



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διπλωματική Εργασία

ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΑ ΕΡΓΑ ΣΤΗΝ ΑΙΘΙΟΠΙΑ: ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ DAMTE

Ιωάννα Κουκή

Επιβλέπων: **Δ. Κουτσογιάννης**, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Συνεπιβλέποντες: **Ν. Μαμάσης**, Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π

Χ. Σαρόγλου, Δρ. Μέλος ΕΔΙΠ



DIPLOMA THESIS

WATER RESOURCE DEVELOPMENT PROJECTS IN ETHIOPIA:

EVALUATION OF DAMTE DAM OPERATION

IOANNA KOUKI

Supervisor: D. Koutsoyiannis, Professor NTUA

Co-supervisors: N. Mamasias, Associate Professor NTUA

H. Saroglou, Dr.Lab & Teaching Staff Member



Αθήνα, 2018 / Athens, 2018



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σαν χτες μου μοιάζει η μέρα που ο κοσμήτορας της σχολής κος Δημήτρης Κουτσογιάννης πρότεινε το θέμα της διπλωματικής που είμαι στην ευχάριστη θέση να παρουσιάζω. Θυμάμαι πως αμέσως με ενθουσίασε η ιδέα τόσο της ενασχόλησης μου με ένα φράγμα, που κατά τη γνώμη μου είναι ένα από τα πιο εκπληκτικά έργα του πολιτικού μηχανικού, όσο και με την Αιθιοπία, που παρόλο που οι γνώσεις μου γύρω από τη συγκεκριμένη χώρα ήταν πολύ περιορισμένες, μου κίνησε το ενδιαφέρον να την γνωρίσω.

Αρχικά λοιπόν θέλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή και επιβλέποντα μου κ. Δημήτρη Κουτσογιάννη που μου ανέθεσε το θέμα της διπλωματικής και με καθοδήγησε καθ' όλη τη διάρκεια της. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το προξενείο της Αιθιοπίας στην Ελλάδα και συγκεκριμένα την επίτιμη πρόξενο κα Αρμενάκη η οποία ανέλαβε ολοκληρωτικά την διοργάνωση του ταξιδιού στην Αιθιοπία, το οποίο αποτέλεσε σταθμό για την πορεία της διπλωματικής μου.

Ακόμη θέλω να ευχαριστήσω βαθύτατα τον κ. Χάρη Σαρόγλου, Δρ. μέλος ΕΔΠΠ της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ ο οποίος εθελοντικά με συνόδευε στο ταξίδι μου στην Αιθιοπία. Η βοήθεια του μου ήταν πολύτιμη, καθώς με την εμπειρία και τις γνώσεις του με βοήθησε τόσο στην επιθεώρηση του φράγματος όσο και στη μετέπειτα επεξεργασία των στοιχείων που συλλέξαμε.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Νίκο Μαμάση που στη διάρκεια των σπουδών μου στο ΕΜΠ ήταν από τους λίγους καθηγητές που μπορώ να αποκαλέσω δάσκαλο. Νιώθω τυχερή που τον είχα καθηγητή και σύμβουλο, από τα πρώτα μου ασταθή βήματα ως φοιτήτρια έως και σήμερα που με περηφάνια δηλώνω διπλωματούχος πολιτικός μηχανικός.

Τέλος, με την ολοκλήρωση των σπουδών μου και τη λήξη της φοιτητική μου ζωής θέλω να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που έδωσαν μια πανέμορφη χροιά σε αυτό το τόσο σημαντικό κεφάλαιο της ζωής μου. Πρώτα από όλους θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στηρίζει σε κάθε μου βήμα. Έπειτα θέλω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στις φίλες μου Ράνια και Μαντώ, που η κοινή μας πορεία, τα κοινά μας βιώματα και η τρέλα που μας χαρακτηρίζει δημιούργησαν αναμνήσεις μιας ζωής. Τέλος θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους μου από τη σχολή που περάσαμε μαζί χαρές και δυσκολίες, το international family για την αξέχαστη εμπειρία του Εράσμου και όλους τους άλλους φίλους μου που έκαναν τα φοιτητικά μου χρόνια αξέχαστα και μοναδικά.

Ιωάννα Κουκή

Ιούλιος 2018

Η Αιθιοπία είναι μια από τις μεγαλύτερες και πολυπληθέστερες χώρες της Αφρικής και βρίσκεται στο ανατολικότερο άκρο της, το επονομαζόμενο Κέρας της Αφρικής. Είναι μια χώρα με πολύ σύνθετη τοπογραφία, γεγονός που επηρεάζει το κλίμα, τις εδαφικές συνθήκες, τη βλάστηση και την κατανομή του πληθυσμού της. Παρόλο που κατατάσσεται στις φτωχότερες χώρες του κόσμου, τα τελευταία χρόνια εμφανίζει πολύ υψηλό ρυθμό ανάπτυξης, με την αύξηση της ηλεκτρικής παραγωγής και τη βελτίωση των υποδομών να είναι οι βασικοί πυλώνες αυτής της αλλαγής.

Ένα από τα βασικά προβλήματα που αντιμετωπίζει η χώρα είναι ότι μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού της δεν έχει πρόσβαση σε καλής ποιότητας πόσιμο νερό. Δεδομένου ότι η χώρα βασίζει την οικονομία της στην γεωργική παραγωγή, η έλλειψη νερού εισάγει περιορισμούς στην άρδευση των καλλιεργειών με επιπτώσεις στην επισιτιστική ασφάλεια. Η ανεπάρκεια νερού δεν οφείλεται τόσο στο κλίμα της Αιθιοπίας αφού στο μεγαλύτερο μέρος της χαρακτηρίζεται από άφθονες βροχοπτώσεις και μέσες θερμοκρασίες. Το πρόβλημα έγκειται στον εποχιακό χαρακτήρα των βροχοπτώσεων και στην έλλειψη έργων διαχείρισης του νερού, ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες του πληθυσμού όλο το χρόνο. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει η τάση για κατασκευή μεγάλων φραγμάτων τα οποία αν και κυρίαρχο στόχο έχουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν να αξιοποιηθούν και για την ετήσια ρύθμιση του νερού.

Υπό αυτές τις συνθήκες κατασκευάστηκε το 2005 το μικρής κλίμακας αρδευτικό φράγμα Damte, που ήρθε να ανακουφίσει μια τοπική κοινότητα στην επαρχία Damot Gale του νομού North Omo στη νοτιοδυτική Αιθιοπία. Η χρηματοδότηση του έγινε με συμβολή του Ελληνικού κράτους, του Προξενείου της Αιθιοπίας στην Ελλάδα και την Αιθιοπική κοινότητα στην Αθήνα, ενώ η μελέτη και κατασκευή του ανατέθηκε σε μηχανικούς από τον Τομέα Υδατικών Πόρων της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και από τη Μη Κυβερνητική Οργάνωση «Μηχανικοί Χωρίς Σύνορα». Σκοπός του ήταν η συλλογή νερού για την αναβάθμιση της ποιότητας ζωής 400 οικογενειών.

Το γεώφραγμα αυτό έχει ύψος 15 m, η μεταφορά του νερού κατάντη γίνεται μέσω συστήματος υδροληψίας ενώ η ασφαλής διοχέτευση του πλεονάζοντος νερού επιτυγχάνεται με τον μετωπικό υπερχειλιστή στο σώμα του φράγματος. Η συνολική αποθηκευτική ικανότητα του φράγματος είναι 560 000 m³ με το νεκρό όγκο να εκτιμάται στα 150.000 m³ για τα 25 έτη ζωής του φράγματος. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στη περιοχή του έργου σύμφωνα με τη μελέτη είναι 1627 mm και η μέση θερμοκρασία 19.8 °C. Το έδαφος της περιοχής είναι τροπικό και υπολειμματικό, με χαρακτηριστικά την έντονη διαβρωσιμότητα και τη μεταβολή της διατμητικής του αντοχής με την επαναλαμβανόμενη διαβροχή και ξήρανση του υλικού.

Περίληψη

Βασικό αντικείμενο της διπλωματικής είναι η αποτίμηση της λειτουργίας του φράγματος Damte και για το σκοπό αυτό έγινε μια επί τόπου επίσκεψη στην περιοχή του έργου. Η συνολική εικόνα του φράγματος είναι καλή με μικρές φθορές στο σώμα του και στα σαραζανέτια (gabions) του υπερχειλιστή, όμως η ταχεία συσσώρευση φερτών υλικών στον ταμιευτήρα ελλοχεύει κινδύνους για την απρόσκοπτη συνέχιση της λειτουργίας του. Τα οφέλη του έργου στην καθημερινότητα των ανθρώπων της τοπικής κοινωνίας είναι εντυπωσιακά και το επίπεδο ζωής των κατοίκων έχει βελτιωθεί θεαματικά. Τέλος στα πλαίσια του εκπαιδευτικού χαρακτήρα της επίσκεψης, έγινε ξενάγηση στο μεγαλύτερο τη παρούσα στιγμή φράγμα στην Αιθιοπία, το Gilgel Gibe III.

Οι λύσεις που προτείνονται αφορούν την αποκατάσταση των φθορών που εντοπίστηκαν αλλά κυρίως την αντιμετώπιση της μείωσης της χωρητικότητας του ταμιευτήρα λόγω των φερτών. Τα αίτια συσσώρευσης των φερτών οφείλονται τόσο στη διάβρωση της λεκάνης απορροής όσο και στην εισροή εδαφικού υλικού από επιφανειακές ολισθήσεις των πρανών της λίμνης. Λόγω του ότι κατά την επίσκεψη στο φράγμα η υψηλή στάθμη του νερού δεν επέτρεπε την εκτίμηση των φερτών, έγινε προσπάθεια να εκτιμηθεί ο όγκος τους με τη βοήθεια αεροφωτογραφιών από το Google Earth. Προσεγγιστικά ο συνολικός όγκος φερτών για τα 13 χρόνια λειτουργίας του φράγματος εκτιμήθηκε στα 123 000 m³. Η απομάκρυνση των φερτών μπορεί να γίνει μόνο με μηχανική εξαγωγή τους συνεπώς η καταλληλότερη λύση είναι η βυθοκόρηση. Μετά από έρευνα, βρέθηκε η φιλανδικής κατασκευής βυθοκόρος Watermaster, της οποίας τα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι ιδανικά για τα δεδομένα του έργου. Τέλος αναζητήθηκε λύση για την προστασία των πρανών από διάβρωση και διατμητική αστοχία και παρουσιάζονται δύο εναλλακτικές λύσεις, η μια με χρήση στρώμης συρματοκιβωτίων (mattress) και η δεύτερη με χρήση απλής λιθορριπής σε συνδυασμό με γεώφασμα.

ABSTRACT

Ethiopia is one of the largest and most populated countries in Africa and is situated on the most eastern side of it, the Horn of Africa. It is a country with a very diverse topography, which affects the climate, the ground conditions, the flora and the distribution of population. Although it is considered one of the poorest countries in the world, in recent years it has had a very high growth rate, with increasing electricity production and improving infrastructure being the key pillars of this change.

One of the main problems faced by the country is that a large percentage of the population doesn't have access to good quality drinking water. Due to the fact that Ethiopia bases its economy primarily on agricultural production, the lack of water introduces restrictions on irrigation of crops with implications for food security of the country. The lack of water is not due to the climate of Ethiopia, since most of it is characterized by abundant rainfall and average temperatures. The problem lies in the seasonal character of the rainfall and the lack of infrastructure for water management in order to meet the needs of the population through the whole year. In recent years there has been a tendency to build large dams which, although they have the overriding goal of generating electricity, can be exploited for annual water regulation.

Under these circumstances was constructed in 2005 the small-scale irrigation dam Damte, which was built to relieve a local community in Damot Gale Worenda in North Omo Zone in south-west Ethiopia. For the funding of the project there was a major contribution of the Greek state, the Consulate of Ethiopia in Greece and the Ethiopian community of Athens. Also the study and construction of the dam were carried out from engineers of the Department of Water Resources and Environmental Engineering of the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens and the Non Governmental Organization "Engineers without Borders ". Its purpose was to collect water to upgrade the quality of life of 400 families.

This embankment dam has a height of 15 m. Water is transported downstream through a water intake - outlet system, while safe drainage of excess water is achieved with the frontal spillway structure on the body of the dam. The total storage capacity of the dam is 560,000 m³ with the dead storage is estimated at 150,000 m³ for the 25 year life span of the dam. The average annual rainfall in the project area according to the study is 1627 mm and the average temperature is 19.8 °C. The soil in this area is tropical and residual, characterized by severe erosion and change in shear strength with repeated wetting and drying of the material.

The main objective of the thesis is to assess the operation of the Damte dam and for this purpose an on-site visit to the project area. The overall condition of the dam is good with slight wear on its body and on gabions of the spillway, but the rapid accumulation of sediment

Abstract

in the reservoir risks undermining its continued operation. The benefits of the project in the everyday life of the local community are impressive and the standard of living for the inhabitants has improved dramatically. Finally, due to the educational nature of the visit, a guided tour was made of the largest at the present time dam in Ethiopia, Gilgel Gibe III.

The solutions proposed are aimed at repairing the damages that have been identified, mainly dealing with the reduction of reservoir capacity due to siltation. The causes of accumulation of sediments are due to erosion of the basin as well as the inflow of soil material from surface slips of the lake slopes. Due to the fact that during the visit to the dam the high water level did not allow an estimation of the dead storage, an effort was made to estimate this volume with help of aerial photos from Google Earth. Approximately the total volume of sediments for 13 years of operation of the dam was estimated at 123 000 m³. Removal of the sediments can only be done by mechanical extraction, therefore the most suitable solution is dredging. After a survey, the Finnish dredger Watermaster was found, whose technical characteristics are ideal for this project. Finally, a solution was sought to protect slopes from erosion and two alternatives are presented, one using gabion mattress and the second one by using rip – rap in combination with geotextile.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	i
ABSTRACT	iii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	1
1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	1
2. Η ΑΙΘΙΟΠΙΑ	3
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΙΘΙΟΠΙΑ	3
2.1.1 Γεωγραφία	3
2.1.2 Πληθυσμός	4
2.1.3 Οικονομία.....	4
2.1.4 Ενέργεια.....	4
2.1.5 Υποδομές.....	6
2.2 ΑΙΘΙΟΠΙΑ ΚΑΙ ΝΕΡΟ	6
2.2.1 Διαθεσιμότητα και χρήσεις νερού	6
2.2.2 Κλίμα και φυσικό υδατικό δυναμικό.....	8
2.2.3 Φράγματα στην Αιθιοπία.....	14
2.3 ΦΡΑΓΜΑ DAMTE.....	16
3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	21
3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	21
3.2 ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	22
3.3 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	24
3.4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	28
4. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΕΠΙΣΚΕΨΗ.....	33
4.1 ΦΡΑΓΜΑ.....	33
4.2 ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗΣ	35
4.3 ΥΔΡΟΛΗΨΙΑ	37
4.4 ΦΕΡΤΑ.....	38
4.5 ΑΡΔΕΥΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	38
4.6 ΑΛΛΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	40
4.7 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΙΚΑΙΟΥΧΟΥΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	41
4.8 ΕΠΙΣΚΕΨΗ ΣΤΟ ΦΡΑΓΜΑ GILGEL GIBE III	43
4.9 ΠΡΟΣΩΠΙΚΗ ΑΠΟΨΗ.....	45

5. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΛΥΣΕΙΣ	47
5.1 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	47
5.2 ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	47
5.3 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΦΕΡΤΩΝ	49
5.3.1 Αίτια συσσώρευσης νεκρού όγκου στον ταμιευτήρα.....	49
5.3.2 Εκτίμηση του νεκρού όγκου.....	54
5.3.3 Μέθοδος απομάκρυνσης των φερτών από τον ταμιευτήρα.....	61
5.3.4 Μέτρα για την προστασία και σταθεροποίηση των πρανών	69
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	73
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	77

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η Αιθιοπία είναι μια από της πλέον ταχέως αναπτυσσόμενες χώρες στην Αφρική αλλά και στον κόσμο. Οι ελλείψεις όμως που έχει σε θέματα υποδομών είναι τεράστιες και αυτό έχει αντίκτυπο στην ζωή και την ευημερία του Αιθιοπικού πληθυσμού. Τα υδραυλικά έργα είναι μείζονος σημασίας για την πρόοδο και την ευημερία χωρών που υποφέρουν από έλλειψη νερού λόγω αδυναμίας διαχείρισης του.

Το 2005 μια ελληνο-αιθιοπική πρωτοβουλία ήταν η αιτία που οδήγησε στην κατασκευή του μικρού αρδευτικού φράγματος Damte στην επαρχία Damot Gale του νομού North Omo της Αιθιοπίας. Το φράγμα αυτό αποτέλεσε μια ενέργεια από πλευράς Ελλάδας για την παροχή μονιμότερων λύσεων για την αντιμετώπιση των εκτεταμένων προβλημάτων ξηρασίας στην Αιθιοπία. Για την μελέτη και κατασκευή του έργου εργάστηκαν εθελοντικά Έλληνες μηχανικοί από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και από την Μη κυβερνητική Οργάνωση «Μηχανικοί χωρίς σύνορα» και το μεγαλύτερο ποσοστό της χρηματοδότησης καλύφθηκε από ελληνικούς πόρους.

13 χρόνια αργότερα υπήρξαν αναφορές από την τοπική κοινότητα για ορισμένα προβλήματα που αντιμετωπίζει το φράγμα. Με αυτή την αφορμή αλλά και λόγω της συμπλήρωσης του μισού χρόνου ζωής του φράγματος Damte, που σύμφωνα με τη μελέτη έχει σχεδιαστεί για 25 έτη λειτουργίας, ζητήθηκε να γίνει μια αποτίμηση της λειτουργίας του, η οποία είναι και το αντικείμενο αυτής της εργασίας. Σε αυτό το πλαίσιο πραγματοποιήθηκε μια επίσκεψη στο φράγμα κατά την περίοδο 8/5/2018-14/5/2018 ώστε να διαπιστωθεί από κοντά η κατάσταση του και οι συνθήκες λειτουργίας του αλλά και να εντοπιστούν τυχόν προβλήματα. Στόχοι της εργασίας είναι (α) η διερεύνηση εφικτών λύσεων που μπορούν να εξασφαλίσουν ότι το φράγμα θα συνεχίσει την απρόσκοπτη λειτουργία του και

(β) η ανάδειξη της σημασίας των υδραυλικών αναπτυξιακών έργων στην ανάπτυξη μιας χώρας και τη σπουδαιότητα των μικρών κλίμακας κατασκευών για μη αναπτυγμένες χώρες όπως η Αιθιοπία.

1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διάρθρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει ως εξής:

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή όπου παρουσιάζεται το αντικείμενο, ο σκοπός και η διάρθρωση της εργασίας.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση ορισμένων βασικών στοιχείων για την Αιθιοπία. Το κεφάλαιο αυτό έχει στόχο να βοηθήσει τον αναγνώστη να γνωρίσει τη χώρα, να κατανοήσει τις συνθήκες ζωής που επικρατούν και να μπει στο κλίμα μιας χώρας με πολύ διαφορετικό προφίλ από αυτό του σύγχρονου δυτικού κόσμου. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται πληροφορίες σχετικά με την γεωγραφία, τον πληθυσμό και την οικονομία, καθώς και η κατάσταση της χώρας από πλευράς ηλεκτρικής ενέργειας και υποδομών. Στη συνέχεια εστιάζεται στο θέμα των υδατικών πόρων και αναφέρονται στοιχεία σχετικά με τη διαθεσιμότητα πόσιμου νερού, το κλίμα και το φυσικό υδατικό δυναμικό της χώρας αλλά και τα φράγματα, που αναπτύσσονται ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Τέλος παρατίθεται το ιστορικό του αρδευτικού φράγματος Damte, το οποίο είναι το βασικό αντικείμενο της εργασίας.

Στο 3^ο κεφάλαιο συνοψίζονται τα βασικά στοιχεία της μελέτης του φράγματος Damte. Παρατίθενται τα βασικά μεγέθη του σχεδιασμού του και γίνεται περιληπτικά η παρουσίαση της υδρολογικής και γεωτεχνικής μελέτης του καθώς και των γεωλογικών χαρακτηριστικών της περιοχής του έργου.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα και οι παρατηρήσεις σχετικά με την σημερινή κατάσταση του φράγματος όπως προέκυψαν από την επί τόπου επίσκεψη και το κοινωνικό του αντίκτυπο στην τοπική κοινωνία. Ακόμη γίνεται η παρουσίαση του φράγματος Gilgel Gibe III, το οποίο είναι το μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό φράγμα αυτή τη στιγμή στην Αιθιοπία και στο οποίο έγινε ξενάγηση κατά τη διάρκεια της επίσκεψης στη χώρα. Τέλος παρατίθεται μια προσωπική άποψη της συγγραφέως για την χώρα της Αιθιοπίας όπως την βίωσε μέσα από το ταξίδι.

Στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται η αποτίμηση της λειτουργίας του φράγματος και προτείνονται λύσεις για τα προβλήματα που εντοπίστηκαν. Δεδομένου ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα αποτελεί ο όγκος των φερτών που έχουν αποθεθεί στον ταμιευτήρα και απειλούν να καλύψουν την υδροληψία, γίνεται προσπάθεια για την εξήγηση του φαινομένου, την ποσοτική εκτίμηση του όγκου αυτού καθώς επίσης προτείνονται και μέθοδοι για την αντιμετώπιση του και την προστασία και σταθεροποίηση των πρανών της λίμνης.

Τέλος στο 6^ο κεφάλαιο εξάγονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ΑΙΘΙΟΠΙΑ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΙΘΙΟΠΙΑ

2.1.1 Γεωγραφία

Η Αιθιοπία είναι μια από τις μεγαλύτερες χώρες της Αφρικανικής Ηπείρου με έκταση 1 104 300 km², βρίσκεται στο ανατολικότερο άκρο της το επονομαζόμενο Κέρας της Αφρικής (Εικόνα 2.1) και πρόκειται για ένα περικλειστο από θάλασσα κράτος μετά την αναγνώριση της Ερυθραίας ως ανεξάρτητης (Εικόνα 2.2). Χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποικιλομορφία εδάφους καθώς στο εσωτερικό της εντοπίζονται μεγάλες πεδιάδες, υψηλά οροπέδια, εκτενείς οροσειρές, στέπες αλλά και ημερημικές εκτάσεις ενώ διαθέτει το 25% των ενεργών ηφαιστειών της Αφρικής. Το γεγονός αυτό δικαιολογεί τις μεγάλες διακυμάνσεις του κλίματος, της φυσικής βλάστησης, της σύνθεσης του εδάφους αλλά και της κατανομής του πληθυσμού. Η Αιθιοπία είναι μια χώρα με αντιθέσεις καθώς στα εδάφη της βρίσκεται κανείς τόσο την τέταρτη υψηλότερη κορυφή στην Αφρική, το Ρας Ντασέν με ύψος 4 550 m, όσο και ένα από τα χαμηλότερα υψομετρικά μέρη του πλανήτη βύθισμα Ντανακίλ σε υψόμετρο 125 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 2.1 Γεωγραφική θέση



Εικόνα 2.2 Χώρες που συνορεύει

2.1.2 Πληθυσμός

Ο πληθυσμός της Αιθιοπίας ανέρχεται στους 102 403 196 κατοίκους σύμφωνα με την τελευταία εκτίμηση (World Bank, 2016) και κατατάσσεται ως δωδέκατη πολυπληθέστερη χώρα στον κόσμο, με ρυθμό αύξησης πληθυσμού 2.85% ετησίως. Το προσδόκιμο ζωής είναι τα 64.6 χρόνια (Human Development Report Office, 2016) και η χώρα υποφέρει από υψηλά ποσοστά θνησιμότητας λόγω ασθενειών που σχετίζονται με την κακή ποιότητα του νερού, τις ελλειπείς εγκαταστάσεις υγιεινής, την υποβαθμισμένη νοσοκομειακή περίθαλψη και ιατρική φροντίδα καθώς και την αδυναμία πρόσβασης του πληθυσμού σε εμβόλια και φάρμακα. Η ταχεία πληθυσμιακή ανάπτυξη της Αιθιοπίας ασκεί αυξανόμενη πίεση στους χερσαίους πόρους, εντείνει την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και αυξάνει την ευπάθεια στην έλλειψη τροφίμων.

2.1.3 Οικονομία

Η Αιθιοπία είναι μια από τις φτωχότερες χώρες του κόσμου, με ακαθάριστο εγχώριο προϊόν ανά κάτοικο 927\$ (International Monetary Fund (I.M.F.), 2018) και με ιδιαίτερα χαμηλό βιοτικό επίπεδο. Ταυτόχρονα όμως και ένα από τα ταχύτερα αναπτυσσόμενα κράτη παγκοσμίως με ρυθμό αύξησης του ΑΕΠ 8.5% (I.M.F, 2018). Παραδοσιακά, το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού της Αιθιοπίας ασχολείται με την γεωργία, με τις εξαγωγές της χώρας να είναι σχεδόν στην ολότητά τους αγροτικά προϊόντα, όπως καφές, φασόλια, δημητριακά, πατάτες, ζαχαροκάλαμο και φυλλώδη λαχανικά. Τα τελευταία χρόνια όμως, η χώρα έχει μετατραπεί σε πόλο έλξης ξένων επενδυτών από την Κίνα, τις ΗΠΑ και την Ευρώπη σε τομείς όπως οι κατασκευές, η γεωργία, η γεωργική μεταποίηση, η κλωστοϋφαντουργία, το δέρμα και τα δερμάτινα προϊόντα. Για να καλύψει την ολοένα αυξανόμενη ανάγκη σε ενέργεια και να υποστηρίξει την εκβιομηχάνιση, η κυβέρνηση της στοχεύει να αυξήσει την εγκατεστημένη ισχύ ηλεκτροπαραγωγής και ταυτόχρονα να αναβαθμίσει τις υποδομές. Ακόμη, το 2017 η κυβέρνηση υποτίμησε το φόρο κατά 15% για να αυξήσει τις εξαγωγές και να μετριάσει τη χρόνια έλλειψη ξένου νομίσματος στη χώρα. Στόχος της Αιθιοπίας είναι να επιτύχει καθεστώς μεσαίου εισοδήματος έως το 2025, σύμφωνα με το σχέδιο Ανάπτυξης και Μετασχηματισμού (MoFED, 2010).

2.1.4 Ενέργεια

Η σύγχρονη οικονομική ανάπτυξη προϋποθέτει την επαρκή και αξιόπιστη διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Η Αιθιοπία είναι εφοδιασμένη με άφθονους φυσικούς πόρους που εάν

Κεφάλαιο 2: Η Αιθιοπία

γίνει σωστή εκμετάλλευση τους μπορούν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες της χώρας και μάλιστα με οικολογικό και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο. Όλος ο προγραμματισμός και η ανάπτυξη της χώρας γίνεται με γνώμονα την καθαρή, πράσινη ενέργεια και την μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης (Federal Democratic Republic of Ethiopia, 2011), ώστε η Αιθιοπία μελλοντικά να καταφέρει να καλύψει την εγχώρια ζήτηση και ταυτόχρονα να γίνει εξαγωγέας ενέργειας στις γειτονικές χώρες. Η ηλεκτρική παραγωγή βασίζεται κατά 80% περίπου στα υδροηλεκτρικά έργα, κατά 13% σε άλλες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας και μόνο ένα 7% σε συμβατικά καύσιμα, γεγονός που την καθιστά χώρα με πολύ μικρό ενεργειακό αποτύπωμα και μηδαμινή συμβολή στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Στον πίνακα 2.1 δίνεται το ενεργειακό μίγμα της Αιθιοπίας.

2.1 Ενεργειακό μίγμα Αιθιοπίας (πηγή: *Ethiopian Electric Power Corporation*)

Πηγή Ενέργειας	Μονάδα	Εκμεταλλεύσιμο Απόθεμα	Ποσοστό που αξιοποιείται ήδη
Υδροηλεκτρική	MW	45 000	< 5%
Ηλιακή/Ημέρα	kWh/m ²	5.5 (μ.ο)	< 1%
Αιολική:	GW	1350	< 1%
Γεωθερμική	MW	7000	< 1%
Ξύλο	Εκατομμύρια τόνοι	1120	50%
Γεωργικά Απόβλητα	Εκατομμύρια τόνοι	15 – 20	30%
Φυσικό Αέριο	Δισεκατομμύρια	113	0%
Κάρβουνο	Εκατομμύρια τόνοι	300	0%
Πετρέλαιο	Εκατομμύρια τόνοι	253	0%

Το ποσοστό του πληθυσμού που έχει πρόσβαση σε ηλεκτρικό ρεύμα είναι της τάξεως του 25%, με τις αστικές περιοχές να αγγίζουν το 90% ενώ οι αγροτικές μόλις το 10%. Η εγκατεστημένη ισχύς είναι 4.2 GW και το μάλλον φιλόδοξο σχέδιο είναι έως ο 2020 να φτάσει τα 17.2 GW, από τα οποία τα 13.8 GW θα προέρχονται από υδροηλεκτρική ενέργεια (80%), τα 1.2 GW από αιολική ενέργεια (7%) και το υπόλοιπο 13% κατανέμεται σε 300 MW από ηλιακή ενέργεια, 577 MW από γεωθερμία, 509 MW από φυσικό αέριο και ακόμη 780 MW από βιομάζα και γεωργικά απόβλητα (National Planning Commission, 2016).

2.1.5 Υποδομές

Η ανάπτυξη των υποδομών είναι ένα μεγάλο στοιχείο που πρέπει να κερδίσει η Αιθιοπία για να μπορέσει να πετύχει τους φιλόδοξους στόχους που έχει θέσει. Η πρόοδος σε αυτόν τον κλάδο μεταφράζεται σε βελτίωση και επέκταση του οδικού δικτύου ώστε να εξυπηρετεί τη διακίνηση αγαθών και πολιτών, σε ανάπτυξη του σιδηροδρομικού δικτύου για την ταχεία και απρόσκοπτη μεταφορά προϊόντων, σε βελτίωση των εναέριων μεταφορών και ανάπτυξη των εγκαταστάσεων που τις πλαισιώνουν, στον σχεδιασμό και υλοποίηση ολοκληρωμένων συστημάτων ύδρευσης και αποχέτευσης, στην παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και στην ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών και των συστημάτων πληροφόρησης και επικοινωνίας. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει καθοριστικά έργα όπως ο νέος διεθνής ηλεκτροκίνητος σιδηρόδρομος που ξεκίνησε τη λειτουργία του τον Ιανουάριο του 2018 και συνδέει την πρωτεύουσα Αντίς Αμπέμπα με το λιμάνι του Τζιμπουτί, από το οποίο γίνεται η εξαγωγή του μεγαλύτερου ποσοστού των Αιθιοπικών προϊόντων. Ο σιδηρόδρομος μήκους 759 km που αντικαθιστά την προϋπάρχουσα γραμμή που είχε κατασκευαστεί γύρω στο 1900 και ήταν εκτός λειτουργίας, αναμένεται να διευκολύνει σημαντικά το διεθνές εμπόριο μειώνοντας το κόστος και το χρόνο παράδοσης των εμπορευμάτων. Ακόμη έχει κατασκευαστεί περίπου το 30% του απαιτούμενου οδικού δικτύου το οποίο αναμένεται να αναπτυχθεί ραγδαία έως το 2020, σύμφωνα με τους στόχους του αναπτυξιακού προγράμματος GDP II που ακολουθεί η κυβέρνηση (National Planning Commission, 2016). Επίσης, η Αιθιοπία κατέχει κυρίαρχη θέση στον τομέα της αεροπορίας διαθέτοντας το προνόμιο της πλεονεκτικής γεωγραφικής θέσης, με την Ethiopian Airlines που είναι μια από τις πιο επιτυχημένες αεροπορικές εταιρίες στην Αφρική και τέλος πολιτική στρατηγική που στοχεύει στην επέκταση των αεροδρομίων της χώρας και ενίσχυση του δυναμικού των αεροσκαφών της. Φυσικά υπάρχουν ακόμη μεγάλα περιθώρια βελτίωσης των υποδομών αλλά το σίγουρο είναι πως η μετάλλαξη της Αιθιοπίας έχει ξεκινήσει.

