



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ
ΕΡΓΩΝ ΣΕ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ
ΤΗΣ ΥΠΟΣΑΧΑΡΙΑΣ ΑΦΡΙΚΗΣ:
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΚΙΜΠΑΟΥ



ΚΩΝ/ΝΟΣ ΓΚΟΥΤΗΣ

Επιβλέποντες: Μαμάσης Νικόλαος, Επ. Καθηγητής ΕΜΠ
Στεφανάκος Ιωάννης, Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2013

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΣΕ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΥΠΟΣΑΧΑΡΙΑΣ
ΑΦΡΙΚΗΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΚΙΜΠΑΟΥ

ΚΩΝ/ΝΟΣ ΓΚΟΥΤΗΣ

Επιβλέποντες: Μαμάσης Νικόλαος, Λέκτορας Ε.Μ.Π

Στεφανάκος Ιωάννης, Λέκτορας Ε.Μ.Π

Το περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες

ΑΘΗΝΑ 2013

*Στο ελληνικό φοιτητικό κίνημα του 2006 –2007 που με δίδαξε
τον αγώνα, την αξιοπρέπεια, τη δημοκρατία, τη ζωή.*

*Στους συναγωνιστές μου, τους συμφοιτητές μου και σε όλη τη
«γενιά του άρθρου 16» που μοιραστήκαμε
μαζί την ελπίδα, το όνειρο, και την γεύση της νίκης.*

Ευχαριστίες

Η διπλωματική αυτή έρχεται ως επιστέγασμα μιας εξάμηνης προσπάθειας, αποτελώντας μια ιδιαίτερα ευχάριστη και ενδιαφέρουσα ενασχόληση, που κάλυψε πλήρως το εσωτερικό μου κίνητρο για δοκιμασία του εαυτού μου σε ανάθεση και σχολαστική εντρύφηση σε εξειδικευμένο τεχνικό πρόβλημα, που βασίζεται σε άγνωστο για μένα γνωστικό πεδίο. Η ολοκλήρωση της ως εργασία σηματοδοτεί και μια προσωπική αλλαγή σελίδας καθώς με την τελευταία τελεία εδώ, μαζί της κλείνει και ο πρώτος κύκλος σπουδών. Κατά τα παραπάνω, θέλω να ευχαριστήσω προσωπικά όλους εκείνους και εκείνες που μου συμπαραστάθηκαν σε αυτό το έργο και όλους όσους με συντρόφευσαν στην διάρκεια της φοιτητικής μου ζωής.

Εν πρώτοις θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα κ. Νίκο Μαμάση, Λέκτορα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, ο οποίος υπήρξε ιδιαίτερα υποστηρικτικός του έργου μου. Η παρουσία του, η καθοδήγηση του, η διδακτική του συμβουλή και η μετάδοση εμπειρίας, η πρόθυμη ενασχόληση του, και βέβαια η σύμπνοια πνεύματος και η σύμπλευση απόψεων πάνω στην κατεύθυνση που θα δίναμε στην εργασία, ήταν παραπάνω από ικανοποιητικά. Με το ήθος του και το δραστήριο και ακατάβλητο πνεύμα που τον διακρίνει θεωρώ ότι, όχι μόνο στην δικιά μας συνεργασία, αλλά και στα γενικότερα διδακτικά του καθήκοντα τιμάει εξόχως τον τίτλο του δημόσιου λειτουργού στο Ελληνικό Πανεπιστήμιο. Ελπίζω το τελικό αποτέλεσμα να μην τον απογοήτευσε.

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον έτερο επιβλέποντα κ. Ιωάννη Στεφανάκο, Λέκτορα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, του οποίου οι θεωρητικές και τεχνικές γνώσεις πάνω στο πεδίο του μικρού υδροηλεκτρισμού στάθηκαν παραπάνω από πολύτιμες για την πλήρη διερεύνηση όλων των ερμηνειών αστοχίας του έργου. Ιδιαίτερα οι συναντήσεις μας, μαζί με τον κ. Νίκο Μαμάση, όπου λόγω ασαφειών και έλλειψης δεδομένων γύρω από το έργο, η ερευνητική μας προσέγγιση έπαιρνε τη μορφή πολυεπίπεδων στοχαστικών διερωτήσεων πάνω στα αίτια αστοχίας, νομίζω ότι μου όξυναν το κριτήριο σκέψης πάνω στην τελική αποτύπωση της προσέγγισης μου αλλά και μου έδωσαν την πιο γόνιμη εμπειρία για τον τρόπο προσέγγισης ενός προβλήματος.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω όλα εκείνα τα πρόσωπα που με στηρίζουν τόσα χρόνια. Καταρχήν τους γονείς μου, Θανάση και Εύα, τον αδερφό μου τον Βασίλη, για την αμέριστη

συμπαράσταση που μου έχουν δώσει όλα αυτά τα χρόνια, τους συμφοιτητές μου από το έτος μου, και όλα τα παιδιά από το φοιτητικό μου σχήμα, την Ανεξάρτητη Αριστερή Παρέμβαση και όλες τις αξέχαστες συντροφικές στιγμές που έχουμε μοιραστεί καθώς και τη Γεωργία μου, που ήταν κοντά μου όλο αυτό το διάστημα και μου ομόρφυνε με την παρουσία της το έργο μου. Το τελευταίο μου μεγάλο ευχαριστώ πάει στο ίδιο το Ελληνικό Πανεπιστήμιο και στην ΕΑΑΚ, καθότι η διαδρομή μου μέσα σε αυτούς τους δύο χώρους, με σημάδεψε και μου διαμόρφωσε τον χαρακτήρα που έχω σήμερα.

Περίληψη

Η διπλωματική που ακολουθεί είναι μια επισκόπηση στα κοινωνικά, τεχνικά και ενεργειακά προβλήματα του πιο καθυστερημένου τμήματος του τρίτου κόσμου, των κρατών της Υποσαχάριας Αφρικής, στις μεγάλες ευκαιρίες της υδροηλεκτρικής ενέργειας καθώς και μια ανάλυση για την αστοχία ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου στο Κιμπάου, σε ένα απομακρυσμένο χωριό στην Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό. Το τελευταίο σκέλος της μελέτης είναι συνέχεια της πρώτης προσπάθειας αναφοράς στο έργο, όταν το Πολυτεχνείο του Μπάρι το 2009, κλήθηκε να μελετήσει, να αναλύσει και να διερευνήσει τις αιτίες αστοχίας του μικρού υδροηλεκτρικού έργου στο Κιμπάου, εν είδει απομακρυσμένης τεχνικής βοήθειας, προσπάθεια που σήμερα τη συνεχίζουμε εμείς. Ο στόχος λοιπόν εδώ είναι η εντρυφήση και η πιστή απόδοση του εργασιακού, τεχνικού, οικονομικού και κοινωνικού περιβάλλον της Υποσαχάριας Αφρικής που έχει να αντιμετωπίσει ο Μηχανικός, η ανάδειξη των ιδιομορφιών της περιοχής, ο εντοπισμός των επιβαρυντικών παραγόντων της Υποσαχάριας Αφρικής αλλά και της Λαϊκής Δημοκρατίας του Κονγκό που τις κρατάνε πίσω στον τομέα της γενικής ανάπτυξης και προόδου, έτσι ώστε να ενταχθούν στην ανάλυση του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα, όχι όμως στο σύνολο αυτού αλλά μόνο αντιπαραβάλλοντας την ένταση της ηλεκτρικής κάλυψης με κρατική ευθύνη και τις προσπάθειες εξηλεκτρισμού των απομονωμένων περιοχών των χωρών αυτών μέσω μικρών υδροηλεκτρικών έργων. Σε αυτό το πρίσμα λοιπόν μπαίνει και το μικρό υδροηλεκτρικό έργο στο Κιμπάου, όπου οι κάτοικοι, με την δωρεά του υδροστρόβιλου που χρησιμοποιεί το έργο, μπόρεσαν να φτιάξουν ένα αυτόνομο ηλεκτρικό δίκτυο, το οποίο λειτούργησε για ένα διάστημα μέχρις ότου αστοχήσει, κάτι που ισχύει και σήμερα. Εδώ λοιπόν, μέσα από μια διεπιστημονική προσέγγιση φιλοδοξούμε να δημιουργήσουμε και το μονοπάτι ανώτερης επίγνωσης για τον Μηχανικό του δυτικού κόσμου, αλλά και να εξετάσουμε «από κοντά» τα αίτια της αστοχίας του μικρού υδροηλεκτρικού έργου στο Κιμπάου.

Abstract

The thesis that follows is an overview of the social, technical and power problems of the most undeveloped countries of the third world, the countries of sub-Saharan Africa, a synopsis of the great opportunities of small hydropower and an analysis of the failure of a small hydroelectric project in Kimbau, a remote village in the Democratic Republic of Congo. The last part of the study is a continuation of the first effort to the one the Italian University of Bari started in 2009, to study, analyze and investigate the causes of failure of the small hydroelectric project in Kimbau, by remote technical assistance.

The study here goes through multiple paths via a multidisciplinary approach. The first goal here is to study and represent carefully and obtain knowledge about the working, technical, economic and social environment of sub-Saharan Africa that the foreigner engineer confronts, combined with the identification of the distinctive features of the region and the aggravating factors that are holding back, in terms of general development and progress, both sub-Saharan Africa and the Democratic Republic of Congo. The second goal is to analyze the power sector, mainly comparing the extension of the national grid electricity capacity and the efforts in the electrification of remote areas of these countries through small hydropower projects. The third goal is to find and attribute the failure factors of the small hydroelectric project of Kimbau, where people were given as an act of help by AIFO (an Italian non government organization) a Francis water turbine which made the project of building a a stand-alone hydroelectric power system achievable. Up to date the power plant has not been working for a while because failure causes persisted. Here we supplement the analysis made by our Italian colleagues first attempt.

We started our technical analysis by the Italian report and the pictures of the field study made by the engineers of Kimbau. We enriched the results of the hydrological analysis by comparing the climatological and pluviometric data provided by the Congolese rain gauges near Kimbau so that we can estimate the uniformity in the distribution of the water discharge and the expected high values of the runoff coefficient. We were also in the position to deduce valuable conclusions about the stromatographic and geotechnical analysis as the nature of the upper ground is concerned. First we could estimate given their known relative density, the specific gravity of the loose sandstones, which we could incorporate to our analysis as related to the anchorage block. From the comparison of other geological data about the sedimentation transport

we could correlate both the medium size of grain in the river Nzasi (the river of the microhydro plant) and its sedimentation transport for the analysis of the desander. And in the end we could also assure that due to the high porosity, the high gradients in contrast to the lower angle of repose, there must be a considerable pore pressure from the water that indicates a more or less, steady discharge throughout the year. We examined the operational efficiency of all elements of the hydroelectric power system, under various hypothetical scenarios of the flow field, except the weir and the headrace, both of which are typical to their operations and are not designed to assume the burden of the changes in the flow field or the sediment transport. By the Italian report, we already knew that there were some the plant failed due to detachment and rupture of the penstock twice, in sections that implied both concentration of superpressions and water-hammer in action. This is valid for both the first penstock made of steel and the second one made of PVC. Furthermore, there were signs of constant interruption of flow, so one can assume that there was an undergoing mechanism or that was causing the valve to shut down and thus, resulting to a water hammer, or at least an accident that resulted that could explain why the first penstock failed to rupture. Also, the poor geological condition of the upper layer of sandstones which is gravely eroded explains the sinking of the anchorage block, so we were led to fully examine this hypothetical cause.

In the light of these of events, we examined a series of parameters. First we examined the whole system in normal circumstances, meaning in normal flow field. There were found no pressure problems at this point. Secondly we examined the operation of the desander addressing the problem of the settling rate of the medium sized grain compared to the dimensions of the desander and the problem of the needed rate of wash out of the desander compared to the level of the sediment transportation. There were found no designing restraints in the dimensional aspects of the desander that could lead eventually to endanger the safety of the desanding process. At a third stage, we followed our effort by investigating any problems considering the theoretical aspect of a water hammer hitting the penstock, and what consequences could this had in the hydraulic subsystem of the forebay and the feed pipe. For the water hammer hypothesis, we distinguished two scenarios that can occur, that have to do with the time of stopping the water flow in the penstock. If the time of stopping the water flow is long compared to the propagation time for a pressure wave to travel the length of the pipe, then one should use the formula of Michaud – this hypothesis applies to the “normal” (the manufacturer’s) closing time of the actual

valve of the Kimbau power plant. Instead, if by an accident (mechanical or electrical fault, human force by hand etc), something causes the valve or the guide vanes to close more abruptly, then one should use the formula of Michaud, albeit reducing the time of reference, or use the formula of Allievi. By this analysis, we reached to the conclusion that the penstock is surely vulnerable to rupture by an abrupt stoppage of the flow, but it can endure theoretically a pressure wave caused by a longer stoppage of the flow. The first situation however, progressively can cause failure to fatigue of the material of the pipe, because as we found out, the PVC pipe's thickness is actually unadequate. Also, because of the fact that the Francis turbine is actually overdimensional to the power needs of the village, and the fact that assuming a steady discharge of water the turbine is actually working often near 40% of its capacities, it means that the useful load is often not high enough and it gets rejected so that the valve stops. Also another case to consider is that the power demand in the village may be too small or even nullified for many hours during the day, so this could cause continuous disruptions of the water flow in the penstock. As for the hydraulic subsystem of the forebay and the feed pipe, we recalculated and reassured the results of our Italian colleagues, and we can confirm that its behavior presents no problem whatsoever.

