	1.000			Πυκνότητ	ια (Kg/m3	3):	1900
х З Ц	§ 1.700			Βέλτιστ	n Yvoασί	ία (%):	16.00
	1.600			Bertite		<u>u (// / .</u>	
b	3						
ç	<u>5</u> 1.500						
ج ۲	<u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u></u>						
-	1 200						
	25 50 75 100 125		17.5 20.0				
	2,5 5,0 7,5 ΙΟ,Ο ΙΖ,Ο ΙΟ,Ο Ι7,5 20,0 Περιεχόμενη υγρασία						
			I				

ΦΡΑΓΜΑ ΓΕΡΜΑΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ Πρότυ				θοδος Procto	r (AASHO 1	⁻ 99/74, AST	M D-698/78)	
			ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ :Θέση Β 2					
			Βάθος λήψης :	: 3,0 - 3,5 m		ιαμος		
	Αριθμός δοκιμής		1	2	3	4		
1	Βάρος υγρού δείγματος + τύπου Wt of mould + contents	(gr)	4.130	4.320	4.510	4.570		
2	Βάρος τύπου - Wt of mould	(gr)	2.500	2.500	2.500	2.500		
3	Βάρος υγρού δείγματος - Wt of contents	(gr) (cm3)	1.630 933	1.820 933	2.010 933	2.070 933		
5	Υγρά πυκνότητα - Wet density	(Kg/m3)	1.747	1.951	2.154	2.219		
6	Περιεχόμενη υγρασία - Moisture content	(%)	3,24	10,76	15,41	25,69		
_	Ξηρά εργαστηριακή πυκνότητα							
7		(Kg/m3)	1.692	1.761	1.867	1.765		
	ΙΓροσδιορισ	μος υγι	οασιας - Ν	loisture cont	ent calcula	tions		
1	Αριθμός κάψας - Container No		1	2	3	4		
2	Cont + wet soil	(gr)	222,41	213,07	242,90	276,51		
3	Cont + dry soil	(gr)	218,20	201,07	222,25	238,77		
4	Βάρος νερού - Water wt	(gr)	4,21	12,00	20,65	37,74		
5	Βάρος κάψας - Cont wt	(gr)	88,41	89,56	88,21	91,87		
6	Βάρος ξηρού δείγματος - Dry soil wt	(gr)	129,79	111,51	134,04	146,90		
7	Περιεχόμενη υγρασία - Moisture content	(%)	3,24	10,76	15,41	25,69		
								
ğ	v 1.900				ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-RESULTS			
jτη1				<u>Μέγιστη Ξηρά</u> Πυκνότητα (Kg/m3):				
X 1.840 1 .820 L 1.800 X 1.780 D 1.760							1865	
				Dá)		(a) (0/) .	45 50	
				Βελτιστ	η τγρασ	α (%):	15,50	
l du								
۵ ۵	8 1.700							
E D V								
'8 1.640								
ត្រ								
	\$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$ \$	5 0 5 5	5,0 ,5 ,0					
	Περιεχόμενη υ	∾ ∿ ιγρασία	∿്∿്ത്					



ΦΡΑΓΜΑ ΓΕΡΜΑΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ Πρότυπη μέθοδος Proctor (AASHO T-99/74, ASTM D-698/78)							
			ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ Βάθος λήψης	ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ Ι : 2,0-2,2 m	: Θέση Γ- 2 Γ Δανειοθάλ	ιαμος	
	Αριθμός δοκιμής		1	2	3	4	
1	Βάρος υγρού δείγματος + τύπου Wt of mould + contents	(gr)	4.300	4.530	4.520	4.550	
2	Βάρος τύπου - Wt of mould	(gr)	2.500	2.500	2.500	2.500	
3 4	Βάρος υγρού δείγματος - Wt of contents Ογκος τύπου - Volume of mould	(gr) (cm3)	1.800 933	2.030 933	2.020 933	2.050 933	
5	Υγρά πυκνότητα - Wet density	(Kg/m3)	1.929	2.176	2.165	2.197	
6	Περιεχόμενη υγρασία - Moisture content	(%)	3,54	8,20	16,66	25,16	
7	Ξηρά εργαστηριακή πυκνότητα Dry density	(Kg/m3)	1.863	2.011	1.856	1.756	
	Προσδιορισ	μός υγ	ρασίας - Ν	Noisture cont	ent calcula	tions	
1	Αριθμός κάψας - Container No Βάρος υγρού δείγματος + κάψα		1	2	3	4	
2	Cont + wet soil	(gr)	251,12	248,88	241,12	199,54	
3	Cont + dry soil	(gr)	245,56	236,77	219,44	177,87	
4	Βάρος νερού - Water wt	(gr)	5,56	12,11	21,68	21,67	
5	Βάρος κάψας - Cont wt	(gr)	88,71	89,02	89,30	91,74	
6	Βάρος ξηρού δείγματος - Dry soil wt	(gr)	156,85	147,75	130,14	86,13	
7	Περιεχόμενη υγρασία - Moisture content	(%)	3,54	8,20	16,66	25,16	
	2.100 2.080 2.060 2.040 2.020 2.000 1.980			Α Π Ο Τ Ε Μέγιστη Ξ Πυκνότητ	Ξ Λ Ε Σ Μ / Ξηρά ːα (Kg/m:	A T A - RES 3):	SULTS 2010
	1.980 1.960 1.940 1.920 1.900 1.900 1.880 1.880 1.880 1.880 1.880 1.880 1.800 1.800 1.760 1.760 1.740 1.720 1.700 S S S S S S N S N S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S S	ζ. ζ. ζ. ασία	30,0	<u>Βέλτιστ</u>	η Υγρασ	<u>ία (%):</u>	8,20

6. Υδρολογία

6.1 Κλιματικά στοιχεία της περιοχής

Σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα (Λιβαδάς, 1976 – Μπαλαφούτης, 1977) το κλίμα της δυτικής Μακεδονίας, όπου και βρίσκεται η περιοχή μελέτης, είναι ενδιάμεσο ή μεταβατικό μεταξύ μεσογειακού και ηπειρωτικού κλίματος.

Σύμφωνα με την κλιματική υποδιαίρεση του Koppen (1936) το κλίμα της περιοχής έρευνας ανήκει στον τύπο Csa, που δηλώνει εύκρατο με ξηρό θέρος και μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα μεγαλύτερη από 22° C. Τα χαρακτηριστικά αυτού του κλίματος είναι το ξηρό και θερμό θέρος και οι ήπιοι και βροχεροί χειμώνες.

Επίσης αναφορικά με τη χρονική διάρκεια των εποχών, το Φθινόπωρο έχει συνήθως μικρή χρονική διάρκεια με απότομη μετάβαση προς το Χειμώνα, ενώ η Άνοιξη είναι ασταθής και αποτελεί στην ουσία μια μεταβατική περίοδο, όπου εμφανίζεται σειρά ημερών με χειμερινά χαρακτηριστικά για να ακολουθήσουν ημέρες με θερινά χαρακτηριστικά. Τέλος αξίζει να αναφερθεί πως κύριο χαρακτηριστικό αυτού του τύπου κλίματος είναι και ο παγετός (Μπαλαφούτης, 2000).

Σύμφωνα με την κλιματική ταξινόμηση κατά Thornthwaite (1951), (από Φλόκα, 1990) ο κλιματικός τύπος της εγγύτερης περιοχής έρευνας, από τα δεδομένα του βροχομετρικού σταθμού της Καστοριάς, είναι: $C_1w_2B_2'b_3'$

όπου: C1: δηλώνει ημίυγρο προς υγρό κλίμα

w2: μεγάλο πλεόνασμα νερού κατά το θέρος

Β2': μεσόθερμο τύπο

b3': μικρό ποσοστό θερμικής δραστηριότητας κατά το θέρος

6.2 Βροχομετρικοί και μετεωρολογικοί σταθμοί

Για την εκτίμηση των μέσων τιμών βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης αλλά και της κατανομής τους στον χώρο και τον χρόνο, έγινε επεξεργασία των δεδομένων τεσσάρων (4) σταθμών που διατηρούν στην περιοχή οι υπηρεσίες του Υπ.Γεωργίας, της Ε.Μ.Υ. και της Δ.Ε.Η. και παρουσιάζονται στον πίνακα 6.1.

α/α	Βροχομετρικοί σταθμοί	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος	Υψόμετρο (m)	Φορέας
1	Άργος Ορεστικό	21,2666	40,4666	650	E.M.Y.
2	Βογατσικό	21,3830	40,4158	770	Δ.E.H
3	Καστοριά	21,2666	40,5166	631	Υπ. Γεωργίας
4	Κλεισούρα	21,4666	40,5333	1250	Δ.E.H

Πίνακας 6.1: Βροχομετρικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση

Η θέση των βροχομετρικών σταθμών φαίνεται στον χάρτη του σχήματος 6.1.



Σχήμα 6.1: Γεωγραφική θέση των βροχομετρικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής του φράγματος Γέρμα.