2.2 ΑΙΘΙΟΠΙΑ ΚΑΙ ΝΕΡΟ

2.2.1 Διαθεσιμότητα και χρήσεις νερού

Το νερό στην Αιθιοπία είναι ένα αγαθό ακριβοθώρητο που οι άνθρωποι δεν έχουν ως δεδομένο. Το 94% των αστικών νοικοκυριών έχουν πρόσβαση σε βελτιωμένες ποιοτικά πηγές πόσιμου νερού σε σύγκριση με το μόλις 68% των αγροτικών νοικοκυριών (Central Statistical Agency of Ethiopia, 2017). Οι μεγαλύτερες πόλεις διαθέτουν ορισμένα βασικά συστήματα υδροδότησης όπως συστήματα αγωγών και σωληνώσεων, κάποιες δημόσιες κρήνες ή κάποια άρτια κατασκευασμένα πηγάδια που διευκολύνουν τις ανάγκες του

Κεφάλαιο 2: Η Αιθιοπία

πληθυσμού, όμως στις μη αστικές περιοχές η κατάσταση είναι αρκετά πιο δύσκολη. Το ποσοστό του πληθυσμού που προμηθεύεται νερό ανά κατηγορία πηγής και σύμφωνα με τον τόπο κατοικίας και την εποχή παρουσιάζεται στον πίνακα 2.2. Οι άνθρωποι χρειάζεται συχνά να καταβάλουν μεγάλη προσπάθεια για να εξασφαλίσουν το απαραίτητο νερό για την επιβίωση τους, το οποίο μπορεί να προέρχεται από πηγάδια ή αυτοσχέδιες γεωτρήσεις που οι ίδιοι έχουν σκάψει και είναι αμφιβόλου ποιότητας. Μόλις το 7% των νοικοκυριών στην Αιθιοπία εφαρμόζει την κατάλληλη μέθοδο επεξεργασίας του νερού (βράσιμο νερού, προσθήκη χλωρίου, προσθήκη βάμματος ιωδίου κ.α.) που είναι απαραίτητη για την αποφυγή νοσημάτων που σχετίζονται με το μολυσμένο νερό. Επίσης, κατά την ξηρή περίοδο, οι άνθρωποι και κυρίως οι γυναίκες και τα παιδιά, είναι επιφορτισμένοι με την ευθύνη της συλλογής και μεταφοράς του νερού από μέρη απομακρυσμένα, για τα οποία μπορεί να χρειαστεί να περπατούν 30 λεπτά ή και περισσότερο για να προσεγγίσουν (πίνακας 2.2). Αυτός είναι και ένας από τους λόγους που ιδιαίτερα στην επαρχία, το 30% των παιδιών δεν λαμβάνει ούτε την βασική εκπαίδευση ενώ μόλις το 12% προχωράει στη δευτεροβάθμια (Central Statistical Agency of Ethiopia, 2017).

2.2 Πηγή πόσιμου νερού, ποσοστό νοικοκυριών σε σχέση με τον τόπο κατοικίας (Πηγή CSA & World Bank, 2017)

<u>ΠΗΓΗ ΝΕΡΟΥ</u>	<u>ΥΓΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ</u> <u>ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ</u>				<u>ΞΗΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ</u> <u>ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ</u>			
	Αιθιοπία	Επαρχία	Μικρές πόλεις	Μεγάλες πόλεις	Αιθιοπία	Επαρχία	Μικρές πόλεις	Μεγάλες πόλεις
Τροφοδοσία εντός κατοικίας	2.6	0.5	4.7	9.6	2.7	0.5	4.9	9.8
Τροφοδοσία εντός αυλής	16.1	1.8	36.5	60.7	16.9	2.9	36.7	60.7
Δημόσια κρήνη	28.1	31.9	36.0	12.1	28.6	32.6	36.7	11.9
Λιανική Πώληση	2.7	0.9	3.7	9.0	2.9	0.9	5.	9.1
Γεώτρηση	5.0	6.3	0.4	1.9	6.2	7.8	0.4	2.3
Προστατευόμενο πηγάδι	7.1	8.8	9.1	0.1	7.1	9.2	4.5	0.3
Προστατευόμενη πηγή	12.4	16.6	3.1	0.6	11.9	16.0	3.3	0.4
Βρόχινο νερό	0.8	1.0	0.3	0.1	0.4	0.5	0.0	0.2
Εμφιαλωμένο νερό	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
Συνολικά αποδεκτό νερό	75.0	67.9	93.8	94.3	76.9	70.5	92.1	94.8
Απροστάτευτο πηγάδι	3.3	4.3	1.4	0.5	3.4	4.4	1.4	0.5
Απροστάτευτη πηγή	12.3	16.4	2.3	0.8	11.3	15.2	1.7	0.7
Επιφανειακά νερά	8.5	10.9	2.3	1.9	7.4	9.3	4.6	1.5
Άλλο	1.0	0.6	0.2	2.5	1.0	0.6	0.2	2.5

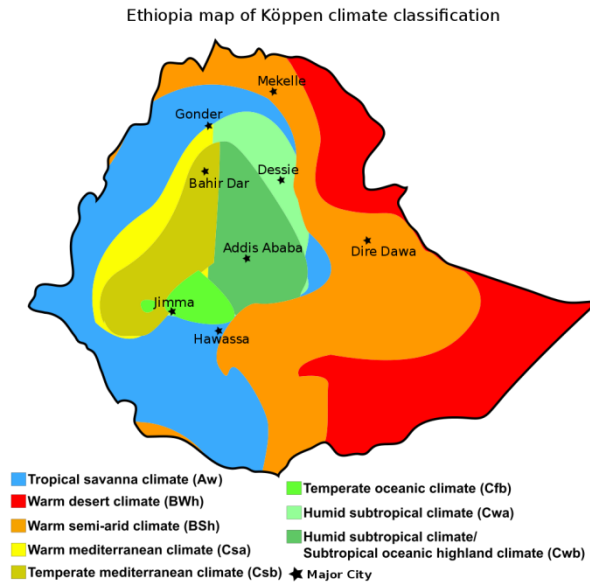
<u>ΧΡΟΝΟΣ</u> <u>ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ</u> <u>ΣΤΗ ΠΗΓΗ</u>									
< 15 λεπτά	45.3	30.7	71.2	89.8	45.3	30.7	71.2	89.8	
15 - 30	30.7	38.3	19.2	7.0	30.7	38.3	19.2	7.0	
31 - 45	9.2	11.9	3.1	1.0	9.2	11.9	3.1	1.0	
46 - 60	7.9	10.3	2.9	0.8	7.9	10.3	2.9	0.8	
61 - 90	3.2	4.2	0.6	0.6	3.2	4.2	0.6	0.6	
91 - 120	2.2	2.9	0.6	0.2	2.2	2.9	0.6	0.2	
>120	1.7	2.0	2.0	0.5	1.4	1.6	2.3	0.5	

Το φαινόμενο όμως της εκτεταμένης έλλειψης νερού δεν γίνεται αισθητό μόνο λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας του για οικιακή κατανάλωση. Το 70% του νερού που καταναλώνεται παγκοσμίως χρησιμοποιείται για άρδευση και το ποσοστό αυτό αγγίζει το 93% στην Αιθιοπία, που βασίζει κατεξοχήν την οικονομία και την ευημερία της στη γεωργία. Η πλειοψηφία των αγροτών βασίζεται στη βροχή για το πότισμα των καλλιεργειών τους λόγω της απουσίας υποδομών διαχείρισης των υδατικών πόρων και αρδευτικού προγραμματισμού, με συνέπεια να είναι έρμια των καιρικών φαινομένων και να αντιμετωπίζουν τεράστια προβλήματα σε περιόδους ξηρασίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την χαμηλή παραγωγικότητα και την επισιτιστική ανασφάλεια, καθώς το φαγητό του νοικοκυριού είναι άμεσα συνδεδεμένο με την πορεία της σοδειάς και η μάστιγα του λιμού караδοκεί για τους Αιθίοπες.

Οι μειωμένες βροχοπτώσεις και οι αυξημένες θερμοκρασίες οδηγούν ανθρώπους και ζώα σε οριακές καταστάσεις και συν τοις άλλοις δημιουργούν εντάσεις και κοινωνικοπολιτικές συγκρούσεις. Λόγω της αυξημένης ξηρασίας, τα ρέματα ή οι νερόλακκοι συχνά στερεύουν από νερό με αποτέλεσμα οι άνθρωποι να μην μπορούν να ικανοποιούν τις ανάγκες τους. Συνεπώς αναγκάζονται είτε να καταναλώνουν υποβαθμισμένης ποιότητας νερό, με συνέπειες στην υγεία, είτε να αναζητούν νερό από ολόενα και πιο μακρινές περιοχές, ερχόμενοι σε αντιπαράθεση με τον εκεί τοπικό πληθυσμό για τα δικαιώματα στο νερό. Η κοινωνία διχάζεται, η εκπαίδευση υπονομεύεται και αυτό δρα ως τροχοπέδη στην πρόοδο της χώρας.

2.2.2 Κλίμα και φυσικό υδατικό δυναμικό

Το κλίμα της Αιθιοπίας παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις και κατατάσσεται στις κατηγορίες Α (Τροπικά κλίματα), Β (Ξηρά κλίματα) και C (εύκρατα κλίματα) σύμφωνα με την κλιματική ταξινόμηση Köppen (Εικόνα 2.3).

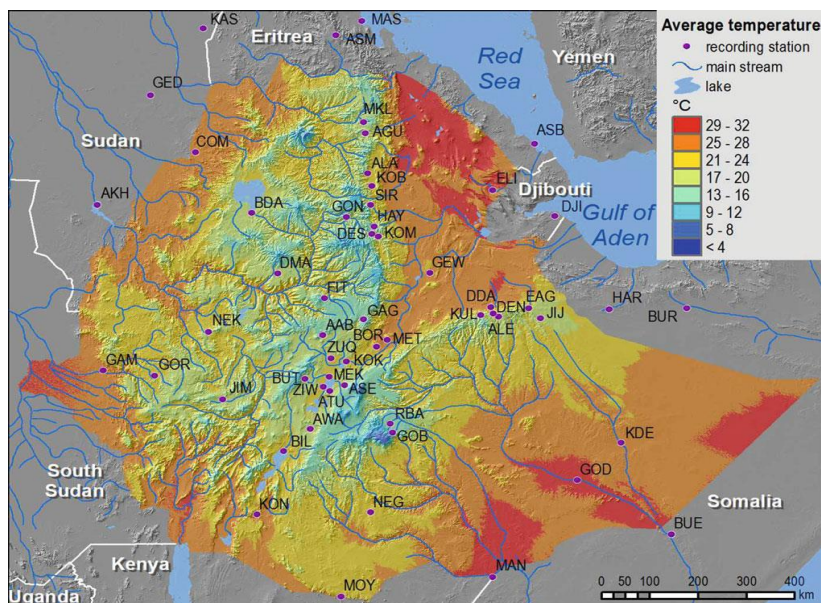


Εικόνα 2.3 Κατηγοριοποίηση κλίματος κατά Köppen

Γεωγραφικά η χώρα βρίσκεται στην τροπική ζώνη, και το κλίμα της χαρακτηρίζεται ως τροπικό μουσωνικό αλλά παρουσιάζει αρκετές ιδιαιτερότητες και διαφοροποιήσεις από περιοχή σε περιοχή. Λόγω της εγγύτητας της χώρας στον ισημερινό και της μεγάλης ποικιλίας της τοπογραφίας της, η Αιθιοπία αντιμετωπίζει ποικίλες κλιματικές συνθήκες και ανάλογα την περιοχή και την εποχή κυμαίνονται από 0°C έως 50°C (Εικόνα 2.4). Το κλιματικό αυτό εύρος υποδιαιρείται παρακάτω σε τρεις κλιματικές ζώνες με βάση το υψόμετρο (Ofcansky, T. and B. LaVerl, 1991).

Η πρώτη ζώνη είναι η πιο ψυχρή από τις τρεις. Επηρεάζει μέρη της χώρας που είναι σε υψόμετρο πάνω από 2500 m a.s.l.. Αυτές οι περιοχές βρίσκονται στις ανατολικές και δυτικές περιοχές του βορειοδυτικού οροπεδίου. Για τους Αιθίοπες, αυτή η δροσερή κλιματική ζώνη είναι γνωστή ως "Dega". Η δεύτερη κλιματική ζώνη αναφέρεται τοπικά ως "Weina Dega" και χαρακτηρίζεται από ένα εύκρατο κλίμα και ένα εύρος θερμοκρασιών που κυμαίνεται από 16°C μέχρι και 30°C. Αυτή η ζώνη επηρεάζει όλες τις περιοχές της χώρας που βρίσκονται μεταξύ 1500 και 2500 m a.s.l.. Οι περισσότερες πόλεις της Αιθιοπίας και το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού βρίσκονται σε αυτή τη κλιματική ζώνη. Η τρίτη κλιματική ζώνη είναι η ζεστή και ξηρή ζώνη "Kolla". Αυτή η ζώνη περιλαμβάνει όλες τις περιοχές της χώρας που δεν ξεπερνούν τα 1500 m a.s.l. Στην ζώνη αυτή συμπεριλαμβάνονται το βύθισμα Denakil, το ανατολικό Ogaden, οι βαθιές τροπικές κοιλάδες του Γαλάζιου Νείλου και του ποταμού Tekezé και οι περιφερειακές περιοχές κατά μήκος των συνόρων του Σουδάν και της Κένυας. Οι συνθήκες κατά την διάρκεια της ημέρας είναι αποπνικτικές, με υψηλή υγρασία και ημερήσιες θερμοκρασίες που ποικίλλουν ευρύτερα από ό, τι στις άλλες δύο περιοχές. Αν και η μέση ημερήσια θερμοκρασία της ζεστής ζώνης είναι περίπου 27°C, πολλές φορές στις ξηρές και ημιυπαίθριες περιοχές μπορεί να αγγίξει και τους 50°C.

Κεφάλαιο 2: Η Αιθιοπία



Εικόνα 2.4 Θερμοκρασιακή κατανομή (πηγή Fazzini M. et al, 2015)

Η ετήσια βροχόπτωση, κατά μέσο όρο σε ολόκληρη τη χώρα, είναι 817 mm, αλλά, λόγω της σύνθετης φυσιογραφίας και των διαφορετικών εποχιακών και χωρικών κατανομών των αέριων μαζών και ανέμων που επικρατούν, παρατηρείται μεγάλη ποικιλότητα μεταξύ των διαφόρων περιοχών (Εικόνα 2.5). Η μέγιστη ετήσια βροχόπτωση καταγράφεται στη περιοχή Gore στα δυτικά υψίπεδα σε υψόμετρο 2 002 m με 2 101 mm, ενώ η χαμηλότερη τιμή βρίσκεται στο Elidar με υψόμετρο στα 423 m με την κατακρήμνιση στα 153 mm (Fazzini M. et al, 2015). Σε ορεινές περιοχές με υψόμετρα άνω των 3 500 m συχνά πέφτουν χιόνι και χαλάζι, τα οποία όμως λιώνουν μέσα σε λίγες ώρες μετά την πτώση τους. Πιο συγκεκριμένα διακρίνονται 4 σημαντικά καθεστώτα βροχοπτώσεων.

- Οι κεντρικές, ανατολικές και βόρειες περιοχές της χώρας υπόκεινται σε ένα διτροπικό μοντέλο βροχόπτωσης, με τις μεγάλες και έντονες βροχοπτώσεις που λαμβάνουν χώρα από Ιούνιο έως Σεπτέμβριο να προέρχονται από τον Ατλαντικό Ωκεανό και τις ελαφριές, πιο σποραδικές βροχές που πέφτουν από Φεβρουάριο μέχρι Μάιο από τον Ινδικό Ωκεανό. Στις βορειότερες περιοχές της χώρας τόσο η ποσότητα των βροχοπτώσεων όσο και η διάρκεια της υγρής περιόδου είναι μειωμένες.

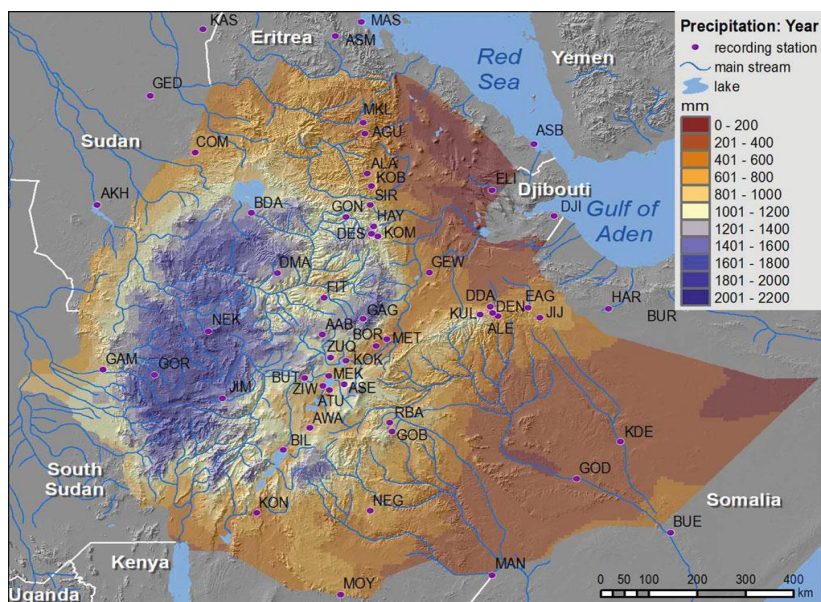
- Τα δυτικά και νοτιοδυτικά μέρη της χώρας υπόκεινται σε ένα μονοτροπικό μοντέλο βροχόπτωσης, με τις βροχές να προκαλούνται από ανέμους που προέρχονται από τον Ινδικό Ωκεανό και στη πορεία συγχωνεύονται με εκείνους από τον Ατλαντικό. Το αποτέλεσμα είναι μια συνεχής βροχερή περίοδος που ξεκινά από τον Μάρτιο ή τον Απρίλιο και διαρκεί έως τον Οκτώβριο ή τον Νοέμβριο. Η ποσότητα της κατακρήμνισης και η διάρκεια της υγρής περιόδου μειώνονται από τα βόρεια στα νότια.

- Στα νότια και νοτιοανατολικά τμήματα της χώρας η βροχή πέφτει κυρίως από τον Σεπτέμβριο έως τον Νοέμβριο και από τον Μάρτιο έως τον Μάιο με αιολικά συστήματα

Κεφάλαιο 2: Η Αιθιοπία

ερχόμενα από τον Ινδικό Ωκεανό. Οι πιο αξιόπιστοι μήνες για βροχές είναι ο Απρίλιος και ο Μάιος. Οι Αιθίοπες μιλούν για κύρια και δευτερεύουσα περίοδο βροχών.

• Τα βορειοανατολικά τμήματα της χώρας αποτελούν μέρος της δυτικής έκτασης της κοιλάδας Pitt και του παρακείμενου βυθίσματος Afar. Στις πεδινές αυτές περιοχές υπάρχει μόνο μια περίοδος βροχών, κατά τη διάρκεια της οποίας σημειώνονται μικρά ύψη. Ωστόσο, οι υγροί άνεμοι από την Ασία που διασχίζουν την αραβική χερσόνησο και υψώνονται πάνω από την Αιθιοπική γη μπορεί να φέρουν ομίχλη και βροχή οποιαδήποτε στιγμή μεταξύ Νοεμβρίου και Φεβρουαρίου.

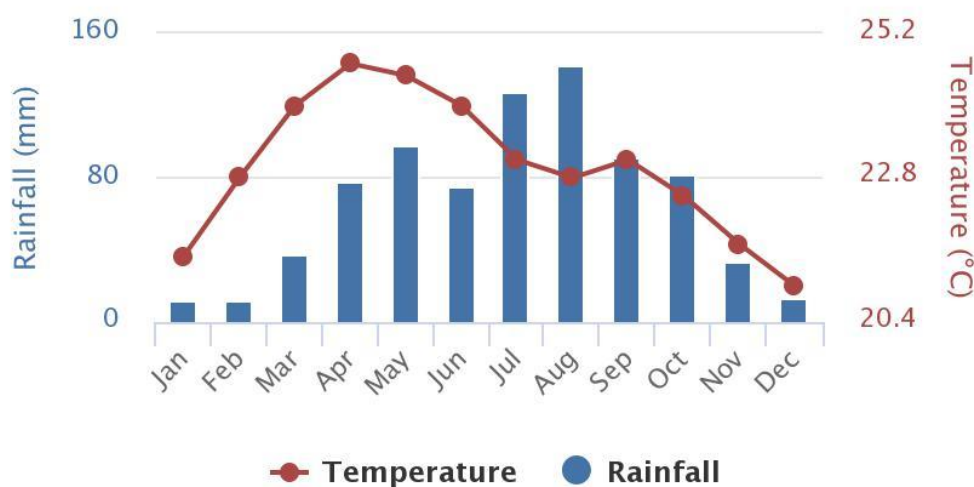


Εικόνα 2.5 Κατανομή βροχοπτώσεων (πηγή Fazzini M. et al, 2015)

Οι μεταβολές των βροχοπτώσεων σε ολόκληρη τη χώρα οφείλονται στα διαφορετικά υψόμετρα και στις εποχιακές μεταβολές των συστημάτων ατμοσφαιρικής πίεσης που διέπουν τους πνέοντες ανέμους. Λόγω αυτών των παραγόντων, ορισμένες περιοχές λαμβάνουν βροχοπτώσεις συστηματικά κατά τη διάρκεια όλου του έτους ενώ στις περισσότερες περιοχές οι βροχές είναι εποχιακές. Τον Ιανουάριο συστήματα υψηλών πιέσεων διασχίζουν την Ερυθρά Θάλασσα. Οι βορειοανατολικοί αληγείς άνεμοι, ενώ φέρνουν τη βροχή στις παράκτιες περιοχές, την αποβάλλουν στις οροσειρές της Ερυθραίας και συνεχίζουν δροσεροί και ξηροί μεταφέροντας ελάχιστη υγρασία στο εσωτερικό της Αιθιοπίας. Αυτοί σηματοδοτούν και την ξηρή περίοδο (bega) που διαρκεί για τις περισσότερες περιοχές της Αιθιοπίας από τον Οκτώβριο ως το Φεβρουάριο. Την άνοιξη, η επιρροή νοτιοδυτικών ανέμων που προέρχονται από τη λεκάνη του Κονγκό, καθορίζουν την εποχή των «Μικρών βροχών» (belg στην τοπική γλώσσα) που μπορούν να φέρουν σχετικά άφθονες βροχοπτώσεις στο νότιο τμήμα της χώρας. Το καλοκαίρι, οι θερμοί και υγροί νοτιοδυτικοί άνεμοι που προέρχονται από τον Ατλαντικό φτάνουν στα δυτικά υψίπεδα και απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες βροχής δημιουργώντας την κύρια υγρή περίοδο (kiremt στην τοπική γλώσσα). Στην Εικόνα 2.6 παρουσιάζεται το διάγραμμα της μηνιαίας κατανομής των βροχοπτώσεων στην Αιθιοπία

Κεφάλαιο 2: Η Αιθιοπία

στο οποίο γίνεται φανερός ο εποχιακός χαρακτήρας των βροχοπτώσεων και σκιαγραφούνται οι 3 περίοδοι (Bega, Belg, Kiremt) .



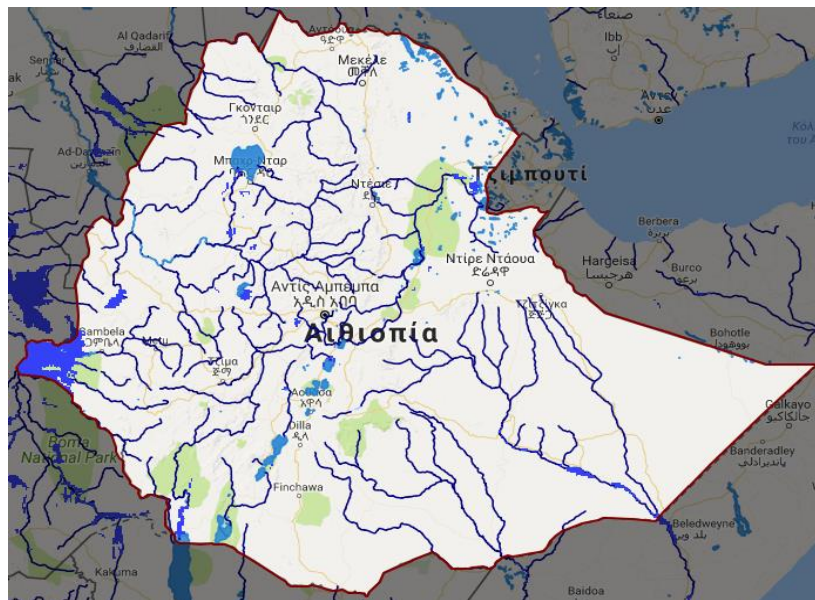
Εικόνα 2.6 Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία και Βροχοπτώση στην Αιθιοπία (1991-2015) – πηγή: World Bank

Συνολικά η Αιθιοπία χωρίζεται σε 12 βασικές λεκάνες απορροής που αποδίδουν περίπου $122 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ νερού ετησίως. Ακόμη το εν δυνάμει υπόγειο νερό που θα μπορούσε να αντληθεί και να χρησιμοποιηθεί είναι της τάξεως των $2.6 - 6.5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ το χρόνο. Το σύνολο του δυνητικά διαθέσιμου νερού λοιπόν αντιστοιχεί σε $1\,575 \text{ m}^3$ νερού ανά κάτοικο ανά έτος που είναι μια σχετικά ικανοποιητική ποσότητα. (Awulachew *et al*, 2007). Όμως λόγω της έλλειψης των κατάλληλων υποδομών και τεχνολογιών, ο έλεγχος του νερού δεν είναι δυνατός με αποτέλεσμα πολύ μικρό ποσοστό αυτού του νερού να αξιοποιείται με επίπτωση στην παραγωγικότητα των καλλιεργειών.

Η Αιθιοπία διαθέτει 9 μεγάλες λίμνες και πολλά ποτάμια που είναι συγκεντρωμένα κυρίως στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της Αιθιοπίας όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.7. Ένα από τα ποτάμια της είναι ο Γαλάζιος Νείλος, ο παραπόταμος που διαθέτει τα 2/3 του νερού του Νείλου. Ο Νείλος, είναι αποτέλεσμα κυρίως της συμβολής δύο βασικών παραπόταμων, του Γαλάζιου Νείλου που προέρχεται από τη λίμνη Τάνα στην βορειοδυτική Αιθιοπία και του Λευκού Νείλου που προέρχεται από την λίμνη Βικτορία στα σύνορα των χωρών Ουγκάντα, Τανζανία και Κένυα. Πρόκειται για τον μακρύτερο ποταμό στο κόσμο με μήκος 6 853 km και εκτείνεται σε 10 διαφορετικές χώρες με ροή από τα νότια προς τα βόρεια. Το πολύ ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του Νείλου είναι η κατανομή των βροχοπτώσεων κατά μήκος του, καθώς παρατηρείται η σταθερή μείωση των βροχοπτώσεων από τις πηγές προς τις εκβολές του. Έτσι η παροχτετευτικότητα του ρυθμίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην Αιθιοπία, με τις ισχυρές βροχοπτώσεις κατά την περίοδο των μουσώνων να προκαλούν ανύψωση της στάθμης του Νείλου και πλημμύρες, στις οποίες βασιζόταν η Αίγυπτος για χρόνια για την ανάπτυξη και επιβίωση της (Sutcliffe J. and Y. Parks, 1999).

Κεφάλαιο 2: Η Αιθιοπία

Το θέμα της κατανομής του νερού είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο σε διασυνοριακά ποτάμια συστήματα. Στη περίπτωση του Νείλου συμφωνίες που έχουν γίνει από το 1929 και έπειτα έχουν δημιουργήσει ένα καθεστώς μεγάλης ανισοκατανομής των δικαιωμάτων επί των υδατικών πόρων του ποταμού, με την Αίγυπτο και στη συνέχεια το Σουδάν να είναι οι κύριοι δικαιούχοι και διαχειριστές των νερών του Νείλου, αναπτυσσόμενοι εις βάρος της Αιθιοπίας και των υπόλοιπων χωρών που ζουν υπό το όριο της φτώχειας. Συγκεκριμένα το 1929 υπεγράφη συμφωνία μεταξύ Αιγύπτου και της Βρετανίας, η οποία εκπροσωπούσε τις αποικίες της (Σουδάν, Ουγκάντα, Κένυα, Τανζανία), όπου καθορίζονται τα ποσοστά υδάτων του Νείλου που μπορεί να εκμεταλλευτεί κάθε χώρα και που ουσιαστικά μετατρέπει την Αίγυπτο σε ηγεμόνα του Νείλου, με τις υπόλοιπες χώρες να πρέπει να λογοδοτούν για τις όποιες ενέργειες αξιοποίησης των υδάτων του (Haggai E., 2001). Το 1959 έγινε μια εκ νέου συμφωνία μεταξύ Αιγύπτου και Σουδάν στην οποία αποφασίστηκε η πλήρη χρησιμοποίηση του νερού του Νείλου, με $55.5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ να αξιοποιούνται από την Αίγυπτο και $18.5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ από το Σουδάν από το σύνολο των $84 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ του δυναμικού του Νείλου. Η Αιθιοπία και οι άλλες χώρες δυσανασχετούν αλλά δεν μπορούν να κάνουν πολλά ενάντια στο ισχυρό Αιγυπτιακό κράτος, όμως οι συγκρούσεις μαίνονται και το κλίμα είναι τεταμένο. Τελικά το 1999 σχηματίζεται η «πρωτοβουλία για τη λεκάνη του Νείλου» η οποία έχει ως στόχο τη επίτευξη δικαιότερου καταμερισμού των υδάτων του Νείλου. Το 2010, 4 από τις αδικημένες χώρες (Ουγκάντα, Ρουάντα, Τανζανία και Αιθιοπία) υπογράφουν συμφωνία απαιτώντας την ανακατανομή του νερού και τον προσδιορισμό του ποσοστού που αναλογεί σε κάθε χώρα σύμφωνα με τους ειδικούς, γεγονός στο οποίο συνεχίζει και αντιτίθεται σθεναρά η Αίγυπτος και το Σουδάν.



Εικόνα 2.7 Κατανομή Υδατικών Πόρων (Πηγή WALRIS – EthioGIS)

Είναι φανερό λοιπόν ότι το πρόβλημα του νερού στην Αιθιοπία δεν έγκειται στην απουσία υδατικών πόρων, αλλά στην αδυναμία αποθήκευσης και διαχείρισης τους ώστε να γίνεται

σωστή κατανομή στο χώρο και το χρόνο. Με τον ρυθμό αύξησης του πληθυσμού της χώρας το πρόβλημα εντείνεται και οι υδατικοί πόροι δεν επαρκούν. Με τον απρόβλεπτο χαρακτήρα της βροχόπτωσης στην Αιθιοπία, οι άνθρωποι λόγω των ελλιπέστατων δομών είναι ευάλωτοι τόσο στη ξηρασία και την επακόλουθη λειψυδρία στις ξηρές περιόδους του χρόνου, όσο και στο αντίποδα στα καταστροφικά φαινόμενα πλημμύρας κατά την επέλαση των μουσώνων.

2.2.3 Φράγματα στην Αιθιοπία

Σε όλη την Αφρική και ιδιαίτερα στην Αιθιοπία τα τελευταία χρόνια η κατασκευή μεγάλων υδροηλεκτρικών φραγμάτων γίνεται με πυρετώδεις ρυθμούς. Τα έργα αυτά, που κυρίαρχο σκοπό έχουν να εξυπηρετήσουν το ήδη μεγάλο έλλειμμα ενέργειας αλλά και τις αυξανόμενες ανάγκες που επιβάλλει η ταχέως αναπτυσσόμενη βιομηχανία και ο ραγδαία αυξανόμενος πληθυσμός, φέρνουν οφέλη σε πολλαπλούς τομείς. Οι ταμειυτήρες έχουν την εξαιρετική ιδιότητα να εξυπηρετούν πολλαπλούς σκοπούς και να προσδίδουν συνολική ευημερία στην κοινωνία. Έχουν την ικανότητα να προσφέρουν αντιπλημμυρική προστασία, γλιτώνοντας τους ανθρώπους από εκτεταμένες καταστροφές και ταυτόχρονα να αποθηκεύουν το νερό, ώστε αυτό να χρησιμοποιηθεί στις περιόδους ξηρασίας. Επίσης παρέχουν το απαραίτητο νερό για οικιακές χρήσεις αλλά και άρδευση, γεγονός που εξασφαλίζει την επισιτιστική ασφάλεια και την επιβίωση του τοπικού πληθυσμού. Ακόμη, τα φράγματα δημιουργούν υγροβιότοπους όπου μπορούν να αναπτυχθούν και άλλες δραστηριότητες που να αναβαθμίσουν την ποιότητα ζωής των κατοίκων όπως αλιεία και αναψυχή.