Finally, we checked the stability of the anchorage block in the possibility of toppling, sliding and ground fracturing, for various lengths of reference of the penstock that the particular block could support, and estimating roughly from picture material the size of the block, the gradients of the ground and the moment of forces for various positions inside the block. As a result, we were able to prove that the block is causing the ground to fracture in any possible combination of factors, mainly because it is inside the area of failure – to prove that we studied it as a single foundation. Also toppling is not out of the question, it depends on the eccentricity of the applied forces. As a conclusion, one should say that because of the gravity of erosion in the upper layer and its poor resistance, so that it cannot support a more dense positioning of too many blocks, above - ground installation of the penstock should be avoided and the penstock should be buried.

In that basis, there is a number of factors contributing simultaneously to the ultimate stage of failure, so we propose a series of technical solutions that take measures both for the water hammer scenario and avoid uncertainties with the foundations. As a final proposition, we suggest investigating further the ground condition by a verification visit and to study thoroughly or make a better planning about the power demand / supply distribution system throughout the year.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	i
Abstract.....	iii
Περίληψη.....	iv
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Περιγραφή του ευρύτερου χώρου της Υποσαχάριας Αφρικής.....	1
1.1 Η Αφρικάνικη ήπειρος και το πρόβλημα της ανάπτυξης.....	1
1.2 Ιστορικές και οικονομικές στρατηγικές επίλυσης του προβλήματος.....	4
1.3. Η συμβολή του οδικού δικτύου στη μείωση της ανισότητας της ανάπτυξη.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Ο τομέας της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	10
2.1 Ο τομέας της ενέργειας και η ηλεκτροδότηση.....	10
2.2 Ο στόχος του εξηλεκτισμού της αφρικάνικης επαρχίας	13
2.3 Το μεγάλο δυναμικό της υδροηλεκτρική ενέργειας.....	16
2.4 Μικρά υδροηλεκτρικά έργα: περιορισμοί παρά τις ευκαιρίες.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Η Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό (Ζαΐρ).....	27
3.1 Γενικά χαρακτηριστικά.....	27
3.2.Υποδομή της Λαϊκής Δημοκρατίας του Κονγκό.....	31
3.2.1 Οδικό δίκτυο και ενεργειακός τομέας.....	31
3.2.2 Το πλούσιο υδροδυναμικό της ΛΔΚ και τα φραγμάτων Ίνγκα.....	35
3.3. Ο εξηλεκτισμός μέσω μικρών υδροηλεκτρικών έργων.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Αρχές σχεδίασης ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου.....	47
4.1 Ορισμός και χαρακτηριστικά μικρών υδροηλεκτρικών έργων.....	47
4.2 Τεχνικές διαδικασίες και μελέτες για το σχεδιασμό του έργου.....	52
4.2.1. Αναγνωριστική μελέτη (ή μελέτη σκοπιμότητας).....	53
4.3 Υδρολογική ανάλυση.....	56
4.3.1 Ανάλυση συχνοτήτων και καμπύλη διάρκειας της παροχής.....	57
4.3.2 Πλημμυρική παροχή.....	61
4.3.3 Μέτρηση παροχής.....	63
4.4 Υδραυλική ανάλυση.....	63
4.5 Τοπογραφική και γεωτεχνική ανάλυση.....	67
4.6 Μέρη του έργου.....	74
4.7 Ηλεκτρομηχανικός εξοπλισμός.....	87

4.7.1 Θεωρητικά Στοιχεία Υδροστροβίλου.....	87
4.7.2 Θεωρητικά Στοιχεία Γεννήτριας.....	102
4.7.3 Τυποποιήσεις Γεννητριών και Βοηθητικά Όργανα.....	109
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – Η περίπτωση του Κιμπάλου.....	114
5.1 Περιγραφή του προβλήματος και της ευρύτερης περιοχής.....	114
5.1.1 Γεωλογικά και στρωματογραφικά δεδομένα της περιοχής.....	122
5.1.2 Υδρολογικά και κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής.....	127
5.1.3 Στερεομεταφορά για τα ποτάμια της περιοχής.....	129
5.2 Ανάλυση των μερών του έργου.....	132
5.3 Περιγραφή των τεχνικών προβλημάτων του έργου.....	155
5.4 Διερεύνηση της λειτουργίας του έργου.....	154
5.4.1 Υδραυλική λειτουργία σε μόνιμη ροή των αγωγού προσαγωγής και πτώσης.....	159
5.4.2 Έλεγχος υδραυλικής λειτουργίας υπό διακοπή της ροής στον αγωγό πτώσης.....	163
5.4.3 Έλεγχος υδραυλικής λειτουργίας του υδροστροβίλου και της γεννήτριας.....	181
5.5 Διερεύνηση της υποστηρικτικής λειτουργίας των τμημάτων του έργου.....	188
5.6 Ερμηνεία αποτελεσμάτων και προβολή πιθανών λύσεων.....	206
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – Συμπεράσματα.....	216
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	219
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	225

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Περιγραφή του ευρύτερου χώρου της Υποσαχάριας Αφρικής

1.1 Η Αφρικάνικη ήπειρος και το πρόβλημα της ανάπτυξης

Η Αφρική αποτελούμενη από 55 αναγνωρισμένα κράτη είναι ένα από τα πιο χαρακτηριστικά μέρη στον κόσμο, όπου κάθε γωνιά του διατρέχεται από σοβαρές και χρόνιες κοινωνικές δυστυχίες που χρήζουν ανθρωπιστικής βοήθειας, όπως υψηλό επίπεδο φτώχειας, μεγάλη παιδική θνησιμότητα, μεγάλη ευπάθεια από επιδημίες, υψηλό ποσοστό θανάτου ακόμα και από ιάσιμες ασθένειες, σοβαρές περιπτώσεις ασιτίας, υποσιτισμού, λειψυδρίας, ρύπανσης και μόλυνσης πηγών, καταπάτηση στοιχειωδών ανθρώπινων δικαιωμάτων, περιβαλλοντικών προβλημάτων κλπ. Αυτά τα φαινόμενα είναι βασικοί αντίπαλοι στον αγώνα για ανάπτυξη και ευημερία του Τρίτου Κόσμου και της Αφρικής, όπως διαφαίνονται στην επικαιροποιημένη διακήρυξη των «Αναπτυξιακών Στόχων της Χιλιετίας» του ΟΗΕ (United Nations, 2012).

Εξετάζοντας την ιστορία της Αφρικής, με την αποικιοποίηση από την Ευρώπη να τελειώνει μόλις το 1960 (οπότε και αναπτύχθηκαν εθνικοαπελευθερωτικά κινήματα), με τα επιβαρυντικά ποσά εξωτερικού χρέους προς τις αναπτυγμένες χώρες, την εξαρχής δημιουργία των κρατών χωρίς εθνοτική συνοχή του πληθυσμού τους και την οικονομική εξάρτηση στην αξιοποίηση πόρων και πλουτοπαραγωγικών πηγών από ξένα κεφάλαια, κληρονομούνται νέες παθογένειες, όπως έχουν συμπεριληφθεί σε διάφορες εκθέσεις (Commission for Africa, 2005 · Collier and Gunning, 1999): ανεπάρκεια παραγωγικών δομών, κατάρρευση κοινωνικών και μεταφορικών υποδομών, οικονομική συρρίκνωση και παράλυση επενδύσεων, αποκλεισμός από τις αγορές και το εμπόριο ανικανότητα και αναποτελεσματικότητα κρατικής μηχανής, συχνές πολιτειακές ανωμαλίες μεσώ δικτατοριών, εμφυλίων πολέμων, γενοκτονιών, εύθραυστες κρατικές δομές, αποδυνάμωση θεσμικού και κοινοβουλευτικού ιστού, εμφάνιση σοβαρών κενών στο νομοθετικό σύστημα και στα πλαίσια διακυβέρνησης, υψηλός αναλφαβητισμός και αποκλεισμοί από την εκπαίδευση. Αν και οι πλέον αισιόδοξες εκθέσεις μιλούν για αλλαγή κλίματος γύρω από την Αφρική, ειδικά την τελευταία δεκαετία (World Economic Forum et al, 2011), μπορεί κανείς να πει ότι οι χώρες της Αφρικής έχουν ακόμα πολύ δρόμο να βελτιώσουν τις επιδόσεις τους.

Εξετάζοντας τις στρατηγικές που ακολουθούνται στις χώρες της Αφρικής, μπορεί κανείς να δείξει πως το ερώτημα της ανάπτυξης συγκεντρώνει μια πληθώρα θεωριών, πρακτικών και

πολιτικών κατευθύνσεων που στο όριο τους αλληλοαποκρούονται, δημιουργώντας έτσι διαφορετικές σχολές στην οικονομική ανάλυση. Πιο συγκεκριμένα μπορούμε να δούμε πως οι μακροοικονομικές στρατηγικές περί της ανάπτυξης διαιρούνται τόσο στις προτεραιότητες και τα μέσα της μακροπρόθεσμης σύγκλισης με τον αναπτυγμένο κόσμο, όσο και στην θεωρητική σύλληψη του ιστορικού πλαισίου εξήγησης της οικονομικής απόκλισης της κάθε χώρας από τους στόχους της. Ακόμα αποκτάει περισσότερο ενδιαφέρον στο πλαίσιο της οικονομετρικής ανάλυσης, η επίδραση συγκεκριμένων παραγόντων, όπου η εφαρμογή των ίδιων διαρθρωτικών πλαισίων, σε διαφορετικές περιπτώσεις οδήγησαν αλλού σε ανάπτυξη και αλλού σε χειροτέρευση των τοπικών οικονομιών.

Συνεπώς έχουμε να κάνουμε με ένα ιδιαίτερα πολυπαραγοντικό πλαίσιο που αιτιολογεί τις διαφοροποιήσεις. Παρόλα αυτά, μπορούμε να υποστηρίξουμε πως οι όποιες διαφοροποιήσεις επί της ουσίας αναδύονται ως αναθεώρηση ή κριτική του επίσημου πλαισίου καθοδηγητικών γραμμών που προκρίνουν οι παγκόσμιοι και περιφερειακοί οργανισμοί (IMF, WB, AFD, WTO) διεθνή συμμετοχικά συμβούλια (UNDP, NATO, G8), οι αναπτυγμένες χώρες, και οι διεθνείς αγορές.

Προτού αναλύσουμε τον πυρήνα των παραπάνω θεωρητικών προτάσεων, θα πρέπει να δούμε την ιστορική εξέλιξη της Αφρικής ήδη πριν από τα χρόνια της απελευθέρωσης. Ένα δομικό χαρακτηριστικό που αδυνατίζει την κρατική συνοχή και τις ελπίδες για συμφιλίωση και ευημερία είναι πως αντίθετα από τα περισσότερα κράτη, η Αφρική διαιρέθηκε γεωγραφικά σε διαφορετικές χώρες λόγω των Ευρωπαϊκών συμφερόντων, και όχι από αυτοτελή εθνική αυτοδιάθεση. Κάτι που σημαίνει ότι σε πολλές περιπτώσεις, εντός της ίδιας επικράτειας, περικλείονται φυλές και κοινότητες ανθρώπων μερικές από τις οποίες είναι παραδοσιακά εχθρικές μεταξύ τους. Ακόμα περισσότερο, υπάρχουν φυλές που έχουν διασκορπιστεί σε δύο, τρεις, ή και τέσσερις γειτονικές χώρες. Συνεπώς στα μάτια πολλών κατοίκων της Αφρικής, τα κράτη ως ενότητες ανθρώπων υπάρχουν μόνο στον χάρτη (Commission for Africa, 2005) κάτι που πολλές φορές βάζει εμπόδια στην ειρηνική ανάπτυξη των κοινωνιών.