6.3 Υδρολογικό ισοζύγιο

Η γνώση του υδρολογικού ισοζυγίου μιας περιοχής συμβάλλει στο να βελτιστοποιηθεί η διαχείριση των υδατικών πόρων στην περιοχή αυτή. Η υδρολογία των υπογείων νερών δεν είναι ανεξάρτητη εκείνης των επιφανειακών. Έτσι λοιπόν για την εύρεση του υπόγειου δυναμικού μιας περιοχής, είναι απαραίτητη η εύρεση του ισοζυγίου των επιφανειακών νερών. Είναι γνωστό ότι το υδρολογικό ισοζύγιο εκφράζεται από τη σχέση:

$$P = R + E + I + dw + dq \tag{6.1}$$

όπου: P: τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα
E: η πραγματική εξατμισοδιαπνοή
R: η επιφανειακή απορροή
I: η κατείσδυση
dw: η μεταβολή υπόγειων αποθεμάτων
dq: το αποτέλεσμα της ανθρώπινης επέμβασης

Με την προϋπόθεση ότι η λεκάνη απορροής του φράγματος του ρέμματος Γιάζια, αποτελεί αυτοτελές σύστημα, ότι οι ανθρώπινες παρεμβάσεις dq είναι αμελητέες και τα υπόγεια αποθέματα w θεωρούνται σταθερά για μια μακρά σειρά ετών, η εξίσωση 6.1 παίρνει την μορφή:

$$P = R + E + I \tag{6.2}$$

Για τον υπολογισμό ενός αξιόπιστου επιφανειακού υδρολογικού ισοζυγίου της περιοχής είναι απαραίτητη η γνώση του ύψους της ετήσιας βροχόπτωσης, της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και της κατείσδυσης.

6.4 Βροχοπτώσεις

6.4.1 Βροχομετρικά δεδομένα

Πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των δεδομένων των βροχομετρικών σταθμών για το χρονικό διάστημα των 20 τελευταίων υδρολογικών ετών (1984 -2004). Οι πίνακες των δεδομένων αυτών περιλαμβάνονται στο παράρτημα. Η περίοδος αυτή θεωρείται ικανοποιητική γιατί στη διάρκειά της λειτούργησαν όλοι οι σταθμοί. Επίσης, πρόκειται για στοιχεία της τελευταίας 20 ετίας που αντιπροσωπεύουν με τον καλύτερο τρόπο την τρέχουσα υδρολογική κατάσταση της περιοχής μελέτης.

Στον πίνακα 6.2 φαίνονται οι συντελεστές συσχέτισης των σταθμών, όπως προέκυψαν από τις συσχετίσεις των ετήσιων τιμών των βροχομετρικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής. (Σχήμα 6.2)

Πίνακας 6.2 : Συντελεστές συσχέτισης των βροχομετρικών σταθμών											
	Άργος Ορεστικό	Καστοριά	Βογατσικό	Κλεισούρα							
Άργος Ορεστικό	1,00										
Καστοριά	0,70	1,00									
Βογατσικό	0,71	0,83	1,00								
Κλεισούρα	0,66	0,84	0,78	1,00							







Σχήμα 6.2: Συσχετίσεις των ετήσιων τιμών των βροχομετρικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής

Για τον έλεγχο της ομοιογένειας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της καμπύλης διπλής μάζας. Η μέθοδος αυτή συνίσταται στη σύγκριση των αθροιστικών ετήσιων τιμών βροχόπτωσης ενός σταθμού με τη σύγχρονη μέση αθροιστική βροχόπτωση μιας ομάδας γειτονικών σταθμών (Ξανθόπουλος, 1972 – Τσακίρης, 1995 – Μιμίκου, 1994 – Βουδούρης, 1995). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται μόνο όταν ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των σταθμών είναι μεγαλύτερος από 0.7. Συνήθως επιλέγονται σταθμοί που ανήκουν στην ίδια βροχομετρική ζώνη και εμφανίζουν μεγάλη συσχέτιση. Αλλαγή οφειλόμενη σε μετεωρολογικά αίτια επιδρά ομοιότροπα σε όλους τους σταθμούς και το διάγραμμα είναι ευθεία γραμμή.

Οι σταθμοί που εμφανίζουν ανομοιογένεια χρειάζονται διόρθωση, ώστε οι παρατηρήσεις τους να καταστούν ομοιογενείς. Αυτό επιτυγχάνεται με πολλαπλασιασμό των ανομοιογενών παρατηρήσεων με τον λόγο K_1/K_2 των κλίσεων των δύο ευθυγράμμων τμημάτων της καμπύλης διπλής μάζας. Με βάση την καμπύλη διπλής μάζας, (Σχήμα 6.3) όλοι οι σταθμοί είναι ομοιογενείς.

Σχήμα 6.3:Καμπύλες διπλής μάζας για τον έλεγχο της ομοιογένειας των σταθμών της περιοχής έρευνας σε υπερετήσια βάση



6.5 Σχέση ύψους βροχόπτωσης υψομέτρου

Η ετήσια κατανομή των βροχοπτώσεων (P) επηρεάζεται αποφασιστικά από το υψόμετρο (H) της περιοχής. Για τον προσδιορισμό της βροχοβαθμίδας της περιοχής στα δεδομένα των βροχομετρικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής

εφαρμόσθηκε η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων. Για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιείται η γραμμική μαθηματική έκφραση:

$$P = \alpha * \mathbf{H} + \beta$$

με ανεξάρτητη μεταβλητή το υψόμετρο των σταθμών (Η) και εξαρτημένη το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης (Ρ). Στον Πίνακα 6.3 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ετήσιες τιμές βροχόπτωσης των σταθμών για την περίοδο 1984 – 2004.

Ala	VSaalauntééraa	Άργος Ορεστικό	Καστοριά	Βογατσικό	Κλεισούρα
A/U	ι ομονολικό ετος	650 m	631 m	770 m	1250 m
1	1984-85	461,4	423,9	269,6	738,0
2	1985-86	423,5	780,6	781,5	1184,4
3	1986-87	520,0	463	627,5	933,4
4	1987-88	421,3	414,3	460	702,8
5	1988-89	386,0	461,2	675,9	932,1
6	1989-90	372,0	426	528,2	597,6
7	1990-91	742,6	723,9	842,6	1098,1
8	1991-92	521,0	423,8	390,2	640,1
9	1992-93	442,6	479,8	498,9	694,7
10	1993-94	681,4	665,5	807,7	1198,3
11	1994-95	647,2	678,7	635,7	1236,2
12	1995-96	596,6	642,5	656,7	898,3
13	1996-97	440,1	411,8	579,3	666,6
14	1997-98	493,8	600,3	714	1057,6
15	1998-99	727,7	639,3	824,8	989,7
16	1999-00	582,5	557,4	697,6	761,5
17	2000-01	379,0	364,4	454,4	646,0
18	2001-02	668,7	767	865	1013,5
19	2002-03	712,0	610,9	845,1	1134,6
20	2003-04	650,3	785,6	825,5	1097,7
	M.O =	543,5	566,0	649,0	911,1

Πίνακας 6.3: Υπερετήσια ύψη κατακρημνισμάτων για την περίοδο 1984-2004

Από τα δεδομένα αυτά προκύπτει, με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, η εξής σχέση :

 $P = 0,579.H + 189,31 \quad (R = 0,99)$ (6,3) Το τυπικό σφάλμα εκτίμησης (standard error of the estimate) είναι εξαιρετικά μικρό και αυτό υποδηλώνει ότι η προσαρμογή των δεδομένων στην ευθεία (Σχήμα 6.4) είναι πολύ καλή και για το δοσμένο υψόμετρο μπορούμε να προβλέψουμε το ύψος βροχόπτωσης, χωρίς μεγάλο σφάλμα.



Σχήμα 6.4 : Γραφική απεικόνιση της σχέσης ύψους βροχής- υψομέτρου στην περιοχή έρευνας

Η κλίση της ευθείας αυτής (βροχοβαθμίδα) είναι σχετικά μεγάλη (υπάρχει μια αύξηση της τάξης των 58 χιλιοστών ανά 100 μέτρα) και μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός, ότι πέραν του υψομέτρου επεμβαίνει και ο παράγοντας ηπειρωτικότητα, ο οποίος επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό τη βροχοβαθμίδα (Καλλέργης κ.α., 2002).

Υπολογισμός όγκου νερού

Για τον υπολογισμό του μέσου ετήσιου ύψους κατακρημνισμάτων που δέχεται το σύνολο της λεκάνης απορροής, απαραίτητη είναι η εύρεση του μέσου υψομέτρου της λεκάνης. Έχει υπολογιστεί στην παράγραφο 2.1, ότι το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής ισούται με $H_M = 1158$ m. Έτσι από τη σχέση 6.3 προκύπτει ότι το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων που δέχεται το σύνολο της λεκάνης απορροής για την περίοδο 1984-2004 είναι **859,79** mm.