Στην Αιθιοπία μόνο το 25% του πληθυσμού έχει πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια. Από τη συνολική παραγόμενη ενέργεια περίπου το 80% προέρχεται από υδροηλεκτρική παραγωγή. Στόχος είναι έως το 2025 να χαρακτηρίζεται ως χώρα μεσαίου εισοδήματος με ανάπτυξη της βιομηχανικής παραγωγής και κατασκευή νέων υποδομών. Για να το επιτύχει αυτό, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει η ηλεκτροδότηση και γι' αυτό έχει θέσει ιδιαίτερα απαιτητικούς στόχους για την επέκταση της ηλεκτρικής παραγωγής και του δικτύου για τη μετάδοση της. Αυτό έχει δεσμευτεί να το υλοποιήσει με γνώμονα την ανάπτυξη και πρόοδο της χώρας με πράσινες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έναντι των συμβατικών και την εφαρμογή ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών στους τομείς των μεταφορών και της βιομηχανίας (Federal Democratic Republic of Ethiopia, 2011).

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Αιθιοπία είναι 3,81 GW (International Hydropower Association, 2017). Λόγω των ιδιαίτερα πλούσιων υδατικών πόρων της χώρας, η υδροηλεκτρική παραγωγή μπορεί δυνητικά να φτάσει και τα 45 GW και να αποτελέσει ακόμη και το 90% της συνολικής ενεργειακής παραγωγής. Περισσότερο από τα μισά αυτών των δυνατοτήτων βρίσκεται στις λεκάνες απορροής Abbay και Omo και αφορούν φράγματα που έχουν κατασκευαστεί στον μπλε Νείλο και στον ποταμό Όμο.

Ο Γαλάζιος Νείλος διαθέτει τα 2/3 του συνολικού όγκου νερού του Νείλου και διασχίζει τη βορειοδυτική Αιθιοπία για 800 km μέσω μιας σειράς βαθιών κοιλάδων και φαραγγιών ως το Σουδάν. Εκεί είναι λοιπόν υπό κατασκευή από το 2011 το φράγμα της Αναγέννησης, ή Grand Ethiopian Renaissance Dam (GERD), που μόλις ολοκληρωθεί θα είναι το μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό φράγμα στην Αφρικανική Ήπειρο με εγκατεστημένη ισχύ 6 000 MW. Θα έχει ύψος 155 m, μήκος 1800 m, χωρητικότητα ταμιευτήρα $74 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ και υλικό κατασκευής του είναι το κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (RCC). Το φράγμα αυτό αποτελεί ένα εγχείρημα που εγείρει πολλές κοινωνικοπολιτικές εντάσεις και ενστάσεις λόγω των συμφωνιών που διέπουν τα νερά του Νείλου. Σύμφωνα με τη συμφωνία του Νείλου που επεγράφη το 1929 μεταξύ Αιγύπτου και Βρετανίας, η Αίγυπτος έχει δικαίωμα να εμποδίσει την κατασκευή οποιουδήποτε έργου στο ποτάμι του Νείλου σε άλλο κράτος, εάν κρίνει πως αυτό βλάπτει τα συμφέροντα της. Η ύπαρξη και η ευημερία της Αιγύπτου είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το νερό του Νείλου καθώς το 98% των αναγκών της το καλύπτει μέσω αυτού και έτσι δεν είναι διατεθειμένη να προβεί σε νέες συμφωνίες για μια δικαιότερη ανακατανομή των υδατικών πόρων. Τελικά η συμφωνία επήλθε το Μάρτιο του 2015 όπου η Αίγυπτος, το Σουδάν και η Αιθιοπία υπέγραψαν συμφωνία όπου ορίζουν ρητά τις συνθήκες υπό τις οποίες επιτρέπεται η κατασκευή και λειτουργία του φράγματος της Αναγέννησης (Fattah A. *et.al*, 2015). Όπως αναφέρει η συμφωνία, εάν η διαχείριση του έργου δεν γίνει κατά τα συμφωνηθέντα, η χώρα τις οποίες τα δικαιώματα θίγονται μπορεί να πάρει όλα τα απαραίτητα μέτρα για να υπερασπιστεί τα συμφέροντα της και να άρει την συμφωνία. Το GERD θα είναι ένα εξολοκλήρου υδροηλεκτρικό φράγμα, και η πρώτη πλήρωση του αλλά και η μετέπειτα λειτουργία του θα γίνεται με συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα, ώστε οι ποσότητες νερού που θα δεσμεύει να είναι τέτοιες που να μην δημιουργήσουν θέμα στην παροχή του Νείλου προς την Αίγυπτο και το Σουδάν.

Ο ποταμός Όμο έχει μήκος 760 km και η διαδρομή του ξεκινά μέσα από μια απότομη απρόσιτη κοιλάδα, στη συνέχεια περνά από κάποιες πεδινές εκτάσεις επιβραδύνοντας το ρυθμό του και στη τελικά ρέει μέσα από μια επίπεδη, ημι-έρημη περιοχή για να καταλήξει στη λίμνη Turkana. Κατά μήκος του έχει κατασκευαστεί μια αλληλουχία φραγμάτων, τα Gibe I και Gibe II με εγκατεστημένη ισχύ 184 MW και 420 MW αντίστοιχα και το σημαντικότερο Gibe III, το οποίο με εγκατεστημένη ισχύ 1870 MW αποτελεί αυτή τη στιγμή το τρίτο μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό φράγμα στην Αφρική μετά το Aswan Dam (2100 MW) στην Αίγυπτο και το Cahora Bassa Dam (2075 MW) στη Μοζαμβίκη. Το Gibe III είναι το υψηλότερο φράγμα από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (RCC) στον κόσμο με ύψος 246 m και λειτουργεί από το Δεκέμβριο του 2016 (International Hydropower Association, 2017). Έχει μήκος 610 m και ωφέλιμη χωρητικότητα $11.75 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ ενώ η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από 10 τουρμπίνες Francis ισχύος 187 MW η καθεμία. Στη σειρά αυτή των φραγμάτων που αξιοποιούν το υδατικό δυναμικό του ποταμού Όμο έρχεται να προστεθεί και το Koyscha Hydroelectric Project, το νέο υπό κατασκευή φράγμα από RCC. Η κατασκευή του φράγματος ξεκίνησε από το Μάρτιο του 2016 και αναμένεται να ολοκληρωθεί σε 5 χρόνια. Θα έχει ύψος 175 m και χωρητικότητα $6 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ και οι 8 Francis τουρμπίνες θα

παρέχουν ισχύ 2 160 MW. Το υδροηλεκτρικό φράγμα Koysba μαζί με το Gibe III και το φράγμα της αναγέννησης (GERD) αποσκοπούν στο να μετατρέψουν την Αιθιοπία σε πρωταγωνίστρια στο τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας στην Αφρικανική αγορά.

Εκτός όμως από τα πολυάριθμα οφέλη αυτών των μεγάλων φραγμάτων υπάρχουν και αρκετά προβλήματα που φέρνει η κατασκευή τους. Το οικοσύστημα στην περιοχή του φράγματος διαταράσσεται με αποτέλεσμα την εξάλειψη ορισμένων ειδών που ζουν στο φυσικό περιβάλλον ενώ η διακοπή της ροής του ποταμού επιδρά και στο περιβάλλον κατάντη του φράγματος με πιθανή μείωση της βιοποικιλότητας, του πληθυσμού των ψαριών αλλά και με αρνητικές επιπτώσεις στους ανθρώπους που ζουν και καλλιεργούν εκμεταλλευόμενοι το νερό του ποταμού. Ακόμη την θέση δασών και γεωργικών εκτάσεων πλέον καταλαμβάνει ο ταμιευτήρας του φράγματος, που μπορεί να δημιουργήσει μια λίμνη πολλών τετραγωνικών χιλιομέτρων και να εκτοπίσει χιλιάδες ανθρώπους από τον τόπο κατοικίας τους. Επίσης λόγω της μεγάλης ανάγκης για άμεση ανακούφιση μεγάλης μερίδας του πληθυσμού που υποφέρει από την ανεπάρκεια νερού, είναι πολύ σημαντικό τα έργα που γίνονται να είναι ανθρωποκεντρικά και με σεβασμό στο φυσικό περιβάλλον και να μην εξυπηρετούν μόνο τα μεγάλα συμφέροντα. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται ευκολότερα με έργα μικρότερης κλίμακας που έχουν άμεσα οφέλη στις τοπικές κοινότητες, είναι λιγότερο δαπανηρά και είναι ευκολότερα διαχειρίσιμα στο πλαίσιο της κοινότητας.

2.3 ΦΡΑΓΜΑ DAMTE

Στην φιλοσοφία των μικρής κλίμακας αλλά μεγάλης σημασίας έργων εντάσσεται το φράγμα Damte, που αποτελεί και το αντικείμενο αυτής της εργασίας. Πρόκειται για ένα φράγμα που χτίστηκε κατά την περίοδο 2003-2005 στην επαρχία Damot Gale του νομού North Omo στην περιφέρεια Southern Nations Nationalities and Peoples Region (SNNPR), μια περιοχή περίπου 300 km νοτιοδυτικά της πρωτεύουσας Αντίς Αμπέμπα (Εικόνα 2.8). Το αρδευτικό αυτό φράγμα υλοποιήθηκε στα πλαίσια παροχής τεχνικής και ανθρωπιστικής βοήθειας προς της αναπτυσσόμενες χώρες (Hellenic AID) και χρηματοδοτήθηκε κατά 75% από το Ελληνικό Υπουργείο Εξωτερικών (ΥΠΕΞ). Ο σχεδιασμός, η μελέτη και η υλοποίηση του φράγματος ανατέθηκε στην ΜΚΟ «Μηχανικοί χωρίς σύνορα» (ΜΧΣ), με συμμετοχή του Τομέα Υδατικών Πόρων της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ (Αραπάκη Ε., 2001). Επίσης το εγχείρημα κοινοποιήθηκε στην Αιθιοπική κοινότητα της Αθήνας και στο Γενικό Προξενείο της Αιθιοπίας στην Ελλάδα, οι οποίοι ίδρυσαν την «Επιτροπή Αλληλεγγύης για την Ξηρασία στην Αιθιοπία» με σκοπό την ενίσχυση των πρωτοβουλιών αντιμετώπισης των εκτεταμένων προβλημάτων ξηρασίας στην Αιθιοπία. Το εναπομείναν 25% της χρηματοδότησης του έργου καλύφθηκε από δωρεές και εράνους της συγκεκριμένης

επιτροπής και από τον κρατικό φορέα «Disaster Prevention and Preparedness Commission» της Αιθιοπίας.

Για την επιλογή του αναδόχου της κατασκευής εξετάστηκαν 3 πιθανές εναλλακτικές: (1) Κατασκευή από το φορέα υλοποίησης (ΜΧΣ), (2) Κατασκευή από ελληνική κατασκευαστική εταιρία και επίβλεψη από ΜΧΣ και (3) Κατασκευή από Αιθιοπικό Φορέα και επίβλεψη από ΜΧΣ. Τελικά προέκυψε η 3^η λύση ως πιο συμφέρουσα κι έτσι η κατασκευή του φράγματος και των συναφών έργων ανατέθηκε στον αρμόδιο κρατικό φορέα για της ευρύτερης περιοχής του έργου, τη SIDA (South Irrigation Development Authority), (Μουτάφης Ν. & Ι. Κουγιαννός, 2006). Η προμήθεια των συρματοκιβωτίων του υπερχειλιστή έγινε από την ιταλική εταιρία “Officine Maccaferri SpA” ενώ η προμήθεια των σωλήνων και των καμπύλων τμημάτων για τον αγωγό υδροληψίας έγινε από ελληνική εταιρία Η μεταφορά των υλικών έγινε μέσω του λιμανιού του Djibouti και στη συνέχεια με αιθιοπική μεταφορική εταιρία στη θέση του έργου. Εργατικό δυναμικό απαρτιζόμενο από τους δικαιούχους του έργου συμμετείχε στην κατασκευή του έργου το οποίο ξεκίνησε το Νοέμβριο του 2003 και ολοκληρώθηκε στα μέσα του 2005. Συνολικά πρόκειται για μια ελληνό-αιθιοπική πρωτοβουλία που έγινε πραγματικότητα με τη βοήθεια και τη συνεισφορά πολλών συντελεστών.

Στις αρχές της 3ης χιλιετίας όταν και κατασκευάζεται το φράγμα, η Αιθιοπία είναι μια πολύ διαφορετική χώρα από αυτή που παρουσιάζεται σήμερα. Ο πόλεμος με την Ερυθραία μόλις έχει λήξει αλλά το κλίμα είναι ακόμα τεταμένο. Πολλές εμφύλιες συγκρούσεις μαίνονται και άνθρωποι εγκαταλείπουν τις περιοχές τους. Το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν ανά κάτοικο ανέρχεται περίπου στα 130\$ το 2000 αλλά η οικονομία αρχίζει να εμφανίζει τα πρώτα σημάδια προόδου και από το 2003 και μετά το ετήσιο ΑΕΠ έχει μια σταθερά αυξανόμενη πορεία (IMF,2000). Ταυτόχρονα το 2002 μπαίνει σε εφαρμογή το αναπτυξιακό σχέδιο για «Βιώσιμη ανάπτυξη και μείωση της φτώχειας» και η χώρα αρχίζει να έχει ανοδική πορεία. Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας ήταν της τάξεως των 500 MW με μόνο το 8% του πληθυσμού να έχει πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια. Το οδικό δίκτυο, αν και αποτελεί το κυρίαρχο σύστημα μεταφορών στην Αιθιοπία είναι πολύ περιορισμένο την δεκαετία του 1990 με το 75% μάλιστα να είναι δρόμοι σε κακή κατάσταση. Η βελτίωση και επέκταση του οδικού δικτύου έχει όμως δρομολογηθεί αφού η κυβέρνηση συντάσσει το 1997 το πρόγραμμα ανάπτυξης του οδικού τομέα (RSDP) (Environmental Protection Authority of Ethiopia, 2012). Όλα δείχνουν ότι η περίοδος που κατασκευάστηκε το έργο, η Αιθιοπία βρίσκεται στη μεταβατική φάση που την οδήγησε από χώρα της Υποσαχάριας μη αναπτυγμένης Αφρικής σε μια από της πλέον ταχέως αναπτυσσόμενες οικονομίες του σύγχρονου κόσμου.

Η περιοχή του έργου, όπως και οι περισσότερες μη αστικές επαρχίες της Αιθιοπίας, είναι καθαρά αγροτική με κύρια καλλιέργεια το καλαμπόκι, τη γλυκοπατάτα και διαφόρων ειδών πράσινα λαχανικά. Η υπερεντατική καλλιέργεια και η εξαρτώμενη από τη βροχή άρδευση έχει οδηγήσει σε υποβάθμιση του εδάφους και τη μείωση της παραγωγικότητας. Ο πληθυσμός της ευρύτερης περιοχής ανέρχεται στους 14 000 κατοίκους με έντονα αυξητικές

τάσεις, με τη μέση οικογένεια να αποτελείται από 8 άτομα. Το πόσιμο νερό δεν είναι δεδομένο όλη τη διάρκεια του έτους και έχουν καταγραφεί περιστατικά λιμού λόγω περιορισμένης βροχόπτωσης και καταστροφής της σοδειάς, ενώ η μαλάρια είναι μέσα τις 10 πρώτες ασθένειες (Co-SAERSAR, 2000).

Αυτή τη κοινωνία έρχεται να ανακουφίσει αυτό το μικρό αναπτυξιακό υδραυλικό έργο. Με όγκο ταμιευτήρα 560 000 m³ είναι ικανό να ωφελήσει 400 από τις 2 100 οικογένειες που ζουν στην περιοχή και να αρδεύσει μια έκταση 415 στρεμμάτων. Το νερό θα πάψει να είναι εποχιακό αγαθό καθώς η βροχή που πέφτει κατά την υγρή περίοδο μπορεί πλέον να αποθηκευτεί στον ταμιευτήρα και να χρησιμοποιηθεί για το πότισμα των καλλιεργειών κατά την ξηρή περίοδο. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της παραγωγής, σε διπλή συγκομιδή μέσα στο χρόνο και σε βελτίωση του υποσιτισμού στην περιοχή. Ακόμη μπορούν να εισαχθούν νέα είδη καλλιέργειας με πολλαπλά οφέλη τόσο στο διατροφικό επίπεδο των ανθρώπων όσο και στον εμπλουτισμό και αύξηση της απόδοσης του εξασθενημένου εδάφους. Η ανησυχία των κατοίκων μπορεί να κατευναστεί, αφού η ύδρευση και το πότισμα των ζώων αποκτά πλέον μια σταθερότητα. Το φράγμα έχει επίσης και αντιπλημμυρικό ρόλο αφού συγκρατεί το νερό και αποτρέπει τις καταστροφές από την ανεξέλεγκτη ροή του. Τέλος στα νερά της λίμνης μεταφέρθηκαν ψάρια ώστε στις ασχολίες και τη διατροφή των κατοίκων να προστεθεί και η αλιεία.

Οι δύσκολες συνθήκες που επικρατούν από άποψη εγκαταστάσεων, υποδομών και ελλিপών δεδομένων δημιούργησαν δυσκολίες στη μελέτη και κατασκευή του φράγματος. Οι κακοί ή και ανύπαρκτοι δρόμοι μετατρέπουν την μεταφορά υλικών και εξοπλισμού σε χρονοβόρα και απαιτητική διαδικασία.. Η έλλειψη υδρομετρικών, θερμοκρασιακών και γεωλογικών δεδομένων οδηγεί αναπόφευκτα σε παραδοχές, υποθέσεις και αυξημένους συντελεστές ασφαλείας στη μελέτη του έργου. Η ανεπάρκεια εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού και ο ελλιπής εξοπλισμός οδήγησε στη χειρωνακτική παραγωγή λίθων από το λατομείο. Οι καθυστερήσεις στην καταβολή της χρηματοδότησης και η γραφειοκρατία δημιούργησε εμπόδια για την υλοποίηση του έργου σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα. Παρά όμως τις δυσκολίες, η θέληση και η διάθεση για αλληλεγγύη και προσφορά από όλους τους συντελεστές έκανε αυτό το έργο πραγματικότητα, αποδεικνύοντας τον ευεργετικό και κοινωφελή χαρακτήρα που μπορεί να έχει ένα έργο πολιτικού μηχανικού.

Κεφάλαιο 2: Η Αιθιοπία



Εικόνα 2.8 Θέση φράγματος Damte

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

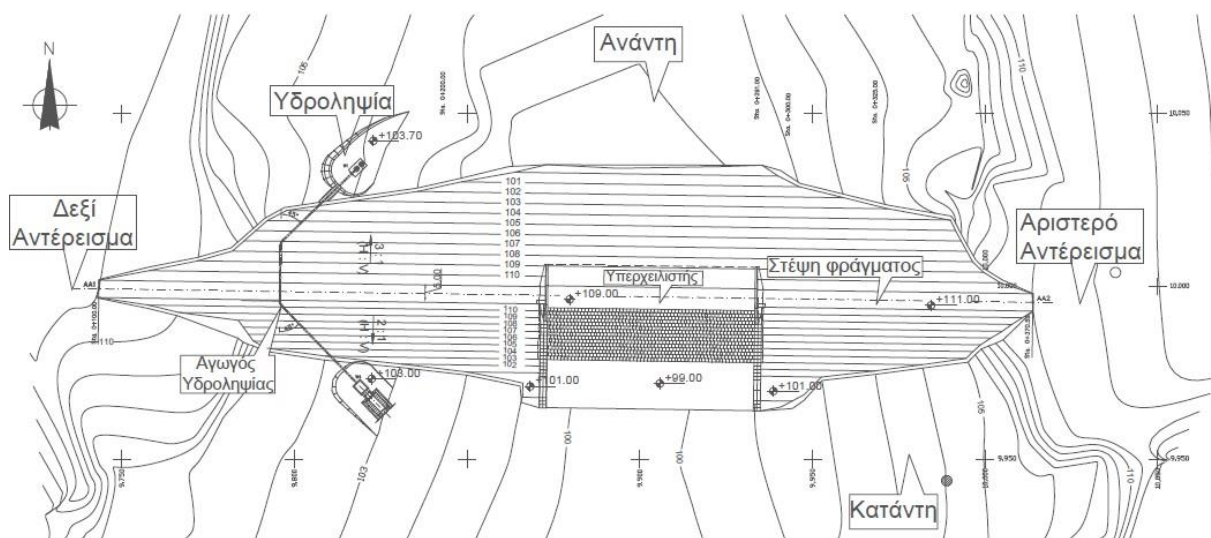
Η μελέτη και ο σχεδιασμός του φράγματος Damte έγινε με συνεργασία μηχανικών από την ΜΚΟ «Μηχανικοί χωρίς σύνορα» και από τον Τομέα Υδατικών Πόρων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Engineers Without Borders - GR, 2003). Βασικός στόχος της μελέτης είναι η μεγιστοποίηση της ποσότητας νερού που μπορεί να αποθηκευτεί στον ταμιευτήρα για την κατά το δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη των αναγκών της τοπικής κοινότητας, όπως αυτές εκτιμώνται από προηγούμενες μελέτες που έγιναν από την αρμόδια αρχή για την αρδευτική ανάπτυξη της Νότιας Αιθιοπίας (SIDA - South Irrigation Development Authority, 1999,2000,2001). Το έργο αποτελείται από ένα γεώφραγμα, τον ταμιευτήρα που συλλέγει τα νερά από το ρέμα Damte, τον υπερχειλιστή για την ασφαλή διόδευση του νερού των πλημμυρών και το σύστημα υδροληψίας για την εκμετάλλευση και την ελεγχόμενη απόληψη νερού από τον ταμιευτήρα. Η διαστασιολόγηση του έργου έγινε για διάρκεια ζωής 25 έτη και σύμφωνα με τις εκτιμήσεις ο νεκρός όγκος θα φτάσει τη στάθμη υδροληψίας σε αυτό το διάστημα. Συνολικά έγινε μια προσπάθεια βελτιστοποίησης του σχεδιασμού, για τη μεγιστοποίηση της ωφελιμότητας ενός τέτοιου έργου αλλά συνυπολογίζοντας τις παραμέτρους του κόστους και της ασφάλειας.

Οι συνθήκες υπό τις οποίες έγινε η μελέτη και κατασκευή του φράγματος καθώς και η έλλειψη δεδομένων και πληροφοριών δημιούργησε ιδιαιτερότητες στη διαδικασία υλοποίησης του και οδηγεί τους μελετητές σε δυσκολίες και πολλές παραδοχές. Σε ότι αφορά τα τοπογραφικά δεδομένα, η εξαγωγή του τοπογραφικού χάρτη έγινε με αυθαίρετη επιλογή συντεταγμένων καθώς δεν ήταν δυνατή η ένταξη του σχεδίου στο Εθνικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς. Ως υψόμετρο της κοιλάδας του ρέματος πάρθηκε το +100 m. Ακόμη, η απόληψη των υλικών για την κατασκευή του φράγματος από το λατομείο και η συλλογή τους έγινε κατά βάση με μηχανικά μέσα, τόσο για την μείωση του κόστους όσο και για τη συμμετοχή του τοπικού εργατικού δυναμικού στη κατασκευή του έργου. Μια από τις ελλείψεις κατά το σχεδιασμό του έργου ήταν η απουσία υδρομετρικού σταθμού στη περιοχή του έργου. Για τη σύνταξη την υδρολογικής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον βροχομετρικό σταθμό που είναι εγκατεστημένος στην Areka, περιοχή 25 km δυτικά την περιοχής μελέτης με υψόμετρο +750 m, καθώς ήταν ο πιο κοντινός σταθμός και διέθετε τις πιο πρόσφατες μετρήσεις. Ομοίως υπήρχε έλλειψη στοιχείων για τη θερμοκρασιακή μεταβολή και συλλέχθηκαν δεδομένα από το σταθμό Sekoru που παρουσιάζει περίπου το

ίδιο υψόμετρο με την περιοχή μελέτης και θεωρήθηκε ότι έχει ίδια απόκριση με τη λεκάνη ενδιαφέροντος.

3.2 ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η λεκάνη απορροής του ποταμού έχει έκταση 23.3 km² και το υψόμετρο κυμαίνεται από +1870 m μέχρι +2050 m. Το φράγμα επιλέχθηκε να γίνει χωμάτινο με λιθορριπή και οι κλίσεις των πρανών είναι 1:3 ανάντη και 1:2 κατόντη (Εικόνα 3.1). Η στέψη του έχει πλάτος 5 m. Ο υπερχειλιστής έχει πλάτος 60 m και η πλημμύρα σχεδιασμού του είναι 109 m/s, που διοχετεύεται με ανύψωση του νερού 1m. Επιλέχθηκε επίπεδος υπερχειλιστής τύπου “broad crested weir” ο οποίος είναι τοποθετημένος κεντρικά στο σώμα του φράγματος (μετωπικός) και διαμορφώθηκε με τοιχοποιία. Η διώρυγα πτώσης είναι βαθμιδωτή, με διαστάσεις σκαλοπατιών 60*1.0*0.5 και υλοποιήθηκε με συρματοκιβώτια (gabions) που πληρώθηκαν με βραχώδες υλικό από το λατομείο, ώστε να έχει ο υπερχειλιστής καλή συμπεριφορά σε τυχόν παραμορφώσεις του φράγματος. Αυτό μαζί με μια λεκάνη ηρεμίας 9 m αποτελούν το σύστημα απόσβεσης της ενέργειας του νερού που ρέει, για την ασφαλή παροχέτευση του στα κατόντη. Οι δύο κατακόρυφες υδροληψίες (σε διαφορετικές στάθμες) τοποθετήθηκαν στο δεξί αντέρεισμα του φράγματος και το νερό μεταφέρεται στα κατόντη μέσω χαλύβδινου σωλήνα εγκιβωτισμένου σε σιδηροπαγές σκυρόδεμα που διέρχεται διαμέσου του βραχώδους υπόβαθρου της θεμελίωσης. Ο αγωγός καταλήγει σε έναν οικίσκο όπου στεγάζονται οι δύο βαλβίδες ρύθμισης της παροχής του νερού που λειτουργούν μηχανικά. Η γενική διάταξη του φράγματος φαίνεται στην Εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1 Γενική διάταξη φράγματος Damte

Κεφάλαιο 3: Στοιχεία από τη μελέτη του φράγματος

Η μορφολογία της κοιλάδας στη περιοχή μελέτης εισάγει περιορισμό ως προς το ύψος του φράγματος, διότι πάνω από το υψόμετρο +111 m αυξάνεται απότομα το πλάτος της και στα δύο αντερείσματα με αποτέλεσμα η περαιτέρω αύξηση του ύψους να οδηγεί σε δυσανάλογη αύξηση του μήκους του αναχώματος. Έτσι παρόλο που οι εκτιμήσεις της υδρολογικής μελέτης (Engineers Without Borders - GR, 2003) υποδεικνύουν ετήσιο διαθέσιμο υδροδυναμικό μεγαλύτερο από αυτό που μπορεί να αποθηκεύσει ο ταμιευτήρας, το υψόμετρο της στέψης ορίζεται στα +111 m και γίνεται επιτακτικός ο προσεκτικός σχεδιασμός του υπερχειλιστή αφού το φράγμα αναμένεται να υπερχειλίσει επανειλημμένα. Για ανώτατη στάθμη λειτουργίας του φράγματος στα +109 m, προκύπτει από την καμπύλη στάθμης – αποθέματος ο όγκος του ταμιευτήρα στα 560 000 m³. Ακόμη η εκτίμηση του νεκρού όγκου στα 25 χρόνια λειτουργίας του φράγματος οδηγεί στον προσδιορισμό της κατώτατης στάθμης λειτουργίας του που προκύπτει στα +105.60 m. Η ωφέλιμη χωρητικότητα του φράγματος προκύπτει τελικά στα 408 500 m³ και για την εκμετάλλευση μεγαλύτερης ποσότητας νερού προστίθεται μια δεύτερη πηγή υδροληψίας σε υψόμετρο +104.00 m που εξασφαλίζει περαιτέρω 100 000 m³ νερού μέχρι να καλυφθεί από τα φερτά. Συγκεντρωτικά, τα χαρακτηριστικά υψομετρικά μεγέθη του φράγματος φαίνονται στον πίνακα 3.1.

3.1 Υψομετρικά Μεγέθη Φράγματος

Υψόμετρα	Τιμές (m)
Στέψης	+111.00
Ανώτατης Στάθμης Πλημμύρας	+110.00
Ανώτατης Στάθμης Λειτουργίας - Στέψης Υπερχειλιστή	+109.00
Κατώτατης Στάθμης Λειτουργίας – Υδροληψίας 2	+105.60
Υδροληψίας 1	+104.00
Θεμελίωσης	+96.00

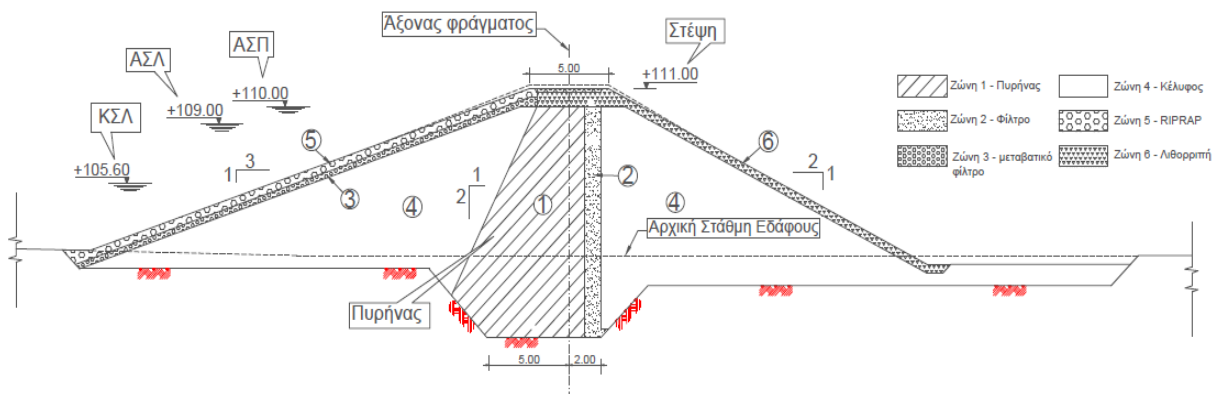
Για την κατασκευή του γεωφράγματος χρησιμοποιήθηκαν υλικά τόσο από την λεκάνη κατάκλισης όσο και από κοντινές περιοχές από τη θέση του έργου. Το έδαφος της περιοχής είναι πλούσιο σε λεπτόκοκκα υλικά καλά διαβαθμισμένα οπότε είναι κατάλληλο για την κατασκευή του πυρήνα (ζώνη 1). Για την προστασία του πυρήνα από διάβρωση τοποθετήθηκε ως φίλτρο μια δεύτερη ζώνη, αποτελούμενη από αμμώδεις ποτάμιες αποθέσεις που συλλέχθηκαν από κοντινό δανειοθάλαμο (περιοχή Alaba, 40 km από το φράγμα). Η μεταβατική ζώνη 3 χρησιμεύει ως ένα πιο χονδρόκοκκο φίλτρο αποτελούμενο από βραχώδη υλικά από το τοπικό λατομείο (1100 m από το φράγμα) και η ζώνη 4 αποτελεί το σώμα στήριξης του φράγματος που κατασκευάζεται από αμμώδη άργιλο που εντοπίζεται στην αριστερή όχθη του ποταμού και απαιτεί καλή συμπίκνωση. Τέλος οι ζώνες 5 (rip – rap) και 6 είναι ουσιαστικά οι στρώσεις προστασίας και ευστάθειας του φράγματος στα ανάντη και τα κατόντη αντίστοιχα και κατασκευάζονται με λιθορριπή υλικών από το λατομείο. Ο σωστός σχεδιασμός του σώματος του φράγματος είναι απαραίτητος και οδηγεί στην ελεγχόμενη

Κεφάλαιο 3: Στοιχεία από τη μελέτη του φράγματος

αποστράγγιση του νερού του ταμιευτήρα χωρίς την ανάπτυξη υπερπίεσεων και ταυτόχρονα στην ευστάθεια του αναχώματος. Τα βασικά στοιχεία της γεωμετρίας του σώματος του φράγματος φαίνονται στον πίνακα 3.2 ενώ οι διαζώνηση του αναχώματος φαίνεται στη τυπική διατομή του (Εικόνα 3.2).