Δεύτερο προβληματικό στοιχείο είναι η μικρή απόδοση της αγροτικής παραγωγής. Η πλειοψηφία των χωρών της Αφρικής εξαρτούν την βιωσιμότητα της οικονομίας τους από τους ρυθμούς ανάπτυξης της αγροτικής παραγωγής, αφού η ανάπτυξη τους βασίζεται στην εξαγωγή των αγροτικών προϊόντων. Στο κέντρο αυτής της προσπάθειας βρίσκονται κατά βάση οι αγροτικές κοινότητες στις μη τροπικές χώρες όπου αντιμετωπίζουν ένα δύσκολο περιβάλλον

καθώς μεγάλες εκτάσεις είναι άγονες με μεγάλης μεταβλητότητας βροχές και συχνές περιόδους ξηρασίας, και τα συστήματα άρδευσης είναι περιορισμένων δυνατοτήτων (IEG, 2007). Ταυτόχρονα με τους συνεχείς χειροτερεύοντας όρους που αντιμετωπίζουν οι αφρικάνικες χώρες στο διεθνές εμπόριο, οι ελπίδες για σύντομη ανάπτυξη μειώνονται.

Τρίτο προβληματικό στοιχείο είναι το καθεστώς ιδιοκτησίας των γαιών. Το πρόβλημα εντοπίζεται στο ότι παρά την μεγάλη σημασία του αγροτικού τομέα, το υπάρχον νομικό καθεστώς για την πιστοποίηση των δικαιωμάτων πάνω στη γη είναι πρακτικά ανύπαρκτο, τέτοιο ώστε σε πολλά κράτη της Αφρικής να μην υπάρχει καν νομικό πλαίσιο των τίτλων εργασίας ή ιδιοκτησίας. Αυτό οδηγεί συστηματικά σε μεγάλες διαμάχες για τη γη, ώστε η συγκέντρωση και εκμετάλλευση γης από ξένες επιχειρήσεις για επενδύσεις σε άλλους τομείς να έρχεται σε άλυτη αντίθεση με τα μικρά αγροτικά νοικοκυριά. Αυτό το νομικό κενό σχετίζεται πάρα πολύ με την λογική που ακολουθήθηκε την δεκαετία του 1980, όπου η πολιτική γύρω από την αγροτική παραγωγή ήταν η προώθηση της διάλυσης των κοινοτικών συνεταιρισμών, άνοιγμα χώρου στην ιδιωτική ιδιοκτησία γης, μαζί με την αποφυγή της κρατικής φορολόγησης στις κοινότητες, σύμφωνα με τα κριτήρια της ελεύθερης αγοράς (IEG, 2007).

Η πολιτική αυτή αναχαιτίστηκε καθώς το άνοιγμα της αγοράς γης, αντί να αυξήσει τα κίνητρα των αγροτών για επιχειρηματική δράση, τους οδηγούσε σε μικρότερες και πιο άγονες εκτάσεις γης, στην πλήρη αποπτώχευση, και άρα στην ύφεση, ματαιώνοντας τις αναπτυξιακές δυνατότητες της Αφρικής (The World Bank, 2000). Παρά τη στροφή τα τελευταία χρόνια σε μια πιο φιλική στάση απέναντι στα κοινοτικά δικαιώματα των αγροτών και των εργατών γης, (Moyo, Rutherford and Amanor – Wilks, 2000), ο λόγος της αχρησιμοποίητης μεγάλης ιδιοκτησίας στη γη έναντι των αγροτών χωρίς γη εξακολουθεί να είναι ενδεικτικός.

Τέταρτο δομικό στοιχείο είναι το μεταφορικό δίκτυο και η τηλεπικοινωνία. Στην Αφρική από τα χρόνια της αποικιοκρατίας τα μόνα οδικά έργα υποδομής ήταν κυρίως οι σιδηρόδρομοι οι οποίοι συνέδεαν κατευθείαν τους κόμβους παραγωγής (μεταλλεία, αδαμαντωρυχεία, πετρελαιοπηγές σταθμοί παραγωγής ενέργειας) προς τα σημεία μεταφόρτωσης προς την Ευρώπη (συνήθως λιμάνια). Ο συνολικός σχεδιασμός δεν είχε ποτέ ως στόχο την αλληλοσύνδεση των ξεχωριστών σημείων στο εσωτερικό της Αφρικής ή τη διάνοιξη δρόμων προς την Μέση Ανατολή (Commision for Africa, 2005). Η συνέπεια αυτού είναι μια ανυπαρξία οδικού δικτύου, όπου σε συνδυασμό με την κακή συντήρηση καθώς και την διαβρωτική επίδραση του τροπικού κλίματος, κατατάσσει την Αφρική σε ένα από τα πιο δύσκολα προσπελάσιμα μέρη στον κόσμο.

Σαν χαρακτηριστικά μεγέθη η Παγκόσμια Τράπεζα αναφέρει πως μόνο το 16% των συνολικών δρόμων είναι ασφαλτοστρωμένο και από τους δρόμους που χτίστηκαν τα τελευταία 20 χρόνια, το ένα τρίτο έχει διαβρωθεί από ελλιπή συντήρηση (The World Bank, 2000). Όλα τα παραπάνω, ταυτόχρονα με την επιβαρυντική συχνή παρεμβολή τελωνείων, διοδίων, στρατιωτικών οδοφραγμάτων κλπ, δημιουργούν μια πραγματική γιγάντωση του χρόνου και του κόστους μεταφοράς, κάτι που αποθαρρύνει σημαντικά επενδύσεις, συντελώντας στην χαμηλή ανταγωνιστικότητα και εμποδίζοντας την ενοποίηση της αγοράς (εσωτερικής και εξωτερικής). Τέλος πρέπει να σημειωθεί πως οι πολεμικές συρράξεις είναι συχνές, ιδιαίτερα σε κάποιες χώρες, και αποτελούν το πιο βαρύ πλήγμα στο μεταφορικό δίκτυο, καθώς τα χτυπήματα σε δρόμους, γέφυρες, λιμάνια, αεροπλάνα είναι σημεία κλειδιά. Άλλο παραγόμενο αποτέλεσμα είναι πως έτσι περιορίζεται η κινητικότητα των εργαζόμενων, κάτι που προσανατολίζει την παραγωγή σε σχεδιασμούς έντασης κεφαλαίου και όχι έντασης εργασίας, που συμβάλλει στην αποστέρηση εισοδήματος.

Παράλληλη μοίρα με το οδικό δίκτυο εμφανίζει συνήθως και το δίκτυο επικοινωνίας, αν και ορισμένες χώρες έχουν επιδείξει στον τομέα αυτό αξιοσημείωτη πρόοδο. Χαρακτηριστικά η Παγκόσμια Τράπεζα αναφέρει πως στην Υποσαχάρια Αφρική, εξαιρούμενης της Νότιας Αφρικής, ο μέσος Αφρικανός απέχει από το πλησιέστερο τηλέφωνο 2 ώρες (The World Bank, 2000).

1.2 Ιστορικές και οικονομικές στρατηγικές επίλυσης του προβλήματος

Συνολικά ο αγώνας προς την εθνική ανόρθωση, την παραγωγική ανεξαρτητοποίηση και την περιφερειακή ανάπτυξη της Αφρικής διεμβολίστηκε αρκετές φορές από σχέδια εξωτερικού παράγοντα, όπως κατά την περίοδο του ψυχρού πόλεμου με τον ανταγωνισμό των χωρών της Δύσης να παίζει καταλυτικό ρόλο στις καθεστωτικές μεταβολές των κρατών της υποσαχάριας Αφρικής. Πιο συγκεκριμένα, οι περισσότεροι αναλυτές συνοψίζουν την μετααποικιακή περίοδο σε τρεις βασικές περιόδους για όλη την ήπειρο, όπως προτείνεται παρακάτω: την περίοδο μετά την απελευθέρωση (1960-1980), την δεκαετία της Αφρικανικής κρίσης (1980-1990), και την τελευταία περίοδο (1990-2008) που σηματοδοτεί το άνοιγμα στις αρχές της δυτικής αστικής δημοκρατίας (Louise Fox and Robert Liebenthal, 2006).

Κατά τους Fox-Liebenthal, οι τρεις περίοδοι αυτοί σημαδεύονται από την παράλληλη σχέση της Αφρικής με τον υπόλοιπο κόσμο μέσω των διεθνών αγορών, του εμπορίου και των χρηματοδοτικών ενισχύσεων. Συνοπτικά μπορούμε να πούμε πως, τα προσφάτως αναγνωρισμένα Αφρικανικά κράτη μετά το 1960 μέχρι και το 1990 συστηματικά αποζήτησαν άνοιγμα στην παγκόσμια αγορά, ώστε μέσω ενός συνδυασμού προστατευτικών δασμών και ισορροπία στο ισοζύγιο πληρωμών, καθώς και από την επιδότηση του βιομηχανικού τομέα, να πετύχαιναν μείωση των εξαγωγών και να αναπτύξουν τις παραγωγικές δομές. Αντίθετα όμως σταδιακά μέχρι το 1990, η Ευρωπαϊκή και Αμερικάνικη πλευρά απαγόρευαν κινήσεις προστατευτισμού δυσχεραίνοντας σημαντικά την βελτίωση των αφρικάνικων οικονομιών. Επίσης, από το 1980 και μετά τα υφεσιακά αποτελέσματα της πετρελαϊκής κρίσης του 1970 που χτύπησαν την Αφρική, μαζί με την συνεχιζόμενη κρίση χρέους και τα μεγάλα ελλείμματα, εμφανίστηκε στη δημόσια σφαίρα η αναγκαιότητα για διαρθρωτικές αλλαγές των κρατών και υιοθέτηση νεοφιλελεύθερων οικονομικών προγραμμάτων από το ΔΝΤ και την Παγκόσμια Τράπεζα, κάτι που κατά τάση χειροτέρεψε τις αφρικάνικες οικονομίες.

Κατά τους συγγραφείς, ακόμα και σήμερα μετά το 1990, όπου αναγνωρίστηκε παγκοσμίως η χαμένη ευκαιρία στο διάστημα τεσσάρων δεκαετιών και πως η απαίτηση στροφή στην εξωτερική πολιτική των αναπτυγμένων κρατών, οι όροι αναφοράς της σημερινής βοήθειας από την μεριά τους, μπορεί να μιλάνε για ελάφρυνση του εξωτερικού χρέους και καλύτερευση των εμπορικών συναλλαγών ως ακρογωνιαίους λίθους της ανάπτυξης, βασίζονται όμως πάλι στην ανοιχτή υποχρέωση αναδιάρθρωσης, όπως ακριβώς στο παρελθόν στην δεκαετία του 1980. Η διαφορά βρίσκεται πως αυτή τη φορά, η απομυθοποίηση της εκ των προτέρων αποτελεσματικότητας της νεοφιλελεύθερης ατζέντας, σημαίνει πως η εξωτερική βοήθεια πρέπει να πατάει στο έδαφος της οικονομικής αξιολόγησης, της μετρησιμότητας των αποτελεσμάτων αλλά και του αστικοδυτικού εκδημοκρατισμού. Το τελευταίο είναι και το κοινωνικό προχώρημα στο γεγονός ότι απαλλαγμένοι από τον διαρκή ψυχροπολεμικό ανταγωνισμό των υπερδυνάμεων, οι χορηγοί δεν χρειάζεται πλέον να χρηματοδοτούν αυταρχικά καθεστάτα, δίχως οικονομικές προϋποθέσεις, διαμορφώνοντας απλά τις γεωγραφικές σφαίρες επιρροής. Επίσης για πρώτη φορά μετά το 1995 δίνεται στρατηγική έμφαση στον πολεοδομικό σχεδιασμό και στα δημόσια έργα ως παράγοντες κλειδιά για την ανάπτυξη των υπόλοιπων τομέων.