Ο ετήσιος όγκος νερού κατακρημνισμάτων που δέχεται η λεκάνη απορροής προκύπτει από τη σχέση $V_P=P\cdot E_{o\lambda}$

Όπου V_P : ετήσιος όγκος νερού κατακρημνισμάτων

Ρ : μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων

Ε_{ολ} : εμβαδόν της λεκάνης απορροής

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι ο μέσος ετήσιος όγκος νερού κατακρημνισμάτων που δέχεται η λεκάνη απορροής του φράγματος ανέρχεται σε $V_P = 15.5* \ 10^6 \ m^3$.

6.6.Κατανομή των βροχοπτώσεων

6.6.1 Υπερετήσια πορεία

Τα ετήσια ύψη βροχόπτωσης των βροχομετρικών σταθμών της περιοχής έρευνας παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3 και στο Σχήμα 6.6 παρουσιάζεται η γραφική τους παράσταση.



Σχήμα 6.6: Διακύμανση της ετήσιας βροχόπτωσης στους βροχομετρικούς σταθμούς της περιοχής για την περίοδο 1984 – 2004

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ευρεία διακύμανση των ετήσιων τιμών της βροχόπτωσης. Υψηλότερες βροχοπτώσεις εμφανίζει ο σταθμός της Κλεισούρας και χαμηλότερες ο σταθμός του Άργους Ορεστικού. Τα έτη με τις μεγαλύτερες βροχοπτώσεις είναι το 1990-1991 και ακολουθεί το έτος 2003-2004. Αυξημένες βροχοπτώσεις (μεγαλύτερες της μέσης τιμής) εμφανίζονται κατά την περίοδο 2001-2004. Οι χαμηλότερες βροχοπτώσεις αντιστοιχούν στα υδρολογικά έτη 1984 – 1985 και 1989-1990. Η τελευταία, αυτή περίοδος έχει χαρακτηριστεί από πολλούς ερευνητές ως περίοδος ισχυρής ξηρασίας. (Καλλέργης κ.α. 2002).

6.6.2 Ενδοετήσια πορεία

Παρακάτω παρουσιάζονται ο Πίνακας 6.4 και το διάγραμμα του σχήματος 6.7 με τις μέσες μηνιαίες τιμές των κατακρημνισμάτων στους βροχομετρικούς σταθμούς για την περίοδο 1984-2004.

	0	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ετήσιο
Καστοριά	55,09	75,23	69,15	45,43	45,16	43,06	46,27	57,11	35,72	30,22	21,95	39,73	566,00
Άργος Ορεστικό	61,47	62,59	79,92	43,39	44,06	41,04	49,51	52,30	23,75	28,11	26,25	29,29	543,48
Βογατσικό	61,2	85,8	89,0	52,7	58,1	57,0	48,6	63,7	31,3	30,3	31,5	37,4	649,0
Κλεισούρα	85,35	114,84	127,56	101,00	89,30	91,88	70,68	79,99	42,83	38,57	23,44	46,82	911,05
Λεκάνη απορροής	84,73	109,02	117,76	78,12	76,20	75,02	69,27	81,53	43,04	40,96	33,22	49,36	859,80

Πίνακας 6.4: Μέσες μηνιαίες τιμές των κατακρημνισμάτων στους βροχομετρικούς σταθμούς και τη λεκάνη απορροής για την περίοδο 1984-2004.



Σχήμα 6.7:Μέσο μηνιαίο ύψος βροχής των σταθμών της περιοχής για την περίοδο 1984-2004.

Επίσης στον Πίνακα 6.5 ,που ακολουθεί, δίνεται η μέση μηνιαία και εποχιακή κατανομή των κατακρημνισμάτων εκφρασμένη επί τοις εκατό (%).

	Μηνιαία Ι	Κατανομή								
Μήνας	Ποσοστό (%)		Ποσοστό (%)							
Ιανουάριος	9,1	Ιούλιος	4,8							
Φεβρουάριος	8,9	Αύγουστος	3,9							
Μάρτιος	8,7	Σεπτέμβριος	5,7							
Απρίλιος	8,1	Οκτώβριος	9,9							
Μαϊος	9,5	Νοέμβριος	12,7							
Ιούνιος	5	Δεκέμβριος	13,7							
	Εποχική Ι	Κατανομή								
Εποχή	Μ	έσο ποσοστό (%)							
Χειμώνας		32								
Άνοιξη	26									
Θέρος	Θέρος 14									
Φθινόπωρο		28								

Πίνακας 6.5: Μηνιαία και εποχική κατανομή των βροχοπτώσεων για την χρονική περίοδο 1984-2004.



Σχήμα 6.8 : Μέση ποσοστιαία (%), εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων για την χρονική περίοδο 1984-2004.

Από τα παραπάνω διαγράμματα και πίνακες προκύπτει ότι το μέγιστο μηνιαίο ποσοστό παρουσιάζεται κατά το μήνα Δεκέμβριο (13,7 %), ενώ εξίσου σημαντικό ποσοστό εμφανίζεται και κατά τον μήνα Νοέμβριο. Οι πλέον ξηροί μήνες είναι οι Ιούνιος, Ιούλιος και Αύγουστος.

Τέλος παρατηρείται μια ομοιομορφία αναφορικά με την εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων, με αυτές να κατανέμονται σχεδόν ισόποσα κατά τη διάρκεια του Χειμώνα (32 %), του Φθινοπώρου (28 %) και της Άνοιξης (26 %), ενώ αρκετά σημαντικό είναι και το ποσοστό των βροχοπτώσεων κατά το Θέρος (14 %).

6.7 Εξατμισοδιαπνοή

Αποτελεί σημαντική παράμετρο του υδρολογικού ισοζυγίου και αντιπροσωπεύει τις ποσότητες του νερού που επανέρχονται στην ατμόσφαιρα με τη συνδυασμένη δράση της εξάτμισης και της διαπνοής.

Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που έχουν σχέση με το φυσικό φαινόμενο της εξάτμισης και το φυσιολογικό της διαπνοής. Το γεγονός αυτό την καθιστά τον πιο δυσκολομέτρητο παράγοντα του υδρολογικού ισοζυγίου.

Πολυάριθμοι εμπειρικοί τύποι έχουν προταθεί για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής. Στην παρούσα εργασία γίνεται χρήση των τύπων που έχουν εφαρμογή γεωγραφικά και κλιματικά ευρεία.

Επίσης στην παρούσα εργασία, για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής, χρησιμοποιήθηκαν κλιματολογικά δεδομένα των σταθμών Καστοριάς, Άργους Ορεστικού και Νεστορίου για την κοινή περίοδο 1984-1994. Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι δεν έγινε χρήση των βροχομετρικών δεδομένων του σταθμού του Νεστορίου στον υπολογισμό της βροχοβαθμίδας, που περιγράφεται στο κεφάλαιο 6.4, μιας και δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για την δεκαετία 1995-2005.

Παρακάτω γίνεται επεξεργασία των δεδομένων που αφορούν στη θερμοκρασία του αέρα στην ευρύτερη περιοχή έρευνας.

6.7.1 Θερμοκρασία

Στους παρακάτω Πίνακες 6.9 και 6.10 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες και οι ετήσιες τιμές της θερμοκρασίας, των σταθμών Καστοριάς, Άργους Ορεστικού και Νεστορίου, για τη χρονική περίοδο 1984 –1994 και παρατηρούνται τα εξής:

- Γενικότερα οι τιμές της θερμοκρασίας των σταθμών της Καστοριάς και του Άργους Ορεστικού παρουσιάζονται μεγαλύτερες από αυτές του σταθμού του Νεστορίου γεγονός, το οποίο οφείλεται, κύρια στη διαφορά υψομέτρου που υπάρχει στους παραπάνω σταθμούς
- Η θερμοκρασία της περιοχής κατά τους μήνες Ιανουάριο- Φεβρουάριο κυμαίνεται από 2 έως 3 ⁰C για τους σταθμούς Καστοριάς και Άργους Ορεστικού και 1⁰C λιγότερο για το σταθμό του Νεστορίου. Από τον Μάρτιο μέχρι τον Ιούλιο παρατηρείται μια συνεχής αύξηση αυτής μέχρι τους 23,6-23,7 ⁰C για τους δύο πρώτους σταθμούς και τους 21,6 ⁰C για τον σταθμό του Νεστορίου. Από τον Αύγουστο μέχρι τον Δεκέμβριο παρατηρείται ομαλή μείωση της θερμοκρασίας.
- Ο δείκτης ξηρότητας (I_d) που ορίζεται από τη σχέση $I_d = \frac{P}{(T+10)}$, όπου P

= η μέση ετήσια βροχόπτωση σε mm και Τ η μέση ετήσια θερμοκρασία σε ⁰C, έχει τιμή 22,56 για το σταθμό Άργους Ορεστικού, 23,48 για το σταθμό Καστοριάς και 36,2 για το σταθμό του Νεστορίου.