3.2 Στοιχεία της γεωμετρίας του φράγματος

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	ΤΙΜΕΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ
Ύψος	15	m
Μήκος	270	m
Όγκος	81000	m ³
Πλάτος στέψης	5	m
Κλίση ανάντη πρανούς	1:3	-
Κλίση κατόντη πρανούς	1:2	-



Εικόνα 3.2 Τυπική Διατομή Φράγματος Damte

3.3 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Ο υδρολογικός σχεδιασμός ενός έργου γίνεται μέσω μελέτης η οποία περιλαμβάνει μεγάλες αβεβαιότητες, ασάφειες και αποκλίσεις καθώς οι υδρολογικές μεταβλητές είναι δύσκολο να μετρηθούν με ακρίβεια. Το εγχείρημα γίνεται ακόμη πιο δύσκολο όταν υπάρχει σοβαρή έλλειψη δεδομένων και κακή ποιότητα ή μη πληρότητα μετρήσεων όπως στην περίπτωση του έργου Damte.

Στην ευρύτερη περιοχή του έργου δεν υπάρχουν δεδομένα σε ότι αφορά τις παροχές και στερεοπαροχές των χειμάρρων αλλά ούτε και ιδιαίτερα αξιόπιστα βροχομετρικά στοιχεία. Η

Κεφάλαιο 3: Στοιχεία από τη μελέτη του φράγματος

χωροχρονική μεταβολή της βροχής γίνεται προσπάθεια να προσεγγιστεί από καταγραφές βροχομέτρων που υπάρχουν σε γειτονικές λεκάνες απορροής και διαθέτουν στοιχεία ετήσιας και για ορισμένα χρόνια και μηνιαίας βροχόπτωσης. Αρχικά η συσχέτιση του απόλυτου υψομέτρου των σταθμών και του ετήσιου ύψους βροχής δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα με συνέπεια να μην μπορεί να καταρτιστεί βροχοβαθμίδα. Ακόμη ο έλεγχος ομοιογένειας των ετήσιων κατακρημνίσεων των σταθμών που έγινε με τη μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης δείχνει ότι οι μετρήσεις είναι προβληματικές και η ποιότητα τους αμφισβητήσιμη αφού για την ίδια χρονική περίοδο υπάρχουν αδικαιολόγητα μεγάλες αποκλίσεις στις τιμές της βροχόπτωσης. Επίσης η εκτίμηση των συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των μετρήσεων των σταθμών δείχνει και πάλι σφάλματα στις μετρήσεις της βροχής, αφού προέκυψαν όλοι πολύ μικρότεροι της μονάδας. Τελικά η εκτίμηση των βροχοπτώσεων στη λεκάνη απορροής έγινε με τις καταγραφές από το σταθμό Areaka που απέχει 25 km από τη θέση του έργου και είναι ο πλησιέστερος βροχομετρικός σταθμός. Οι μετρήσεις που υπήρχαν αφορούσαν τη χρονική περίοδο 1988-1996 και φυσικά δεν αποτελούσαν επαρκές δείγμα. Για το λόγο αυτό έπρεπε να γίνει συμπλήρωση των βροχομετρικών παρατηρήσεων μέσω συσχέτισης με τον σταθμό Sekou ($r^2 = 0,572$) που οι μετρήσεις ξεκινούσαν από το 1969 και που με τη σειρά του έπρεπε να συμπληρωθεί από τον σταθμό Welkitie ($r^2 = 0.439$) για τα έτη 1980,1981,1983 που δεν υπήρχαν στοιχεία. Τελικά προέκυψαν οι ετήσιες βροχοπτώσεις του σταθμού Areaka για το διάστημα 1969 – 1996. Οι μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις στη λεκάνη απορροής παρουσιάζονται στον πίνακα της Εικόνα 3.3 όπου διαπιστώνεται ότι η μέση ετήσια βροχόπτωση υπολογίστηκε στα **1 627 mm**. Τέλος σε ότι αφορά τα δεδομένα ημερήσιων βροχοπτώσεων και πάλι δεν υπήρχαν επαρκή στοιχεία. Διαθέσιμες ήταν μόνο οι τιμές της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης κάθε μήνα για την εικοσαετή λειτουργία του σταθμού Areaka, που όμως χωρίς τη χρονοσειρά των παρατηρήσεων δεν ήταν επαληθεύσιμες και μια σύντομη πενταετής καταγραφή από τον σταθμό Awassa που δεν κάλυπτε όμως το σύνολο των ημερών του έτους και μόνο για λόγους σύγκρισης παρατέθηκε.

Χρόνος	Ιαν.	Φεβρ.	Μάρτ.	Απρ.	Μάιος	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπτ.	Οκτ.	Νοεμ.	Δεκ.	Ετήσιο
1988	98	25	57	193	104	109	350	237	241	245	35	5	1.697
1989	37	91	64	184	94	145	219	191	142	145	10	138	1.459
1990	97	186	112	118	193	130	202	134	177	27	23	92	1.490
1991	156	91	121	15	219	161	156	209	234	10	35	38	1.445
1992	120	100	47	313	191	68	174	332	205	189	99	29	1.866
1993	136	204	43	284	310	94	268	186	118	94	9	10	1.754
1994	79	4	138	193	274	113	219	274	114	7	22	4	1.439
1995	52	61	79	322	156	124	214	193	204	125	21	5	1.556
1996	97	23	229	299	219	295	261	203	191	11	64	40	1.933
M.O.	97	87	99	213	196	138	229	218	180	95	35	40	1.627
%	6%	5%	6%	13%	12%	8%	14%	13%	11%	6%	2%	2%	100%
Max	156	204	229	322	310	295	350	332	241	245	99	138	1933
Min	37	4	43	15	94	68	156	134	114	7	9	4	1439

Εικόνα 3.3 Μέσες Μηνιαίες Βροχοπτώσεις στη λεκάνη απορροής (mm) [πηγή: Αραπάκη Ε.,2001]

Ζητούμενο της μελέτης ήταν η εκτίμηση των παροχών του ποταμού μέσω κατάστρωσης του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής συνεπώς απαιτείται ο προσδιορισμός της εξατμισοδιαπνοής. Στο συγκεκριμένο έργο, τα μόνα διαθέσιμα δεδομένα ήταν θερμοκρασιακά και μάλιστα υπήρχαν μόνο τέσσερις μετεωρολογικοί σταθμοί και φυσικά εκτός της λεκάνης απορροής. Από αυτούς υπήρχαν οι καταγραφές των μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών του κάθε μήνα, συνεπώς το εξαγόμενο δεδομένο ήταν η μέση μηνιαία θερμοκρασία που δεν παρουσίαζε μεγάλη διακύμανση ούτε σε χωρική ούτε σε χρονική κλίμακα. Προσεγγιστικά η μέση θερμοκρασία για τη περιοχή μελέτης θεωρήθηκε ότι είναι **19.8°C**. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με τρεις διαφορετικές εμπειρικές μεθόδους, τις Thornthwaite (1948), Blaney-Criddle (1962) και Hargreaves (1974). Η πρώτη εκτιμά την μηνιαία εξατμισοδιαπνοή με δεδομένο τη μέση μηνιαία θερμοκρασία και η χρήση της συνιστά υπεραπλούστευση. Οι άλλες δύο μέθοδοι εισάγουν την έννοια της καλλιέργειας αναφοράς, δηλαδή της εξατμισοδιαπνοής σε μια ενεργώς αναπτυσσόμενη καλλιέργεια με επαρκή εδαφική υγρασία το είδος της οποίας προσδιορίζεται μέσω του εμπειρικού συντελεστή K_c (συντελεστής καλλιέργειας). Μετά από δοκιμές επιλέχθηκε συντελεστής $K_c = 0.4$ ως αντιπροσωπευτικός τη λεκάνης απορροής και προέκυψε ετήσια εξατμισοδιαπνοή της τάξεως των 660 mm.

Τελικά για τον υπολογισμό της απορροής χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου κατά Thornthwaite το οποίο χρειάζεται ως δεδομένα εισόδου τη βροχόπτωση και τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή και εξάγει ως αποτελέσματα την πραγματική εξατμισοδιαπνοή και την απορροή, έχοντας ως παράμετρο την αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους (S). Η εφαρμογή του μοντέλου έγινε για τιμές της παραμέτρου $S=100$ mm και $S=200$ mm και για τις τρεις μεθόδους υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής και το αποτέλεσμα ήταν μεγάλοι συντελεστές απορροής της τάξεως του 60% και μικρή διαφοροποίηση των τιμών με την αλλαγή της παραμέτρου. Τα ετήσια χαρακτηριστικά στοιχεία του ισοζυγίου ανάλογα με τη μέθοδο υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής και την τιμή της αποθηκευτικής ικανότητας του εδάφους φαίνεται στον πίνακα 3.3. Για την εκτίμηση της ορθότητας των αποτελεσμάτων έγινε ο υπολογισμός της μέσης ετήσιας απορροής της λεκάνης και με τη μέθοδο Turk που με δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας δίνει την μέση ετήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Οι συντελεστές απορροής κατά Turk προέκυψαν 20% μικρότεροι και η διαφορά των δύο μεθόδων έγκειται κυρίως στη δυσκολία προσέγγισης του πραγματικού φυτικού συντελεστή K_c .

3.3 Ετήσια χαρακτηριστικά στοιχεία ισοζυγίου

Εξατμ/πνοή κατά	S=200 mm			S=100 mm		
	Blaney- Criddle	Hargreaves	Thornthwaite	Blaney- Criddle	Hargreaves	Thornthwaite
Βροχή(mm)	1627	1627	1627	1627	1627	1627
Απορροή (mm)	933	970	793	963	1001	831
Συντ. Απορροής c %	57	60	49	59	61	51

Αφού λοιπόν προσδιορίστηκε η απορροή της λεκάνης, ζητούμενο ήταν να καταρτιστεί το υδρογράφημα που θα αντιπροσωπεύει την πλημμύρα σχεδιασμού για το έργο. Για το σκοπό αυτό έγιναν τα εξής:

1. Καθώς δεν υπάρχουν δεδομένα πλημμυρών, ως τυπική μορφή υδρογραφήματος χρησιμοποιήθηκε το τριγωνικό μοναδιαίο υδρογράφημα κατά USDA-SCS (1965).
2. Ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης υπολογίστηκε με 4 διαφορετικές μεθόδους (Giandotti, Kirpich, USDA-SCS, νομογραφήματα USBR) και επιλέχθηκε ο μικρότερος ($t_c=3.1$ h κατά Kirpich) υπέρ της ασφαλείας.
3. Στη συνέχεια γίνεται η επιλογή των βροχών σχεδιασμού
 - a) για τον καθορισμό της ανώτατης στάθμης πλημμύρας και
 - b) για τη διαστασιολόγηση του υπερχειλιστή.

Εξετάστηκαν 2 διαφορετικά μοντέλα. Αρχικά προσεγγίστηκε το αμερικανικό ντετερμινιστικό μοντέλο για το οποίο έγινε στατιστική προσέγγιση της πιθανής μέγιστης βροχόπτωσης (PMP) κατά Hershfield με χρήση των μοναδικών διαθέσιμων 24ωρων μετρήσεων από το σταθμό Areka (μέγεθος δείγματος 20 παρατηρήσεις). Για διάρκειες βροχόπτωσης 6, 9 και 12 ώρες προέκυψαν ύψη PMP 208, 220 και 230 mm αντίστοιχα. Έπειτα προσεγγίστηκε το ευρωπαϊκό πιθανοτικό μοντέλο για το οποίο έγινε πιθανοτική ανάλυση βροχοπτώσεων κατά Gumbel που έδωσε αποτελέσματα ως προς τα μέγιστα ύψη βροχόπτωσης για διάφορες περιόδους επαναφοράς. Για να προσδιοριστεί η τελική τιμή της βροχής σχεδιασμού έγινε εκτίμηση των απωλειών λόγω παρεμπόδισης, κατακράτησης και διήθησης κατά USDA-SCS. Τελικά οι βροχές σχεδιασμού που προέκυψαν για φράγμα χαμηλής επικινδυνότητας φαίνονται στον πίνακα 3.4.

3.4 Βροχές Σχεδιασμού

	ΑΣΠ (mm)	Διαστασιολόγηση υπερχειλιστή (mm)
Αμερικανικοί κανονισμοί	122	103
Ευρωπαϊκοί κανονισμοί	103 – 116	103

Τα δύο υδρογραφήματα εισόδου προέκυψαν με βάση τις δύο βροχές σχεδιασμού διάρκειας 6 ωρών, λόγω του εποχιακού και τροπικού χαρακτήρα των βροχοπτώσεων στην Αιθιοπία. Από αυτά έγινε υπολογισμός της μέγιστης παροχής και του όγκου εισροής νερού στον ταμιευτήρα τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 3.5, μεγέθη απαραίτητα για τον σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση του έργου.

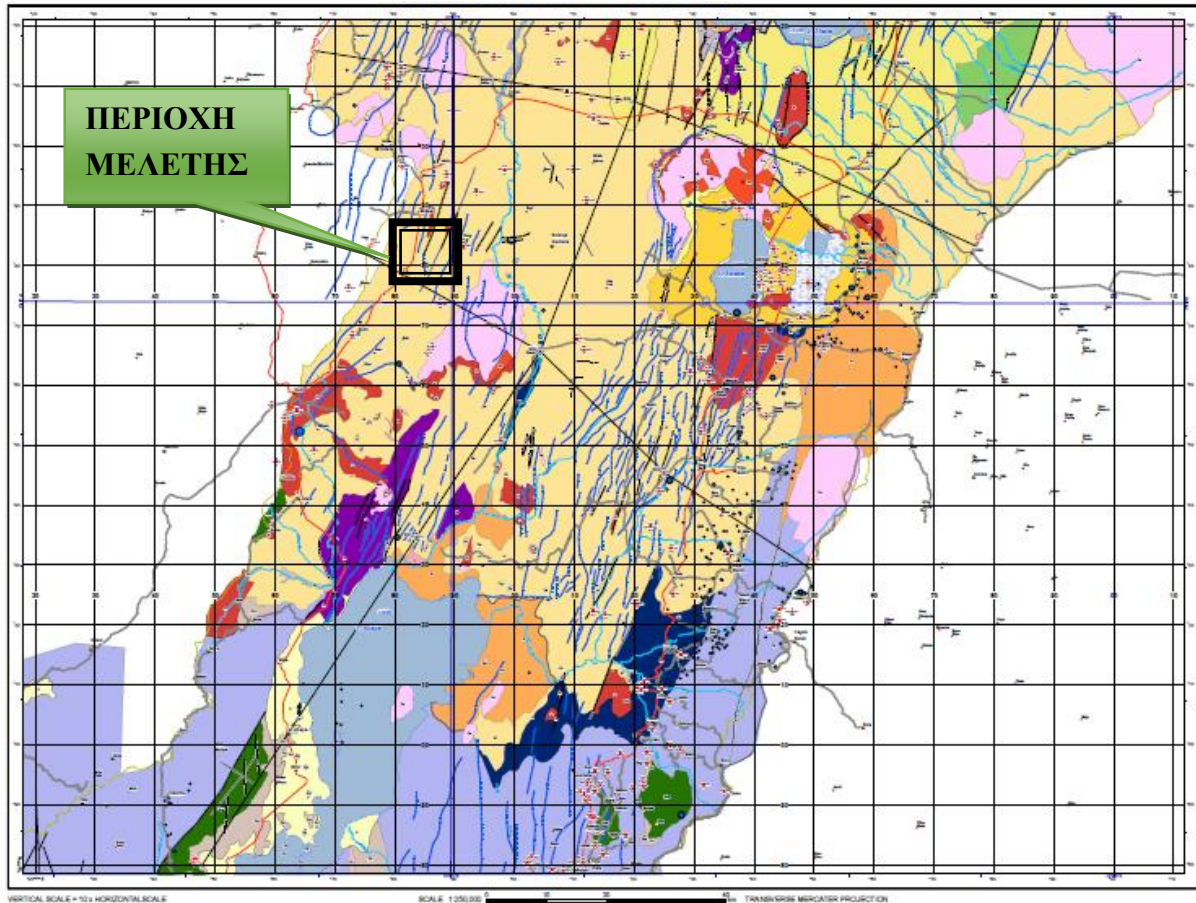
3.5 Μέγιστες παροχές και όγκοι υδρογραφημάτων εισόδου για τις βροχές σχεδιασμού του χείμαρρου Damte

	Αριθμός Καμπύλης	P (mm)	P' (mm)	Max παροχή (m ³ /s)	Όγκος εισροής (m ³)
Καθορισμός ΑΣΠ	CN85	120	79	142	1 830 000
Καθορισμός ΑΣΛ	CN85	100	61	110	1 410 000

3.4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η γεωμορφολογία της ευρύτερης περιοχής ποικίλει και είναι αποτέλεσμα της έντονης ηφαιστειακής και τεκτονικής δραστηριότητας που υπάρχει λόγω του «Μεγάλου τεκτονικού ρήγματος» (Great Rift Valley) που διατρέχει την περιοχή. Το ρήγμα αυτό αποτελεί τμήμα του Ανατολικού Αφρικανικού ρήγματος το οποίο είναι υπεύθυνο για την διαδικασία διάσπασης της Αφρικανικής τεκτονικής πλάκας σε δύο μέρη και το μελλοντικό σχηματισμό δύο νέων πλακών, της Σομαλικής και της Νούμπιαν. Η παρουσία του ρήγματος έχει δημιουργήσει βυθίσματα του εδάφους σε πολλά σημεία και ανώμαλη μορφολογία, η οποία καθορίζει και το σύστημα αποστράγγισης των λεκανών απορροής, ελέγχοντας σημαντικά τον ρου των ποταμών.

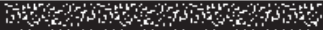






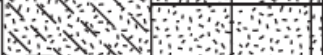
Στη περιοχή του έργου σύμφωνα με τον παρακάτω χάρτη (Εικόνα 3.4) απαντώνται ηφαιστειακά πετρώματα και συγκεκριμένα ρυόλιθος, τραχίτης, ηφαιστειακοί τόφφοι και ιγκνιμβρίτης και επομένως η σύσταση του εδάφους εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του μητρικού πετρώματος.



Εικόνα 3.4 Γεωλογικός χάρτης των περιοχών Sodo και Awassa [ΠΗΓΗ: JICA, 2012]

Τα τροπικά εδάφη είναι υπολειμματικά εδάφη (residual soils) και προέρχονται από την επί τόπου αποσάθρωση των μητρικών πετρωμάτων. Λόγω του τροπικού κλίματος που χαρακτηρίζεται από έντονες βροχοπτώσεις και υψηλές θερμοκρασίες, προκαλείται έντονη και εκτενής χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων ενώ οι μακρές ξηρές περιόδους συντελούν ώστε τα εδάφη να βρίσκονται υπό ακόρεστες συνθήκες (Northmore, K. J *et al*, 1992). Στην Εικόνα 3.5 δίνεται τυπικό εδαφικό προφίλ της τροπικής αποσάθρωσης και της δημιουργίας υπολειμματικού εδάφους από το μητρικό πέτρωμα. Το υπολειμματικό έδαφος αντιστοιχεί ουσιαστικά στον μεγαλύτερο βαθμό αποσάθρωσης (VI) και έχει πάχος μερικών μέτρων.

Κεφάλαιο 3: Στοιχεία από τη μελέτη του φράγματος

Humus/topsoil		
VI Residual soil		All rock material converted to soil; mass structure and material fabric destroyed. Significant change in volume.
V Completely weathered		All rock material decomposed and/or disintegrated to soil. Original mass structure still largely intact.
IV Highly weathered		More than 50% of rock material decomposed and/or disintegrated to soil. Fresh/dicoloured rock present as discontinuous framework or corestones.
III Moderately weathered		Less than 50% of rock material decomposed and/or disintegrated to soil. Fresh/dicoloured rock present as continuous framework or corestones.
II Slightly weathered		Discoloration indicates weathering of rock material and discontinuity surfaces. All rock material may be discoloured by weathering and may be weaker than in its fresh condition.
1B Faintly weathered		Discolouration on major discontinuity surfaces.
1A Fresh		No visible sign of rock material weathering.

Εικόνα 3.5 Τυπικό προφίλ αποσάθρωσης τροπικών εδαφών [πηγή: Toll D. G., 2012]

Το έδαφος στην περιοχή μελέτης είναι αργιλο-ιλύς, υψηλής πλαστικότητας και ερυθροκάστανου χρώματος. Το ερυθρό χρώμα αποτελεί κοινό χαρακτηριστικό των τροπικών εδαφών και οφείλεται στην παρουσία οξειδίων του σιδήρου και του αργιλίου. Τα στοιχεία αυτά είναι υπεύθυνα και για τη δημιουργία μετα-σταθών δεσμών μεταξύ των εδαφικών κόκκων (metastable state), οι οποίοι προσδίδουν κάποια συνοχή στο εδαφικό υλικό με τη μορφή σιμέντωσης (cemented soils). Το χαρακτηριστικό αυτών των εδαφών είναι ότι με την επαναλαμβανόμενη διαβροχή και ξήρανση μπορεί να χάσουν απότομα τη διατμητική αντοχή τους και λόγω της μετα-σταθούς τους δομής να καταρρεύσουν (Townsend F. C., 1985).

Ανάλογα με το βαθμό της αποσάθρωσης εντοπίζονται διαφορετικά αργιλικά ορυκτά στο υπολειμματικό έδαφος. Με βάση την ετήσια κατακρήμνιση στη περιοχή μελέτης (1627 mm), το έδαφος αναμένεται να περιέχει καολινίτη και γιββσίτη, σύμφωνα με την ταξινόμηση του MacFarlane (1976). Αυτό προκύπτει και από την ταξινόμηση του εδάφους με γνώμονα το στάδιο αποσάθρωσης του κατά Duchaufour (1990), όπου η περιοχή μελέτης κατατάσσεται στη κατηγορία “Fersiallitic (Andosols)”, με χαρακτηριστικά το ερυθρό χρώμα και την παρουσία καολινίτη και οξειδίων του σιδήρου και του αργιλίου.

Τα τροπικά εδάφη δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς και δεν μπορούν να ενταχθούν στα κλασικά συστήματα ταξινόμησης των λοιπών εδαφών. Γενικά μπορεί να παρουσιάσουν προβληματική συμπεριφορά η οποία σχετίζεται με το γεγονός ότι ορισμένα από αυτά εμφανίζουν πολύ χαμηλές τιμές πυκνότητας, μικρότερες και από του νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να έχουν μετα-σταθή δομή η οποία υπό ακόρεστες συνθήκες λόγω του φαινομένου της αρνητικής πίεσης πόρων (suction) διατηρεί τη συνοχή της, αλλά όταν το υλικό διαβραχεί οι ελκτικοί δεσμοί χάνονται και το έδαφος μπορεί να καταρρεύσει. Επίσης, εφόσον το έδαφος υποστεί

φόρτιση μεγαλύτερη από την οριακή διατμητική αντοχή ενδέχεται να καταρρεύσει (Toll D. G., 2012).

Πρέπει λοιπόν να λαμβάνεται υπόψη ο ρόλος της αρνητικής πίεσης πόρων στη συμπεριφορά του εδάφους καθώς καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά του. Την ξηρή περίοδο που ο υδροφόρος βρίσκεται χαμηλότερα και το έδαφος είναι ακόρεστο, η αρνητική πίεση πόρων προσδίδει μεγαλύτερη φαινόμενη διατμητική αντοχή στο έδαφος με αποτέλεσμα τα εδαφικά πρηνή να διατηρούν την ευστάθειά τους. Η ευεργετική επίδραση όμως της αρνητικής πίεσης πόρων χάνεται με μια έντονη βροχόπτωση που μετατρέπει το υλικό σε μερικώς κορεσμένο ή κορεσμένο, με αποτέλεσμα τις πιθανές τοπικές αστοχίες πρηνών.

Σε ότι αφορά τη γεωτεχνική μελέτη του φράγματος, έγιναν 18 δειγματοληψίες από διάφορα σημεία της περιοχής μελέτης, για τον προσδιορισμό ορισμένων βασικών παραμέτρων του εδάφους στην περιοχή θεμελίωσης του φράγματος, την λεκάνη κατάκλισης αλλά και στους δανειοθαλάμους των υλικών κατασκευής του. Εξετάστηκε η κοκκομετρία της περιοχής και κατασκευάστηκαν κοκκομετρικές καμπύλες που υποδεικνύουν πως το υλικό γύρω από τον άξονα του φράγματος είναι πολύ λεπτόκοκκο ιδιαίτερα στις ανώτερες στρώσεις, με κατά μέσο όρο το 90% του υλικού να διέρχεται από το κόσκινο Νο 200. Ακόμη, από δοκιμή συμπίεσης που εκτελέστηκε προέκυψε ότι το μέγιστο ξηρό ειδικό βάρος του εδάφους στη περιοχή του έργου είναι 15 kN/m^3 , που σημαίνει ότι το εδαφικό υλικό είναι χαμηλής πυκνότητας. Σε ότι αφορά την αντοχή του υλικού, έγινε μια μη προστεροποιημένη αστράγγιστη τριαξονική δοκιμή (UU) μέσω της οποίας προσδιορίστηκαν οι παράμετροι διατμητικής αντοχής με τιμές γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi=28^0$ και συνοχής $c=382 \text{ kN/m}^2$, οι οποίες κρίνονται υψηλές και αναμένεται μεγάλη διαφοροποίηση τους εάν το υλικό κορεστεί. Για την ανάλυση ευστάθειας του εδάφους θεμελίωσης στη γεωτεχνική μελέτη λήφθηκαν ως παράμετροι αντοχής του εδάφους οι τιμές $\phi=23^0$ και $c=50 \text{ kN/m}^2$. Τέλος το έδαφος στην περιοχή θεμελίωσης σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δοκιμών έχει υγρό ειδικό βάρος $\gamma_{υγρ}=19 \text{ kN/m}^3$ και κορεσμένο ειδικό βάρος $\gamma_{κορ}=19.5 \text{ kN/m}^3$ ενώ ο ιγνιμβρίτης του βραχώδους υπόβαθρου θεωρείται ότι είναι μέτρια ως πολύ αποσαθρωμένος σύμφωνα με τις εμφανίσεις του πετρώματος που φαίνεται στις όχθες (Engineers without Borders – GR, 2003).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΕΠΙΣΚΕΨΗ

Για την εκτίμηση της λειτουργίας του φράγματος και τον εντοπισμό των πιθανών προβλημάτων του έργου έγινε μια επίτοπου επίσκεψη στην περιοχή. Η επίσκεψη στο φράγμα έγινε το πρώτο δεκαήμερο του Μαΐου του 2018. Η περίοδος αυτή συμπίπτει με την εποχή των «Μικρών βροχών» (belg στα Αμχάρικα) και συνεπώς ο ταμιευτήρας ήταν πληρωμένος σχεδόν ολοκληρωτικά με νερό.

4.1 ΦΡΑΓΜΑ

Η πρώτη ενέργεια για την επιθεώρηση του φράγματος αφορούσε την παρατήρηση του σώματος του φράγματος. Εκ πρώτης όψεως το φράγμα μοιάζει να είναι σε πολύ καλή κατάσταση χωρίς φανερές δυσλειτουργίες και παραμορφώσεις. Περιπατώντας κατά μήκος της στέψης έγινε έλεγχος για καθιζήσεις μέσω παρατήρησης της επιφάνειας της. Δεν έγινε αντιληπτή κανενός είδους παραμόρφωση που θα μπορούσε να θεωρηθεί ανησυχητική, αλλά έγινε σύσταση για περαιτέρω διερεύνηση με τη βοήθεια τοπογράφου. Οι μεγάλες καθιζήσεις της στέψης είναι συχνό φαινόμενο σε τέτοιου είδους φράγματα και μπορεί να προκληθούν εξαιτίας διάφορων παραγόντων όπως αστάθεια των πρανών, εσωτερική διάβρωση, συμπύκνωση των στρωμάτων θεμελίωσης, μεταβολή του όγκου του αργιλικού πυρήνα, συμπύκνωση του υλικού των πρανών ή και μεταβολές της στάθμης του ταμιευτήρα, συνεπώς η απουσία τους υποδεικνύει σωστό σχεδιασμό και άρτια κατασκευή του φράγματος.

Ακόμη έγινε εξέταση των πρανών του φράγματος. Δυστυχώς λόγω της υψηλής στάθμης του νερού ανάντη (Εικόνα 4.1), δεν ήταν δυνατός ο προσδιορισμός της στάθμης του νεκρού όγκου. Κατάντη εντοπίστηκαν ορισμένες ανωμαλίες στη διάταξη της εξωτερικής προστατευτικής λιθορριπής (ζώνη rip-rap) του φράγματος. Αυτό μπορεί να οφείλεται:

- a) στην έντονη βροχόπτωση, χαρακτηριστικό του τροπικού κλίματος της Αιθιοπίας. Κατά την επέλαση των μουσώνων είναι πιθανό να παρασύρεται υλικό του φράγματος στα κατάντη.
- b) στους ίδιους τους ανθρώπους και τα ζώα τους. Όπως διαπιστώθηκε και κατά την επίσκεψη, δεν υπάρχει επαρκής φύλαξη και οι άνθρωποι περπατάνε πάνω στο φράγμα προκαλώντας πιθανώς μικροζημιές.
- c) στην υπερβολική υπερχειλίση του φράγματος. Διαπιστώθηκε ότι στην περιοχή πλησίον του υπερχειλιστή το φαινόμενο ήταν κάπως πιο έντονο γεγονός που

Κεφάλαιο 4: Επιθεώρηση του φράγματος και επί τόπου επίσκεψη

οδηγεί στο συμπέρασμα πως ίσως το νερό να υπερπηδά τον τοίχο του υπερχειλιστή και να ρέει πάνω στο σώμα του φράγματος.

Ακόμη κατάντη υπήρχε μια σποραδική φυτοκάλυψη όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.2, η οποία συνίσταται να αφαιρεθεί καθώς τα φυτά μέσω του ριζικού συστήματος πιθανώς να αντλούν νερό από τον ταμιευτήρα. Δεν εντοπίστηκαν συγκεντρώσεις άμμου ή διαρροές νερού διαμέσου του σώματος του φράγματος.



Εικόνα 4.1 Ανάντη πρανές του φράγματος



Εικόνα 4.2 Κατάντη πρανές του φράγματος

4.2 ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗΣ

Ο υπερχειλιστής όπως και το σύνολο του φράγματος είναι επίσης σε αρκετά καλή κατάσταση. Σύμφωνα με τις μαρτυρίες των ντόπιων, το φράγμα υπερχειλίζει ακόμη από τα πρώτα χρόνια της λειτουργίας του, γεγονός που είχε προβλεφθεί ήδη από τη μελέτη. Όπως τόνισαν όμως το φαινόμενο εντείνεται χρόνο με το χρόνο, και πλέον σχεδόν κάθε δυνατή βροχόπτωση οδηγεί σε υπερχείλιση, προκαλώντας μεμονωμένες ζημιές στις κοντινές καλλιέργειες και τα δέντρα. Αυτό λογικά συνδέεται με την αύξηση των φερτών στον ταμιευτήρα που έχουν μειώσει την χωρητικότητα του. Επίσης ανέφεραν πως η ροή του νερού είναι αυξημένη στο αριστερό τμήμα του υπερχειλιστή, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα πως μάλλον υπάρχει κάποια καθίζηση του υπερχειλιστή σε αυτό το τμήμα που όμως δεν είναι φανερό οπτικά και δεν φαίνεται να έχει δημιουργήσει άλλα προβλήματα. Παρόλα αυτά καλό θα ήταν να γίνουν ορισμένες μετρήσεις με τη βοήθεια τοπογράφου ώστε να διαπιστωθεί εάν κάτι τέτοιο ισχύει ή όχι.

Δεδομένης της πολύ τακτικής υπερχείλισης του νερού του ταμιευτήρα οι φθορές που εντοπίζονται είναι μεμονωμένες. Διαπιστώθηκε πως ορισμένα από τα συρματοκιβώτια (gabions) που σχηματίζουν τα σκαλοπάτια του υπερχειλιστή έχουν παραμορφωθεί με αποτέλεσμα το βραχώδες υλικό να έχει μετατοπισθεί από την αρχική του θέση (Εικόνα 4.3, Εικόνα 4.4). Αυτό πρέπει να αντιμετωπισθεί καθώς υπάρχει ο κίνδυνος της αλυσιδωτής αλλοίωσης μεγαλύτερου ποσοστού των gabions. Το συρματοσχοίνο που συγκρατεί το βραχώδες περιεχόμενο φαίνεται πως διατηρεί τις αντοχές του και δεν είναι φανερό κάποια εκτεταμένη διάβρωση του υλικού.