Η στροφή την τελευταία περίοδο απεικονίζει τη σύνθεση και τον εμπλουτισμό πολλών παρατηρήσεων που έγιναν υπό μορφή κριτικής από διάφορες εκθέσεις. Όπως προείπαμε

παραπάνω μια πληθώρα αναλυτών αμφισβήτησε τις παλαιές οικονομικές κατευθύνσεις για ανάπτυξη, είτε συσχετίζοντας τις ως αποτυχημένες συνταγές του παρελθόντος, είτε αντιστρέφοντας το βέλος αιτιότητας και χρεώνοντας στις προτεινόμενες λύσεις την αρχική ευθύνη της ύφεσης. Ενώ η πλειονότητα των αναλύσεων στο σύνολο τους βασίζουν την πρόταση τους στην θεσμική ενίσχυση, στην ενδυνάμωση του πλαισίου διακυβέρνησης, αλλά και στην καταπολέμηση της διαφθοράς (Commision for Africa, 2005) και καλούνε τις κυβερνήσεις να αναπτύξουν και υποστηρίξουν ένα νέο σύστημα ανταγωνιστικών τιμών, ιδιαίτερα απελευθερώνοντας την αγροτική παραγωγή, την εκμετάλλευση φυσικών και το εμπόριο (The World Bank, 2000), άλλοι αναλυτές (Ogbu, 1995 · Lall, 2000) κάνουν επίκληση στην από καιρό αγνόηση του ειδικού βάρους που περιέχει η τεχνολογική ενσωμάτωση στις παραγωγικές δυνατότητες των αφρικάνικων χωρών, και με ποιους όρους τεχνογνωσίας, μελέτης και ανάπτυξης ανθρώπινων πόρων μπορεί αυτή να αυξάνει την οικονομική αποδοτικότητα των βιομηχανικών επιχειρήσεων.

Οι συγκεκριμένοι αναλυτές κάνουν κριτική στην σχηματική αντιμετώπιση πως μόνο με την επένδυση στην αγροτική παραγωγή και στην εξόρυξη μεταλλευμάτων, θα έρθει ξένο συνάλλαγμα στην χώρα για εισαγωγή μηχανολογικού εξοπλισμού, ώστε κατόπιν να εκβιομηχανιστεί η υπόψη χώρα. Εδώ υπογραμμίζουν πως: (α) οι εμπορικοί περιορισμοί και τα προϊόντα χαμηλής τεχνολογικής σύνθεσης δεν είναι ανταγωνιστικά, συνεπώς η ανάπτυξη επιβραδύνεται σημαντικά, (β) βασική προϋπόθεση της ανάπτυξης είναι η εθνική αυτονομία παραγωγής κεφαλαιουχικού εξοπλισμού και ανταλλακτικών κάτι το οποίο θα εκτίναζε προφανώς τους υπόλοιπους τομείς, συνεπώς απαιτείται στροφή προς την τεχνολογία και τον εκμοντερνισμό της παραγωγής και (γ) η ενσωμάτωση της τεχνολογίας και η απόδοση της, δεν είναι μια γραμμική διαδικασία όπου η τεχνογνωσία είναι θέμα μόνο χρόνου, αλλά υπάρχει μια ολόκληρη μεθοδολογία επιλογής και μεταφοράς τεχνολογικής βάσης, ανάπτυξης και εκμάθησης τεχνικών διαδικασιών και μεθόδων. Το τελευταίο σημείο τονίζουν είναι το στοίχημα της μικροοικονομικής διαχείρισης και εξηγεί την καθυστέρηση, την αποτυχία και την αποβιομηχανοποίηση της Αφρικής.

Κάποιοι τελευταίοι όπως ο Arrighi (Arrighi, 2002), εξετάζοντας παράλληλα την επιτυχία παρόμοιων περιπτώσεων καθυστερημένων οικονομιών όπως ήταν οι ασιατικές και κοιτώντας το πρόβλημα πιο αφαιρετικά, θεωρούν πως για την αφρικανική κρίση, η διαφθορά των κυβερνήσεων, η απόκλιση από τις «σωστές πολιτικές» της Παγκόσμιας Τράπεζας, αλλά ακόμα

και η παγίδα των συνεχών διενέξεων, δεν μπορούν να είναι ο πραγματικός στόχος γιατί δεν είναι τα πρωταίτια, αλλά είναι αντιθέτως, τα φαινόμενα των οικονομικών επιλογών που έχουν παρθεί. Οι επιλογές αυτές είναι η υπερέκθεση των αφρικάνικων οικονομιών στις διεθνείς ροές ανακύκλωσης του κεφαλαίου, όπου αναπτύσσονται οικονομικά ασύμφορες εξαρτησιακές σχέσεις με το εξωτερικό, ακόμα και στην απόκτηση του κεφαλαιουχικού μηχανισμού, καθώς και το ιστορικά εδραιωμένο μοντέλο απόσπασης υπεραξίας από τις αφρικανικές ελίτ, του οποίου η αδιαφάνεια και η διαφθορά είναι εργαλείο, όπου σχετίζεται με την υποτίμηση της αξίας της εργατικής δύναμης, κάτι που προκαλεί διαταραχές στην κατανάλωση. Ταυτόχρονα, για τον Arrighi αυτό που επικαθόρισε ιστορικά την εξέλιξη των πραγμάτων στις Αφρικάνικες χώρες ήταν τρεις παράγοντες: (α) η δομική έλλειψη εργατικού δυναμικού σε σχέση με τη δυναμική του οικονομικού επιπέδου της χώρας (σε αυτό έχει συμβάλει και το εμπόριο σκλάβων), (β) οι απαγορεύσεις και οι κοινωνικές ανισότητες επί αποικιοκρατίας απέναντι στην ανάπτυξη της ντόπιας επιχειρηματικότητας και (γ) ο βαθμός αποφυλετικοποίησης (detrribalization) του κράτους, παράγοντας που καθορίζει την εσωτερική εθνική-οικονομική ενοποίηση του.

Τέλος θα πρέπει να τονιστεί η συζήτηση περί αναστήλωσης των οικονομιών κλείνει και με τη μάχη απέναντι στη δίνη των στρατιωτικών συρράξεων, στον έλεγχο των εξοπλισμών, στην διαχείριση των φυσικών αποθεμάτων, όπως και με την απόδοση ίσων ευκαιριών σε όλους, ακόμα και σε περιθωριοποιημένες ομάδες, όπως είναι οι γυναίκες (Commission for Africa, 2005).

1.3 Η συμβολή του οδικού δικτύου στη μείωση της ανισότητας της ανάπτυξης

Σήμερα μια σειρά διεθνών φορέων παίρνουν μέρος στην σχετική αξιολόγηση και αναζήτηση λύσεων πάνω στο πρόβλημα της δημόσιας υποδομής. Η σημασία των εν λόγω συζητήσεων καθώς εκτιμάται πως η ενίσχυση της υποδομής είναι υπεύθυνη περίπου για το μισό της μεγέθυνσης των αφρικάνικων οικονομιών. Επίσης, πέρα από την αστεακή και περιφερειακή υποδομή (στέγαση, ύδρευση, οδικό δίκτυο κλπ), η μεγαλύτερη πρόκληση θεωρείται η βελτίωση του ηλεκτροδοτικού δικτύου και η εκμετάλλευση των ενεργειακών δυνατοτήτων της ηπείρου, καθώς πάνω από 30 χώρες υποφέρουν από συχνές διακοπές ρεύματος και υψηλές χρεώσεις στα δημόσια ταμεία από τρίτα δίκτυα εξωτερικής εξυπηρέτησης (Foster and Bricenio-Garmendia, 2010). Στο ίδιο κείμενο αναφέρονται οι βασικοί τομείς της υποδομής όπου η Αφρική

παρουσιάζει ελλείμματα και καθυστερήσεις: Οδικό δίκτυο, μεταφορικές γραμμές, σιδηρόδρομοι, λιμάνια - αεροδρόμια, ύδρευση - άρδευση, υγεία, επικοινωνία και ενέργεια. Από αυτούς εξαιρούμε την υπόθεση του οδικού δικτύου ως την πλέον κρίσιμη για την ανάπτυξη όλων των υπολοίπων και για τη μείωση των ανισοτήτων.

Εδώ και καιρό υπάρχει έντονη κινητικότητα πάνω σε αυτό το σημείο καθώς όλες οι οικονομικές μετρήσεις συντείνουν στο ότι τα έξοδα συντήρησης είναι μακροπρόθεσμα μικρότερα από τα έξοδα αποκατάστασης του οδοστρώματος. Η στάθμη εξυπηρέτησης χωρίζει τους δρόμους σε κύριες οδικές αρτηρίες, συλλεκτήριες και τοπικές οδούς. Όσον αφορά τις πρώτες δύο κατηγορίες, η σύσταση ειδικών εταιριών διαχείρισης, οικονομικής εκμετάλλευσης (μέσω διοδίων και εισφορών) και διατήρησης της κατάστασης των δρόμων σε συγκεκριμένα επίπεδα είναι πλέον ο κανόνας για τα περισσότερα αφρικανικά κράτη (Foster and Bricenio-Garmendia, 2010). Στην δικιά τους προσοχή, μαζί με τη συμμετοχή του κράτους, έρχεται και το ζήτημα της συκοινωνιακής διασύνδεσης, όπου αυτό δεν είναι μόνο θέμα του οδικού δικτύου, αλλά διαπλέκεται με την παροχή ανταγωνιστικών μεταφορικών υπηρεσιών, για την περαιτέρω υποστήριξη του δικτύου. Εδώ περιλαμβάνεται και η σημασία των επαρχιακών δρόμων και της διασύνδεσης υπαίθρου – πόλεως.

Το μεγαλύτερο θέμα των επαρχιακών δρόμων είναι το χαμήλωμα στο κόστος ανά μονάδα και η ανεύρεση χρηματοδότησης. Για το δεύτερο, μια έξυπνη στρατηγική είναι η διασύνδεση των γειτονικών τοπικών αρχών και η προσέλκυση επενδύσεων στις επαρχιακές οδούς μαζί με προγράμματα ενίσχυσης της αγροτικής παραγωγής. Για το δε πρώτο πρέπει να γίνει διαβάθμιση των δρόμων, αφού η επιλογή πλήρους ασφαλόστρωσης σε όλη την χάραξη δεν είναι πάντα η βέλτιστη λύση. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι τοπικές κοινότητες δεν χαρακτηρίζονται από τέτοιο όγκο παραγωγής ώστε να χρησιμοποιούνται βαρέα τετράτροχα ή οι δρόμοι να χρειάζονται επεμβάσεις σε ορισμένα σημεία μόνο. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να ακολουθείται η πλέον οικονομική και απλουστευμένη λύση καθώς οι πόροι και οι τεχνικές και διευθυντικές ικανότητες της κοινότητας είναι περιορισμένες (Foster and Bricenio-Garmendia, 2010).

Εξάλλου, όπως αποκαλύπτει η έρευνα της Intech Associates (Petts, 2012) ειδικότερα το ζήτημα του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού αποδεικνύεται μείζον, καθώς μέσω της προτίμησης ενδιάμεσων κινητήριων μηχανών έναντι του βαρέως εξοπλισμού, συμβιβάζει την συνήθη τεχνογνωσία με το χαμηλό κόστος. Για τον Petts, οι παράμετροι για τον σχεδιασμό ενός επαρχιακού δρόμου μπορούν να βασίζονται στις εξής τεχνολογικές επιλογές: εργασία,

ενδιάμεσος εξοπλισμός, βαρύς εξοπλισμός εργοταξίου και τοπικοί πόροι. Οι χειρωνακτικές εργασίες που μπορούν να συνδυαστούν με ενδιάμεσο εξοπλισμό, συνήθως υπερτερούν έναντι της αγοράς ή ενοικίασης εξοπλισμού εργοστασίου στις αναπτυσσόμενες χώρες καθώς ο τελευταίος παρουσιάζει μια σειρά από πιθανά μειονεκτήματα: λειτουργικές απαιτήσεις μόνιμης λειτουργίας εντός εργοταξίου, δυσκολίες τεχνικής εκμάθησης, ανεπάρκειες συντήρησης και εύρεσης ανταλλακτικών αλλά και υψηλότερο κόστος. Εξού και γιατί απαιτείται στροφή σε τοπικούς πόρους όπου μαζί με αναγκαίους φορείς εξωτερικής βοήθειας (εργολάβοι, μελετητές, χορηγοί, μη κυβερνητικές οργανώσεις κλπ) θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τοπικοί χειροτέχνες και εργάτες, τοπικός εξοπλισμός και τοπικά υλικά όπως ξύλο, τούβλο, πέτρα κλπ (Petts, 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Ο τομέας της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

2.1 Ο τομέας της ενέργειας και η ηλεκτροδότηση

Η εγκατεστημένη ενεργειακή δυναμικότητα στις 48 υποσαχάριες χώρες της Αφρικής είναι 68 GW, όχι περισσότερο από αυτή της Ισπανίας, και εξαιρώντας την Νότια Αφρική, το συνολικό ποσό προκύπτει 28 GW. Το ένα τέταρτο της ενεργειακής δυναμικότητας είναι μη διαθέσιμο λόγω ξεπερασμένων εγκαταστάσεων και κακής συντήρησης. Μόνο το ένα πέμπτο του υποσαχάριου πληθυσμού έχει πρόσβαση στο ηλεκτρικό δίκτυο, ενώ η αντίθεση πόλης-υπαίθρου οξύνεται, αφού από τα αστικά νοικοκυριά το 71% εξ αυτών εξυπηρετείται, αλλά για τα αγροτικά νοικοκυριά το ίδιο ισχύει μόνο για το 12%. Πάνω από το 41% του αγροτικού πληθυσμού βρίσκεται απομακρυσμένο από το ηλεκτρικό πλέγμα. Το κόστος παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος είναι ιδιαίτερα υψηλό, κάνοντας το ρεύμα ακριβό και ρίχνοντας την κατανάλωση σε όλες μαζί τις χώρες στα 124 kWh το χρόνο (Foster and Bricenio-Garmendia, 2010). Το κόστος αγοράς ανεβαίνει ακόμα περισσότερο όταν συνυπολογιστούν τα άμεσα οικονομικά κόστη των διακοπών ρεύματος που αναγκάζουν τις επιχειρήσεις να χρησιμοποιούν εφεδρικές γεννήτριες. Γύρω από αυτό το θέμα έχει δημιουργηθεί μια νέα αγορά πάροχων μίσθωσης έκτακτης ηλεκτρικής ενέργειας, όπου το ειδικό της κόστος πραγματικά επιβαρύνει το ΑΕΠ (Eberhard et al, 2011).