Ορεστι	Ορεστικού και Νεστορίου για τον χρονικό διαστημά 1984 – 1994.												
ΣΤΑΘΜΟΣ	0	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	M.O.
Άργος Ορεστικό	13,5	7,5	3,1	2,3	3,7	6,9	11,2	16,2	21,2	23,7	23,2	18,7	12,6
Καστοριά	14,2	8,3	3,7	2,8	4,2	8,3	12,8	16,2	20,8	23,6	23,5	18,9	13,1
Νεστόριο	12,0	5,9	1,9	1,2	1,7	5,4	10,2	14,3	19,0	21,6	21,2	17,4	11,0

Πίνακας 6.9 Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες σε ^οC των σταθμών Καστοριάς, Άργους Ορεστικού και Νεστορίου για τον χρονικό διάστημα 1984 – 1994.

Πίνακας 6.10 Μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας για την περίοδο 1984 – 1994.

Έτος	Άργος Ορεστικό 650 m	Καστοριά 631 m	Νεστόριο 950 m
1984-85	12,9	12,6	11,3
1985-86	12,9	12,9	11,4
1986-87	12,3	13,4	10,8
1987-88	13,2	14,0	11,9
1988-89	12,1	12,5	10,5
1989-90	12,6	13,1	11,1
1990-91	12,0	12,2	10,4
1991-92	12,0	13,1	10,2
1992-93	12,6	14,1	11,0
1993-94	14,0	13,1	12,1
1994-95	12,5	12,2	10,1
M.O.=	12,6	13,0	11,0



Σχήμα 6.9: Ιστόγραμμα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας των σταθμών για την χρονική περίοδο 1984-1994.

6.7.2 Σχέση θερμοκρασίας – υψομέτρου

Παρά το γεγονός ότι τόσο ο αριθμός όσο και η κατανομή των σταθμών της περιοχής δεν είναι ομοιόμορφη επιχειρήθηκε η προσαρμογή μιας ευθείας παλινδρόμησης στα δεδομένα της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας αέρα και του υψομέτρου της περιοχής. Έτσι λοιπόν στα δεδομένα των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών των σταθμών (Πίνακας 6.10) προσαρμόστηκε μια ευθεία παλινδρόμησης που συσχετίζει τη μέση ετήσια θερμοκρασία (Θ) με το υψόμετρο (h) των σταθμών (Σχήμα 6.10). Η εξίσωση της ευθείας παλινδρόμησης που προσαρμόζεται στα δεδομένα αυτά εκφράζεται μαθηματικά με την παρακάτω σχέση :



$$\Theta(^{0}C) = 16,67 - 0,006.h(m)$$
 (6,4)

Σχήμα 6.10: Διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας με το υψόμετρο

Η μέση ετήσια θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα γενικά ελαττώνεται μετά του ύψους. Ο ρυθμός αυτός μεταβολής στην περιοχή έρευνας όπως προκύπτει από την εξίσωση της ευθείας έχει μια μέση τιμή 0.6 °C ανά 100 m και αποτελεί τη θερμοβαθμίδα της περιοχής

6.7.3 Υπολογισμός της θερμοκρασίας για τη λεκάνη απορροής

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας της λεκάνης απορροής χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία που εφαρμόσθηκε στην περίπτωση των βροχοπτώσεων. Έτσι, με βάση το μέσο υψόμετρο της λεκάνης και τη θερμοβαθμίδα, η μέση ετήσια τιμή της θερμοκρασίας είναι ίση με 9,7 °C.

ΣΤΑΘΜΟΣ	0	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	M.O.
Άργος Ορεστικό	13,5	7,5	3,1	2,3	3,7	6,9	11,2	16,2	21,2	23,7	23,2	18,7	12,6
Καστοριά	14,2	8,3	3,7	2,8	4,2	8,3	12,8	16,2	20,8	23,6	23,5	18,9	13,1
Νεστόριο	12,0	5,9	1,9	1,2	1,7	5,4	10,2	14,3	19,0	21,6	21,2	17,4	11,0
Λεκάνη Απορροής													
Ρέματος 'Γιάζια'	10,8	4,7	0,4	-0,4	0,7	4,4	8,9	13,1	17,8	20,4	20,1	15,9	9,7

Πίνακας 6.11: Μηνιαία και μέση ετήσια θερμοκρασία για την λεκάνη απορροής του ρέματος 'Γιάζια'

6.7.4 Δυνητική εξατμισοδιαπνοή

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή είναι ένας κλιματικός δείκτης της περιοχής και δείχνει το όριο το οποίο θα μπορούσε να φθάσει η πραγματοποιούμενη διαπνοή, κάτω από τις κλιματικές της συνθήκες, αν υπήρχε προσφορά (τεχνητή) νερού (Σούλιος ,1986).

Για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Thornthwaite (1948). Ο Thornthwaite προτείνει μια εμπειρική σχέση μεταξύ της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του αέρα. Η σχέση αυτή έχει παρακάτω μορφή:

$$E_{p} = 16 * (10 * \frac{T}{I})^{\alpha}$$
(6.5)

$$a = 6.75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7.71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 0.01792 \cdot I + 0.49239$$
(6.6)

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$
 (6.7)

όπου: E_p : η μέση μηνιαία τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής σε mm

Τ: η μέση μηνιαία θερμοκρασία σε °C

Ι: ο ετήσιος θερμικός δείκτης

Για τον υπολογισμό της E_{Δ} εισάγεται και ένας διορθωτικός παράγοντας (n), στον οποίο υπεισέρχονται τόσο ο αριθμός των ημερών κάθε μήνα όσο και των πραγματικών ωρών μεταξύ ανατολής και δύσης του ηλίου, ο οποίος και εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του σταθμού.

Στον Πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου για την λεκάνη απορροής του ρέματος 'Γιάζια'.

	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	A	Σ	0	N	Δ	Σ/M.O.
P (mm)	78,12	76,20	75,02	69,27	81,53	43,04	40,96	33,22	49,36	84,73	109,02	117,76	859,80
T ⁰ C	0,0	0,7	4,4	8,9	13,1	17,8	20,4	20,1	15,9	10,8	4,7	0,4	9,8
i	0,00	0,05	0,82	2,40	4,28	6,85	8,42	8,24	5,74	3,19	0,92	0,02	40,94
Ep	0,0	2,2	17,3	39,0	60,3	86,0	100,5	98,8	75,2	48,3	18,9	1,1	
n	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81	
Ер	0,0	1,8	17,8	43,2	74,8	107,5	127,6	116,6	78,3	46,3	15,7	0,9	630,5

Πίνακας 6.12 : Μέση μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm) κατά Thornthwaite για την λεκάνη απορροής του ρέματος 'Γιάζια'

6.7.5 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή

Για την κατάρτιση του υδρολογικού ισοζυγίου απαιτείται η γνώση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Για τον υπολογισμό της ακολουθήθηκαν οι παρακάτω τρόποι:

A. Τύπος Turc

Ο Ture (1954), εργάστηκε σε περίπου 250 λεκάνες στη Μεσόγειο, και προσδιόρισε μια σχέση μεταξύ της πραγματικής ετήσιας εξατμισοδιαπνοής (Er) σε σχέση με το μέσο ετήσιο ύψος βροχής (P) και τη μέση ετήσια θερμοκρασία (T) που δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$E = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$
 (6.8)

$$L = 300 + 25 \cdot T + 0.05T^3 \qquad (6.9)$$

Ο τύπος του Turc δεν λαμβάνει υπόψη τη βλάστηση, που αποτελεί σημαντικό παράγοντα και συνήθως δίνει αυξημένες τιμές εξατμισοδιαπνοής. Κατά κανόνα δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα μόνο σε περιοχές με υψηλές βροχοπτώσεις και χαμηλή μέση ετήσια θερμοκρασία (Σούλιος, 1985). Επίσης είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί αντί της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας η διορθωμένη θερμοκρασία (T_{Δ}) δηλ.

$$T_{\Delta} = \frac{P_1 \cdot T_1 + P_2 \cdot T_2 + \dots + P_{12} \cdot T_{12}}{P_{O\lambda}}$$
(6.10)

όπου: P_1 , P_2 ,..., P_{12} τα μηνιαία ύψη κατακρημνισμάτων και T_1 , T_2 ,..., T_{12} οι αντίστοιχες μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες.

Στον Πίνακα 6.13, που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του τύπου του Turc τόσο με την μέση ετήσια (T) όσο και με τη διορθωμένη θερμοκρασία (T_{Δ}).

Λεκάνη	Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm)	Τ	Er	Συντελεστής	TΔ	Er	Συντελεστής (TΔ)
Απορροης	859,8	9,8	494,65	57,5%	7,69	447,46	52,0 %
		-		-			

Πίνακας 6.13: Μέση ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή κατά Turc (1984 – 2004)

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο του Ture στη λεκάνη απορροής της υπό μελέτη περιοχής προκύπτει ότι ο συνολικός όγκος νερού που εξατμίζεται, χρησιμοποιώντας τη πραγματική θερμοκρασία, ετησίως αντιστοιχεί σε μέσο συντελεστή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ίσο με 57,5 % ενώ χρησιμοποιώντας την διορθωμένη αντιστοιχεί σε μέσο συντελεστή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ίσο με 52,0 %.