Ο πλαϊνός τοίχος στη στέψη του υπερχειλιστή έχει υποστεί ορισμένες ρωγμές. Καθώς είναι κατασκευασμένος από τοιχοποιία, οι ρωγμές αυτές πιθανώς οφείλονται στις μεγάλες θερμοκρασίες και στη διαστολή του υλικού. Ακόμη είναι πιθανό οι ρωγμές αυτές να έχουν δημιουργηθεί από την φάση της σκυροδέτησης. Γενικά φαίνονται επιφανειακές και δεν απειλούν την λειτουργία του φράγματος.

Τέλος σε ότι αφορά τη λεκάνη ηρεμίας που είχε σχεδιαστεί από την μελέτη για την πλήρη απόσβεση της ενέργειας του νερού που υπερχειλίζει, διαπιστώθηκε πως η κατασκευή αυτή δεν υπάρχει και στη θέση της υπάρχουν δέντρα και καλλιέργειες.

Κεφάλαιο 4: Επιθεώρηση του φράγματος και επί τόπου επίσκεψη



Εικόνα 4.3 Φθορές στα gabions του υπερχειλιστή



Εικόνα 4.4 Παραμόρφωση συρματοκιβωτίου του υπερχειλιστή

4.3 ΥΔΡΟΛΗΨΙΑ

Η υδροληψία λόγω της υψηλής στάθμης του ύδατος δυστυχώς δεν ήταν ορατή. Από τις μαρτυρίες των ανθρώπων και την ευρύτερη εικόνα, φαίνεται πως τα φερτά υλικά απειλούν να καλύψουν την είσοδο του αγωγού υδροληψίας. Όπως ανέφεραν οι ντόπιοι, έχουν γίνει κατά καιρούς προσπάθειες για απομάκρυνση των φερτών από την εσχάρα και την παρεμπόδιση της έμφραξης της, αλλά η κατάσταση δεν είναι εύκολη. Χαρακτηριστικά ανέφεραν πως η παροχή του αγωγού έχει μειωθεί και δεν είναι απίθανο να περνάει μέσω αυτού αργιλικό υλικό στα κατάντη.

Η έξοδος του αγωγού υδροληψίας αντιθέτως μοιάζει να είναι σε καλή κατάσταση. Έγινε επίδειξη της λειτουργίας του αγωγού με την βοήθεια του υπεύθυνου για την ρύθμιση της παροχής Αιθίοπα, ο οποίος μηχανικά άνοιξε την βαλβίδα και το νερό έτρεξε προς το κύριο αρδευτικό κανάλι (Εικόνα 4.5). Συνολικά ο αγωγός υδροληψίας και οι δύο βαλβίδες ρύθμισης της εκροής του αγωγού δεν αντιμετωπίζουν προβλήματα όμως περαιτέρω διερεύνησης χρήζει το γεγονός ότι η κατασκευή που αποτελεί την έξοδο του αγωγού είναι πλημμυρισμένη με αποτέλεσμα οι βαλβίδες να είναι βυθισμένες στο νερό (Εικόνα 4.5).



Εικόνα 4.5 Έξοδος αγωγού υδροληψίας - βαλβίδες ρύθμισης ροής βυθισμένες στο νερό

4.4 ΦΕΡΤΑ

Στην ποσότητα των φερτών υλικών εντοπίζεται το βασικότερο πρόβλημα του φράγματος Damte. Η στάθμη του ταμιευτήρα δεν επέτρεψε την άμεση εκτίμηση του όγκου των φερτών όμως το χρώμα του νερού, η αυξημένη συχνότητα υπερχείλισης, η μειωμένη παροχή του αγωγού και οι μαρτυρίες των κατοίκων κάνουν φανερές τις διαστάσεις του προβλήματος.

Με τον περίπατο που έγινε περιμετρικά της λίμνης, έγινε φανερή μια πιθανή αιτία του προβλήματος. Το έδαφος και στις δύο όχθες φέρει σημαντικά σημάδια διάβρωσης και τα φυσικά πρανή μοιάζουν να έχουν υποχωρήσει από την αρχική τους θέση. Το υλικό από αυτές τις κατολισθήσεις έχει βυθιστεί στον ταμιευτήρα μειώνοντας αναπόφευκτα την χωρητικότητα του. Παρατηρώντας γενικότερα το γεωλογικό προφίλ της Αιθιοπίας κατά τη διάρκεια της επίσκεψης, έγινε φανερό πως το έδαφος παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά ευρύτερα στη χώρα και δεν αποτελεί χαρακτηριστικό της περιοχής του φράγματος. Το πρόβλημα εντείνεται και λόγω των οικόσιτων ζώων των κατοίκων της περιοχής, τα οποία προσεγγίζοντας την λίμνη για να πιούν νερό σπρώχνουν με τα πόδια τους το χωμάτινο υλικό μέσα στον ταμιευτήρα.

4.5 ΑΡΔΕΥΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Το αρδευτικό δίκτυο της περιοχής δεν αποτέλεσε αντικείμενο της αρχικής μελέτης και σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε σε δεύτερο χρόνο από τις τοπικές αρχές. Δεν υπάρχει κάποια σαφής αποτύπωση των καναλιών, όμως όπως διαπιστώθηκε υπάρχει ένα κύριο αρδευτικό κανάλι το οποίο στην πορεία του εκτρέπεται ώστε να οδηγηθεί το νερό στις καλλιέργειες των κατοίκων της περιοχής. Η επίτοπου επίσκεψη συνέπεσε με την περίοδο ανακατασκευής του κύριου χωμάτινου καναλιού (Εικόνα 4.6), καθώς όπως αναφέρθηκε είχε αρχίσει να υπολειτουργεί λόγω του χωμάτινου υλικού που είχε αρχίσει να μαζεύεται κατά μήκος της διατομής του. Αυτό αποτελεί ακόμη μια ένδειξη της διαβρωσιμότητας του εδάφους, η οποία οδήγησε σε μεταφορά υλικού εντός του καναλιού, παρεμποδίζοντας την ομαλή ροή του νερού εντός του. Οι εργασίες γίνονται επί του υφιστάμενου καναλιού, με τον πυθμένα να κατασκευάζεται από σκυρόδεμα και τα εκατέρωθεν πρανή από τοιχοποιία. Το πρωτεύον κανάλι θα έχει μήκος 1.50 km και κλίση 0.1%. Η περίοδος της κατασκευής του επιλέχθηκε ορθά, αφού λόγω των βροχοπτώσεων της εποχής ο ταμιευτήρας δεν χρησιμοποιείται και οι καλλιέργειες ποτίζονται με το νερό της βροχής. Για την επίτευξη του εγχειρήματος εργάζεται το σύνολο της τοπικής κοινωνίας.



Εικόνα 4.6 Ανακατασκευή κύριου αρδευτικού καναλιού

Σε ότι αφορά την διοικητική οργάνωση, η διαχείριση του υδατικού δυναμικού του ταμιευτήρα γίνεται από το «irrigation water users association» που αποτελείται από μέλη της τοπικής κοινωνίας. Η κατανομή του νερού στους δικαιούχους γίνεται μάλλον όχι με ιδιαίτερο προγραμματισμό, γεγονός που επιφέρει συγκρούσεις μεταξύ των ντόπιων οι οποίοι συχνά διεκδικούν μεγαλύτερο μερίδιο νερού για τις καλλιέργειες τους. Η σωστή διαχείριση του νερού και η βελτιστοποίηση της χρήσης του είναι πρωτεύουσας σημασίας, διότι με αυτόν τον τρόπο θα εξυπηρετηθούν περισσότεροι άνθρωποι και θα καλυφθούν καλύτερα οι ανάγκες της κοινότητας.

Τέλος σε ότι αφορά το είδος των καλλιεργειών, οι άνθρωποι στη συγκεκριμένη περιοχή φυτεύουν και καλλιεργούν διάφορων ειδών λαχανικά όπως κρεμμύδια, ντομάτες, λάχανο αλλά και καλαμπόκι και σιτάρι. Το νερό για την ανάπτυξη της γεωργίας πλέον δεν παρέχεται μόνο από τη βροχή (rainfed agriculture) αλλά έχει μια ετήσια ρύθμιση με τη βοήθεια του φράγματος. Παρόλα αυτά οι ποσότητες του νερού που απαιτούνται για αυτές τις καλλιέργειες καλό είναι να εκτιμηθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια και οι μέθοδοι ποτίσματος να βελτιωθούν, ώστε να μην γίνεται σπατάλη νερού.

4.6 ΑΛΛΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στο σύνολο των δεδομένων που συλλέχθηκαν από την επιτόπου επίσκεψη πρέπει να προστεθούν κάποια ακόμη στοιχεία.

Αρχικά, σχετικά με το φράγμα πρέπει να αναφερθεί ότι, όπως προστάζει και ο γενικότερος χαρακτήρας των συγκεκριμένων κατασκευών, έχει πολλαπλή χρησιμότητα. Οι άνθρωποι χρησιμοποιούν το νερό του κυρίως για άρδευση αλλά ταυτόχρονα στη λίμνη του πλένονται, ποτίζουν τα ζώα τους, πλένουν τα ρούχα τους και τα παιδιά βουτούν και δροσίζονται. Αναφέρθηκε από τους κατοίκους πως 18 άτομα έχουν χάσει τη ζωή τους στο νερό της λίμνης, καθώς στη προσπάθειά τους να πλυθούν είτε επειδή έχουν χάσει την ισορροπία τους, είτε επειδή το χώμα υποχωρεί κάτω από τα πόδια τους έχουν πέσει μέσα στη λίμνη χωρίς να καταφέρουν να ξαναβγούν. Στο ταμιευτήρα (όπως είχε προταθεί και στη μελέτη σκοπιμότητας του έργου), υπάρχουν ψάρια, όμως η αλιεία δεν είναι μια από τις δραστηριότητες των ανθρώπων καθώς δυστυχώς δεν ξέρουν πώς να ψαρεύουν και δεν διαθέτουν αντίστοιχο εξοπλισμό. Το νερό της λίμνης δεν χρησιμοποιείται για την ύδρευση του πληθυσμού λόγω της υποβαθμισμένης ποιότητας του και οι άνθρωποι συνεχίζουν να διανύουν μεγάλες αποστάσεις (μισή ώρα οι ενήλικες, μια ώρα τα παιδιά) για να φτάσουν σε κάποιο πηγάδι από όπου προμηθεύονται νερό.

Επίσης σε ότι αφορά τη λειτουργία του φράγματος δεν υπάρχει κάποια συστηματική καταγραφή κάποιων στοιχειωδών πληροφοριών όπως για παράδειγμα της στάθμης του ταμιευτήρα. Δεν υπάρχουν εγκατεστημένα όργανα και ίσως υπάρχουν ορισμένες καταγραφές από τους δύο φύλακες του φράγματος, δεδομένα που ζητήθηκαν από το «irrigation water users association». Ακόμη ο οικίσκος που είχε φτιαχτεί κατά την διάρκεια κατασκευής του φράγματος χρησιμεύει ως κατοικία των φυλάκων. Τέλος, η πινακίδα που ήταν εγκατεστημένη και έκανε αναφορά στους συντελεστές του έργου και την ελληνική συμβολή για τη δημιουργία του φράγματος υπάρχει ακόμη, το περιεχόμενο της όμως έχει σβηστεί. Παρόλα αυτά όλη η τοπική κοινωνία μοιάζει να γνωρίζει και να ευγνωμονεί τους Έλληνες για τη συνεισφορά τους.

Τέλος, η γενικότερη εικόνα των συνθηκών διαβίωσης της τοπικής κοινότητας είναι συγκριτικά καλή αλλά παραμένει μάλλον δύσκολη. Οι άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε ηλεκτρικό ρεύμα, γεγονός διόλου παράξενο σύμφωνα με τη γενικότερη κατάσταση στην χώρα. Τα σπίτια τους (Tukul) είναι φτιαγμένα από ξύλα, συγκεκριμένα ευκάλυπτο τον οποίο και καλλιεργούν για τέτοια χρήση, και λάσπη, ενώ η οροφή είναι καλυμμένη με άχυρο (Εικόνα 4.7). Ως κατασκευές μοιάζουν σταθερές αλλά είναι μάλλον ζεστές και μικρές, ειδικά αν αναλογιστεί κανείς το μέγεθος της μέσης οικογένειας που είναι 8 άτομα. Οι άνθρωποι ζουν μαζί με τα ζώα τους, που δημιουργούν μια αποπνικτική ατμόσφαιρα στο εσωτερικό των σπιτιών. Παρατηρώντας το εσωτερικό ενός τέτοιου σπιτιού, η διάταξη είναι φτωχική και λιτή και η σύγκριση με τα τυπικά σπίτια του δυτικού κόσμου είναι αναπόφευκτη. Οι συνθήκες

Κεφάλαιο 4: Επιθεώρηση του φράγματος και επί τόπου επίσκεψη

υγιεινής των ανθρώπων είναι ιδιαίτερα κακές, με τα ρούχα τους να είναι πολυχρησιμοποιημένα και παλιά, τα πόδια τους γυμνά και η μόνη πηγή καθαριότητας να είναι το λασπωμένο νερό του ταμιευτήρα. Παρόλα αυτά οι άνθρωποι μοιάζουν χαρούμενοι, καλοσυνάτοι και με επιμονή, προσπάθεια και τη συνεισφορά όλων παλεύουν για την επιβίωση τους.



Εικόνα 4.7 Παραδοσιακό Αιθιοπικό σπίτι (Tukul)

4.7 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΙΚΑΙΟΥΧΟΥΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Πολύ σημαντική για την εκτίμηση της επίδρασης του φράγματος στη ζωή των κατοίκων αποτέλεσε η συνέντευξη που έγινε σε κάποια από τα γηραιότερα μέλη της κοινότητας (εικόνα 4-9). Η μαρτυρία ενός άντρα 60 ετών που έζησε στην περιοχή πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την κατασκευή του έργου ήταν καθηλωτική.

Όπως αναφέρει πριν το φράγμα η καλλιέργεια των ντόπιων περιοριζόταν στο καλαμπόκι και η συγκομιδή ήταν δυνατή μόνο μια φορά το χρόνο λόγω του κλίματος της Αιθιοπίας και του εποχιακού χαρακτήρα της βροχόπτωσης. Οι γεωργικές δραστηριότητες και η προετοιμασία της γης γινόταν κατά τους μήνες Νοέμβριο με Δεκέμβριο και η σπορά γινόταν τον Ιανουάριο. Η πείνα ήταν γνωστό συναίσθημα, με αποκορύφωση περιόδους λιμού που στοίχιζαν τις ζωές πολλών ανθρώπων.

Όταν ξεκίνησε η κατασκευή του φράγματος, η ελπίδα βελτίωσης των συνθηκών ζωής τους ώθησε το σύνολο της κοινωνίας να βοηθήσει με κάθε τρόπο στην περάτωση του. Όπως αναφέρει ήταν μια εποικοδομητική περίοδος αφού για τη δουλειά τους έπαιρναν κάποια

Κεφάλαιο 4: Επιθεώρηση του φράγματος και επί τόπου επίσκεψη

αμοιβή και ο μόχθος τους δεν ήταν αβάστακτος, καθώς οι βαριές εργασίες γίνονταν από τα μηχανήματα και οι ίδιοι είναι συνηθισμένοι στο κουβάλημα.

Με την ολοκλήρωση του φράγματος και την πλήρωση του ταμιευτήρα όλη η ζωή τους άλλαξε προς το καλύτερο. Περίπου 200 οικογένειες, δηλαδή κατά μέσο όρο 1600 άνθρωποι ωφελήθηκαν από τις ευεργετικές επιπτώσεις του φράγματος. Πλέον μπορούν να τρώνε 3 φορές την ημέρα και να καταναλώνουν μεγαλύτερες μερίδες ανά γεύμα, στη θέση της μιας και πενιχρής φοράς πριν το φράγμα. Το επίπεδο της διατροφής τους έχει καλύτερευσει αφού έχει εισαχθεί μεγαλύτερη ποικιλία τροφίμων που μπορούν να καταναλώνουν. Η συγκομιδή γίνεται 2 ή 3 φορές μέσα στο χρόνο ανάλογα το είδος της καλλιέργειας, γεγονός που τους επιτρέπει να καλύπτουν τις ανάγκες τους για σίτιση αλλά και να διαθέτουν μέρος των προϊόντων τους κερδίζοντας κάποια χρήματα. Με αυτά τα χρήματα είναι πλέον σε θέση να αγοράζουν ζώα, όπως γαϊδούρια που βοηθούν στο όργωμα, αλλά και αγελάδες, κατσίκες και κότες που προσφέρουν γάλα, αυγά και κρέας στη διατροφή τους. Επίσης μπορούν να κατασκευάσουν καινούρια σπίτια, που αν και είναι φτιαγμένα από τα ίδια υλικά είναι πιο ευρύχωρα, προσφέροντας καλύτερες συνθήκες στέγασης (εικόνα 4-8). Ακόμη έχουν καταφέρει να στέλνουν όλοι τα παιδιά τους στο σχολείο και πολλά από αυτά φτάνουν ακόμη και σε επίπεδο πανεπιστημιακής εκπαίδευσης, πράγμα που δίνει άλλες προοπτικές στη ζωή και την ευημερία τους. Γενικά είναι πολύ ευχαριστημένοι με την επίδραση του φράγματος το οποίο όπως αναφέρουν δεν αδειάζει ποτέ τελείως από νερό, δεν λείπουν όμως οι εσωτερικές διαμάχες για την κατανομή του νερού και τα προβλήματα διαρροών στα αρδευτικά κανάλια. Τέλος δεν έκρυψαν την ανησυχία τους για το μέλλον του φράγματος, καθώς έχει γίνει ευρέως αντιληπτό το πρόβλημα των φερτών στο ταμιευτήρα, τα οποία σε μια δική τους κάπως υπερβολική εκτίμηση μπορεί να φτάνουν και στα 7 m ύψος.



Εικόνα 4.8 Νέου τύπου Αιθιοπική κατοικία



Εικόνα 4.9 Συζήτηση με τους ντόπιους

4.8 ΕΠΙΣΚΕΨΗ ΣΤΟ ΦΡΑΓΜΑ GILGEL GIBE III

Στο πλαίσιο της γενικότερης γνωριμίας με την Αιθιοπία και του σχηματισμού προσωπικής άποψης για την κατάσταση και εξέλιξη της, πραγματοποιήθηκε επίσκεψη στο εντυπωσιακό φράγμα Gilgel Gibe III (Εικόνα 4.10), το οποίο βρίσκεται περίπου 62 km νοτιοδυτικά του φράγματος Damte και περίπου 450 km νότια της Αντίς Αμπέμπα. Προσεγγίζοντας την περιοχή του φράγματος, είναι φανερά τα σημάδια της κατασκευής ενός μεγάλης κλίμακας έργου, καθώς το ευρύτερο τοπίο είναι αρκετά διαταραγμένο λόγω των εκτεταμένων εκσκαφών και των συμπληρωματικών κατασκευών που το πλαισιώνουν. Το έργο αποτελεί το τρίτο στη σειρά φράγμα που κατασκευάζεται επί του ποταμού Όμο και αξιοποιείται για υδροηλεκτρική παραγωγή. Πρόκειται για ένα καλοσχεδιασμένο και σύγχρονο έργο, ένα ανθρώπινο επίτευγμα που μοιάζει πολύ προηγμένο για τα τοπικά δεδομένα.

Τεχνικά, το φράγμα είναι ένα από τα ψηλότερα στο είδος του, φτιαγμένο από RCC με συνολικό ύψος 246 m. Ο αρχικός σχεδιασμός προέβλεπε το φράγμα να είναι λιθόρριπτο, όμως λόγω ανεπάρκειας από πλευράς συντελεστών ασφαλείας επιλέχθηκε τελικά το RCC. Το συνολικό του μήκος είναι 610 m και η χωρητικότητα του ταμιευτήρα αγγίζει τα $14.7 \cdot 10^9 \text{ m}^3$. Η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα είναι $11.75 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ συνεπώς ο νεκρός όγκος εκτιμάται στα $2.95 \cdot 10^9 \text{ m}^3$. Η λεκάνη απορροής του υπολογίζεται περίπου στα 34 150 km² και το υψόμετρο της κυμαίνεται από 650 m έως 1650 m. Η ανώτατη στάθμη λειτουργίας είναι στα +892 m και η κατώτατη στα +800 m. Η ανώτατη στάθμη πλημμύρας είναι στα +893 m άλλα ο σχεδιασμός του υπερχειλιστή με θυροφράγματα επιτρέπει την απελευθέρωση νερού στα κατάντη από τη στάθμη των +873 m. Επίσης το έργο διαθέτει 3 σήραγγες εκτροπής, 2 δίδυμες σήραγγες άντλησης, δύο πηγές υδροληψίας, 2 οριζόντιες σήραγγες, 4 κατακόρυφα

Κεφάλαιο 4: Επιθεώρηση του φράγματος και επί τόπου επίσκεψη

πηγάδια και 2 διανομείς. Έχει εγκατεστημένη ισχύ 1870 MW μέσω 10 τουρμπίνων Francis ισχύος 187 MW η καθεμία και αυτή τη στιγμή αποτελεί το μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό σταθμό στην Αιθιοπία με εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή 6500 GWh.

Η εκτροπή του ποταμού και η εκκίνηση των εργασιών ξεκίνησε το 2009, ενώ η διάστρωση των πρώτων στρώσεων RCC ξεκίνησε το 2011. Η σταδιακή πλήρωση του ταμιευτήρα ξεκίνησε το 2014 και ολοκληρώθηκε τις αρχές του 2015. Τελικά το φράγμα είναι σε πλήρη λειτουργία από το 2016 αλλά δεν έχει δοκιμαστεί σε συνθήκες υπερχειλίσης, αφού η στάθμη του ταμιευτήρα διατηρείται σχετικά χαμηλή λόγω της διαρκούς χρήσης νερού και της θεμελιώδους σημασίας του φράγματος για την ηλεκτροδότηση της χώρας. Οι εταιρίες που συμμετείχαν στη μελέτη και κατασκευή του έργου ήταν η Ιταλική Salini Impregilo, η οποία πρωταγωνιστεί στον τομέα των φραγμάτων και των υποδομών, η Αιθιοπική εταιρία ηλεκτρικής ενέργειας (Ethiopian Electric Power Corporation (EEPCo) και η Κινέζικη Tebian Electric Apparatus Stock Co., Ltd από πλευράς Κίνας. Η χρηματοδότηση του έργου έγινε εν μέρει από Αιθιοπικούς πόρους, με βοήθεια από την World Bank και Κινέζικη συνεισφορά.

Το φράγμα φέρνει σημαντικά οφέλη σε ότι αφορά την ενεργειακή αναβάθμιση και οικονομία της χώρας. Μέσω αυτού η Αιθιοπία διπλασίασε την εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ της και μάλιστα σε όρους πράσινης ενέργειας, γεγονός που συνάδει με την φιλική προς το περιβάλλον πολιτική της. Από τη συνολική παραγόμενη ενέργεια η μισή διατίθεται για την ενίσχυση του ελλιπέστατου ηλεκτρικού συστήματος της Αιθιοπίας, ενώ η άλλη μισή εξάγεται στην Κένυα, το Σουδάν και το Τζιμπουτί, εξασφαλίζοντας έσοδα που ξεπερνούν οποιαδήποτε άλλη παραδοσιακή της συναλλαγή. Η χώρα μετατρέπεται σε σημαντικό πάροχο ενέργειας και οι εμπορικές συμφωνίες υπογράφονται, ταυτόχρονα όμως μεγάλη μερίδα του πληθυσμού της Αιθιοπίας παραμένει στο σκοτάδι. Ακόμη το έργο εγείρει πολλές αμφιβολίες ως προς τις επιπτώσεις του τόσο στο φυσικό περιβάλλον όσο και στις ζωές των ανθρώπων που ζουν στη περιοχή του φράγματος αλλά και στη κατάντη πλευρά του. Στο σύνολο τους πρόκειται για φυλές ανθρώπων που ζουν ακόμη αρκετά πρωτόγονα και έξω από αυτά που ορίζει ο πολιτισμός και στηρίζουν την επιβίωση τους απόλυτα στα φυσικά φαινόμενα και την ροή του ποταμού. Συνεπώς το έργο αυτό, σύμφωνα με τους επικριτές του, θα οδηγήσει σε μεγάλη μεταβολή των συνθηκών ζωής των ανίδεων τοπικών πληθυσμών με καταστροφικά αποτελέσματα για την συνέχιση της ύπαρξής τους.

Συμπερασματικά, είναι πάρα πολύ σημαντικό ο δυτικός κόσμος να προσφέρει βοήθεια και τεχνογνωσία σε μη αναπτυγμένες χώρες όπως η Αιθιοπία, ώστε να μπορέσουν να ανακάμψουν και να πάνσουν να υποφέρουν από βασικές ελλείψεις. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την κατασκευή έργων υποδομής, τα οποία έχουν την ικανότητα να αναβαθμίσουν την ποιότητα ζωής των ανθρώπων και να προσφέρουν καλύτερες συνθήκες για την ευημερία των λαών. Όμως είναι αναγκαίο αυτά τα έργα να μην γίνονται βιαστικά και μαζικά γιατί πιθανώς να οδηγήσουν σε καταπάτηση δικαιωμάτων και σε επιβάρυνση μερίδας του πληθυσμού. Είναι απαραίτητος λοιπόν, ο σωστός προγραμματισμός, ο κατάλληλος σχεδιασμός και η

λεπτομερής μελέτη των επιπτώσεων, ώστε να υπάρχει μια οργανωμένη λήψη μέτρων για την προστασία όλων των θιγόμενων μερών.



Εικόνα 4.10 Φράγμα Gilgel Gibe III

4.9 ΠΡΟΣΩΠΙΚΗ ΑΠΟΨΗ

Το ταξίδι στην Αιθιοπία αποτέλεσε σταθμό για την πορεία αυτής της διπλωματικής καθώς πέρα από την επιτόπου επιθεώρηση του φράγματος που ήταν απαραίτητη για την αποτίμηση της λειτουργίας του, έδωσε και στη συγγραφέα βιωματικά στοιχεία για την γενικότερη κατάσταση της χώρας και των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι άνθρωποι της.

Αρχικά σε ότι αφορά την πρωτεύουσα Αντίς Αμπέμπα, εκεί είναι φανερά τα σημάδια ανάπτυξης και προόδου που καταγράφονται στους παγκόσμιους δείκτες. Η πόλη προσπαθεί να αναδυθεί από τη δυσμενή οικονομική και κοινωνική της κατάσταση και να μετατραπεί σε πρωτεύουσα ευρωπαϊκών προδιαγραφών. Βρίσκεται σε ένα μεταβατικό στάδιο και αυτό είναι φανερό από τον κατασκευαστικό οργανισμό που διέπει την πόλη. Από τη μια τα μεγάλα εργοτάξια, τα πολυτελή ξενοδοχεία, τα σύγχρονα εμπορικά κέντρα και τα επιβλητικά υπουργικά μέγαρα και από την άλλη τα παρακμιακά σπίτια, τα ζώα που κυκλοφορούν ατάραχα στους δρόμους και οι εξαθλιωμένοι συχνά άνθρωποι, συνθέτουν μια εικόνα γεμάτη αντιθέσεις. Συμπερασματικά πρόκειται για μια πόλη που αλλάζει με ταχείς ρυθμούς, αποτελεί πόλο έλξης ξένων επενδυτών (με την Κίνα να έχει τη μερίδα του λέοντος) και εξηγεί το λόγο που τα διεθνή βλέμματα είναι στραμμένα στην Αιθιοπία.

Σε ότι αφορά την ζωή στην ύπαιθρο, τα πράγματα αλλάζουν δραστικά. Τα χωριά δεν διαθέτουν ηλεκτρικό ρεύμα και οι άνθρωποι χρειάζεται να καταβάλλουν προσπάθεια για να εξασφαλίσουν το βασικό αγαθό του νερού, το οποίο και καταναλώνουν τελείως

ανεπεξέργαστο με συνέπεια συχνά να μολύνονται από ασθένειες. Μικρά παιδιά με μπιτόνια στα χέρια ξεπηδούν από τα πιο απίθανα μέρη στον αγώνα για την προμήθεια νερού. Οι άνθρωποι στην προσπάθεια τους να συλλέξουν το αναγκαίο νερό έχουν προβεί στην κατασκευή αυτοσχέδιων αναχωμάτων και τον σχηματισμό μικρών λιμνών, στις οποίες μαζεύονται και πλένουν τα ρούχα τους ή ποτίζουν τα ζώα τους. Αρκετά παράδοξο είναι το γεγονός ότι δεν ζουν συγκεντρωμένοι όλοι μαζί και σε ευνοϊκές για τη διαβίωση περιοχές αλλά είναι διασκορπισμένοι και στις πιο απόμερες μεριές. Αυτό φυσικά δημιουργεί ακόμη μεγαλύτερες δυσκολίες για τον εκσυγχρονισμό της χώρας και την άμεση πρόσβαση του κάθε νοικοκυριού σε ρεύμα και νερό.

Το θετικό στοιχείο είναι πως ανά πολύ κοντινές αποστάσεις υπάρχει τουλάχιστον ένα δημοτικό σχολείο, οπότε τα παιδιά έχουν τη δυνατότητα να πάρουν έστω την βασική εκπαίδευση, βοηθώντας ταυτόχρονα και την οικογένεια τους. Όλα τα μέλη της οικογένειας εργάζονται σκληρά και συνεισφέρουν με όλες τους τις δυνάμεις για την ευημερία της. Ακόμη σε περίπτωση κάθε χωριό υπάρχει και από μια νοσοκόμα για την παροχή έστω κάποιας πρωτογενούς περίθαλψης. Οι εγκυμονούσες γυναίκες, σε αντίθεση με παλαιότερα που γεννούσαν στην καλύβα τους, πλέον μεταφέρονται ένα μήνα πριν την αναμενόμενη γέννα του παιδιού στο νοσοκομείο κάποιας κοντινής πόλης, όπου και νοσηλεύονται ώστε για να γεννήσουν με ελεγχόμενο και ασφαλή τρόπο.

Στις μεγαλύτερες επαρχιακές πόλεις τα πράγματα είναι κάπως καλύτερα αφού υπάρχει ρεύμα, έστω χαμηλής έντασης και με συχνές διακοπές, και το νερό φτάνει σε κάθε σπίτι και είναι καλύτερης ποιότητας, χωρίς όμως να περνάει όλους τους απαραίτητους ελέγχους. Οι κύριες οδικές αρτηρίες μεταξύ των μεγαλουπόλεων είναι ασφαλτοστρωμένες αλλά η οδήγηση σε αυτές απαιτεί δεξιότητες, καθώς εκτός από τη διέλευση οχημάτων εξυπηρετεί και μετακινήσεις κάρων, ζώων και ανθρώπων οι οποίοι συχνά πετάγονται στη μέση του δρόμου στην προσπάθεια να πουλήσουν κάποιο από τα προϊόντα τους. Οι δευτερεύοντες δρόμοι είναι σε κακή κατάσταση και συνήθως είναι χωμάτινοι και με πολύ ανώμαλη επιφάνεια.