Παρά λοιπόν τον πλούτο της Αφρικής σε εκμεταλλεύσιμες υδατοπτώσεις και θερμοηλεκτρικούς πόρους, η άνιση κατανομή τους παρουσιάζει το φαινόμενο της περίσσειας πόρων κυρίως σε πολύ φτωχές χώρες με μικρή εγχώρια αγορά. Για παράδειγμα το 61% του Αφρικάνικου υδροδυναμικού είναι συγκεντρωμένο στην Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό και στην Αιθιοπία. Λίγες χώρες έχουν εγχώρια ζήτηση ικανή ώστε να προωθήσουν μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας: 33 από τις 48 υποσαχάριες χώρες έχουν εγκατεστημένη ισχύς μικρότερη από 500 MW. Αυτό ακριβώς είναι που δείχνει το δρόμο προς την περιφερειακή συνεργασία και λειτουργία των επιμέρους αφρικανικών ομίλων ηλεκτρικής ενέργειας. Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα που έχουν καταγραφεί μέχρι σήμερα είναι πενιχρά, καθώς υφέρπουν τάσεις ανταγωνισμού αναμεταξύ των χωρών και δεν φαίνεται να υπάρχει

πολιτική συμφωνία. Η λύση σε αυτό θα μπορούσε να είναι η μετ' επιτάσεως προσπάθεια για πολιτική συνεννόηση και εμπιστοσύνη καθώς και η παράδοση έμπιστων πληροφοριών από κάθε πλευρά (Eberhard et al, 2011). Επιπλέον όμως στόχος δεν παύει να είναι η ανεύρεση χρηματοδοτικών πηγών και η μεγιστοποίηση των επιστροφών. Αν στο πρώτο σκέλος το μείγμα πολιτικής δράσης είναι εντός του γνώριμου πεδίου δωρεών και συμπράξεων με τον ιδιωτικό τομέα, στο δεύτερο η απάντηση κάθε άλλο παρά είναι απλή. Ακριβώς επειδή η κατανάλωση είναι μικρή, η μη μετακύλιση του βάρους παραγωγής στους πελάτες σημαίνει πως οι πάροχοι έχουν σημαντικά κρυφά κόστη στην υποτιμολόγηση, στην απώλεια επιστροφών και στις παράνομες συνδέσεις δικτύου, χαμηλώνοντας το ύψος των εισπράξεων. Άλλωστε το οικονομικό προφίλ των περισσότερων πελατών που κάνουν συχνή χρήση του ηλεκτρικού δικτύου είναι εκείνο των ανώτερων οικονομικά στρωμάτων, ενώ οι υπόλοιποι συνήθως αντιμετωπίζουν σοβαρά ζητήματα εισοδηματικών περιορισμών.

Σήμερα η δομή της αγοράς ρεύματος περιλαμβάνει μια ποικιλία ζητημάτων όσον αφορά το ζήτημα των μεγάλων εταιριών παροχής ρεύματος, όπου κρίνουν επί της ουσίας το μεγαλύτερο ποσό προσέλκυσης πολύτιμων ξένων κεφαλαίων. Οι σχετικές πολιτικές απελευθέρωσης των δραστηριοτήτων στον συγκεκριμένο κλάδο μιλούν για τη δημιουργία υβριδικών αγορών που θα επιτρέπουν την συνύπαρξη του ιδιωτικού με τον κρατικό τομέα μέσω κοινοπραξιών, αλληλοϋποστήριξης και ιδιωτικοποιήσεων. Σήμερα το 60% των κρατών διαθέτουν εθνικό πάροχο πλήρως κρατικοποιημένο, αλλά το 70% επιτρέπει την συμμετοχή του ιδιωτικού τομέα είτε με μισθώσεις, είτε με παραχωρήσεις, είτε με απευθείας σύσταση ανεξάρτητων πρότζεκτ παραγωγής ενέργειας όπως οι μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί. Παρόλες τις καλές προθέσεις όμως ακόμα μέχρι τώρα υπάρχουν πολλές ακυρώσεις, αναδιαπραγματεύσεις ή καθυστερήσεις συμφωνιών μεταξύ κράτους και ιδιωτικού τομέα, λόγω των γενικών οικονομικών διακυμάνσεων των προϋπολογισμών και του πολλές φορές δεσμευτικού νομικού πλαισίου. Είναι δε ευρέως αναγνωρισμένο πως στην Αφρική δεν υπάρχει σε πολλές χώρες ακόμα ικανό κλίμα επενδύσεων για την προσέλκυση πολλών δωρητών (Eberhard et al, 2011).

Ακόμα μεγαλύτερο στοίχημα είναι το στοίχημα της ηλεκτροδότησης. Τα κύρια προβλήματα που παρουσιάζονται είναι η σύνδεση στο δίκτυο, η επέκταση του πλέγματος και η πρόσβαση στην ηλεκτροδότηση, τρία αλληλοδιαπλεκόμενα αλλά ξεχωριστά ζητήματα. Η κάλυψη των ηλεκτρικών υπηρεσιών είναι στάσιμη εδώ και χρόνια στην Αφρική και ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός είναι κατά βάση ο αστικός και ο υψηλόμισθος. Παρά τη σχετική άνοδο της γενικής

ηλεκτρικής κάλυψης, ο συνολικός αριθμός των υπό κάλυψη αστικών νοικοκυριών έχει στην πραγματικότητα πέσει, λόγω της ακραίας αστικοποίησης. Ειδικότερα η επέκταση και αναβάθμιση του δικτύου διασφαλίζεται θεωρητικά μέσω των στοχευμένων εισπράξεων σε γειτονιές όπου ήδη εξυπηρετούνται όμως ακόμα και έτσι, είναι ένα σημαντικό βάρος για τη μέση αφρικάνικη οικογένεια η οποία ζει με πολύ περιορισμένο εισόδημα, καθώς παραπάνω από το μισό οικογενειακό εισόδημα πηγαίνει στο φαγητό και ελάχιστα μένουν για ρεύμα, εξού και γιατί πολλοί λογαριασμοί μένουν απλήρωτοι, ανακυκλώνοντας το πρόβλημα. Ακόμα χειρότερο είναι το πρόβλημα της πραγματικής απόδοσης των υπάρχοντων σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς η επέκταση του δικτύου δεν θα απέφευγε το πρόβλημα των διακοπών του δικτύου λόγω της περιορισμένης εγκατεστημένης ισχύς, όπου και σήμερα τα κέρδη είναι σχεδόν ίσα με τα έξοδα. Σύμφωνα με εκτιμήσεις πάνω από το 40% του εξυπηρετούμενου πληθυσμού δεν πληρώνει για τις υπηρεσίες που λαμβάνει (Eberhard et al, 2011). Τα εισοδηματικά προβλήματα γιγαντώνονται για τις φτωχές χώρες όπως η Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό, η Γουινέα-Μπισάου, το Μαλάουι κλπ όπου το 80% του πληθυσμού δεν μπορεί να πληρώσει τιμολόγια ρεύματος άνω των 8\$.

Ακριβώς πάνω σε αυτό το σημείο οι περισσότερες χώρες χορηγούν επιδοτήσεις μέσα σε ειδική τιμολογιακή διάρθρωση, όπου οι χρεώσεις είναι σταθερές για συγκεκριμένα διαστήματα κατανάλωσης, βάση ορθολογικών κριτηρίων. Το πρόβλημα προκύπτει όταν μεγάλο κομμάτι του πληθυσμού προς επιδότηση, βρίσκεται εκτός δικτύου και άρα αδυνατεί να καρπωθεί τις κρατικές επιδοτήσεις στο δίκτυο βάση λανθασμένης και μη αναλυτικής τιμολογιακής πολιτικής. Συνεπώς η σωστή τοποθέτηση των επιδοτήσεων είναι μεγάλη απαίτηση: χαρακτηριστικά για γενική 50 kWh επιδοτούμενη κατανάλωση, το κόστος της μηνιαίας επιβάρυνσης του προϋπολογισμού ώστε να ισούται με τα ιστορικά κόστη είναι ίσο με 24.30\$, ποσό μη βιώσιμο για το μέσο Αφρικανό (Foster and Bricenio-Garmendia, 2010). Κάποιοι αναλυτές (Eberhard et al, 2011) αντίθετα υποστηρίζεται το πλεονέκτημα της σύνδεσης με επιδότηση μιας ευκαιρίας έναντι της συνεχόμενης καθώς έτσι και δεν επιβαρύνει το ΑΕΠ, και δίνει στο κράτος κέρδη που δεν λάμβανε πιο πριν. Βεβαίως οι ίδιοι υπογραμμίζουν την αβεβαιότητα της συσχέτισης μεταξύ της παραγόμενης ωφέλιμης αξίας από τις πωλήσεις ρεύματος για μη οικιστική χρήση και της αύξησης των οικιακών συνδέσεων, συνεπώς είναι δόκιμο να υποθέσει κανείς ότι η μεταβολή αυτή μακροπρόθεσμα δεν θα εμποδίσει περισσότερο τους μη επιδοτούμενους πελάτες να φύγουν από το δίκτυο.

Παρόλα αυτά, η έρευνα των ίδιων αναλυτών (Eberhard et al, 2011) καταλήγει σε σημαντικά συμπεράσματα, όπως ότι το βάρος πρέπει να δοθεί πρώτα στην πραγματοποίηση των συνδέσεων και όχι στην πρόσβαση στην ηλεκτροδότηση – και με ίδιο τρόπο να μεταφερθεί το πεδίο ευθύνης από την επιδότηση της κατανάλωσης στην επιδότηση της διασύνδεσης, κυρίως στις φτωχές συνοικίες. Αυτό που κρίνεται εδώ είναι η ουσιαστική παροχή κρατικής πρόνοιας στους φτωχούς όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω. Με την περαιτέρω είσπραξη θα καταστεί από τα πιο εύπορα στρώματα δυνατή η οριζόντια επιδότηση του εξηλεκτρισμού των επαρχιακών πόλεων. Κατά τα άλλα δύο σημαντικοί παράγοντες που θα πρέπει να προσεχθούν είναι η πύκνωση του πλέγματος, ξεκινώντας από μέρη όπου υπάρχει ήδη ηλεκτρικό πλέγμα, ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα έξοδα (παρά την πρόσκαιρη έλλειψη ηλεκτρικής εξυπηρέτησης σε απομακρυσμένες περιοχές) και η εξασφάλιση συγκεκριμένου πολεοδομικού και ρυθμιστικού σχεδίου καθώς τα ασαφή όρια της ιδιοκτησίας της γης (ένα σύνηθες φαινόμενο σε περιαστικές συνοικίες) μπορούν να αποτελέσουν πονοκέφαλο στην νόμιμη εγκατάσταση του δικτύου αλλά και της αποπληρωμής των προσφερόμενων υπηρεσιών, με συνέπεια απώλειες κερδών.