B. Τύπος Coutagne

O Coutagne (1954) διατύπωσε την παρακάτω εμπειρική σχέση:

$$E_r = P - \lambda \cdot P^2 \qquad (6.11)$$
$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14 \cdot T} \qquad (6.12)$$

όπου Er και P είναι εκφρασμένα σε m.

Η σχέση του Coutagne ισχύει για ύψος βροχόπτωσης P που ικανοποιεί την παρακάτω συνθήκη:

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda} \tag{6.13}$$

Εάν τα κατακρημνίσματα είναι μικρότερα από 1/8λ η εξατμισοδιαπνοή είναι ίση με τα κατακρημνίσματα και δεν υπάρχει απορροή. Όταν είναι μεγαλύτερα από 1/2λ η εξατμισοδιαπνοή είναι πλέον ανεξάρτητη από αυτά και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E = 0.2 + 0.035 \cdot T \tag{6.14}$$

Η μέθοδος του Coutagne εφαρμόσθηκε στους σταθμούς της περιοχής έρευνας. Οι τιμές που προκύπτουν δίνονται στον Πίνακα 6.14.

1117 0.1109 0.1		spoolin	ogoupu	00010			51 2001)
Λεκάνη	Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm)	Т	Er	Συντελεστής	T_{Δ}	Er	Συντελεστής (τΔ)
Απορροης	859,8	9,8	518,4	60.3 %	7,7	465,6	54,2 %

Πίνακας 6.14: Μέση ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή κατά Coutagne (1984 – 2004)

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο του Coutagne στη λεκάνη απορροής της υπό μελέτη περιοχής προκύπτει, ότι ο συνολικός όγκος νερού που εξατμίζεται, χρησιμοποιώντας την πραγματική θερμοκρασία αντιστοιχεί σε μέσο συντελεστή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ίσο με 60.3 % ενώ χρησιμοποιώντας την διορθωμένη αντιστοιχεί σε μέσο συντελεστή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ίσο με 54,2 %.

Γ. Μέθοδος Thornthwaite – Mather

Για τον υπολογισμό της πραγματικής (Er) εξατμισοδιαπνοής από την δυνητική (E_p) συντάχθηκε το ισοζύγιο κατά Thornthwaite που περιγράφεται παρακάτω:

Αν η βροχόπτωση (P) υπερβαίνει την E_{ρ} τότε η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ισούται με την δυνητική, (Er= E_{ρ}). Η διαφορά της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής από την βροχόπτωση αποθηκεύεται στο έδαφος μέχρις ότου κορεσθεί από υγρασία.

Όσον αφορά τον καθορισμό της μέγιστης αποθηκευτικής ικανότητας R, αυτή εξαρτάται κυρίως από την κοκκομετρική – λιθολογική σύσταση των εδαφών, την πυκνότητα και το είδος της βλάστησης, το βάθος της στάθμης του υδροφόρου στρώματος, την επιφάνεια του εδάφους και την εδαφική κλίση.

Από πειράματα και σχετικούς υπολογισμούς που έγιναν θεωρήθηκε ότι η ικανότητα κατακράτησης νερού από το έδαφος, στην περιοχή των ριζών των φυτών, ισοδυναμεί με 100 mm (Thornthwaite-Mather, 1955).

Σύμφωνα με τον Παπούλια (1974), για εδάφη ¨μέσης ¨ κοκκομετρικής συστάσεως, σε βάθος 50-70 cm, αντιστοιχεί μέση αποθηκευτική ικανότητα 100 mm.

Σύμφωνα με τον Σούλιο (1985), για συνήθεις λεκάνες μέσης φυσιογραφίας, χρησιμοποιείται η τιμή των 100 mm, η οποία δίνει γενικά καλά αποτελέσματα.

Στην περίπτωσή μας για τη μέγιστη αποθηκευτική ικανότητα της λεκάνης της υπό μελέτη περιοχής χρησιμοποιήθηκε η τιμή 80 mm.

Αν οι μηνιαίες βροχοπτώσεις είναι μικρότερες από την Ερ τότε η Εr είναι ίση με το άθροισμα των βροχοπτώσεων και της $|\Delta R|$. Το ΔR εκφράζει τη μεταβολή του νερού που υπάρχει στο έδαφος από μήνα σε μήνα. Οι παραπάνω υπολογισμοί αρχίζουν από το μήνα Ιανουάριο, κατά τον οποίο το έδαφος έχει ικανοποιήσει τις ανάγκες σε νερό.

Για την εφαρμογή της μεθόδου Thornthwaite - Mather στη λεκάνη απορροής της μελετώμενης περιοχής χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας του Πίνακα 6.9 καθώς και οι μέσες μηνιαίες τιμές των κατακρημνισμάτων του Πίνακα 6.4. Για την παράμετρο της θερμοκρασίας τα δεδομένα σε μια περίοδο της τάξης των 10 ετών, ο μέσος όρος κυμαίνεται ανάμεσα στα όρια ($\mu=\pm$ 0.5 σ), όπου $\mu=$ μέση τιμή και σ = τυπική απόκλιση. Το

γεγονός αυτό επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν με σημαντική στατιστική ακρίβεια δεδομένα διαφορετικών χρονικών περιόδων (Καλλέργης 2002).

Τα αποτελέσματα της μεθόδου παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.15 που ακολουθεί.

την λεκάνη απορροής του ρέματος Τιάζια΄ (χρονική περίοδος 1984 - 2004)													
Λεκάνη Απορροής					R=	80	α =	1.143	Συντ. Πρ. εξατμισ.				51,8%
	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	0	N	Δ	Σ/M.O.
T ⁰ C	0,0	0,7	4,4	8,9	13,1	17,8	20,4	20,1	15,9	10,8	4,7	0,4	9,8
i	0,00	0,05	0,82	2,40	4,28	6,85	8,42	8,24	5,74	3,19	0,92	0,02	
Σi =I													40,94
Ep	0,0	2,2	17,3	39,0	60,3	86,0	100,5	98,8	75,2	48,3	18,9	1,1	
n	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81	
Ер	0,0	1,8	17,8	43,2	74,8	107,5	127,6	116,6	78,3	46,3	15,7	0,9	630,5
P (mm)	78,1	76,2	75,0	69,3	81,5	43,0	41,0	33,2	49,4	84,7	109,0	117,8	858,2
Er	0,0	1,8	17,8	43,2	74,8	87,3	64,6	41,1	50,7	46,3	15,7	0,9	444,2

35,7

-44,3

20,2

0,0

12,1

-23,7

63,0

0,0

4,3

-7,8

75,5

0,0

3,0

-1,3

27,6

0,0

41,4

38,4

0,0

0,0

80,0

38,6

0,0

54,7

80,0

0,0

0,0

116,8

45,2%

414,1

80,0

0,0

0,0

6,7

R

ΔR

Έλλ. Νερού D

Πλεόνασμα

νερού Q

80,0

0,0

0,0

0,0

0,0

80,0 80,0 80,0

0,0

0,0

78,1 74,4 57,2 26,0

0,0

0,0

Πίνακας 6.15: Μέση μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm) κατά Thornthwaite για την λεκάνη απορροής του ρέματος 'Γιάζια' (χρονική περίοδος 1984 - 2004)



Σχήμα 6.11 Υδρολογικό ισοζύγιο κατά Thornthwaite -Mather για την λεκάνη απορροής του ρέματος 'Γιάζια'. (1) αναπλήρωση του νερού του εδάφους + κατείσδυση + απορροή, (2) πραγματική έλλειψη νερού, (3) χρησιμοποίηση της υγρασίας του εδάφους για εζάτμιση

6.7.6 Αξιολόγηση των διαφόρων μεθόδων

Σχετικά με τη χρησιμοποίηση των εμπειρικών τύπων των Turc και Coutagne, ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής δε μπορεί παρά να είναι προσεγγιστικός. Κι' αυτό γιατί στον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (Er) παρεμβαίνουν μόνο η μέση ετήσια θερμοκρασία και τα μέσα ετήσια κατακρημνίσματα, με συνέπεια το αποτέλεσμα να εμπεριέχει σφάλματα, τα οποία προέρχονται από μια σειρά άλλες παραμέτρους που δε λαμβάνονται υπόψη.

Οι τιμές του συντελεστή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής που προέκυψαν με εφαρμογή των τύπων του Turc και του Coutagne παρουσιάζονται αρκετά πιο υψηλές σε σχέση με αυτές που προκύπτουν με τη μέθοδο Thornthwaite – Mather.