Συμπερασματικά, η Αιθιοπία ενώ όντως κάνει βήματα μπροστά και αναπτύσσεται σε πολλούς τομείς, είναι απαραίτητο οι ενέργειες που γίνονται προς αυτή τη κατεύθυνση να είναι ακόμη πιο ανθρωποκεντρικές, στοχεύοντας στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων της και την ανακούφιση των βασικών τους προβλημάτων. Η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων όπως το Gilgel Gibe III για την αύξηση της υδροηλεκτρικής παραγωγής είναι ζωτικής σημασίας για την πρόοδο της χώρας συνολικά, αρκεί η ενέργεια αυτή να υποστηρίζει την ηλεκτροδότηση των αιθιοπικών νοικοκυριών. Εξίσου όμως και ίσως και μεγαλύτερης σημασίας είναι ο σχεδιασμός μικρών τοπικών έργων σε επίπεδο κοινότητας, τα οποία μπορούν να φέρουν άμεσα οφέλη στον πληθυσμό. Για ένα λαό που στηρίζει την επιβίωση του σε τόσο μεγάλο βαθμό στην αγροτική παραγωγή, είναι απαραίτητο να δοθεί βαρύτητα στην διαχείριση των υδατικών πόρων, την βελτιστοποίηση των μεθόδων άρδευσης και την παροχή τεχνογνωσίας γύρω από αυτούς τους τομείς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΛΥΣΕΙΣ

5.1 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Το σώμα του φράγματος και τα έργα που το πλαισιώνουν όπως αναφέρθηκε είναι σε αρκετά καλή κατάσταση. Οι άνθρωποι είναι πολύ ευχαριστημένοι και τα οφέλη στις ζωές τους είναι πολλαπλά. Τα προβλήματα που εντοπίστηκαν στις επιμέρους κατασκευές είναι σχετικά μικρά και δεν απειλούν άμεσα την λειτουργία του φράγματος, όμως είναι απαραίτητο να επισκευαστούν ώστε να αποφευχθεί η περαιτέρω εξάπλωση τους. Τέτοια προβλήματα είναι ενδεικτικά της έλλειψης συντήρησης του έργου, συνεπώς χρειάζεται να ληφθούν μέτρα για την μελλοντική συστηματική συντήρηση και προστασία του. Παρά όμως την καλή κατάσταση της κατασκευής, η λειτουργία του φράγματος απειλείται. Το φράγμα κινδυνεύει σοβαρά να γίνει δυσλειτουργικό λόγω της ταχείας πλήρωσης του ταμιευτήρα με φερτά. Αυτό είναι ένα μεγάλο πρόβλημα που αν δεν αντιμετωπιστεί θα έχει ως συνέπεια το φράγμα να χάσει σε πρώτη φάση τη μέρος της χωρητικότητας του και στη συνέχεια το σκοπό του, αφού η έμφραξη της υδροληψίας συνεπάγεται την αδυναμία αξιοποίησης του νερού για άρδευση.

5.2 ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Για την ρεαλιστική προσέγγιση των διαφόρων προβλημάτων που διαπιστώθηκαν, με γνώση των περιορισμένων πόρων της κοινότητας, προτείνονται τα εξής μέτρα αποκατάστασης:

- a) Σε ότι αφορά το σώμα του φράγματος, καλό θα ήταν να αφαιρεθεί η φυτοκάλυψη από το κατάντη πρανές. Οι φύλακες πρέπει να απομακρύνουν από το σώμα του φράγματος τους ανθρώπους ώστε να μην περπατούν ανενόχλητοι πάνω του. Επίσης πρέπει να επιβλέπουν με μεγαλύτερη προσοχή τον ταμιευτήρα ώστε να αποτραπούν μελλοντικά επεισόδια πνιγμών.
- b) Σχετικά με τον υπερχειλιστή, καλό είναι να γίνει αποκατάσταση των παραμορφωμένων συρματοκιβωτίων (gabions) για να μην υπάρξει περαιτέρω αποσυναρμολόγηση τους. Ιδιαίτερη βαρύτητα πρέπει να δοθεί στα gabions του

πλαϊνού τοίχου του υπερχειλιστή καθώς η υπερπήδηση του νερού και η ροή του πάνω στο κατάντη πρανές του φράγματος μπορεί να έχει δυσάρεστες συνέπειες. Τέλος καλό θα ήταν να αφαιρεθούν τα δέντρα και οι καλλιέργειες που βρίσκονται πολύ κοντά στον πόδα του φράγματος ώστε να γίνεται απρόσκοπτα η αποτόνωση της ενέργειας του νερού της υπερχείλισης.

- c) Για την υδροληψία, καλό θα ήταν κατά την ξηρή περίοδο που η στάθμη του νερού είναι χαμηλά και η υδροληψία αποκαλύπτεται, να γίνει μια προσέγγιση και ένας πρώτος μηχανικός καθαρισμός της. Είναι βασικό να απομακρυνθεί όσο περισσότερο εδαφικό και άλλο υλικό γίνεται ώστε να καθυστερήσει όσο το δυνατόν περισσότερο η έμφραξη της.
- d) Σε ότι αφορά τα φερτά, ένα πρώτο βοηθητικό μέτρο θα μπορούσε να είναι η δενδροφύτευση και στις δύο όχθες της λίμνης ώστε να περιοριστεί η περαιτέρω εδαφική διάβρωση και επομένως το εδαφικό υλικό που καταλήγει στον ταμιευτήρα λόγω αυτού του φαινομένου. Παρατηρήθηκε ότι στα σημεία που υπήρχαν ευκάλυπτοι, το πρόβλημα περιοριζόταν καθώς τα δέντρα με το ριζικό τους σύστημα έχουν την ιδιότητα να συγκρατούν το έδαφος προσφέροντας μια σταθερότητα. Αυτό το μέτρο έχει διπλό όφελος αφού ο ευκάλυπτος είναι πηγή εσόδων για τους ανθρώπους της περιοχής λόγω της εκτεταμένης χρήσης του ως ξυλεία για την κατασκευή των σπιτιών τους.

Για την πληρέστερη κατανόηση των συνθηκών λειτουργίας του φράγματος, έγινε σύσταση για τις εξής βοηθητικές ενέργειες από τις τοπικές αρχές:

- 1) Η τοπογραφική αποτύπωση του αρδευτικού δικτύου της περιοχής σε κάτοψη με τη βοήθεια τοπογράφου.
Η ενέργεια αυτή θα έχει ως αποτέλεσμα την καταγραφή του συνόλου των υφιστάμενων καναλιών ώστε να γίνει σαφής η διαδικασία διοχέτευσης του νερού στις καλλιέργειες και να γίνουν υποδείξεις για ενέργειες βελτιστοποίησης του. Επίσης θα υπολογιστούν οι κλίσεις των καναλιών οι οποίες πιθανώς να ευθύνονται για τα προβλήματα αναστροφής της ροής που αναφέρθηκαν σε μερικά σημεία κατά μήκος του δικτύου.
- 2) Πληροφορίες σχετικά με το σύστημα διαχείρισης του νερού και τον καταμερισμό του στους δικαιούχους του έργου.

Η ανεπάρκεια των διαθέσιμων πόρων κάνει ακόμη πιο επιτακτική την ανάγκη βελτιστοποίησης της διαχείρισης του νερού, ώστε να ικανοποιούνται όσο το δυνατόν περισσότερες ανάγκες με ελαχιστοποίηση των σπαταλών σε νερό. Ο πιο

στοχευόμενος καταμερισμός του νερού στις καλλιέργειες και η πιο ελεγχόμενη απόληψη του θα μπορούσε να φέρει θετικά αποτελέσματα στην κοινωνία.

- 3) Μετρήσεις για τον προσδιορισμό του υψόμετρου του πυθμένα του ταμιευτήρα και κατ' επέκταση της στάθμης των φερτών.

Από τις πιο σημαντικές ενέργειες που πρέπει να γίνουν ώστε να υπάρχει σαφής εικόνα της στερεοομοιοτητας και του νεκρού όγκου στον ταμιευτήρα. Οι μετρήσεις καλό θα ήταν να γίνουν άμεσα για μια πρώτη εικόνα αλλά και λεπτομερέστερα όταν η στάθμη του νερού το επιτρέπει. Η εκτίμηση αυτή θα κάνει ξεκάθαρους τους τρόπους αντιμετώπισης του προβλήματος και τον εξοπλισμό που θα χρειαστεί για την επίλυση του.

- 4) Καταγραφές της στάθμης του ταμιευτήρα κατά τα χρόνια λειτουργίας του.

Σε όλα τα έργα του πολιτικού μηχανικού είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει μια συνεχής παρακολούθηση της λειτουργίας τους στη διάρκεια ζωής τους. Συγκεκριμένα στα φράγματα, η παρακολούθηση γίνεται με πληθώρα οργάνων που είναι εγκατεστημένα σε διάφορα σημεία του έργου ώστε να καταγράφουν πιθανές καθιζήσεις, μετατοπίσεις, ροές νερού κ.α. Από τις πιο στοιχειώδεις μετρήσεις που πρέπει να γίνονται αφορούν την βροχόπτωση στη περιοχή του έργου, τη μεταβολή της στάθμης του ταμιευτήρα και τις ποσότητες απόληξης νερού από αυτόν.

- 5) Σύγχρονα βροχομετρικά δεδομένα από τον σταθμό AREKA, μετά το 1996.

Τα στοιχεία από το συγκεκριμένο σταθμό αποτέλεσαν την βάση της υδρολογικής μελέτης που συντάχθηκε τότε και ήταν αρκετά ελλιπή. Εάν υπάρχουν νέες πιο συστηματικές καταγραφές τα τελευταία έτη θα είχε ενδιαφέρον μια ανάλυση τους ώστε να γίνει επικαιροποίηση της υδρολογικής μελέτης.

5.3 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΦΕΡΤΩΝ

5.3.1 Αίτια συσσώρευσης νεκρού όγκου στον ταμιευτήρα

Αν και η υψηλή στάθμη του νερού δεν επέτρεψε να διαπιστωθεί οπτικά ο όγκος των φερτών της λίμνης, πολλές είναι οι ενδείξεις που μαρτυρούν ότι υπάρχει πρόβλημα συσσώρευσης μεγάλης ποσότητας εδαφικού υλικού μέσα στον ταμιευτήρα. Βασικά στοιχεία αποτελούν το καφέ χρώμα της λίμνης, οι αναφορές των ντόπιων σχετικά με τη συχνότερη υπερχειλίση του φράγματος αλλά και η δική τους εκτίμηση της στάθμης των φερτών που όπως αναφέρουν απειλεί να φτάσει την υδροληψία. Η κρίσιμη όμως ένδειξη που οδήγησε στο συμπέρασμα της ταχείας αύξησης του νεκρού όγκου της λίμνης είναι η παρατήρηση των πραινών του ταμιευτήρα και του εδάφους της περιοχής κατά την επί τόπου επίσκεψη.

Κεφάλαιο 5: Αποτίμηση λειτουργίας του φράγματος, βελτιώσεις και λύσεις

Στεκούμενος κανείς πάνω στη στέψη του φράγματος και παρατηρώντας τα πρανή της λίμνης είναι φανερό ότι κατά μήκος τους έχουν λάβει χώρα εκτεταμένες επιφανειακές αβαθείς ολισθήσεις που προέρχονται από την έντονη εδαφική διάβρωση (Εικόνα 5.3). Τα πρανή είναι απότομα και έχουν τοπικές αστοχίες με τη μορφή περιστροφικής ολίσθησης. Μάλιστα σε πολλές περιοχές είναι φανερό το φαινόμενο της κατάρρευσης του υλικού, καθώς διακρίνεται το επόμενο μέτωπο κατολίσθησης το οποίο έχει ήδη οπισθοχωρήσει προς την όχθη με αποτέλεσμα σε βάθος χρόνου να χάσει τελείως τη διατμητική αντοχή του και να αναζητήσει νέα συνθήκη ισορροπίας καταλήγοντας στη λίμνη (Εικόνα 5.1, Εικόνα 5.2). Στη συνέχεια περπατώντας περιμετρικά του ταμιευτήρα το πρόβλημα γίνεται ακόμη πιο αισθητό βλέποντας το εδαφικό πρανές να έχει υποσκαφές στη βάση του και να συγκρατείται με το ριζικό σύστημα των δέντρων το εναπομείναν έδαφος (Εικόνα 5.4). Συνολικά δηλαδή φαίνεται πως η λίμνη σε βάθος χρόνου διευρύνεται, με το εδαφικό υλικό των πρανών της να καταρρέει, μειώνοντας τον ωφέλιμο όγκο του ταμιευτήρα. Αυτό διακρίνεται και με τη βοήθεια του Google Earth, όπου η χρονοσειρά φωτογραφιών του φράγματος υποδεικνύει αύξηση της επιφάνειας της λίμνης με την πάροδο του χρόνου.



Εικόνα 5.1 Πρανές έτοιμο να ολισθήσει



Εικόνα 5.2 Διαδοχικά μέτωπα κατάρρευσης



Εικόνα 5.3 Αριστερό Αντέρεισμα - Εδαφικό υλικό που έχει καταλήξει στον ταμιευτήρα



Εικόνα 5.4 Υποσκαφή εδαφικού πρανούς και συγκράτηση εδάφους μέσω του ριζικού συστήματος δέντρου

Το φαινόμενο αυτό είναι συνέπεια τόσο της δημιουργίας της λίμνης όσο και της σύστασης του υπολειμματικού εδάφους. Όπως περιγράφεται εκτενέστερα και στο υποκεφάλαιο 3.4, το τροπικό έδαφος της περιοχής είναι προϊόν αποσάθρωσης ηφαιστειακών πετρωμάτων και έχει χαρακτηριστικά που το καθιστούν μετα-σταθές όταν διαβρέχεται και ξηραίνεται. Η άνοδος της στάθμης του ταμιευτήρα έχει ως αποτέλεσμα την άνοδο του υδροφόρου ορίζοντα, την αύξηση των πιέσεων πόρων του εδάφους και σταδιακά τον κορεσμό του αργιλικού υλικού. Επίσης οι διαδοχικοί κύκλοι αυξομείωσης της στάθμης του νερού λειτουργούν επιβαρυντικά για την αντοχή του εδάφους, καθώς μεταβάλλεται η ενεργός τάση του και μειώνεται η διατμητική αντοχή του εδαφικού υλικού. Επίσης υπάρχει το ενδεχόμενο οι άνεμοι που πνέουν στην περιοχή να είναι αρκετά ισχυροί και να δημιουργούν ένα μικρό κυματισμό στη λίμνη ο οποίος εάν υφίσταται μπορεί να διαβρώνει με τη σειρά του τις όχθες καθώς προσκρούει σε αυτές.

Η δεύτερη αιτία για το μεγάλο νεκρό όγκο του ταμιευτήρα είναι η διάβρωση. Η διάβρωση είναι ένα φαινόμενο το οποίο ανάλογα με την έκταση του μπορεί να δημιουργήσει σημαντικά προβλήματα για το περιβάλλον, τις κατασκευές και κατ' επέκταση τους ανθρώπους. Πρόκειται για την μετακίνηση εδαφικού υλικού του ανώτερου, πιο χαλαρού στρώματος εδάφους και την απόθεση του σε διαφορετική θέση από την αρχική. Η διάβρωση χωρίζεται

σε μηχανική και χημική. Η μηχανική οφείλεται σε φυσικά φαινόμενα όπως η βροχή, ο άνεμος, ο παγετός και η θερμότητα ενώ η χημική είναι ένα πιο σύγχρονο φαινόμενο και είναι επακόλουθο των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που ρυπαίνουν το έδαφος με χημικές ουσίες.

Το νερό είναι ένας από τους βασικότερους παράγοντες εδαφικής διάβρωσης. Κατά τη διάρκεια μιας βροχόπτωσης, οι σταγόνες του νερού πέφτουν με δύναμη στο έδαφος με αποτέλεσμα συχνά να προκαλούν τη διασπορά των εδαφικών σωματιδίων και στη συνέχεια την παράσυρση τους, λόγω της επιφανειακής ροής του. Στα αμμώδη εδάφη που τα κενά των πόρων είναι μεγάλα, το νερό εύκολα διεισδύει ανάμεσα στους κόκκους και διαλύει την εδαφική δομή. Τα αργιλικά εδάφη παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή σε διάβρωση λόγω της συνοχής τους, όμως μια έντονη βροχόπτωση είναι ικανή να διαπεράσει τα κενά και να χαλαρώσει το έδαφος αυξάνοντας την διαπερατότητα του. Έτσι είναι εύκολο να παρασυρθεί και χάνει και την ιδιότητα του να συγκρατεί το νερό, το οποίο πλέον διηθείται στα κατώτερα στρώματα και συμπαρασύρει στην πορεία του και τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους. Επίσης όσο πιο γυμνό είναι το έδαφος τόσο δυσμενέστερες οι επιπτώσεις της διάβρωσης, αφού από τη μια δεν υπάρχουν τα φυτά να ανακόψουν την ορμητική πορεία του νερού και από την άλλη χάνεται η ευεργετική δράση που προσφέρει το ριζικό τους σύστημα στη συμπίεση και συγκράτηση των κόκκων του εδάφους. Τέλος ρόλο στο μέγεθος της διάβρωσης παίζει και η κλίση του εδάφους καθώς όσο πιο απότομη είναι τόσο η βαρύτητα ενεργοποιείται και διευκολύνει την μετακίνηση των σωματιδίων (Ffolliott P.F, *et al*, 2013).

Δεν είναι δύσκολο λοιπόν να συμπεράνει κανείς ότι το κλιματικό προφίλ της Αιθιοπίας όπως έχει περιγραφεί νωρίτερα ευνοεί ιδιαιτέρως την εμφάνιση του φαινομένου της διάβρωσης. Οι εκτεταμένες περίοδοι ξηρασίας που ακολουθούνται από τις σφοδρές εποχιακές βροχοπτώσεις και τις ακόλουθες έντονες επιφανειακές απορροές συντελούν στην έξαρση του φαινομένου της διάβρωσης. Επίσης οι γεωργικές δραστηριότητες που αποτελούν τη βασικό πυλώνα της οικονομίας μαζί με την εκτεταμένη αποψίλωση των δασών για την επέκτασή τους δημιουργούν συνθήκες για εξάπλωση της διάβρωσης, αφού το έδαφος χάνει την φυσική του προστασία από τα φυτά. Η στερεοπαροχή που εκτιμήθηκε για τον υπολογισμό του νεκρού όγκου του ταμειυτήρα λήφθηκε στη μελέτη ίση με $300 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{έτος}$ που αντιστοιχεί σε $150\,000 \text{ m}^3$ για τα 25 χρόνια λειτουργίας του. Αυτή η τιμή μάλλον είναι αρκετά μικρή δεδομένου ότι στη πρόσφατη έρευνα των *Papagos P. et al* (2017) όπου έγινε προσπάθεια να αναπτυχθεί ένας παγκόσμιος χάρτης διαβρωσιμότητας εδάφους λόγω βροχής, αναφέρεται ότι οι υψηλότερες τιμές διάβρωσης εντοπίστηκαν στις περιοχές της τροπικής ζώνης, με τις χώρες της Ανατολικής Αφρικής να συμπεριλαμβάνονται σε αυτές. Ακόμη ο ρυθμός διάβρωσης για την Αφρική γενικά εκτιμάται στα $510 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{έτος}$ (R. LAL, 2009), ενώ η μελέτη περιοχής 6000 km^2 της βόρειας Αιθιοπίας από τους *Virgo&Munro* (1978) οδήγησε στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν σοβαρά προβλήματα διάβρωσης εδάφους.

Η διάβρωση συντελεί στην υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους με συνέπεια την μείωση της βλάστησης. Η απώλεια του ανώτερου στρώματος του εδάφους το κάνει λιγότερο γόνιμο και άρα ακατάλληλο για καλλιέργεια. Επίσης η εναπόθεση μεγάλου όγκου εδάφους σε

κάποια περιοχή διαταράσσει το υπάρχον οικοσύστημα και αλλοιώνει την πανίδα και τη χλωρίδα της περιοχής. Συχνά μπορεί να μειώσει την παροχή των ποταμών και να υποβαθμίσει την ποιότητα του νερού, το οποίο συχνά είναι ζωτικής σημασίας για τον τοπικό πληθυσμό. Τέλος σε ότι αφορά τις ανθρώπινες κατασκευές, η διάβρωση προκαλεί προβλήματα όπως στην προκειμένη περίπτωση την πλήρωση των ταμιευτήρων των φραγμάτων με φερτά.

5.3.2 Εκτίμηση του νεκρού όγκου

Η εκτίμηση της στάθμης του νεκρού όγκου και της κατανομής του στον ταμιευτήρα δεν ήταν δυνατή κατά την επί τόπου επίσκεψη λόγω της υψηλής στάθμης του νερού. Έγινε σύσταση στους τοπικούς φορείς για αποτύπωση του πυθμένα της λίμνης με βοήθεια τοπογράφου όταν η στάθμη του ταμιευτήρα βρίσκεται χαμηλότερα, για να υπάρξει ακριβής υπολογισμός του νεκρού όγκου. Όμως, καθώς ο όγκος των φερτών αποτελεί το κυρίαρχο πρόβλημα που εντοπίζεται στο φράγμα και η αντιμετώπιση του είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του, γίνεται μια προσπάθεια για εκτίμηση του όγκου αυτού.

Τα μόνα διαθέσιμα εργαλεία για την προσέγγιση του προβλήματος είναι τα σχέδια του φράγματος από τη μελέτη και οι δορυφορικές φωτογραφίες της περιοχής του έργου από το Google Earth. Το σκεπτικό που ακολουθείται είναι πως αφού η συσσώρευση φερτών στον ταμιευτήρα οφείλεται και λόγω της κατολίθησης των πρανών από τις όχθες του, τότε η λίμνη θα πρέπει με τα χρόνια να διευρύνεται και η επιφάνεια της να μεγαλώνει. Η υπόθεση αυτή διερευνάται μέσω της διαθέσιμης χρονοσειράς φωτογραφιών από το Google Earth και εφόσον διαπιστωθεί, τότε η σύγκριση μεταξύ της παλαιότερης και της νέας επιφάνειας της λίμνης θα δώσει μια εκτίμηση της ποσότητας του υλικού που κατέρρευσε σε αυτή.

Οι διαθέσιμες απεικονίσεις από το Google Earth είναι 10 και οι ημερομηνίες των λήψεων φαίνονται στον πίνακα 5.1. Με τη βοήθεια του εργαλείου «Προσθήκη διαδρομής» έγινε η αποτύπωση του περιγράμματος της λίμνης στο περιβάλλον του Google Earth για κάθε διαθέσιμη ημερομηνία. Ακόμη τοποθετούνται 4 πινέζες για να οριοθετήσουν τις 4 γωνίες της στέψης του υπερχειλιστή, η οποία αποτελεί ένα σταθερό σημείο αναφοράς του φράγματος. Για περαιτέρω επεξεργασία αυτών των στοιχείων γίνεται εισαγωγή τους σε περιβάλλον AutoCAD.

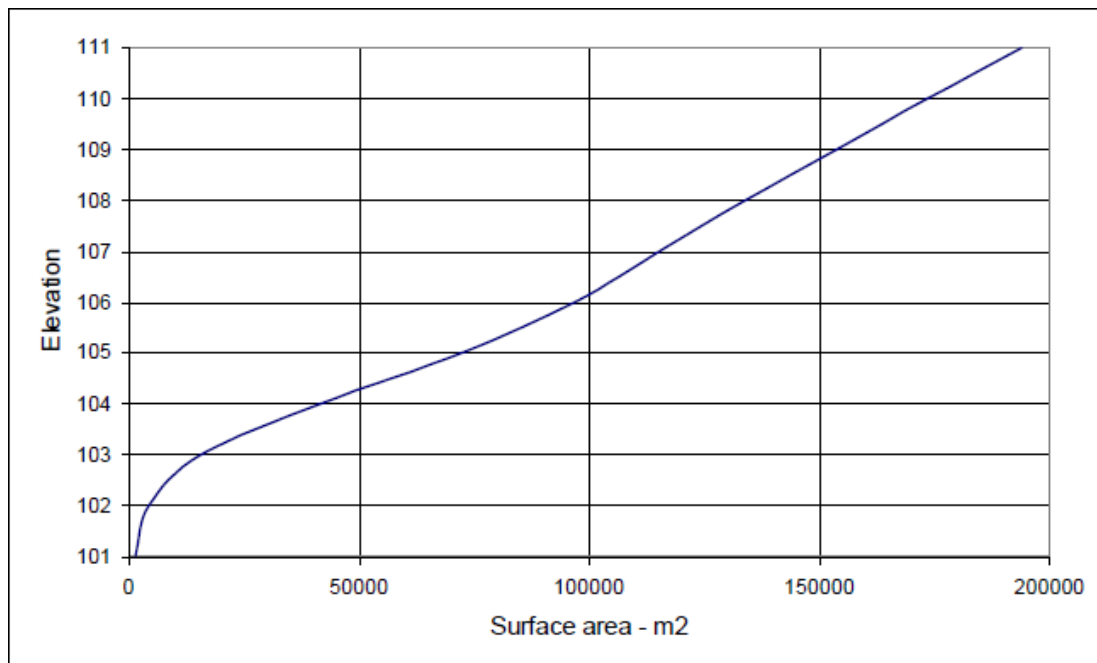
Το άμεσο αποτέλεσμα της εισαγωγής των περιγραμμάτων της λίμνης στο AutoCAD είναι ότι υπολογίζεται η επιφάνεια που καταλαμβάνουν. Στη συνέχεια γίνεται υπέρθεση των περιγραμμάτων με βάση τα σημεία της στέψης του υπερχειλιστή (Εικόνα 5.6) . Οι επιφάνειες δεν ταυτίζονται μεταξύ τους και παρουσιάζουν αρκετές αποκλίσεις άλλα αυτό δεν οδηγεί σε κάποιο συμπέρασμα καθώς δεν είναι γνωστή η στάθμη του νερού κάθε επιφάνειας. Από την καμπύλη στάθμης – επιφάνειας της μελέτης (Εικόνα 5.5) και τις μετρούμενες επιφάνειες

Κεφάλαιο 5: Αποτίμηση λειτουργίας του φράγματος, βελτιώσεις και λύσεις

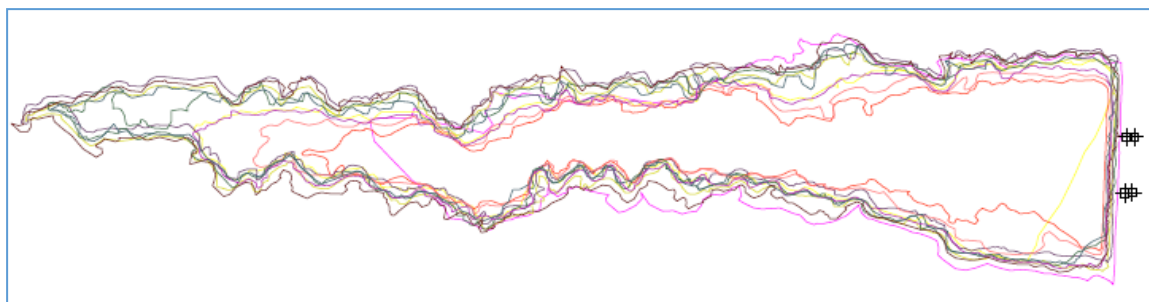
προκύπτουν οι αναμενόμενες στάθμες για κάθε διαθέσιμη απεικόνιση σύμφωνα με τον πίνακα 5.1.

5.1 Στοιχεία από χρονοσειρές φωτογραφιών του ταμιευτήρα Damte

Ημερομηνίες Λήψεων	Επιφάνεια (m ²)	Στάθμη σύμφωνα με καμπύλη στάθμης-επιφάνειας (m)
16/4/2008	83525	105,5
10/3/2009	68216	104,8
1/11/2012	113370	106,9
7/12/2013	126217	107,6
10/12/2013	123204	107,5
19/2/2014	100728	106,3
16/10/2014	119725	107,4
24/10/2014	114379	107
2/1/2015	92395	105,9
2/3/2017	140986	107,2



Εικόνα 5.5 Καμπύλη στάθμης - επιφάνεια ταμιευτήρα Damte (Engineers without Borders, 2003)



Εικόνα 5.6 Υπέρθυση Ταμιευτήρων στο AutoCAD

Στη συνέχεια γίνεται η προσπάθεια προσδιορισμού της στάθμης των λιμνών με τη βοήθεια του τοπογραφικού σχεδίου. Αρχικά τοποθετείται στο τοπογραφικό σχέδιο ο υπερχειλιστής και το ανάντη πρανές από το σχέδιο κάτωγης του φράγματος στις σωστές συντεταγμένες. Στη συνέχεια με βάση τα σημεία της στέγης του υπερχειλιστή τοποθετούνται και τα περιγράμματα επί του τοπογραφικού σχεδίου. Κανένα από τα περιγράμματα των λιμνών δεν έχει ακριβή ταύτιση με κάποια ισοϋψή και ο προσδιορισμός της στάθμης καθεμιάς γίνεται με τη βοήθεια του ανάντη πρανούς, του οποίου η γεωμετρία είναι γνωστή. Θεωρείται πως αντιπροσωπευτική τιμή της στάθμης του νερού είναι αυτή που εντοπίζεται κοντά στο σώμα του φράγματος και η οποία εκτιμάται σύμφωνα τις ισοϋψείς του ανάντη πρανούς. Προσεγγιστικά οι τιμές της στάθμης του νερού που προκύπτουν για τις διάφορες απεικονίσεις φαίνονται στον πίνακα 5.2.

5.2 Στάθμη νερού για τις διάφορες λήψεις όπως προκύπτει από το τοπογραφικό

Ημερομηνίες Λήψεων	Στάθμη σύμφωνα με καμπύλη στάθμης-επιφάνειας (m)	Στάθμη σύμφωνα με τοπογραφικό (m)
16/4/2008	105,5	105
10/3/2009	104,8	104
1/11/2012	106,9	108,5
7/12/2013	107,6	106,5
10/12/2013	107,5	107
19/2/2014	106,3	105,5
16/10/2014	107,4	107
24/10/2014	107	105
2/1/2015	105,9	106
2/3/2017	107,2	107,8

Με γνωστές πλέον τις στάθμες γίνεται σύγκριση των αποτυπωμάτων των ταμιευτήρων και της αρχικής τοπογραφικής απεικόνισης του ταμιευτήρα. Όντως παρατηρείται διαφοροποίηση στις σχηματιζόμενες επιφάνειες της λίμνης για ίδια στάθμη νερού, το οποίο είναι ένδειξη του

προβλήματος. Σχεδιάζονται 3 χαρακτηριστικές διατομές (Εικόνα 5.7) όπου παρατηρείται ότι για τη στάθμη του νερού όπως εκτιμήθηκε στο πίνακα 5.2 το ίχνος της λίμνης δεν ταυτίζεται με το ίχνος που θα έπρεπε να έχει σύμφωνα με την τοπογραφική αποτύπωση του εδάφους. Αυτό εξηγείται εάν υπάρχει μετακίνηση υλικού από την αρχική του θέση, που αποτυπώνεται είτε ως διεύρυνση της λίμνης είτε ως επίχωση της. Συγκεκριμένα παρατηρείται ότι στο αριστερό πρηνές που παρουσιάζει πιο απότομη μορφολογία έχουν λάβει χώρα πιο εκτεταμένες ολισθήσεις και υπάρχει μεγαλύτερη απώλεια υλικού μέσα στο ταμιευτήρα, συνεπώς η διατομή δείχνει διεύρυνση της λίμνης, ενώ στο δεξιό πρηνές που είναι πιο ήπιο υπάρχει μια πιο μικρή εξέλιξη του φαινομένου, με το υλικό που καταρρέει να είναι λιγότερο και το οποίο μεταφέρεται και να αποτίθεται λίγο πλησιέστερα στο μέσον του ταμιευτήρα, δείχνοντας μια μείωση της επιφάνειας της λίμνης. Αυτό το τεκμηριώνουν και ορισμένες λήψεις από το Google Earth με χαμηλή στάθμη νερού που δείχνουν την εξέλιξη του φαινομένου στο πυθμένα του ταμιευτήρα.



Εικόνα 5.7 Ταμιευτήρας 10/3/2009- Θέσεις διατομών

Προκύπτει ότι χρονολογικά υπάρχουν κάποιες ανακολουθίες στα όρια των πρανών του ταμιευτήρα. Για παράδειγμα ενώ η λίμνη στις 10/12/2013 και 16/10/2014 έχει την ίδια στάθμη και θα αναμέναμε προοδευτική διεύρυνση της λίμνης, προκύπτει ότι το αριστερό πρανές της όχθης είχε μετατοπιστεί κατά 23 m το 2013 ενώ το 2014 η μετατόπιση είναι στα 17 m. Αυτό μπορεί είτε να δικαιολογείται είτε από τα σφάλματα που ενέχουν οι απεικονίσεις του Google Earth, είτε από εδαφικό υλικό που μεταφέρθηκε και αποτέθηκε από το επόμενο μέτωπο ολίσθησης, επιχωματώνοντας εν μέρει το κατολισθημένο πρανές.

Για την θεώρηση του όγκου φερτών υλικών που έχει καταλήξει στο ταμιευτήρα λόγω της κατάρρευσης των πρανών της όχθης θα γίνουν οι εξής παραδοχές:

- Το αποτύπωμα της λίμνης το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του όγκου αυτού θα είναι αυτό στις 2/3/2017. Αυτό επιλέγεται γιατί είναι η πιο πρόσφατη διαθέσιμη απεικόνιση του ταμιευτήρα και έχει υψηλή στάθμη νερού, γεγονός βοηθητικό για να προσδιορίσουμε τα νέα όρια της λίμνης.
- Από τις 3 διατομές θα εξαχθούν οι όγκοι του υλικού που έχει καταρρεύσει για της αριστερή και δεξιά όχθη της λίμνης αντίστοιχα και ως απώλεια όγκου διατομής θα θεωρηθεί ο μέσος όρος αυτός των όγκων.
- Ως μήκος του ταμιευτήρα που έχει υποστεί τις συνέπειες του φαινομένου λαμβάνεται 500 m, εκτίμηση του προκύπτει από το διαταραγμένο πρανές όπως φαίνεται από το Google Earth.