Τέλος όπως θα δούμε και παρακάτω, σε όλες τις ενέργειες, είτε αφορούν τις επενδύσεις που κάνει το ίδιο το δημόσιο, είτε τα επενδυτικά σχέδια που κάνει το κράτος για να προσελκύσει ιδιώτες, θα πρέπει να υπάρχει μια ολιστική και ολοκληρωμένη χωρικά, χρονικά προσέγγιση, όπου τα προγραμματιζόμενα έργα θα έρχονται μεταξύ του σε αμοιβαία και αιτιώδη συνάφεια, αποφεύγοντας το μοντέλο των επιμέρους σχεδιασμών έργων (project-by-project) που προκύπτει μακροχρόνια ασύμφορο ή έστω λιγότερο ευεργετικό (Foster and Bricenio-Garmendia, 2010)

2.2 Ο στόχος του εξηλεκτρισμού της αφρικάνικης επαρχίας

Ένας επιπλέον τομέας που παρουσιάζει σημαντική δυναμική είναι ο τομέας της αγροτικής ηλεκτροδότησης. Με τις περισσότερες δυσκολίες να μαστίζουν τον αγροτικό χώρο, έχουν δημιουργηθεί κάποιες επιμέρους στρατηγικές στις αναπτυσσόμενες χώρες που επιλύουν σε μικρό ή μεγαλύτερο βαθμό το πρόβλημα του ηλεκτρικού ρεύματος. Η συνήθης πρακτική έγκειται είτε στην κινητοποίηση των αγροτικών κοινοτήτων να δημιουργήσουν μια αγροτική ηλεκτροδοτική εταιρία, είτε πιο συχνά, η ανάληψη από το ίδιο το κράτος να ιδρύσει μια αγροτική ηλεκτροδοτική υπηρεσία (rural electrification agency – REA), η οποία συνεννοείται με τους κατά τόπους πληθυσμούς και τις τοπικές επιτροπές τους και τους βοηθάει στην υλοποίηση

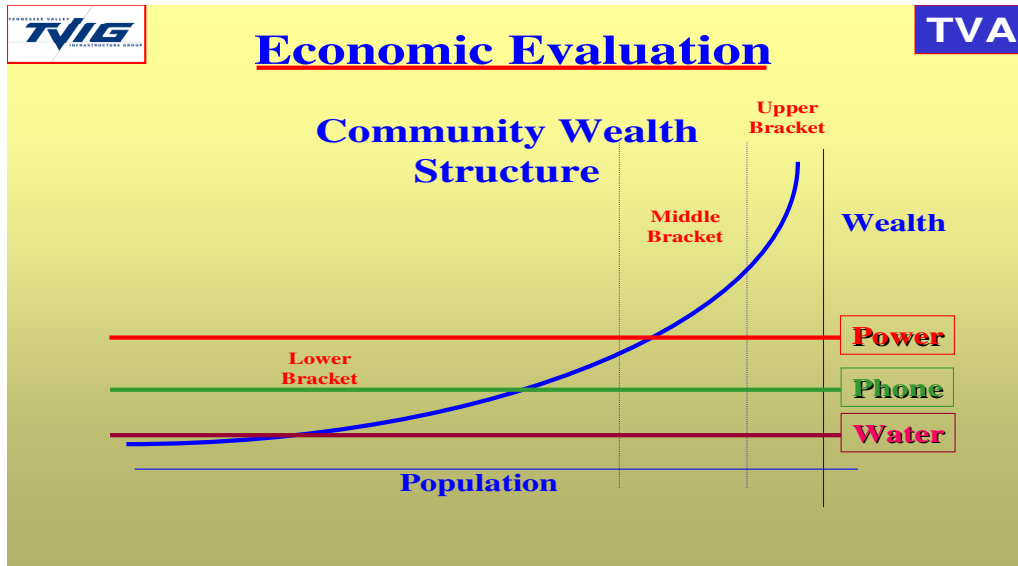
των σχεδίων για ηλεκτροδότηση βάση κανονιστικών πλαισίων. Άλλο απαραίτητο στοιχείο είναι η δημιουργία ταμείου συγκέντρωσης κεφαλαίων (rural electrification fund - REF) που διαχειρίζεται η τοπική κοινότητα, όπου διάφοροι χορηγοί, από την κυβέρνηση μέχρι τους καθιερωμένους δανειοδότες, κατόπιν συμφωνιών και ανταλλάγματος χρηματοδοτούν το έργο. Οι παραπάνω κινήσεις επιτρέπουν στους επαρχιακούς δήμους μεγαλύτερη αυτονομία και πρωτοβουλία κινήσεων αφού χωρίς να αναμένεται στο εγγύς μέλλον η επιπλέον επέκταση του εθνικού δικτύου, οι τοπικές κοινότητες σε απομονωμένες περιοχές καλύπτουν τις ανάγκες τους μέσω κηροζίνης, υγραέριο, μπαταρίες ξηρού στοιχείου, μπαταρίες αυτοκινήτου, γεννήτριες ντίζελ ή βενζίνης (Barnes and Foley, 2004). Με τα προγράμματα εξηλεκτρισμού οι κοινότητες μπορούν να στήσουν μικρά αυτόνομα συστήματα που περιλαμβάνουν φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, μικρά υδροηλεκτρικά έργα, καυστήρες βιομάζας κλπ εκμεταλλευόμενες τη φυσική ενέργεια και μετατρέποντας την σε ηλεκτρική (Τζουλιαδάκη, 2012).

Φυσικά το κόστος αυτών των επενδύσεων τις πιο πολλές φορές αποβαίνει απαγορευτικό για αυτό και χρειάζεται ειδική οικονομικοτεχνική μελέτη και είναι ιδιαίτερα διευκολυντική η σχεδίαση και ο συντονισμός σε πανεθνικό επίπεδο από τις κρατικές υπηρεσίες, με στόχο τον προσανατολισμό των έργων στους ρυθμούς οικονομικής δυνατότητας, παρά η πλήρης αυτονομία των περιοχών (Eberhard et al, 2011). Άλλωστε όπως αναφέρουν και οι Barnes and Foley, υπάρχουν πλήθος άλλων πρωταρχικών κριτηρίων που η έλλειψη τους οδηγεί τις αγροτικές κοινότητες σε αστοχία όλο τον προγραμματισμό του έργου: ασφαλισμένα δικαιώματα γης, διαθεσιμότητα εισοδήματος των γεωργικών καλλιεργειών, πρόσβαση στην υγεία και στην εκπαίδευση, επαρκή αποθέματα ύδρευσης και κατάλληλοι οικισμοί είναι απαραίτητα συμπληρωματικά της απόφασης για έναρξη του έργου. Οι αγρότες επίσης θα πρέπει να έχουν πρόσβαση στις αγορές ώστε να μπορούν να διαθέσουν τα προϊόντα τους με στόχο την αύξηση του εισοδήματος, την απόκτηση ηλεκτρικών συσκευών και άρα της ηλεκτρικής κατανάλωσης (Barnes and Foley, 2004). Άλλο σημαντικό στοιχείο, που είναι τόσο τεχνικό όσο και οικονομικό, είναι το ζήτημα των κατασκευαστικών προδιαγραφών του έργου. Τα κατασκευαστικά και λειτουργικά κόστη μιας εγκατάστασης π.χ. φωτοβολταϊκών πάνελ ή ακόμα περισσότερο ενός μίνι υδροηλεκτρικού έργου μπορούν να αποβούν μοιραία, σε περίπτωση που δεν δοθεί περισσότερη προσοχή. Τοπικές κοινότητες που χρειάζονται ρεύμα μόνο για λάμπες και μικρές συσκευές σπανίως χρειάζονται τα σχεδιαστικά πρότυπα που τίθενται σε εφαρμογή για τα αστικά ηλεκτρικά δίκτυα μεγάλης φόρτισης. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται μπορούν να τυποποιούνται

και να παρασκευάζονται εντός των επαρχιών, μειώνοντας σημαντικά τα κόστη. Αντίστοιχα, ο αναγκαίος εξοπλισμός, ακριβώς όπως στην περίπτωση των δρόμων, μειώνεται στα αναγκαία εξαρτήματα και σχεδόν ποτέ δεν μιλάμε για βαρύ μηχανολογικό εξοπλισμό όπως αυτός ενός εργοστασίου. Τέλος και οι κατασκευαστικές και υπολογιστικές μέθοδοι μπορούν να απλοποιηθούν, καθώς σε πολλές περιπτώσεις το επίπεδο εξυπηρέτησης ή ο βαθμός διακινδύνευσης του έργου σε λειτουργία δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικός (Barnes and Foley, 2004).

Η ευεργετική σημασία των προγραμμάτων αγροτικού εξηλεκτρισμού τα βγάξει από τη σκιά σβήνοντας τις αμφιβολίες πως η ηλεκτροδότηση αγροτικών περιοχών είναι εσωτερική υπόθεση των αφρικάνικων χωρών και πως οι διεθνείς οργανισμοί ενδιαφέρονται μόνο για τα μεγάλα αστικά οικονομικά κέντρα. Στο κέντρο της προσοχής τους βρίσκονται και οι επαρχίες καθώς από τη δικιά τους κινητικότητα ξεκινάει η ενοποίηση της εσωτερικής αγοράς. Παραδειγματικά τον Απρίλη του 2004, με πρωτοβουλία των Ηνωμένων Εθνών αλλά και τη σύμπραξη πολλών ενδιαφερόμενων δανειοδοτών άρχισε η προώθηση της ανάπτυξης του υδροδυναμικού 10 υποσαχάρων χωρών με μικρά υδροηλεκτρικά έργα. Οι υπόψιν χώρες είναι, Μάλι, Κεντροαφρικάνικη Δημοκρατία, Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό, Γκαμπόν, Δημοκρατία του Κονγκό, Ρουάντα, Μπουρούντι, Τόγκο και Μπενίν. Το κείμενο (UNDP, 2011) αναφέρει όλες τις πτυχές μιας τέτοιας προσπάθειας όπου επισημαίνεται συνεχώς η πανεθνική συνεισφορά αλλά και η ευκαιρία για την επανεκκίνηση της εσωτερικής αγοράς αλλά και της δημιουργίας νέων καινοτόμων κλάδων όπως είναι ο οικονομικά επωφελής κλάδος της ενέργειας. Τέλος αναφέρονται αναλυτικά στις επιμέρους παραμέτρους που προσδιορίζουν την εσωτερική κατάσταση σε κάθε χώρα, αλλά και στη σημαντικότητα της διασυνοριακής συνεργασίας η οποία επιτρέπει τη βελτίωση του επενδυτικού κλίματος, τη μεταφορά τεχνολογικών μέσων, αλλά και την αλληλόδραση των επί μέρους έργων στη συνολική αναβάθμιση της περιοχής (UNDP, 2011).

Τέλος στο Σχήμα 2.1 που περιλαμβάνεται στην εν λόγω έκθεση, ξανατονίζεται με γραφηματικό τρόπο ποια είναι η συσχέτιση μεταξύ οικονομικών στρωμάτων του πληθυσμού στην Δυτική Αφρική και τις βασικές τους ανάγκες. Η ενέργεια είναι το μεγάλο ζητούμενο, αλλά για τους φτωχούς και συνήθως αγροτικούς πληθυσμούς, δεδομένου άλλων ελλείψεων, είναι άστοχη η πρόωρη εγκατάσταση δικτύου χωρίς πρόβλεψη για τη συνολική αναβάθμιση των περιοχών και ανάπτυξη άλλων συμπληρωματικών έργων (ύδρευση, άρδευση, επικοινωνία, εκπαίδευση κλπ)



Σχήμα 2.1 Καμπύλη συσχέτισης βασικών αναγκών και οικονομικών στρωμάτων του αφρικάνικου πληθυσμού (Πηγή: UNDP, 2011)

2.3 Το μεγάλο δυναμικό της υδροηλεκτρικής ενέργειας

Παρά τις μεγάλες τις δυνατότητες η Αφρική παραμένει εν μέσω μιας ενεργειακής κρίσης. Το 93% του αφρικάνικου οικονομικά εκμεταλλεύσιμου υδροδυναμικού που ισοδυναμεί με 937 TWh το χρόνο, περίπου το ένα δέκατο του παγκόσμιου υδροδυναμικού, παραμένει ανεκμετάλλευτο (Eberhard et al, 2011). Το περισσότερο από αυτό βρίσκεται κατά σειρά στην Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό, στην Αιθιοπία, στο Καμερούν, στην Αγκόλα, στη Μαδαγασκάρη, στη Γκαμπόν, στη Μοζαμβίκη και στη Νιγηρία. Μπροστά στους λιγοστούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς και στο μοναδικό εργοστάσιο πυρηνικής ενέργειας η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι ένας πρώτιστης τάξης στόχος εκμετάλλευσης για ολόκληρη την υποσαχάρια ήπειρο (εξαιρώντας την ίδια την έρημο Σαχάρα που ο στόχος στρέφεται στην ηλιακή ενέργεια).