Η μέθοδος των Thornthwaite – Mather θεωρείται ότι δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα και αυτό γιατί λαμβάνει υπόψη της, τόσο τη μέση ετήσια θερμοκρασία και τα μέσα ετήσια κατακρημνίσματα, όσο και την φύση των πετρωμάτων και την χλωρίδα της περιοχής.

6.8 Κατείσδυση

Η διαφορά της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα αποτελεί το πλεόνασμα νερού και αντιπροσωπεύει εκείνες τις ποσότητες του νερού που αντιστοιχούν στην απορροή και την κατείσδυση. Η κατείσδυση αντιπροσωπεύει το μέρος εκείνο των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους και φθάνοντας στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, προστιθέμενο στα αποθέματα των υπογείων νερών, μετέχει στις κινήσεις των τελευταίων (Σούλιος, 1986).

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την κατείσδυση είναι :

- Η κλίση του εδάφους. Ο παράγοντας αυτός δρα αποφασιστικά τόσο στον καθορισμό των υδάτων που κατεισδύουν όσο και αυτών που απορρέουν επιφανειακώς. Σε πεδινές περιοχές, όπου η κλίση είναι ελάχιστη ή μηδενική η βροχόπτωση κατανέμεται μεταξύ εξατμισοδιαπνοής και κατείσδυσης. Αντίθετα σε σημαντικά κεκλιμένα εδάφη, κυρίως μη ασβεστολιθικά, η βροχόπτωση κατανέμεται σχεδόν μεταξύ εξατμισοδιαπνοής και επιφανειακής απορροής. Η μέση κλίση Ρ = 40,4 % της λεκάνης απορροής του ρέματος 'Γιάζια' είναι μεγάλη και ευνοεί την απορροή.
- Η φυτοκάλυψη των εδαφών. Η φυτοκάλυψη συγκρατεί το νερό των βροχοπτώσεων και διευκολύνει την κατείσδυση αλλά από την άλλη μεριά επαναφέρει το νερό των βροχοπτώσεων στην ατμόσφαιρα μέσω της διαπνοής. Γενικά η δράση της φυτοκάλυψης θεωρείται ότι ευνοεί την κατείσδυση (Σούλιος, 1975)
- Η λιθολογική σύσταση του εδάφους και ως συνέπεια αυτής η δημιουργούμενη υγρασία αυτού.
- Η ένταση των βροχοπτώσεων.
Μέτρο της κατείσδυσης είναι ο συντελεστής κατείσδυσης (Ι), ο οποίος εκφράζει το ποσοστό του νερού που κατεισδύει σε σχέση με την ολική βροχόπτωση.

Ο ενιαίος συντελεστής κατείσδυσης (Ι) βρίσκεται από τον τύπο :

$$I = \frac{I_1 * E_1 + I_2 * E_2 + \dots \dots I_n * E_n}{E_{OA}}$$
(6.15)

ópou: $I_1, I_2, I_3, \ldots, I_n$: oi merikoí katá gewl. schuatismó suntelestés

 $E_1, E_2, E_3....E_n$: οι επιφάνειες εμφανίσεως των σχηματισμών αυτών

Ε₀Λ: η ολική επιφάνεια της λεκάνης

Κατόπιν ψηφιοποιήσεως της λεκάνης απορροής του ρέματος 'Γιάζια' υπολογίστηκαν τα εξής εμβαδά :

- E_1 =17,05 Km² το οποίο αντιστοιχεί στην συνολική επιφάνεια εμφάνισης των μεταμορφωμένων πετρωμάτων (σχιστολίθων και γνευσίων)

- $E_2=1,05 \text{ Km}^2$ το οποίο αντιστοιχεί στην συνολική επιφάνεια των τεταρτογενών αποθέσεων.

Οι μικρές οφειολιθικές εμφανίσεις συνυπολογίστηκαν με αυτές των μεταμορφωμένων σχηματισμών.

Όσον αφορά τον συντελεστή ενεργής κατείσδυσης στα μεταμορφωμένα πετρώματα των μαρμαρυγιακών σχιστολίθων, γρανιτογνευσίων και άλλων παρεμφερών πετρωμάτων αυτός κυμαίνεται μεταξύ 3-7% (Σούλιος, 1979).

Ο παραπάνω συντελεστής στην περίπτωση των προσχωσιγενών γενικά περιοχών κυμαίνεται μεταξύ 10-25 % (Σούλιος, 1979).

Ο Βαφειάδης,(1983) μελετώντας την γειτονική λεκάνη της Καστοριάς, θεωρεί αντιπροσωπευτική την τιμή 17 % για τον συντελεστή κατείσδυσης στις τεταρτογενείς αποθέσεις.

Στην παρούσα εργασία ,λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, θεωρούμε : - $I_1=5\%$, για τα μεταμορφωμένα πετρώματα της περιοχής και

- $I_2 = 17$ %, για τις τεταρτογενείς αποθέσεις.

Έτσι από την σχέση (6.15) προκύπτει : I_{OA} = 5,7 %

6.9 Επιφανειακή απορροή

Με τον όρο επιφανειακή απορροή ορίζεται το τμήμα εκείνο του νερού των κατακρημνισμάτων που μόλις πέσει στην επιφάνεια του εδάφους ρέει επιφανειακά και εισέρχεται στο υδρογραφικό σύστημα της περιοχής από το οποίο απάγεται οδηγούμενο τελικά στη θάλασσα (ή σε λίμνη) όπου εκχύνεται (Σούλιος, 1986).

Στην περίπτωσή μας η λεκάνη απορροής του ρέματος 'Γιάζια' αποτελείται σχεδόν στο σύνολό της από γνευσίους, σχιστολίθους (μεταμορφωμένα πετρώματα του παλαϊοζωικού υποβάθρου). Τα πετρώματα αυτά θεωρούνται γενικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί, γι' αυτό και έχουν σχετικά μεγάλο συντελεστή απορροής. Ο συντελεστής επιφανειακής απορροής που παρουσιάζουν οι σχηματισμοί κυμαίνεται μεταξύ 15-45 % (Σούλιος, 1986).

Συγκεκριμένα όπως προέκυψε από το ισοζύγιο Thornthwaite – Mather ο συντελεστής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής Er, για το σύνολο της λεκάνης

απορροής του ρέματος 'Γιάζια' είναι 51,8 % του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης. Το υπόλοιπο αντιστοιχεί στο πλεόνασμα νερού Q και συγκεκριμένα στην κατείσδυση I και την επιφανειακή απορροή R. Με δεδομένο ότι η κατείσδυση, όπως υπολογίστηκε παραπάνω, αντιστοιχεί στο 5,7% του ύψους της βροχόπτωσης, προκύπτει ότι ο συντελεστής επιφανειακής απορροής είναι της τάξεως του 42,5 % του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης.

6.10 Προσεγγιστικό υδρολογικό ισοζύγιο

Με βάση την παραπάνω ανάλυση προκύπτει το παρακάτω προσεγγιστικό ισοζύγιο νερού για την περιοχή μελέτης. Εδώ πρέπει να τονισθεί, πως το ισοζύγιο αυτό αναφέρεται στα επιφανειακά νερά της περιοχής (Πίνακας 6.16).

Πίνακας 6.16 Προσεγγιστικό ισοζύγιο ύδατος για την λεκάνη απορροής του ρέματος Γιάζια' (χρονική περίοδος 1984 – 1994)

	P	E	Q
Ύψος νερού (mm)	859,79	445,37	414,41
Όγκος (m ³)	15,5.10 ⁶	8,0.10⁶	7,5.10 ⁶
Ποσοστό %	100	51,8	48,2

6.11 Υπολογισμός πλημμυρικών παροχών

Το μέγεθος αυτό των πλημμυρικών παροχών έχει μεταβολές μέσα στο χώρο που είναι συνάρτηση γεωλογικών – κλιματικών – μορφολογικών παραγόντων αλλά έχει και μεταβολές μέσα στο χρόνο που είναι συνάρτηση της χρονοσειράς του μεγέθους των κατακρημνισμάτων. Πραγματικά, όταν μια βροχή έχει μεγάλη ένταση και ιδιαίτερα όταν έχει και μεγάλη διάρκεια προκαλεί ραγδαία αύξηση της παροχής των φυσικών ρευμάτων νερού. Προκαλεί δηλαδή «πλημμυρικές παροχές», των οποίων το σημείο αιχμής μπορεί υπό συνθήκες να παίρνει ακρότατες τιμές. Για τη σχεδίαση υπερχειλιστών σε φράγματα είναι σκόπιμο και αναγκαίο να μπορούμε να γνωρίζουμε τις ακρότατες τιμές των πλημμυρικών παροχών.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις ακραίες τιμές των πλημμυρικών παροχών είναι η ένταση της βροχόπτωσης, η διάρκεια της (αν η τελευταία είναι μικρότερη του χρόνου συγκέντρωσης), το εμβαδόν της λεκάνης απορροής, το γεωμετρικό σχήμα της λεκάνης, η γεωλογική σύσταση και μορφολογία (μέση κλίση) και η επέμβαση του ανθρώπου με διάφορα έργα (διευθετήσεις χειμάρρων, ποταμών, κατασκευή φραγμάτων) καλλιέργεια, πολεοδομία.