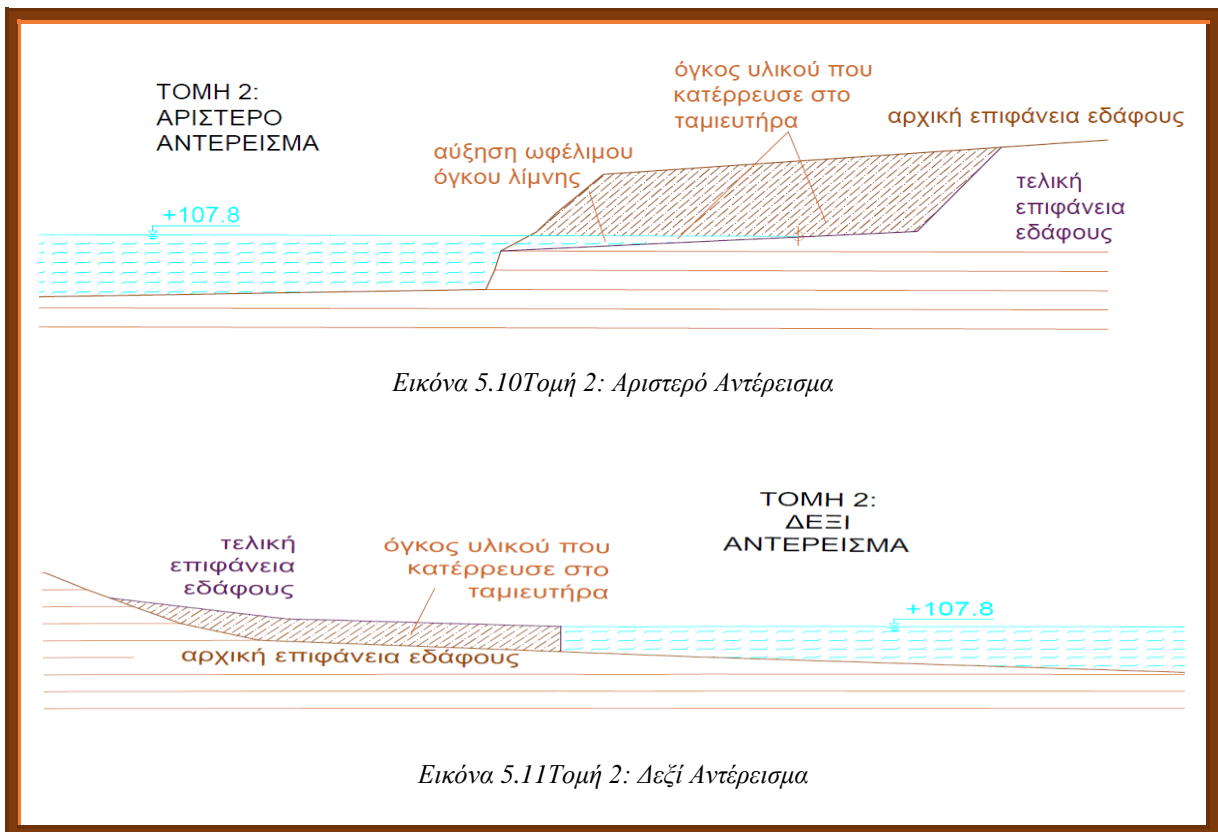
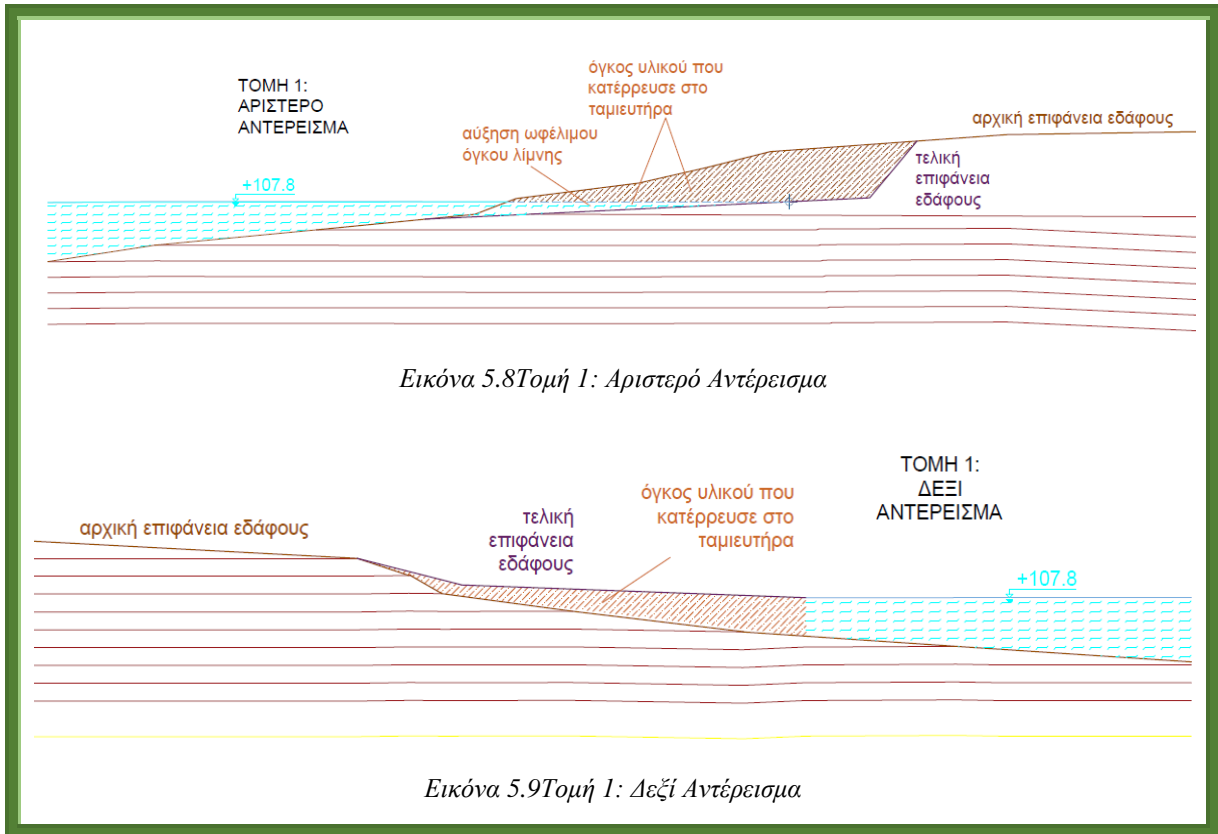
Πρέπει να σημειωθεί ότι η κατάρρευση των πρανών στις όχθες εκτός το δυσμενές αποτέλεσμα της αύξησης του όγκου των φερτών στη λίμνη και άρα τη μείωση της χωρητικότητας της έχει και ως αποτέλεσμα την αύξηση της επιφάνειας της, γεγονός που πρέπει να συνυπολογιστεί και την εξαγωγή του τελικού όγκου που επιβαρύνει τη λίμνη. Τελικά προκύπτουν για τις 3 διατομές ο όγκος των φερτών που επιβαρύνουν τον ταμιευτήρα σύμφωνα με τον πίνακα 5.3.

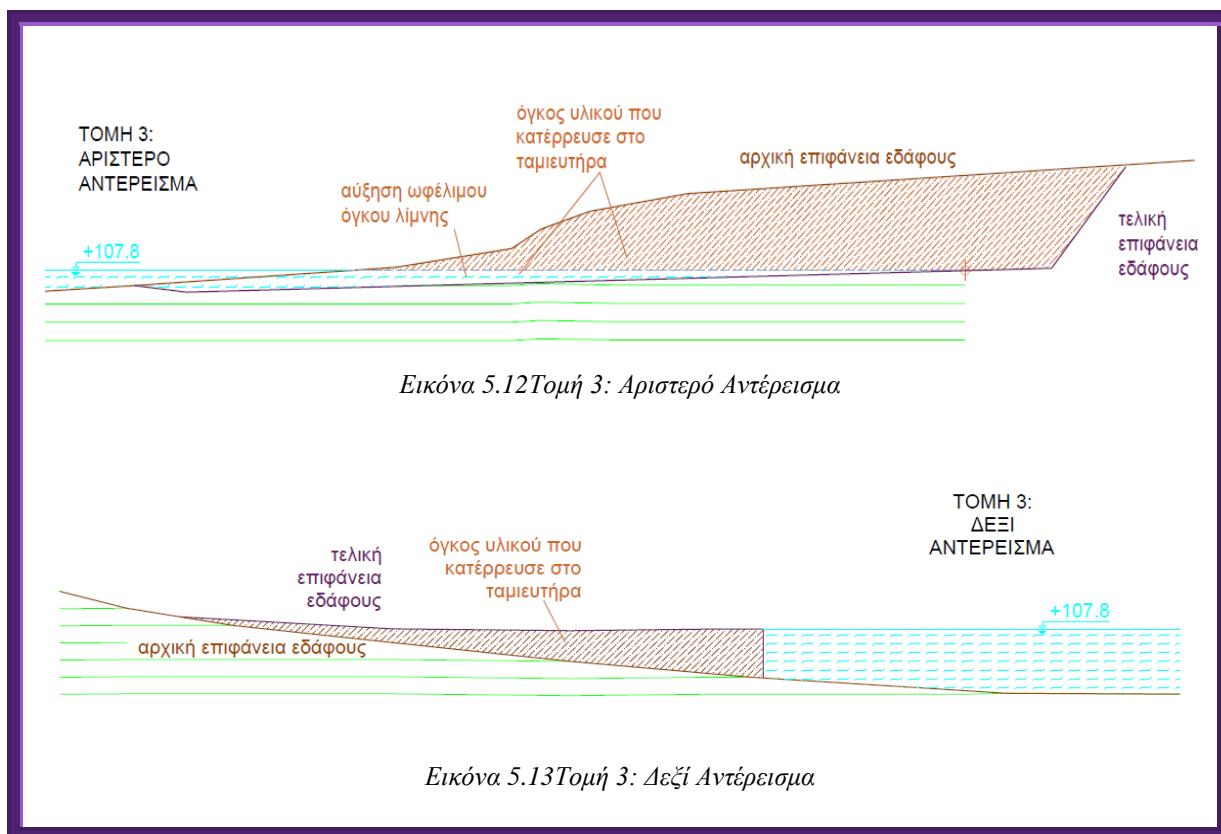
5.3 Συνολικός, Ωφέλιμος και Τελικός όγκος υλικού των διατομών

ΔΙΑΤΟΜΕΣ	Πρανές	Συνολικός όγκος διατομής ανά $m(m^3)$	Ωφέλιμος όγκος διατομής ανά $m(m^3)$	Τελικός όγκος διατομής ανά $m(m^3)$
ΤΟΜΗ 1	Εικόνα 5.8	60	9.5	50
	Εικόνα 5.9	29	-	29
ΤΟΜΗ 2	Εικόνα 5.10	70	6	64
	Εικόνα 5.11	21	-	21
ΤΟΜΗ 3	Εικόνα 5.12	180	25.5	154
	Εικόνα 5.13	44.5	-	44.5

Λόγω της μεγάλης απόκλισης που παρουσιάζει η τιμή του όγκου στη τομή 3 θα υπολογιστεί ο μέσος όρος από τις διατομές 1 και 2 που θεωρούνται πιο αντιπροσωπευτικές για το σύνολο του ταμιευτήρα, ενώ η διατομή 3 φαίνεται να είναι μια τοπική μεγαλύτερη αστοχία του πρανού. Συνεπώς για μέσο όγκο απώλειας υλικού στο αριστερό πρανές $A=57 \text{ m}^3/\text{m}$ και στο δεξί πρανές $A= 7.5 \text{ m}^3/\text{m}$ και για μήκος 500 m που εκτιμάται πως εκτείνεται το φαινόμενο κατά μήκος του ταμιευτήρα προκύπτει συνολικός όγκος φερτών υλικών από τα πρανή της λίμνης $V= 32\ 250 \text{ m}^3$.

Κεφάλαιο 5: Αποτίμηση λειτουργίας του φράγματος, βελτιώσεις και λύσεις





Τέλος για να υπολογιστεί ο συνολικός όγκος φερτών που έχει συσσωρευτεί στο ταμιευτήρα πρέπει να συνυπολογιστεί και ο όγκος λόγω στερεοαπορροής στα **13 χρόνια** λειτουργίας του φράγματος. Χρησιμοποιώντας ως τιμή στερεοπαροχής αυτή της μελέτης δηλαδή **300 m³/km²/έτος** προκύπτει συνολικός όγκος για τη λεκάνη απορροής επιφάνειας **A=23.3 km²** όγκος **V= 90 870 m³**. Τελικά στο ταμιευτήρα έχει συσσωρευτεί όγκος **V=123 000 m³** από φερτά υλικά από το σύνολο των 150 000 m³ νεκρού όγκου για τον οποίο έχει σχεδιαστεί ο ταμιευτήρας για τα 25 χρόνια διάρκειας ζωής του.

5.3.3 Μέθοδος απομάκρυνσης των φερτών από τον ταμιευτήρα

Η διαχείριση των φερτών ενός ταμιευτήρα είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση της βιωσιμότητας του. Η εκτίμηση της στερεοαπορροής καθορίζει το νεκρό όγκο του ταμιευτήρα για τον χρόνο ζωής που σχεδιάζεται το φράγμα. Όμως καθώς η στερεοαπορροή δεν είναι μέγεθος που μπορεί να εκτιμηθεί εύκολα και με ακρίβεια, η συνεχής αύξηση των αποθέσεων μπορεί να απειλήσει την λειτουργία του φράγματος ή να μειώσει τον ωφέλιμο όγκο του ακόμη και νωρίτερα από το αναμενόμενο χρόνο, με αρνητικές επιπτώσεις στην υδροηλεκτρική παραγωγή, την ικανότητα ικανοποίησης των αναγκών νερού για άρδευση και

ύδρευση και την αντιπλημμυρική λειτουργία του φράγματος. Συνήθης τακτική αποτελεί η υπερδιαστασιολόγηση του νεκρού όγκου ταμιευτήρα ώστε να μπορεί να αποθηκεύσει μεγάλες ποσότητες φερτών, που όμως δεν είναι οικονομική ούτε και πάντοτε εφικτή σαν επιλογή. Επίσης μετά το πέρας του χρόνου ζωής του φράγματος και την πλήρωση του ταμιευτήρα με φερτά, δεν υπάρχουν συγκεκριμένες κατευθύνσεις σχετικά με τη διαχείριση του, με αποτέλεσμα την εγκατάλειψη του και την ανάγκη κατασκευής νέου φράγματος για να καλύπτει τις υπάρχουσες ανάγκες. Προκύπτει λοιπόν πως η διαχείριση των φερτών υλικών είναι πολύ σημαντική για την μακροχρόνια βιώσιμη χρήση ενός φράγματος και γι' αυτό το λόγο ο σύγχρονος σχεδιασμός των φραγμάτων στρέφεται σε αυτή τη λογική (Annandale W. *et al*, 2016).

Οι μέθοδοι διαχείρισης των φερτών υλικών αφορούν (White Rodney, 2001) :

i. ελαχιστοποίηση της εισροής των φερτών υλικών στον ταμιευτήρα με έλεγχο της διάβρωσης και παγίδευση των ιζημάτων ανάντη.

Η μέθοδος αυτή στοχεύει απευθείας στη πηγή του προβλήματος. Αφορά μεθόδους ελέγχου και περιορισμού του φαινομένου της διάβρωσης στη λεκάνη απορροής μέσω της διατήρησης του εδάφους (ενίσχυση φυτοκάλυψης) και προστασίας της όχθης κατά μήκος της ροής του ποταμού με τεχνητά έργα. Ακόμη περιλαμβάνει τεχνικές για την συγκράτηση των φερτών σε δευτερεύουσα λεκάνη ανάντη του ταμιευτήρα που επιτυγχάνει συνήθως την παγίδευση κυρίως χονδρόκοκκων υλικών.

ii. ελαχιστοποίηση της απόθεσης φερτών υλικών στο ταμιευτήρα

Η μέθοδος αυτή αφορά την καθοδήγηση των φερτών ώστε αυτά να κινούνται ελεγχόμενα και αν είναι δυνατόν να μην εισέρχονται στο ταμιευτήρα. Πρακτική αυτής της προσέγγισης αποτελεί η παράκαμψη του ταμιευτήρα (reservoir by-pass) μέσω σήραγγας, η οποία οδηγεί τις πολύ φορτισμένες με φερτά υλικά ροές απευθείας στα κατάντη αποτρέποντας την απόθεση αυτών εντός του ταμιευτήρα. Άλλη τεχνική είναι η διαρροή ρευμάτων πυκνότητας που στόχο έχει τη μετακίνηση των φερτών κοντά στο φράγμα ώστε να είναι δυνατή η απομάκρυνση τους μέσω των εξόδων στο σώμα του φράγματος.

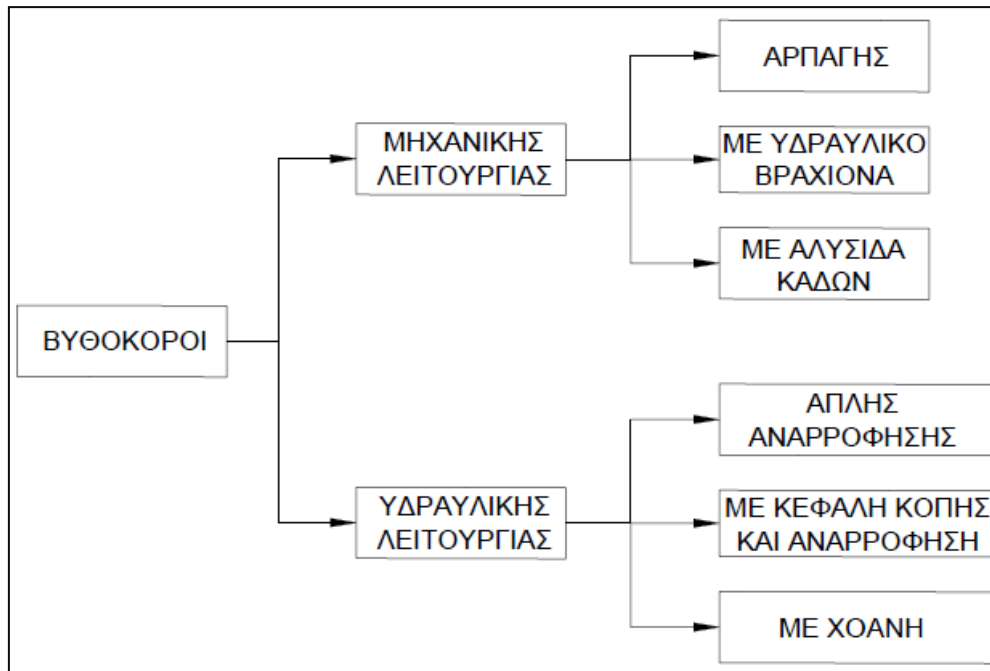
iii. μεγιστοποίηση της εκροής φερτών υλικών που έχουν ήδη αποθεθεί στον ταμιευτήρα μέσω απομάκρυνση τους.

Η απομάκρυνση των συσσωρευμένων υλικών μπορεί να γίνει είτε με μηχανικό είτε με υδραυλικό τρόπο. Η μηχανική απομάκρυνση πραγματοποιείται με χρήση εκσκαπτικού μηχανήματος και η πρακτική που χρησιμοποιείται ευρέως είναι η μέθοδος της βυθοκόρησης (dredging). Η μέθοδος αυτή υποδηλώνει την αφαίρεση υλικού μέσα από

το νερό και συνεπώς μπορεί να πραγματοποιηθεί σε κατάσταση λειτουργίας του ταμιευτήρα μέσω πλοίου (dredger) ή από τις όχθες του ταμιευτήρα. Το εξαγόμενο υλικό μεταφέρεται στην θέση απόθεσης είτε με κάποια φορηγίδα είτε με μεταφορά του υδαρούς μίγματος μέσω συστήματος αντλίας και σωληνώσεων. Η υδραυλική απομάκρυνση ή υδραυλική έκπλυση (flushing) αφορά την απομάκρυνση των φερτών με χρήση του εκκενωτή πυθμένα ή άλλων εξόδων του φράγματος. Μπορεί να γίνει υπό πίεση (pressure flushing) με μείωση της στάθμης του ταμιευτήρα, μέθοδος που πετυχαίνει τοπική μείωση των φερτών ακριβώς ανάντη της εξόδου του φράγματος, ή με εκκένωση του ταμιευτήρα (free flow flushing). Η δεύτερη μέθοδος είναι πιο αποτελεσματική και βασίζεται στον καταβιβασμό της στάθμης του ταμιευτήρα και τη δημιουργία ποτάμιων συνθηκών ώστε τα φερτά υλικά να μεταφερθούν κατάντη του φράγματος μέσω της ροής του τεχνητού ποταμού.

Στη περίπτωση του φράγματος Damte όπου οι προσχώσεις οφείλονται τόσο στην στερεοαπορροή όσο και στις επιφανειακές ολισθήσεις των πρανών της λίμνης, τα μέτρα που μπορούν να ληφθούν για την αντιμετώπιση του προβλήματος είναι η μηχανική απομάκρυνση των ανεπιθύμητων υλικών από τον ταμιευτήρα και στη συνέχεια τη σταθεροποίηση των εκατέρωθεν πρανών της όχθης για μείωση της απόθεσης υλικού προερχόμενου από αυτά. Η απομάκρυνση των φερτών σκόπιμο θα ήταν να γίνει εν υγρώ (dredging) καθώς το φράγμα δεν διαθέτει εξόδους εκκένωσης του ταμιευτήρα και σύμφωνα με τους ντόπιους δεν αδειάζει ποτέ τελείως από νερό, συνεπώς η εκκένωση του για να γίνουν οι απαραίτητες εργασίες με χρήση συμβατικού μηχανήματος εκσκαφής θα απαιτούσε άντληση του νερού. Υπάρχουν πολλά είδη βυθοκόρων και η επιλογή του κατάλληλου τύπου εξαρτάται από τις συνθήκες της περιοχής που θα γίνει η παρέμβαση.







Τα βασικά είδη βυθοκόρων φαίνονται στο σχεδιάγραμμα (Εικόνα 5.14) (Allen P. M. And Dunbar J.A., 2005).



Εικόνα 5.14Τα βασικά είδη των βυθοκόρων

Οι βυθοκόροι μηχανικής λειτουργίας όπως υποδηλώνει το όνομα τους χρησιμοποιούν μηχανικές μεθόδους για την απομάκρυνση των φερτών. Οι υδραυλικής λειτουργίας θέτουν τα φερτά σε επαναιώρηση με τη χρήση κεφαλών κοπής ή πιδάκων νερού και στη συνέχεια γίνεται αναρρόφηση του μίγματος νερού-φερτών μέσω αντλίας και μέσω αγωγών μεταφέρεται στο τελικό σημείο απόθεσης. Στον παρακάτω πίνακα 5.4 συνοψίζονται κάποια χαρακτηριστικά των παραπάνω τύπων βυθοκόρων που αξιολογηθούν για την επιλογή του κατάλληλου τύπου για την περίπτωση του ταμιευτήρα Damte.

5.4 Χαρακτηριστικά των διάφορων κατηγοριών βυθοκόρων

ΒΥΘΟΚΟΡΟΙ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ				
	Μέθοδος απομάκρυνσης	Όγκος απομάκρυνσης	Κατάλληλη σύσταση φερτών	Βάθη εκσκαφής	Εικόνα
Με χράνη	Η βυθοκόρος διαθέτει χράνη στην οποία αποτίθενται αρχικά τα αντλούμενα υλικά, ώστε τα φερτά να καθιζάνουν και το νερό να υπερχειλίζει.	Παροχές αντλίας ποικίλουν	Μαλακοί άργιλοι, ιλυώδης άμμοι	Έως 40m	
Με κεφαλή κοπής και αναρρόφηση	Η κεφαλή κοπής σκάβει τις αποθέσεις και στη συνέχεια γίνεται η αναρρόφηση τους από την αντλία	Παροχές αντλίας ποικίλουν	Όλα τα είδη των εδαφών	Έως 30m	
Απλής αναρρόφησης	Η αναρρόφηση προκαλεί αυξημένες ταχύτητες ροής που διαβρώνουν το έδαφος και το υλικό στη συνέχεια αντλείται	Παροχές αντλίας ποικίλουν	Μη συνεκτικά υλικά	Έως 30m	
Με αλυσίδα κάδων	Σειρά κάδων προσαρμοσμένων σε αλυσίδα η οποία κινείται, γυρνά τους κάδους με αποτέλεσμα να σκάβουν το υλικό του πυθμένα	Κάδοι μεγέθους 0.05 – 1.2 m ³	Όλα τα εδάφη, από μαλακή ιλύ μέχρι μαλακό βράχο	Min: 3-4 m Max: 25-30 m	
Με υδραυλικό βραχίονα	Ο κάδος του βραχίονα σπρώχνει ή τραβάει το υλικό του πυθμένα το οποίο εγκλωβίζεται στον κάδο και ανυψώνεται στην επιφάνεια	Κάδος μεγέθους έως 20 m ³	Άμμος και μαλακή άργιλος	Έως 25m	
Αρπαγής	Γερανός με αρπαγή που κατεβαίνει ανοικτή ως τον πυθμένα και κλείνει κόβοντας υλικό αποθέσεων	Αρπαγές μεγέθους έως 200 m ³	Μαλακές αποθέσεις ιλύος και άμμου	30 – 15m	

Ο καταλληλότερος τύπος βυθοκόρου για την απομάκρυνση των φερτών από το φράγμα Damte είναι η υδραυλική βυθοκόρος με κεφαλή κοπής και αναρρόφηση (cutter – suction dredger). Αυτό προκύπτει καθώς σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα έχει εφαρμογή για όλους τους τύπους εδάφους, σε αντίθεση με τους υπόλοιπους τύπους βυθοκόρων που είτε δεν εφαρμόζονται είτε μειώνεται η απόδοσή τους όταν εφαρμόζονται σε πολύ συνεκτικά εδάφη όπως αυτά της περιοχής μελέτης. Ακόμη έχει ευελιξία τόσο στα βάθη εκσκαφής όσο και στις δυνατότητες των αντλιών στην αγορά συνεπώς μπορεί να βρεθεί η βυθοκόρος που θα ταιριάζει σε ένα μικρής κλίμακας έργο. Δεν χρειάζεται να υπάρχει βοηθητική φορτηγίδα για τη μεταφορά του υλικού στη τελική θέση απόθεσης αφού αυτό μπορεί να γίνει με σύστημα σωληνώσεων.

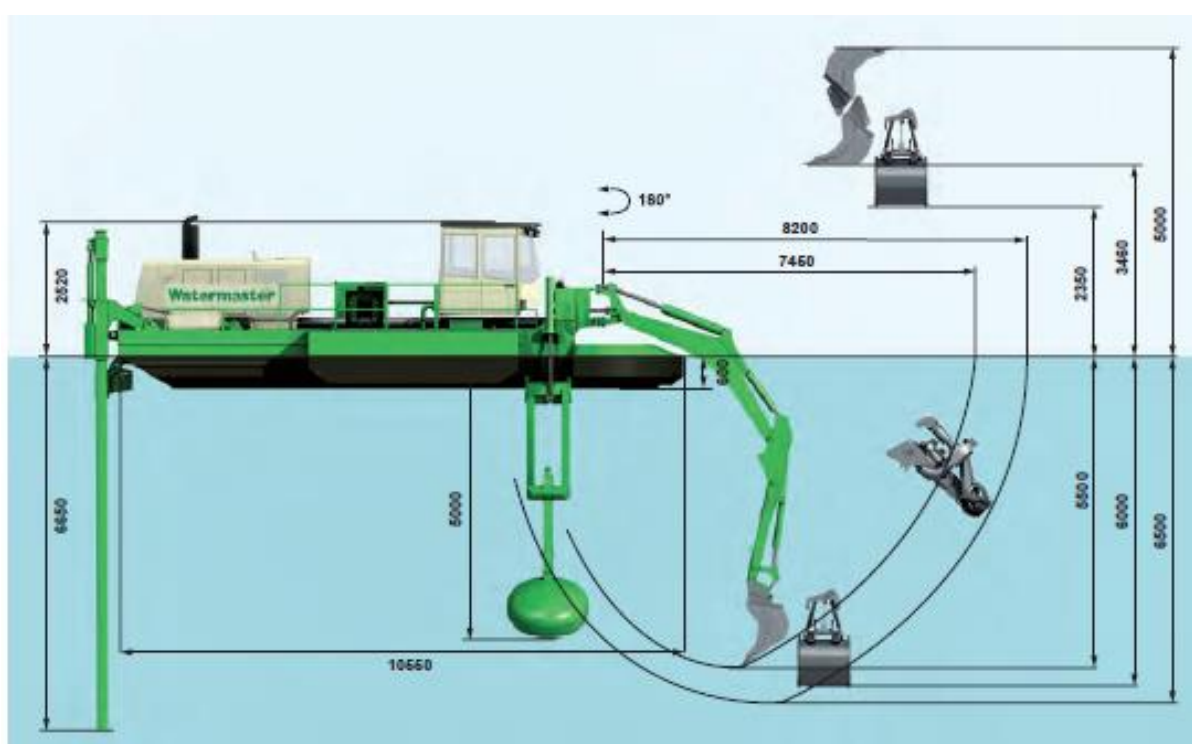
Έγινε έρευνα αγοράς για να εξετασθούν πιθανά μηχανήματα που θα ήταν κατάλληλα για το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά του έργου. Είναι φανερό πως έχουν αναπτυχθεί βυθοκόροι που καλύπτουν μεγάλο εύρος προβλημάτων, από εφαρμογές σε μεγάλης κλίμακας έργα, με πρωτοπόρο την Ολλανδία που διαθέτει μεγάλη τεχνογνωσία σε θέματα βυθοκορήσεων, μέχρι μικρής κλίμακας παρεμβάσεις. Για παράδειγμα έχει αναπτυχθεί πλεούμενο μηχανήμα με εκσκαφέα (Floating Mini Excavator with Dumper) που είναι κατάλληλο για εργασίες καθαρισμού, βυθοκόρησης και συντήρησης μικρών λιμνών. Το βάθος εκσκαφής του φτάνει τα 3.1 m, ο κάδος του είναι χωρητικότητας 0.05 m³ ενώ διαθέτει και ενσωματωμένη ανατρεπόμενη φορτηγίδα χωρητικότητας 2 m³. Αναμένεται ότι ο μέγιστος ρυθμός απομάκρυνσης φερτών θα είναι 6 m³/h άρα για την απομάκρυνση του νεκρού όγκου του ταμιευτήρα όπως εκτιμήθηκε στο 5.3.2 και για λειτουργία του μηχανήματος 12 h/ημέρα προκύπτει ότι θα χρειαστούν 4 χρόνια για την αφαίρεση του. Η απόθεση των υλικών θα πρέπει να γίνει είτε στις όχθες της λίμνης είτε θα πρέπει να μεταφερθούν μηχανικά ή με φορτηγό σε κάποιο πιο μακρινό χώρο απόθεσης. Μετά από επικοινωνία με την κατασκευάστρια εταιρία του εν λόγω μηχανήματος η τιμή για αγορά και μεταφορά του στην Αιθιοπία ανέρχεται στα 34 400 ευρώ.

Το φιλανδικής κατασκευής αμφίβιο πολυμηχάνημα Watermaster ταιριάζει απόλυτα στις ανάγκες του φράγματος Damte. Διοχετεύθηκε στην αγορά το 1986 και έχει εφαρμοστεί σε 65 χώρες παγκοσμίως. Το Watermaster είναι κατάλληλο για εργασίες σε ρηχά νερά και είναι αμφίβιο, καθώς μπορεί να λειτουργήσει σε ξηρό έδαφος αλλά και στο νερό, για περιοχές βάθους έως 6 m. Οι τομείς εφαρμογής του αφορούν την εκβάθυνση και συντήρηση ρηχών υδάτινων περιοχών, τον καθαρισμό του περιβάλλοντος χώρου και την αποτροπή πλημμυρών, την υποστήριξη κατασκευαστικών εργασιών και την συντήρηση και καθαρισμό βιομηχανικών λιμνών. Αυτό το καταφέρνει με τα διαφορετικά εξαρτήματα που διαθέτει τα οποία είναι κεφαλή κοπής (περιλαμβάνει 2 κεφαλές για τα διάφορα είδη εδαφών), κάδος εκσκαφής, αρπαγή, εργαλείο απομάκρυνσης απορριμμάτων (τσουγκράνα) και δυνατότητα έμπηξης πασάλων (Εικόνα 5.15).