Με μια κοντινή ματιά στο ανάγλυφο της Αφρικής βρίσκουμε πως το μέσο υψόμετρο της χερσαίας μάζας της Αφρικής είναι σχετικά χαμηλό γύρω στα 450 m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, ενώ προς τις περιοχές της Ρουάντα και του Μπουρούντι, αλλά και σε μέρος της Ουγκάντα, των υψιπέδων της Κένυας και της Αιθιοπίας το υψόμετρο ανεβαίνει πάνω από τα 1750 m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Συνεπώς η υψομετρική ζώνη που εκτείνεται από τα

υψίπεδα της Αιθιοπία, σε όλη την ανατολική πλευρά μέχρι την νοτιότερη Αφρική είναι συσχετιζόμενο με μεγάλο υδροηλεκτρικό δυναμικό. Η λεκάνη του ποταμού Κονγκό – Ζαίρ, του Ζαμβέζη, του Νείλου, του Νίγηρα, του Ρουβούμα (Runuma) και του Ρουφίτζι (Rufiji) και χιλιάδες μικρότεροι παραπόταμοι συνθέτουν το 10% του παγκόσμιου υδροδυναμικού.

Στα ίδια στοιχεία αλλά και σε περισσότερα συμπεράσματα καταλήγει η έκθεση του Kalitsi (Kalitsi, 2003) για την υδροηλεκτρική ενέργεια στην ήπειρο. Συγκεκριμένα στον Πίνακα 2.1 φαίνονται εμπλουτισμένα τα γενικά χαρακτηριστικά της ηπείρου και της Λαϊκής Δημοκρατίας του Κονγκό όπου βλέπουμε πολύ πως η συγκεκριμένη χώρα εμφανίζει μεγάλες δυνατότητες.

Πίνακας 2.1 Στοιχεία υδροδυναμικού υποσαχάριας Αφρικής και Λαϊκής Δημοκρατίας του Κονγκό (Προέλευση: Kalitsi, 2003)

Ακαθάριστο θεωρητικό υδροηλεκτρικό δυναμικό (GWh/year)	Τεχνικά εκμεταλλεύσιμο υδροηλεκτρικό δυναμικό (GWh/year)	Οικονομικά εκμεταλλεύσιμο υδροηλεκτρικό δυναμικό (GWh/year)	Εγκατεστημένη ισχύς (MW)	Παραγωγή από τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς (GWh/year)	Προγραμματιζόμενη υπό κατασκευή υδροηλεκτρική ισχύς (MW)
4 000 000	1 750 000	1 000 000	20 300	76 000	>60 000
Συμβολή Λαϊκής Δημοκρατίας του Κονγκό	Συμβολή Λαϊκής Δημοκρατίας του Κονγκό	Συμβολή Λαϊκής Δημοκρατίας του Κονγκό	Συμβολή Λαϊκής Δημοκρατίας του Κονγκό	Συμβολή Λαϊκής Δημοκρατίας του Κονγκό	Συμβολή Λαϊκής Δημοκρατίας του Κονγκό
1 379 000	774 000	<419 210	2 440	5 350	43 000

Σύμφωνα με τον Kalitsi, σήμερα η πρόσβαση σε εκμοντερνισμένες μεθόδους παραγωγής ενέργειας είναι πολύ πίσω στην Αφρική, αφού η κύρια πηγή ενέργειας του μέσου αφρικανού είναι το ξύλο, η τύρφη και ζωικά απόβλητα. Σήμερα υπάρχει άνιση κατανομή στην ενέργεια αφού ελάχιστες χώρες είναι προικισμένες με φυσικές πηγές, ώστε η περιφερειακή ανάπτυξη να είναι αναγκασιότητα. Το 82% της σημερινής ενεργειακής παραγωγής βρίσκεται στον Βορρά και στον Νότο, ενώ η ζώνη του Ισημερινού παραμένει ακόμα πίσω. Αντίθετα όμως τα ποσοστά του υδροηλεκτρικού υδροδυναμικού είναι ως εξής: (α) Βόρεια Αφρική 23%, (β) Νότια Αφρική 25%, Κεντρική/Ανατολική Αφρική 51%. (Kalitsi, 2003). Η δε σημασία της υδροηλεκτρικής ενέργειας εκτιμάται πως αντιστοιχεί στο 32% της συνολικής δυνητικά παραγόμενης ενέργειας

Τα έως τώρα δραστήρια υδροηλεκτρικά έργα θεωρείται ότι εκμεταλλεύονται μόνο το 4.3% των θεωρητικά απόλυτων δυνατοτήτων. Ο λόγος είναι πως η επένδυση στα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα σκοντάφτει πάνω στην χαμηλή ζήτηση και στον διασκορπισμένο πληθυσμό. Αυτό από την άλλη ανοίγει νέες ευκαιρίες για τα μικρά υδροηλεκτρικά όπου η ζήτηση και η προσφορά μπορούν να συνεξυπηρετηθούν με καλό σχεδιασμό. Άλλωστε τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα υπερτερούν έναντι των μεγάλων λόγω της εύκολης οικονομικής πρόσβασης σε αυτά από τις διάφορες τοπικές κοινωνίες, είναι δομοστοιχειακά που τους δίνει μεγάλη ευελιξία στο μέγεθος, στον τύπο και στον τρόπο κατασκευής τους και φυσικά οι πιθανές θέσεις εγκατάστασης τους ακόμα δεν έχουν καταγραφεί και μελετηθεί στο σύνολο τους πλήρως, οπότε υπάρχει ακόμα περιθώριο. Από την άλλη όμως, υπό συνθήκες οι σκέψεις για έναρξη μικρών υδροηλεκτρικών έργων παύουν έναντι υπεροχής των μεγάλων στο ότι είναι πιο εύκολα να χρηματοδοτηθούν από τρίτους χορηγούς και όχι από το κράτος, και στο ότι έχουν χαμηλότερο κόστος μονάδας της παραγωγής ενέργειας έναντι των μικρότερων έργων. Ακριβώς εδώ εξαίρονται τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα αφού ακόμα και σε αυτό το πεδίο η ανάπτυξη της εγκατεστημένης ισχύος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά ενώ προωθούν την περιφερειακή ανάπτυξη και τα μεγάλα διαμετακομιστικά καλωδιακά συστήματα με νέα κέντρα ενέργειας να αναδεικνύονται στον χάρτη. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι το Kafue Gorge Lower στη Ζάμπια, το Cabora Bassa στην Μοζαμβίκη, το Maguga στο Σουαζιλάνδη, το Inga στη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό, το Bui στη Γκάνα και το Bujagali στην Ουγκάντα, που απεικονίζονται στο Σχήμα 2.2. Φυσικά δεν έρχονται όλα χωρίς συνέπειες. Τα μεγάλα υδροηλεκτρικά επηρεάζουν τη ζωή των κατοίκων με απεγκατάσταση οικισμών, αποδασώσεις και προκύπτουν ευθύνες αποκατάστασης σε σχέση με τις ζημιές που προκαλούν. Το μεγαλύτερο όμως θέμα προκύπτει στην ανεύρεση αρχικού κεφαλαίου καθώς οι κίνδυνοι που προκύπτουν για την επένδυση συνήθως είναι οι εξής: υδρολογικές αβεβαιότητες, ψηλό αρχικό κεφάλαιο, πιθανές υπερβάσεις κόστους και χρόνου παράδοσης, ακόμα και αρνητική κοινή γνώμη μπορεί να αποθαρρύνουν μια τέτοια επένδυση (Kalitsi, 2003)



Σχήμα 2.2 Σημεία σημαντικού υδροδυναμικού μεγάλων αφρικάνικων ποταμών

(Πηγή: <http://geoinfo.uneca.org/africaninfrastructure/pdfs/energy/HydropowerPotential.pdf>)

2.4 Μικρά υδροηλεκτρικά έργα: περιορισμοί παρά τις ευκαιρίες

Όπως λέγαμε παραπάνω, η έκθεση του UNDP αναγνωρίζει την προώθηση των κοινοτικών μικρών έργων υδροηλεκτρισμού και καταγράφει την συνολική κατάσταση στις περιοχές της υποσαχάριας Αφρικής, όπου σε αυτές συγκαταλλέγεται και η Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό για την οποία θα μιλήσουμε παρακάτω. Σήμερα δεν είναι γνωστό το εύρος της χρησιμοποίησης και της εγκατάστασης των μικρών υδροηλεκτρικών έργων, παρόλα αυτά από τις μέχρι σήμερα μελέτες που έχουν υποβληθεί αλλά και από το γενικό πλαίσιο αναγκαίων κινήσεων και διαδικασιών από τους ενδιαφερόμενους, μπορούν να προκύψουν κάποια πολύ χρήσιμα συμπεράσματα για το ποια είναι τα εμπόδια που εμφανίζονται στην πραγματοποίηση αυτών των έργων. Ενώ το συνολικό κόστος του κύκλου ζωής ενός τέτοιου έργου σε πολλές περιπτώσεις είναι συγκρίσιμο με αυτό του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου και χαμηλότερο από αυτό των γεννητριών ντίζελ, έχουν ανακύψει διάφορα άλλα εμπόδια. Σύμφωνα με την ίδια έκθεση, τα εμπόδια αυτά εμφανίζονται στους εξής τομείς: (α) κρατική πολιτική, (β) τεχνογνωσία και διαχείριση έργου, (γ) χρηματοδότηση, (δ) πληροφοριών και πληρότητα δεδομένων, (ε) τεχνολογική επάρκεια.

Πιο συγκεκριμένα βλέπουμε τις εξής κατηγορίες (UNDP, 2011):

(α) Εμπόδια κρατικής πολιτικής

(i) Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει έλλειψη ενός νομικού και κανονιστικού πλαισίου για την ανάπτυξη και τη λειτουργία των μικρών υδροηλεκτρικών έργων από τον ιδιωτικό τομέα αγγίζοντας ζητήματα όπως δικαιώματα χρήσης στη γη και στο νερό, τιμολογιακές ρυθμίσεις, πιστοποιήσεις και άδειες, διαδικαστικά θέματα καθώς και άλλες ανταγωνιστικές επιδοτήσεις σε άλλες μορφές ενέργειας (ντίζελ κλπ)

(ii) Μηδαμινή καταστατική φροντίδα και δυνατότητα θεσμικής υποστήριξης από τις αγροτική ηλεκτροδοτική υπηρεσίες στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως πηγή ηλεκτροδότησης στις αγροτικές περιοχές. Ακόμα και σήμερα, λίγες χώρες στην υποσαχάρια Αφρική έχουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως πρωταρχικό στόχο ανάπτυξης για το αγροτικό ηλεκτρικό δίκτυο, με την ίδια υστέρηση να εμφανίζεται και στα μικρά υδροηλεκτρικά έργα.

(β) Εμπόδια τεχνογνωσίας και διαχείρισης έργου

(i) Έλλειψη εμπειρίας και υποδομής από τις τοπικές κοινότητες και του ιδιωτικού τομέα πάνω στα υδροηλεκτρικά πρότζεκτ και στην εμπορική και βιώσιμη απόδοσή τους.

(ii) Διακινδύνευση της επένδυσης από έλλειψη διαχειριστικών δεξιοτήτων στην συλλογή εισπράξεων και στο σχεδιασμό ανάκτησης κόστους (οικονομική προσιτότητα πελατών, μηχανισμός είσπραξης των εξόδων με αναγκαστική εκτέλεση, δικαστικές διαμάχες κλπ)

(γ) Εμπόδια χρηματοδότησης

(i) Υψηλά μεταφορικά έξοδα και αδυναμία εύρεσης επενδυτών ή μεταφορέα για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του υψηλού αρχικού κεφαλαίου των μικρών υδροηλεκτρικών έργων έναντι π.χ. των γεννητριών ντίτζελ.

(ii) Έλλειψη σχεδιασμού όπου με συστηματικό και διαφανή τρόπο θα διασπαθίζονται τα κρατικά και εν γένει εξωτερικά κονδύλια επιδότησης στα έργα.

(δ) Εμπόδια πληροφοριών και πληρότητας δεδομένων

(i) Έλλειψη αξιόπιστων υδρολογικών γεωλογικών και άλλων εκτιμήσεων και μελετών που θα επιτρέπουν στους πιθανούς επενδυτές να τις χρησιμοποιήσουν ως βάση για περαιτέρω εμβάθυνση, αξιολόγηση και ανάπτυξη σε πιθανές θέσεις ενδιαφέροντος.