Για τον υπολογισμό των πλημμυρικών παροχών υπάρχουν οι εμπειρικές και οι στατιστικές μέθοδοι υπολογισμού. Στην περίπτωση μας επειδή τα μετεωρολογικά δεδομένα που τίθενται για τον προσδιορισμό της μέγιστης παροχής είναι ελλιπή, η χρήση των εμπειρικών τύπων αποτελεί τη μόνη δυνατότητα προσέγγισης της πιθανής μέγιστης απορροής. Υπάρχουν πολλοί τύποι στους οποίους συνδυάζονται πολλά χαρακτηριστικά των λεκανών, της βροχόπτωσης, του χρόνου συρροής κ.α. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η ορθολογική μέθοδο Giandotti και η μέθοδος Fuller. Παρακάτω υπολογίζονται τα βασικά μεγέθη που εισέρχονται στις παραπάνω μεθόδους.

Περίοδος επαναφοράς (T): Είναι λογικό ότι ορισμένες μεγάλες εντάσεις βροχόπτωσης έχουν κάποια διάρκεια επανάληψης (1,10,50,100 έτη). Υπάρχει μια μέγιστη ένταση παρατηρούμενη ανά δεκαετία, μια άλλη μέγιστη (προφανώς μεγαλύτερη β) παρατηρούμενη ανά πενηντακοετία κλπ. Είναι έτσι προφανές ότι σε μια λεκάνη ανάλογα με τη διάρκεια επανάληψης (1,10,50,100 κλπ) θα έχουμε μια μέγιστη τιμή της πλημμυρικής παροχής. Η τιμή αυτή είδαμε ότι σε γενικές γραμμές αυξάνεται γραμμικά με το λογάριθμο της διάρκειας επανάληψης. Η περίοδος της κρίσιμης βροχόπτωσης ελήφθη για την περίπτωσή μας T=1 έτος, 10,50,100 έτη, συνυπολογίζοντας ταυτόχρονα και τη διάρκεια ζωής των φραγμάτων που είναι 70~80 έτη.

Συντελεστής απορροής (c): ο συντελεστής απορροής εκφράζει την αναλογία της μέγιστης δυνατής παροχής προς την ένταση βροχής και συνεπώς προσδιορίζει το ποσοστό της έντασης βροχής Ι, που αντιπροσωπεύει το μέγεθος αιχμής της απορροής. Ο συντελεστής c δεν είναι σταθερός για την ίδια λεκάνη, γιατί εξαρτάται από την ένταση της βροχής και την υγρασία του εδάφους, επειδή δε οι παράγοντες αυτοί δεν μπορούν να εκτιμηθούν, ο c δίνεται από πίνακες, που τον εκφράζουν, με βάση όλους τους λοιπούς παράγοντες διαμόρφωσης τους. Υπάρχουν πίνακες που δίνουν τις τιμές c για φυσικές, τεχνητές, καλλιεργήσιμες και κατοικημένες περιοχές.(Στεφανίδης, 2004)

Για την περιοχή μας ελήφθη η τιμή 0,30 που αντιπροσωπεύει δασωμένες επιφάνειες (ανάλογα με το έδαφος και την κλίση).

Εμβαδόν λεκάνης (Fc): Οι περισσότεροι εμπειρικοί τύποι υπολογισμού των πλημμυρικών παροχών εφαρμόζονται σε απλές λεκάνες που έχουν μία κύρια κεντρική κοίτη χωρίς τυχόν ισότιμες διακλαδώσεις. Όπως προέκυψε από την ψηφιοποίηση της λεκάνης απορροής του ρέματος 'Γιάζια',το εμβαδόν αυτής είναι 18,09 Km², το μέσο υψόμετρο είναι 1158 m και το μέγιστο μισγάγγειο για το σύνολο της λεκάνης έχει μήκος 7,55 Km.

Χρόνος συγκέντρωσης (t_c): Όταν βρέχει σε μια λεκάνη, τότε τα νερά της επιφανειακής απορροής φέρονται βαθμιαία προς την έξοδο στην οποία φθάνουν πρώτα αυτά που έρχονται από τα κοντινά της σημεία, μετά από τα αμέσως επόμενα και στο τέλος από τα ακραία. Ο χρόνος t_c που απαιτείται για να φθάσουν στην έξοδο της λεκάνης μόρια του νερού που ξεκινούν απορρέοντα από τα ακρότατα σημεία της λεκάνης ονομάζεται χρόνος συρροής. Για τον υπολογισμό του χρόνου συρροής χρησιμοποιήθηκε ο τύπος του Giandotti, που δίνει το άθροισμα του χρόνου ροής στην επιφάνεια των κλιτύων και του χρόνου διαδρομής μέσα στην κοίτη του ρεύματος.

$$t_c = \frac{4 * \sqrt{E + 1.5 * L}}{0.8 * \sqrt{(H - h)}}$$
(6.16)

όπου t_c : χρόνος συγκέντρωσης (h)

- Ε: επιφάνεια της λεκάνης (km²)
- L: μήκος του μεγαλύτερου μισχάγγειου (km)
- Η: μέσο υψόμετρο λεκάνης απορροής
- h: υψόμετρο πυθμένα κοίτης στο σημείο εξόδου της λεκάνης

Από τον τύπο 6,16 προκύπτει ότι ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης είναι ίσος με t_c=1,86 h ή 1 h 51min.

Ένταση βροχόπτωσης (P_i): Για τον υπολογισμό της κρίσιμης έντασης της βροχόπτωσης ελήφθη η παρακάτω σχέση :

$$P_i = (30 * \log T + 15) * t_c^{-0.60}$$
(6,17)

όπου P_i : ένταση βροχόπτωσης (mm/h)

Τ: περίοδος επανάληψης σε έτη

 t_c : χρόνος συγκέντρωσης σε (h).

Τα αποτελέσματα για τις τέσσερις περιόδους επανάληψης δίνονται στον παρακάτω Πίνακα (6.17).

Πίνακας 6.17 : Αποτελέσματα έντασης βροχόπτωσης για τις τέσσερις περιόδους επανάληψης

Τ (έτη)	Pi (mm/h)
1	10,34
10	31,01
50	45,46
100	51,68

Στα παραπάνω υπολογισθέντα στοιχεία θα βασιστούμε για να βρούμε τη συνολική πλημμυρική παροχή στην έξοδο της λεκάνης.

A) Ορθολογική μέθοδος: Η μέθοδος στηρίζεται στ'ότι η μέγιστη τιμή της απορροής σχηματίζεται, όταν το νερό από όλα τα σημεία της λεκάνης θα φθάσει στην έξοδο της. Συνεπώς η απορροή αποτελεί ένα συγκεκριμένο ποσοστό της έντασης της βροχής που την προκαλεί και εκφράζεται με την σχέση:

$$Q_{MAX} = 0,278 * E * P_i * c \tag{6.18}$$

Όπου Q: πλημμυρική παροχή (m³/sec)

c: συντελεστής απορροής (0,3)

Pi: η ένταση της βροχόπτωσης (mm/h)

E: εμβαδόν λεκάνης (km^2)

Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών δίνονται στον παρακάτω Πίνακα

2					
Λεκάνη απορροής του Φράγματος	Τ (έτη)	P _i (mm/h)	$Q_{MAX}(m^3/sec)$		
	1	10,34	15,6		
	10	31,01	46,78		
	50	45,46	68,59		
	100	51,68	78		

Πίνακας 6.18 : Αποτελέσματα πλημμυρικών παροχών με την ορθολογική μέθοδο.

B) Μέθοδος Fuller: Η μέθοδος Fuller υπολογίζει την πλημμυρική παροχή βάσει της περιόδου επανάληψης και του εμβαδού της λεκάνης. Δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q_{\text{max}} = Q_M * (1+0.8 \log T) * (1 + \frac{2.66}{E^{0.3}})$$
 (6.19)

Όπου Ε : η έκταση της λεκάνης (km^2)

Τ : περίοδος επανάληψης (έτη)

Q : η παροχή υπολογισμού (m³/sec)

 Q_M : η « μέση » πλημμυρική παροχή που αντιστοιχεί σε πλημμυρική παροχή με συχνότητα επανάληψης T=1 έτος και δίνεται από τον τύπο:

$$Q_M = 1.8 * E^{0.8} \tag{6.20}$$

Τα αποτελέσματα της μεθόδου δίνονται στον παρακάτω πίνακα (6.19):

	Τ (έτη)	Q _{max} (m ³ /sec)
	1	38,62
	10	69,51
του φραγματός	50	91,1
	100	100,4

Πίνακας 6.19 : Αποτελέσματα πλημμυρικών παροχών με τη μέθοδο Fuller.