Στη δική μας περίπτωση η εργασία που απαιτείται είναι η βυθοκόρηση για την απομάκρυνση των εδαφικών υλικών. Τα εξαρτήματα που ενσωματώνονται στο Watermaster του δίνουν

πολλές εναλλακτικές για τον τρόπο που θα εκτελέσει τη βυθοκόρηση. Η κεφαλή κοπής και αναρρόφηση είναι η βέλτιστη εφαρμογή για τον ταμιευτήρα του Damte λόγω της σύστασης των φερτών (Εικόνα 5.16). Το σύστημα με ολοκληρωμένο μαχαίρι κοπής αναμοχλεύει το υλικό το οποίο στη συνέχεια αντλείται με παροχή έως 600 m³/h για το τύπο Watermaster IV και 900 m³/h για το Watermaster V. Από το μίγμα που αντλείται περίπου το 20% είναι εδαφικό υλικό συνεπώς ο ρυθμός απομάκρυνσης των φερτών είναι ουσιαστικά 120 m³/h και 180 m³/h. Το Watermaster έχει σχεδιαστεί για να δουλεύει ασταμάτητα 24 ώρες την ημέρα οπότε εάν οργανωθούν 3 βάρδιες εργασίας και συνυπολογιστεί και ο χρόνος για διαλλείματα, ανεφοδιασμό καυσίμων, καθυστερήσεις στην αλλαγή βάρδιας κ.α. είναι δυνατό να δουλέψει έως και 20 ώρες την ημέρα. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι για τον όγκο των φερτών όπως υπολογίστηκε στο 5.3.2 και μηχάνημα Watermaster IV με χρόνο εργασίας 17 h/ημέρα θα χρειαστούν περίπου 2 μήνες για την εξαγωγή των φερτών υλικών από τον ταμιευτήρα.

Άλλα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης βυθοκόρου αποτελεί η δυνατότητα ρυμούλκησης της στη περιοχή του έργου ως πλήρως συναρμολογημένου στοιχείου έτοιμου για χρήση. Αφού αποτεθεί πλησίον της περιοχής του έργου δεν χρειάζεται η χρήση γερανού για την ξεφόρτωση και ακριβή τοποθέτηση της στο σημείο εφαρμογής, καθώς έχει τη δυνατότητα να μετακινηθεί αυτόνομα για μερικές εκατοντάδες μέτρα. Αφού εισαχθεί μέσα στο νερό μπορεί να μετακινηθεί αυτόνομα καθώς διαθέτει δικό της σύστημα πρόωσης και στη συνέχεια να αγκυροβολήσει στο σημείο εργασίας με τη χρήση τεσσάρων σταθεροποιητών. Ακόμη έχει τη δυνατότητα μεταφοράς και απόθεσης του υλικού μέσω συστήματος σωληνώσεων σε απόσταση έως και 1.5 km.



Εικόνα 5.15 Λεπτομέρειες γεωμετρίας του Watermaster

Κεφάλαιο 5: Αποτίμηση λειτουργίας του φράγματος, βελτιώσεις και λύσεις

Η τεχνολογία του Watermaster έχει χρησιμοποιηθεί και για παρόμοια εφαρμογή σε ταμιευτήρα μικρού υδροηλεκτρικού φράγματος στη Νότια Αφρική. Το φράγμα βρίσκεται στο ποταμό Hoofstadsloop, το ύψος του είναι 25 m και το μήκος του 100 m και αντιμετώπισε πρόβλημα πλήρωσης του ταμιευτήρα με φερτά λόγω της επίδρασης μεταλλείων που λειτουργούν σε κοντινή περιοχή ανάντη. Η βυθοκόρος Watermaster μεταφέρθηκε πλησίον της περιοχής όπου λόγω της δυσκολίας προσέγγισης του ρυμουλκού στην ακριβή τοποθεσία του έργου, διήνυσε τα τελευταία 200 m αυτόνομα. Το βάθος του νερού κατά τη διάρκεια των εργασιών ήταν περίπου 0.5 m λόγω του αυξημένου όγκου φερτών υλικών που είχαν μειώσει δραματικά τον ωφέλιμο όγκο του φράγματος. Η διαδικασία εκσκαφής και απομάκρυνσης των φερτών έγινε με τη κεφαλή κοπής και την αναρρόφηση του υλικού, το οποίο στη συνέχεια με τη βοήθεια της βαρύτητας μεταφέρθηκε στη τελική περιοχή διάθεσης που απείχε 3 km από τη τοποθεσία του φράγματος. Η αγορά του Watermaster έγινε από την εταιρία “Dredging Solution” με σκοπό τη χρήση του για συντήρηση και αποκατάσταση λιμνών απορριμάτων σε ορυχεία αλλά λόγω της καταλληλότητας του μηχανήματος για πολλές διαφορετικές εφαρμογές, το διέθεσαν για την αφαίρεση των φερτών στο συγκεκριμένο φράγμα.



Εικόνα 5.16 Υδραυλική βυθοκόρος με κεφαλή κοπής και αναρρόφηση Watermaster

Μετά από επικοινωνία με την κατασκευάστρια εταιρία του εν λόγω μηχανήματος η τιμή για αγορά και μεταφορά του στην Αιθιοπία ανέρχεται στα 740 000 ευρώ. Αυτό το ποσό κρίνεται αρκετά μεγάλο και καλό είναι να εξετασθεί η πιθανότητα ενοικίασης του συγκεκριμένου μηχανήματος ή άλλου παρεμφερούς από εταιρία που δραστηριοποιείται σε αυτόν τον κλάδο.

5.3.4 Μέτρα για την προστασία και σταθεροποίηση των πρανών

Όπως είναι φανερό από τα παραπάνω, περίπου το 25% του προβλήματος της επίχωσης του φράγματος οφείλεται στην επιφανειακή ολίσθηση υλικού από τα πρανή της όχθης του ταμιευτήρα. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μια εισροή εδαφικού υλικού στον ταμιευτήρα η οποία δεν είχε προβλεφθεί από την μελέτη και συμβάλλει στην ταχύτερη αύξηση των φερτών υλικών στον ταμιευτήρα. Είναι σημαντικό λοιπόν να ληφθούν μέτρα για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα καθώς όχι μόνο επιβαρύνει τον ταμιευτήρα με φερτά αλλά εάν εξαπλωθεί πολύ εγκυμονεί κινδύνους και για τα σπίτια και τις καλλιέργειες των ανθρώπων που κατοικούν κοντά στη λίμνη. Το μεγαλύτερο πρόβλημα παρουσιάζεται στο αριστερό πρανές συνεπώς η κοστολόγηση των λύσεων γίνεται για εφαρμογή των μέτρων μόνο στα πρανή της δεξιάς όχθης του ταμιευτήρα.

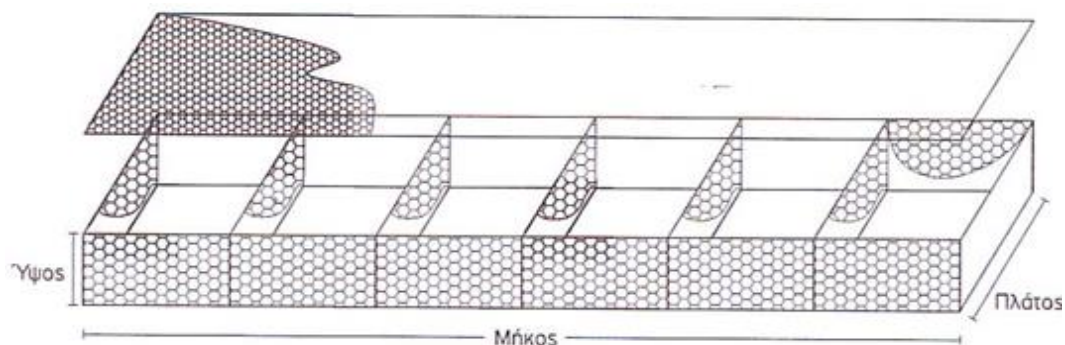
Για την προστασία και σταθεροποίηση των πρανών προτείνονται διάφορες λύσεις στην αγορά ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του προβλήματος και τις ιδιότητες του εδάφους. Γενικά γίνεται προσπάθεια οι λύσεις που εφαρμόζονται να μην διαταράσσουν το φυσικό τοπίο και να αξιοποιούν αν είναι δυνατόν υλικά από την γύρω περιοχή του έργου. Το τελικό αποτέλεσμα πρέπει να ικανοποιεί τις υδραυλικές και γεωτεχνικές παραμέτρους της ευάλωτης περιοχής και τα μέτρα που εφαρμόζονται να σχηματίζουν μια εύκαμπτη και ανθεκτική κατασκευή. Στη προκειμένη περίπτωση θα αναλυθούν δύο εναλλακτικές λύσεις οι οποίες είναι ικανές να εξασφαλίσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη οικονομία (Χρυσάνθου Β, 2015).

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΛΥΣΗ Α: ΛΙΘΟΠΛΗΡΩΜΕΝΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΤΥΠΟΥ MATRESS

Η στήριξη των πρανών μπορεί να επιτευχθεί με τη κατασκευή εύκαμπτης κατασκευής λιθοπληρωμένης στρώμης (mattress), κατασκευή όμοιας λογικής με τα απλά συρματοκιβώτια (gabions). Τα λιθοπληρωμένα συρματοκιβώτια (Εικόνα 5.18) και οι στρώμες (Εικόνα 5.19) χρησιμοποιούνται για διάφορες εφαρμογές του πολιτικού μηχανικού όπως για αντιστήριξη πρανών με απότομη κλίση, θωράκιση καναλιών και προστασία ακτών, προστασία έναντι διάβρωσης αλλά και ως υδραυλικές δομές ελέγχου και απόσβεσης της ροής του νερού, όπως χρησιμοποιήθηκαν και για τη κατασκευή του υπερχειλιστή του φράγματος Damte. Κατασκευάζονται από εξαγωνικό χαλύβδινο συρματοπλέγμα διπλής πλέξης, με τους βρόγχους να έχουν διαστάσεις ανάλογα με το μέγεθος των αδρανών που θα χρησιμοποιηθούν ως υλικό πλήρωσης. Οι διαστάσεις τους είναι τυποποιημένες σύμφωνα με προδιαγραφές και φαίνονται στο παρακάτω πίνακα 5.5.

5.5 Τοποποιημένες διαστάσεις κιβωτίων gabions και στρώνης mattress

	Μήκος (m)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)
Κιβώτιο Gabions	1.50 – 4.00	1.00	0.50
Στρώμνη Mattress	3.00 – 6.00	3.00	0.17, 0.23, 0.30



Εικόνα 5.17 Γεωμετρία Στρώμνης mattress

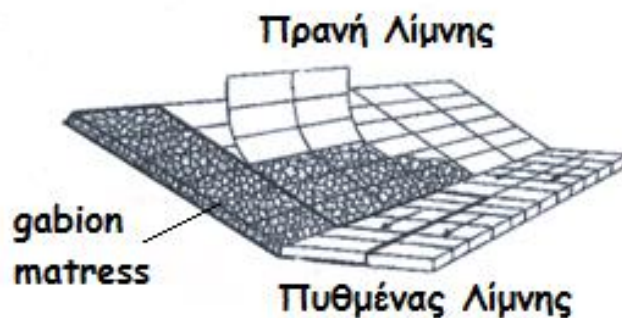


Εικόνα 5.18 Γεωμετρία Κιβωτίου gabion

Καθορίζονται οι επιθυμητές διαστάσεις των συρματοκιβωτίων και αυτά καταφθάνουν στη περιοχή του έργου έτοιμα για συναρμολόγηση. Υψώνονται οι παράπλευρες έδρες γύρω από τη βάση, συρράβονται οι 4 ακμές και στη συνέχεια τοποθετούνται στη τελική τους θέση όπου ράβεται και με τα άλλα συρματοκιβώτια ώστε να επιτευχθεί μια συνεχής δομή. Έπειτα πληρώνονται τα κιβώτια με τα αδρανή διαστάσεων μεγαλύτερων του βρόγχου και τέλος αφού έχει γεμίσει κλείνει και συρράβεται με τις αντίστοιχες ακμές. Είναι πολύ σημαντικό οι

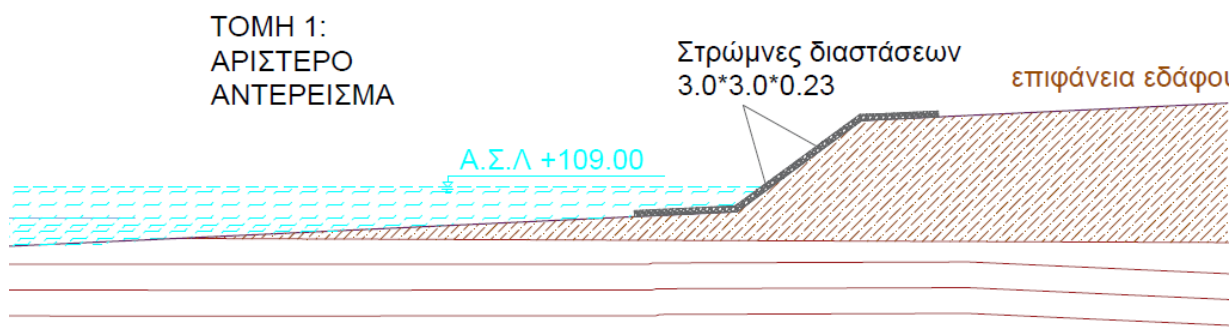
εργασίες να γίνουν σωστά και με επιμέλεια ώστε να σχηματιστεί ένας εύκαμπτος, συνεκτικός και αδιάσπαστος όγκος.

Η προστασία των πρανών των οχθών του ταμιευτήρα του φράγματος Damte με στρώματα συρματοκιβωτίων μπορεί να γίνει όπως στη διάταξη της Εικόνα 5.19.



Εικόνα 5.19 Τυπική διάταξη των στρώματων συρματοκιβωτίων

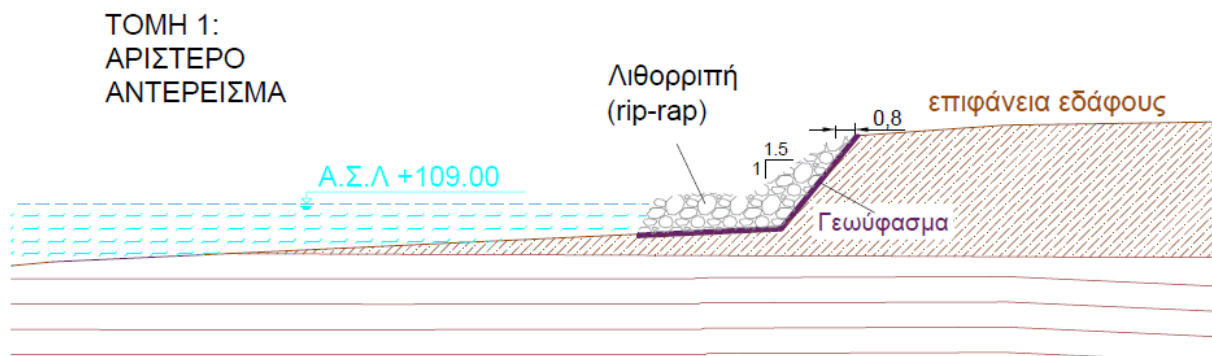
Η κλίση που απαιτείται για την τοποθέτηση τους χωρίς περαιτέρω στήριξη με αγκύρια είναι έως 35° συνεπώς πιθανώς να χρειάζεται κατά τόπου διαμόρφωση των κλίσεων των πρανών στις όχθες του ταμιευτήρα Damte. Στο παρακάτω σκαρίφημα (Εικόνα 5.20) φαίνεται η προτεινόμενη λύση όπως θα εφαρμοστεί για την υποστήριξη της νέας επιφάνειας εδάφους του πρανού της αριστερής όχθης της διατομής 1, όπως έχει σχηματιστεί μετά την επιφανειακή ολίσθηση του υλικού. Ενδεικτικά τοποθετούνται στρώματες διαστάσεων: μήκος 3.00 m, πλάτος 3.00 m, ύψος 0.23m και έχουν εφαρμοστεί 4 δέσμες τέτοιων στρωμάτων. Ενδεικτικό κόστος αγοράς στρώματες gabion στην Ελληνική αγορά είναι 1.60 €/ kg συνεπώς για διαστάσεις στρώματες όπως παραπάνω βάρους περίπου 31 kg ανά τεμάχιο, προκύπτει κόστος ανά στρώματη 50 €. Η προστασία των πρανών δεν χρειάζεται να γίνει κατά μήκος όλου του ταμιευτήρα αλλά σε μια περιοχή πλησίον του, έστω 200m. Συνεπώς ο συνολικός αριθμός από στρώματες που θα χρειαστούν είναι 267 τεμάχια άρα το συνολικό κόστος προκύπτει 13.340 €. Τέλος τα υλικά πλήρωσης των συρματοπλεγμάτων μπορούν να ευρεθούν από τη γύρω περιοχή του έργου ή να αναζητηθεί κάποιος κοντινός δανειοθάλαμος. Η μεταφορά τους μπορεί να γίνει χειρονακτικά από τους κατοίκους της περιοχής.



Εικόνα 5.20 Εναλλακτική λύση Α

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΛΥΣΗ Β: ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑ ΚΑΙ ΛΙΘΟΡΡΙΠΗ (RIP-RAP)

Η δεύτερη λύση που προτείνεται είναι η χρήση απλής λιθορριπής που είναι πιο άμεσα διαθέσιμη στην ευρύτερη περιοχή του έργου έναντι των συρματοπλεγμάτων τύπου mattress που είναι μια πιο εξειδικευμένη λύση και παράγεται και πωλείται από συγκεκριμένες εταιρίες. Επειδή η λιθορριπή θα είναι αρκετά διαπερατή και το νερό θα έρχεται σε επαφή με το έδαφος, προκαλώντας και πάλι προβλήματα καταρρευσιμότητας του, πρέπει να καλυφθεί και να προστατευθεί με κάποιο γεωύφασμα. Το μειονέκτημα αυτής της λύσης είναι ότι θα χρειαστεί μεγαλύτερη ποσότητα υλικού από ότι στην λύση Α, με το πάχος της στρώσης λιθορριπής να είναι 3-4 φορές μεγαλύτερο από το αντίστοιχο της στρώσης στο πρανές του εδάφους και 6 φορές μεγαλύτερο στον πόδα του αντιστηριζόμενου πρανούς. Το πλεονέκτημα είναι πως μπορεί να εφαρμοστεί και σε πιο απότομες κλίσεις πρανούς από ότι η στρώση με συνέπεια να μην χρειαστούν ιδιαίτερες μορφοποιήσεις του ανάγλυφου. Η διαμόρφωση της λιθορριπής στα πρανή μπορεί να γίνει με κλίση 1.5:1 και το βραχώδες υλικό μπορεί να αναζητηθεί είτε σε κοντινό δανειοθάλαμο είτε στο ίδιο λατομείο από όπου είχε γίνει η προμήθεια υλικών για την πλήρωση των συρματοκιβωτίων του υπερχειλιστή. Ενδεικτικά το κόστος του γεωυφάσματος είναι 10 €/m και εάν όμοια με πριν εφαρμοστεί σε 200 m απόσταση από το φράγμα το συνολικό κόστος θα είναι 2000 €. Σε αυτή την περίπτωση το κόστος της εύρεσης, εξαγωγής και μεταφοράς της λιθορριπής είναι σημαντικό και πρέπει να εκτιμηθεί πριν την επιλογή λύσης. Παρακάτω (Εικόνα 5.21) φαίνεται η προτεινόμενη λύση 2 επί του πρανούς της αριστερής όχθης της διατομής 1.



Εικόνα 5.21 Εναλλακτική λύση Β

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βασικός στόχος της διπλωματικής είναι η αποτίμηση της λειτουργίας του φράγματος Damte στην νοτιοδυτική Αιθιοπία, που έχει ήδη συμπληρώσει 13 χρόνια λειτουργίας. Για το λόγο αυτό έγινε μια επί τόπου επίσκεψη στο φράγμα ώστε να γίνει επιθεώρηση του και να εντοπιστούν πιθανά προβλήματα. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

4. Στο σώμα του φράγματος δεν παρατηρούνται σημαντικές παραμορφώσεις και φθορές. Το βασικό πρόβλημα εντοπίζεται στο κατάντη πρανές όπου υπάρχει σποραδική φυτοκάλυψη και σημειακά, το βραχώδες υλικό της προστατευτικής λιθορριπής έχει μετατοπισθεί σχηματίζοντας μια πιο ανώμαλη διάταξη από την αρχική, ιδιαίτερα στη περιοχή κοντά στον υπερχειλιστή.
5. Σε ότι αφορά τον υπερχειλιστή του φράγματος, το πρόβλημα εντοπίζεται κυρίως σε ορισμένα συρματοκιβώτια (gabions) από τα οποία είναι κατασκευασμένος, τα οποία έχουν παραμορφωθεί και μέρος του βραχώδους υλικού πλήρωσης τους έχει μετατοπιστεί. Ο πλαϊνός τοίχος του υπερχειλιστή έχει μερικές ρωγμές οι οποίες όμως πιθανώς προϋπάρχουν από τη φάση σκυροδέτησης. Τέλος η λεκάνη ηρεμίας δεν υφίσταται αφού έχει καλυφθεί εξολοκλήρου από βλάστηση.
6. Στο σύστημα υδροληψίας οι μόνες παρατηρήσεις που μπόρεσαν να γίνουν αφορούν την έξοδο του αγωγού, καθώς η είσοδος της υδροληψίας δεν ήταν ορατή λόγω της υψηλής στάθμης του νερού. Οι βαλβίδες ρύθμισης της ροής και το τελικό τμήμα του αγωγού είναι σε καλή κατάσταση, όμως βρίσκονται εμβαπτισμένα στο νερό, γεγονός που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.
7. Η εκτίμηση του όγκου των φερτών υλικών δεν ήταν δυνατή οπτικά καθώς δεν το επέτρεψε η υψηλή στάθμη του νερού, όμως υπάρχουν ενδείξεις πως ο όγκος αυτός είναι αυξημένος. Το χρώμα του νερού, η παρατήρηση των πρανών στις όχθες του ταμιευτήρα, η αυξημένη συχνότητα υπερχειλίσης και οι εκτιμήσεις των κατοίκων σχετικά με τη στάθμη των φερτών στον ταμιευτήρα υποδεικνύουν πως το πρόβλημα πρέπει να μελετηθεί απαραίτητως.
8. Σε ότι αφορά το αρδευτικό δίκτυο, το διάστημα που πραγματοποιήθηκε η επίσκεψη συνέπεσε με την ανακατασκευή του κύριου χωμάτινου καναλιού από τον τοπικό πληθυσμό, καθώς η ροή του νερού παρεμποδιζόταν λόγω της εισροής εδαφικού υλικού κατά μήκος του. Η διαχείριση του υδατικού δυναμικού του ταμιευτήρα γίνεται χωρίς ιδιαίτερο προγραμματισμό, ενώ οι αναγκαίες ποσότητες νερού για τις διάφορες καλλιέργειες δεν έχουν προσδιοριστεί.
9. Οι άνθρωποι εκτός από την άρδευση αξιοποιούν το νερό του ταμιευτήρα για το πότισμα των ζώων τους και για την προσωπική τους υγιεινή, όχι όμως για ύδρευση

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

και αλιεία ενώ 18 άτομα έχουν χάσει τη ζωή τους στη λίμνη. Τα σπίτια τους είναι φτιαγμένα από ξύλα ευκαλύπτου και λάσπη και συνθήκες υγιεινής είναι κακές.

10. Δεν υπάρχουν όργανα για την συλλογή δεδομένων σχετικά με τη λειτουργία του φράγματος.
11. Τα οφέλη του φράγματος στη ζωή της τοπικής κοινωνίας είναι εντυπωσιακά. Η διατροφή των κατοίκων έχει βελτιωθεί και η συγκομιδή γίνεται 2-3 φορές το χρόνο με αποτέλεσμα να μπορούν να διαθέτουν και μέρος των αγαθών τους στις γύρω περιοχές. Με τα χρήματα που αποκομίζουν μπορούν και αγοράζουν ζώα, να κατασκευάζουν καινούρια πιο ευρύχωρα σπίτια και να στέλνουν όλοι τα παιδιά τους στο σχολείο.

Με βάση αυτά τα συμπεράσματα προτάθηκαν οι εξής λύσεις για τα προβλήματα που εντοπίστηκαν στο φράγμα:

- 1) Η αφαίρεση της φυτοκάλυψης από το κατάντη πρανές.
- 2) Η αποκατάσταση των παραμορφωμένων/προβληματικών συρματοκιβωτίων για τον περιορισμό της περαιτέρω αποσυναρμολόγησης τους.
- 3) Ο μηχανικός καθαρισμός της εσχάρας της υδροληψίας κατά την ξηρή περίοδο, εφόσον εμποδίζεται η εισροή νερού από φερτά υλικά.
- 4) Η δενδροφύτευση των εκατέρωθεν πρανών της λίμνης για τη συγκράτηση μέσω του ριζικού τους συστήματος του εδαφικού υλικού που τείνει να διαβρώνεται και να ολισθαίνει.
- 5) Αντιμετώπιση του προβλήματος των φερτών

Καθώς η συσσώρευση φερτών υλικών στο ταμιευτήρα είναι το βασικό πρόβλημα που φαίνεται να αντιμετωπίζει το φράγμα, έγινε προσπάθεια για περαιτέρω διερεύνηση του φαινομένου και εξεύρεση λύσης για το πρόβλημα αυτό. Συγκεκριμένα ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- 1) Εντοπίστηκαν τα πιθανά αίτια του προβλήματος. Αυτά είναι
 - a) Οι εκτεταμένες επιφανειακές αβαθείς ολισθήσεις που έχουν λάβει χώρα στις δύο όχθες του ταμιευτήρα.

Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη φύση του εδάφους στη περιοχή μελέτης το οποίο είναι τροπικό και υπολειμματικό και έχει την τάση να χάνει τη διατμητική του αντοχή με την επαναλαμβανόμενη διαβροχή και ξήρανση του.

b) Η διαβρωσιμότητα της λεκάνης απορροής.

Οι μεγάλης έντασης βροχοπτώσεις, η εκτεταμένη γεωργική χρήση της γης και η σύσταση του εδάφους συντελούν στην έντονη διάβρωση του ανώτερου εδαφικού στρώματος της περιοχής. Η στερεοαπορροή συνεπώς είναι αρκετά μεγάλη και πιθανώς να ξεπερνά τη τιμή $300\text{m}^3/\text{km}^2/\text{έτος}$ που λήφθηκε στη μελέτη, με αποτέλεσμα την γρηγορότερη αύξηση του νεκρού όγκου στο ταμιευτήρα.

- 2) Έγινε εκτίμηση του νεκρού όγκου του ταμιευτήρα με τη χρήση αεροφωτογραφιών από το Google Earth και η τιμή που προέκυψε είναι 123.000 m^3 .
- 3) Προτάθηκε μέθοδος για την απομάκρυνση των φερτών υλικών από το ταμιευτήρα μέσω βυθοκόρησης. Το μηχάνημα που προτείνεται είναι η υδραυλική βυθοκόρος Watermaster της οποίας τα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι κατάλληλα για τα δεδομένα του ταμιευτήρα του φράγματος Damte.
- 4) Προτάθηκαν δύο μέθοδοι για την προστασία και σταθεροποίηση των πρανών του ταμιευτήρα. Αυτές είναι:
 - a) Η τοποθέτηση στρώμης συρματοκιβωτίων (mattress) για τη στήριξη των πρανών που υποχωρούν.
 - b) Η τοποθέτηση απλής λιθορριπής σε συνδυασμό με γεώφασμα, για μείωση της διαπερατότητας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Αραπάκη Ε, Προκαταρκτική διερεύνηση μικρών έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων στην Αιθιοπία, Μεταπτυχιακή εργασία, 2001
- Κουτσογιάννης Δ., Ε. Αραπάκη, Ν. Μαμάσης, Water shortage in Ethiopia: A first approach, Solidary for Ethiopia, Hellas – Ethiopia, 2000)
- Μουτάφης Ν. και Ι. Κουγιανός, Φράγμα Damte Αιθιοπίας – Προβλήματα σχεδιασμού και κατασκευής φράγματος στο εξωτερικό από ελληνική ΜΚΟ, 2006
- Χρυσάνθου, Β., Τεχνικά Έργα Διευθέτησης, κεφάλαιο βιβλίου: *Ποτάμια υδραυλική και τεχνικά έργα*, 2015.
- Allen P. M., and J. A. Dunbar, “Dredging vs new reservoirs, Texas Water Development Board, 2005
- Annandale W., G. L. Morris and P. Karki, Extending the life of reservoirs: sustainable sediment management for dams and run-off river Hydropower, World Bank publications, 2016
- Awulachew S. et al, Water resources and irrigation development in Ethiopia, International Water Management Institute, 2007
- Central Intelligence Agency, The world factbook: Ethiopia, 2017 (<https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/geos/et.html>)
- Central Statistical Agency (CSA) and World Bank, Ethiopia Socioeconomic Survey 2015/2016 - Wave 3, 2017
- Central Statistical Agency (CSA), Ethiopia: Demographic and Health Survey 2016, Addis Ababa, 2017
- Commission for Sustainable Agriculture and Environmental Rehabilitation in Southern Administrative Region Co-SAERSAR, Feasibility study report on Damte and Wedeba Pond at semen Omo Zone Damote Gale çoreda , Awassa, 2000
- Engineers without Borders - GR, Damte Project’s Final Design, Southern Irrigation Development Authority, Federal Democratic Republic of Ethiopia, 2003
- Environmental Protection Authority of Ethiopia, *National Report of Ethiopia*, United Nations Conference on Sustainable Development (Rio+20), 2012
- Fattah A., D. Hailemariam & O. Elbashir, Agreement on Declaration of Principles between The Arab Republic of Egypt, The Federal Democratic Republic of Ethiopia And The Republic of the Sudan On The Grand Ethiopian Renaissance Dam Project (GERDP), 2015
- Fazzini M., Bisci C, Billi P., The Climate of Ethiopia, 2015
- Federal Democratic Republic of Ethiopia, Ethiopia’s Climate – Resilient Green Economy (CRGE), Addis Ababa, 2011
- Ffolliott, P.F., N. B. Kenneth, D. G. Neary, R. P. Tapia, P. G. Chevesich, Soil Erosion and Sediment Production on Watershed Landscapes: Processes, Prevention and Control, 2013
- Haggai Erlich, The cross and the river: Ethiopia, Egypt and the Nile, Boulder, CO, 2001

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Human Development Report Office, Ethiopia, 2016
(http://hdr.undp.org/sites/all/themes/hdr_theme/country-notes/ETH.pdf)
- International Hydropower Association, Hydropower Status Report, 2017
- Japan International Cooperation Agency (JICA), The study on groundwater resources assessment in the rift valley lakes basin, Geological Map, 2012
- Ministry of Finance and Economic Development (MoFED), Growth and Transformation Plan (GTP) 2010/11 – 2014/15, Addis Ababa, 2010
- National Planning Commission, Growth and Transformation Plan II (GTP II) 2015/16 – 2019/20, 2016
- Northmore, K. J., Culshaw, M. G., Hobbs M.R.N., Hallam J.R., Entwisle D.C., Engineering Geology of Tropical Red Clay Soils, British Geological Survey, 1992
- Ofcansky, T. and B. LaVerl, Ethiopia: a country study, Library of Congress, Federal Research Division, Washington D.C., 1993
- Papagos P. et al, Global Rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records, 2017
- R. LAL, Soil erosion and sediment transport research in tropical Africa, 2009
Sutcliffe J. and Y. Parks, The hydrology of the Nile, IAHS Special Publication no.5, 1999
- Toll D. G., Tropical Soils, Durham University, UK, 2012
- Townsend F. C., Geotechnical Characteristics of Residual Soils, Journal of Geotechnical Engineering Vol. 111, Issue 1, 1985
- Virgo & Munro, Soil and erosion features of the Central Plateau Region of Tigray, Ethiopia, 1978
- White R., Evacuation of sediments from reservoirs, London, 2001