Οι πλημμυρικές παροχές με την μέθοδο Fuller είναι 38,62 m³/sec για T=1 έτος, 69,51 m³/sec για T=10 έτη, 91,1m³/sec για T=50 έτη και 100,4 m³/sec για T=100 έτη.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της μεθόδου Fuller και της ορθολογικής μεθόδου υπάρχει διαφορά στις τιμές από 22,3% έως 59,6%. Η μεγαλύτερη απόκλιση εμφανίζεται για μικρή περίοδο επανάληψης T=1 έτος.

7. Μελέτη σεισμικού κινδύνου στην περιοχή

7.1. Στοιχεία του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού

Με την συνεργασία των αρμόδιων σεισμολογικών φορέων της χώρας μελετήθηκε η σεισμική επικινδυνότητα όλης της χώρας μας. και κατασκευάστηκε και προτάθηκε ο αντίστοιχος χάρτης για όλη την Ελλάδα. Στη μελέτη αυτή η Ελλάδα χωρίζεται σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας Ι, II, III ανάλογα με τη σεισμική δραστηριότητα που ιστορικά έχει παρατηρηθεί σε κάθε μία από αυτές.



Σχήμα 7.1: Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας (ΕΑΚ, 2000).

Σύμφωνα με τον ισχύοντα αυτό κανονισμό για κάθε μία από τις τρεις ζώνες έχει προταθεί και μία τιμή σεισμικής επιτάχυνσης σχεδιασμού που αναφέρεται σε πιθανότητα υπέρβασης 10 % για τα επόμενα χρόνια.

Πίνακας 7.1: Σεισμική επιτάχυνση σχεδιασμοι) κατά τ	ov EAF	ί
Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	Ι	II	III
Επιτάχυνση σχεδιασμού (ποσοστό επιτάχυνσης βαρύ- τητας g)	0,16	0,24	0,36

Τα σεισμολογικά ιστορικά δεδομένα για την ευρύτερη περιοχή μελέτης την κατατάσσουν στη ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας Ι. Η ζώνη αυτή περιλαμβάνει τις περιοχές της Ελλάδας με την μικρότερη σεισμική δραστηριότητα. Το πιο πρόσφατο σεισμικό γεγονός που συνέβη κοντά στη περιοχή του φράγματος είναι η ακολουθία των σεισμών των Γρεβενών (13 Μαΐου 1995), με τον κύριο σεισμό να έχει μέγεθος $M_s = 6,5$ και επικεντρική απόσταση 64 km από τη θέση του φράγματος. Σε σχέση με την απόστασή τους από το σεισμογόνο ρήμα η Κοζάνη απέχει 23 km και τα Γρεβενά 5 km.

7.2 Σεισμικότητα της περιοχής

Με βάση τον επίσημο κατάλογο που δημοσιεύτηκε από το εργαστήριο Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. και που περιλαμβάνει όλους τους καταγεγραμμένους σεισμούς από το 1901 μέχρι το 2004, υπολογίστηκε ο ετήσιος αριθμός των σεισμών με $M_s \ge 4.5$ της κλίμακας Richter, η μέση περίοδος επανάληψής τους και τέλος κατασκευάστηκε ο χάρτης κατανομής των σεισμικών επικέντρων του σχήματος 7.3.

Σύμφωνα με τον νόμο των Gutenberg- Richter ο αριθμός των σεισμών από ορισμένο μέγεθος και πάνω που συμβαίνουν σε μία περιοχή κατά τη διάρκεια ορισμένου χρονικού διαστήματος συνδέονται με γραμμική σχέση με το μέγεθος των σεισμών με τη σχέση :

$$\log N = \alpha_{\kappa} - b.M \tag{7,1}$$

όπου α_κ, b παράμετροι.

Συνήθως ανάγουμε την α_{κ} για χρονικό διάστημα ενός έτους σύμφωνα με τη σχέση: $\alpha = \alpha_{\kappa}$ - logκ (7,2) Όπου κ είναι το χρονικό διάστημα για το οποίο έχουμε δεδομένα, οπότε

η σχέση 7,1 γράφεται : $logN = \alpha - b.M$ (7,3)

Μέτρα της σεισμικότητας είναι μεταξύ άλλων ο μέσος ετήσιος αριθμός των σεισμών Ν και η μέση περίοδος επανάληψης. Ο μέσος ετήσιος αριθμός των σεισμών που έχουν μέγεθος Μ ή μεγαλύτερο δίνεται από τη σχέση (Gutenberg, Richter, 1944)

$$N = \frac{10^{\alpha}}{10 \ bM} \tag{7,4}$$

evó h mésh períodoc epanálhyhc, T_m (se éth), two seismán aután dívetai

από την σχέση
$$T_m = \frac{10^{-6M}}{10^{-\alpha}}$$
(7,5)

Με τη βοήθεια των ελαχίστων τετραγώνων προσδιορίσθηκαν οι τιμές των συντελεστών α_{κ} και b της γραφικής παράστασης του logN σε συνάρτηση με το M



Σχήμα 7,2: Μεταβολή του μεγέθους των σεισμών συναρτήσει του λογαρίθμου της αθροιστικής συχνότητας των σεισμών

Με τη βοήθεια της σχέσης 7,5 καταρτίστηκε ο παρακάτω πίνακας της περιόδου επανάληψης σεισμών με μέγεθος μεταξύ 4 και 6,5 βαθμών της κλίμακας Richter.

Πινακάς 7.2. Μεγεύη σεισμών και περίσσος επαναλήψης						
Μ	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
Tm	2,3	5,9	15,5	40,2	107,7	272,3

Πίνακας 7.2: Μεγέθη σεισμών και περίοδος επανάληψης

Από τον πίνακα αυτό προκύπτει ότι η περίοδος επανάληψης ενός σεισμού 6,5 βαθμών της κλίμακας Richter είναι 272,3 χρόνια.



Σχήμα 7.3:Χάρτης κατανομής σεισμικών επικέντρων στον ευρύτερο χώρο του φράγματος

Δεν έχουμε πληροφορίες για τιμές επιταχύνσεων όμως είναι σαφές ότι η σεισμικότητα της περιοχής είναι περιορισμένη.

<u>ПАРАРТНМА</u>



Ψηφιακή Βιβλίοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης απορροής του ρέματος Γιάζια.











<u>Υπόμνημα</u>



Αποσαθρωμένος σχιστόλιθος



Βραχομάζα καλλυμμένη με εδαφική γη



Ποτάμιες αποθέσεις κοίτης



Ποταμοχειμάρρειες αλλουβιακές αποθέσεις



Εξαλλοιωμένος σχιστόλιθος



Υγιής σχιστόλιθος

Χαλαζίτες

Γεωλογικό όριο

Ρήγμα



Διεύθυνση κλίσης και γωνία κλίσης των πετρωμάτων









<u>Περιεχόμενα</u>

1. Εισαγωγή	1
2. Λεκάνη απορροής του φράγματος	3
2.1. Γεωγραφικά-Γεωμορφολογικά στοιχεία, υδρογραφικό δίκτυο	3
2.2 Γεωλογικά στοιχεία	10
2.3 Υδρογεωλογικά στοιχεία	13
3. Η λεκάνη κατάκλυσης του φράγματος	15
3.1 Γεωμορφολογικά στοιχεία	15
3.2 Γεωλογικά στοιχεία	19
3.3 Υδρογεωλογικά στοιχεία – Τεχνικογεωλογικά στοιχεία : Η στεγανότητα και η	1
σταθερότητα της λεκάνης κατάκλυσης	21
4. Η ζώνη του φράγματος	24
4.1. Η θέση του άξονα του φράγματος	24
4.2. Γεωλογικά στοιχεία της ζώνης του φράγματος	25
4.3 Τεχνικογεωλογικά στοιχεία της ζώνης του φράγματος	27
4.4 Υδρογεωλογικά στοιχεία της ζώνης του φράγματος	30
5. Δανειοθάλαμοι υλικών κατασκευής φράγματος	33
5.1 Θέσεις δανειοθαλάμων	33
5.2Εργαστηριακές δοκιμές	37
5.3. Συμπύκνωση εδαφών	37
5.4.Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών	40
6. Υδρολογία	47
6.1 Κλιματικά στοιχεία της περιοχής	47
6.2 Βροχομετρικοί και μετεωρολογικοί σταθμοί	48
6.3 Υδρολογικό ισοζύγιο	49
6.4 Βροχοπτώσεις	50
6.5.Σχέση ύψους βροχόπτωσης υψομέτρου	54
6.6.Κατανομή των βροχοπτώσεων	56
6.7 Εξατμισοδιαπνοή	59
6.8 Κατείσδυση	67
6.9 Επιφανειακή απορροή	68
6.10 Προσεγγιστικό υδρολογικό ισοζύγιο	69
6.11 Υπολογισμός πλημμυρικών παροχών	69
7. Μελέτη σεισμικού κινδύνου στην περιοχή	73
7.1. Στοιχεία του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού	73
7.2 Σεισμικότητα της περιοχής	74
Παράρτημα-Βιβλιογραφία-Περιεχόμενα	77