(ii) Έλλειψη πληροφόρησης και κινητοποίηση επενδυτών. Δεν υπάρχουν πρότυπες ή συγκεκριμένες διαδικασίες και έγγραφες οδηγίες για να καθοδηγήσουν πιθανούς επενδυτές προς τον χώρο των μικρών υδροηλεκτρικών έργων.

(iii) Έλλειψη απτών, προσιτών, πετυχημένων παραδειγμάτων που διεγείρουν την εκδήλωση ενδιαφέροντος ταυτόχρονα από επενδυτές αλλά και από τους στοχευόμενες ομάδες καταναλωτών. Έλλειψη ενημέρωσης πάνω στις τελευταίες εξελίξεις και μεταρρυθμίσεις στον χώρο των υδροηλεκτρικών έργων.

(iv) Αδυναμία των υπαρκτών καναλιών εντός του επενδυτικού κόσμου για επιχειρηματική διασύνδεση, ανταλλαγή πληροφοριών και συμπερασμάτων.

(ε) Εμπόδια τεχνολογίας

(i) Απουσία τεχνικών προδιαγραφών και καθοδηγητικών γραμμών για τον υδροηλεκτρισμό μικρής κλίμακας, με συνέπεια την παρεμπόδιση της ανάπτυξης μιας τέτοιας τεχνολογικής λύσης.

(ii) Περιορισμένη τεχνολογική δυνατότητα των τοπικών τεχνικών και μηχανικών να αξιολογήσουν τεχνικά τις αναπτυξιακές δυνατότητες των θέσεων υδατόπτωσης (παροχή, ύψος υδραυλικής πτώσης, τοπογραφία περιοχής, επιλογή στροβίλου) με σκοπό την μεγαλύτερη δυνατή παραγόμενη ισχύς σε συνδυασμό με το χαμηλότερο δυνατό κόστος κατασκευής.

Κάποιοι από τους κινδύνους που εγκλείονται στις υποθέσεις εγκατάστασης μικρών υδροηλεκτρικών έργων διδάσκουν πολλά για το τι θα πρέπει να προσέξει ο μηχανικός και ο επενδυτής για την τελική επιτυχία του έργου. Πιο συγκεκριμένα η έκθεση καθορίζει έξι σημαντικούς κινδύνους. Τεχνικοί, φυσικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί, θεσμικοί και περιβαλλοντικοί κίνδυνοι. Από αυτούς οι οικονομικοί κίνδυνοι για το έργο είναι οι μεγαλύτεροι. Αλλά ας δούμε κάθε κατηγορία ξεχωριστά (UNDP, 2011):

(α) Τεχνικοί κίνδυνοι. Δεδομένου του μεγάλου αναλφαριθμητισμού στις τοπικές κοινότητες και την έλλειψη ειδικευμένων τεχνικών μέσων και προσωπικού, οι εργασίες συντήρησης για τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα κρύβουν πολλούς πιθανούς κινδύνους. Μικρές επιδιορθωτικές εργασίες στον στρόβιλο θα πρέπει να γίνονται ανά τακτά διαστήματα από ντόπιο προσωπικό για να μην μείνουν τα μηχανήματα του υδροηλεκτρικού σταθμού αδρανή για μεγάλη περίοδο. Επίσης τα ανταλλακτικά των επιμέρους μηχανημάτων θα πρέπει να είναι σε προσιτό σημείο, πιθανώς τοπικά κατασκευασμένα, αλλά σίγουρα έτοιμα προς παράδοση, και εγκατάσταση στο ελάχιστο δυνατό κόστος. Η τεχνική επάρκεια είναι ένα κρίσιμο στοιχείο για τα έργα σε απομακρυσμένες περιοχές. Αυτή θα επιτευχθεί με πρόβλεψη μιας παράλληλης βασικής εκπαίδευσης σε τεχνικές δουλειές στις τοπικές κοινότητες επομένως η δουλειά του μηχανικού επιφορτίζεται με περαιτέρω καθήκοντα από την απλή καθοδήγηση μέχρι την περαίωση του έργου. Από την άλλη, μια πιο μακροπρόθεσμη ανάγκη περιλαμβάνει να υπάρχει πίεση προς την πολιτεία για επιδότηση ανοίγματος ανάλογων τεχνικών ιδρυμάτων και καλλιέργεια κινήτρων για επιδίωξη θέσεων σε τεχνικά πανεπιστήμια ανώτερης εκπαίδευσης.

(β) Φυσικοί κίνδυνοι. Ακριβώς επειδή η κύρια ενεργειακή πηγή των υδροηλεκτρικών έργων είναι το νερό, θα πρέπει να προβλέπεται πάντα επάρκεια τρεχούμενου νερού. Οι έως τώρα μελέτες σκοπιμότητας και οι εκτεταμένες έρευνες διαπιστώνουν πως στην κεντρική και την κεντρική - ανατολική Αφρική δεν υπάρχει θέμα με την αφθονία των αποθεμάτων νερού. Αντίθετη όμως κατάσταση εμφανίζεται στις χώρες της δυτικής Αφρικής όπου υπάρχει γενικά ζήτημα λειψυδρίας. Σε τέτοιες περιπτώσεις η περαιτέρω ανάλυση δείχνει πως είναι απαραίτητη η προϋπόθεση ενός υπερχειλιστή μικρού ύψους για την ρύθμιση και κανονικοποίηση της παροχής τις περιόδους ξηρασίας.

(γ) Οικονομικοί κίνδυνοι. Δεδομένου των πενιχρών οικονομικών μέσων που διαθέτουν οι αφρικάνικες αγροτικές κοινότητες η συντήρηση του έργου αποδεικνύεται μεγάλη τροχοπέδη. Το πιθανότερο αρνητικό σενάριο είναι οι τοπικές κοινότητες να μην μπορούν να αποπληρώσουν τα

έξοδα συντήρησης. Κι αυτό γιατί παρά την συνήθη υπόθεση πως τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα αναμένονται να στηρίξουν τις οικονομικές δραστηριότητες που δημιουργούν περαιτέρω εισόδημα, θα πρέπει να προσεχθεί ότι χρειάζεται αντιστρόφως, επιπλέον πρωταρχική συσσώρευση κεφαλαίου για τους ίδιους τους κατοίκους έτσι ώστε να δημιουργήσουν πλούτο και να προβούν στις δραστηριότητες αυτές, που με τη σειρά τους θα αποβούν παραγωγικές και υποστηρικτικές στο εισόδημα τους. Τότε ακριβώς η έναρξη νέων τοπικών επιχειρήσεων θα μπορέσει να υποστηρίξει τα έξοδα καθημερινής συντήρησης του υδροηλεκτρικού έργου. Για αυτό ακριβώς η πίστωση μικρής κλίμακας στους κατοίκους, έτσι ώστε να ανοίξουν νέες επιχειρήσεις είναι αναγκαία και ευεργετική σε τελική ανάλυση και για το ίδιο το έργο, αφού θα αυξήσει τις τάσεις προς κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και άρα επανεπένδυση στο έργο. Αυτή η συνολιστική φιλοσοφία σχεδιασμού συνήθως επιτελείται από τις διάφορες μη κυβερνητικές οργανώσεις αλλά και από τις αγροτικές ηλεκτροδοτικές υπηρεσίες (REAs), αφού μπροστά στο ερώτημα της ανόδου του βιοτικού επιπέδου, η ανθρωπιστική βοήθεια οφείλει πάντα να συνδυάζεται με μια γενικευμένη οικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Έτσι και οι κάτοικοι θα μπορούν να αποπληρώσουν τους λογαριασμούς τους, και εξασφαλίζεται η βιωσιμότητα της επένδυσης. Ο μηχανικός χρειάζεται να πιέσει την πολιτεία για παροχή βοήθειας προς τις τοπικές κοινότητες, κι όχι μόνο για την περάτωση της κατασκευής του έργου.

Για την ολοκληρωμένη σχεδίαση του έργου, οι αγροτικές ηλεκτροδοτικές υπηρεσίες (REAs) θα πρέπει να είναι εξοπλισμένες με τεχνογνωσία ώστε να μπορούν να εγκαταστήσουν ατομικούς μετρητές κατανάλωσης ρεύματος, και να αναλάβουν επιτυχώς την αποστολή τιμολογίων που θα καταλήγουν σε επιτυχή συλλογή πληρωμών ακόμα και σε κοινότητες που είναι απομακρυσμένες από το εθνικό ηλεκτροδοτικό πλέγμα. Αυτό βέβαια απαιτεί διοικητική λειτουργία σε κάθε επαρχία κάτι που ακόμα είναι δύσκολο καθώς οι περισσότερες τέτοιες υπηρεσίες είναι νεοδημιούργητες. Ακριβώς πάνω σε αυτή την δυσκολία έχουν αναπτυχθεί πρωτότυπες τεχνικές ανάκτησης του κόστους. Η επιπλέον κοστολόγηση του κάθε νοικοκυριού με δικό του μετρητή μπορεί να είναι πιο δίκαια, αλλά σε αρκετές περιπτώσεις φτωχών νοικοκυριών απλά μεγεθύνει την υπερχρέωση τους και τα απομακρύνει εν τέλει από το δίκτυο. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα περισσότερα αφρικάνικα κράτη ακολουθούν άλλο δρόμο. Αντί να αναμένουν επιστροφές από την ιδιωτική κατανάλωση ρεύματος (ownership option), αντιθέτως ενεργούν με την μέθοδο των συμβάσεων αντεκχώρησης (retrocession ownership option). Όταν η πολιτεία διαβλέπει πως οι τοπικές κοινότητες είναι ακόμα πολύ φτωχές για να αντέξουν τις οικονομικές δαπάνες για τα

μικρά υδροηλεκτρικά έργα, εντάσσει τις δαπάνες συντήρησης ως αναγκαία κρατική ευθύνη και οι προτιμολογήσεις γίνονται συμβάσεις μεταξύ της πολιτείας και της επαρχιακής κοινωνίας. Αυτές οι συμβάσεις συνήθως υπογραμμίζουν την ανάγκη αποκλειστικής υποστήριξης στα υδροηλεκτρικά έργα από μεριάς του κράτους, όμως διευκρινίζουν ως αντάλλαγμα την αναγκαιότητα απαλλαγής της πολιτείας από την επένδυση και την υποστήριξη σε άλλους αναγκαίους τομείς. Η ανάπτυξη λοιπόν αυτών των τομέων (δρόμοι, τοπικό εμπόριο, αγροτική παραγωγή) συμφωνείται να αποτελέσει ευθύνη και χρέος της τοπικής κοινωνίας προς την πολιτεία, στο ότι πρέπει να επιδοτήσουν οι ίδιες τους τομείς που το κράτος άφησε, ώστε να επωφεληθούν απρόσκοπτα από ηλεκτροδότηση. Αυτού του τύπου η προσέγγιση, καταλήγει να μετράει το κόστος μιας κιλοβατώρας (kWh) ως προωθητικό εργαλείο για ανάπτυξη και όχι ως βάρος, ενώ είναι πιο εύκολα εξακριβώσιμο αφού η χρήση ηλεκτρικού δικτύου μετριέται πλέον σε διαπιστώσιμες μονάδες (λάμπες, ηλεκτρικές συσκευές, εγκατεστημένος εξοπλισμός κλπ). Προφανώς άλλη λύση που μπορεί να είναι και συμπληρωματική στα παραπάνω θα ήταν η σωστή στόχευση των επιδοτήσεων από το κράτος, ώστε να φτάνει στους φτωχούς.

Συνεπώς ο μηχανικός είναι ανάγκη να πιέσει προς μια τέτοια κατεύθυνση γενικού σχεδιασμού της ανάπτυξης και εάν είναι αναγκαίο να προβεί σε έναν γενικότερο σχεδιασμό και ιεράρχηση προτεραιοτήτων για την περιοχή, για την υποστήριξη του έργου.

(δ) Θεσμικοί κίνδυνοι: Οι συνεχόμενες αλλαγές στο θεσμικό πλαίσιο και η απουσία ξεκάθαρων προδιαγραφών, κυρίως για τον ιδιωτικό τομέα, απομακρύνουν τις ιδιωτικές επενδύσεις. Είναι πολλές φορές χαρακτηριστική η απουσία οποιουδήποτε συμβουλευτικού φορέα, επαγγελματικού επιμελητηρίου και άλλων κοινωνικών ενώσεων όπως στον ευρωπαϊκό χώρο, συνεπώς ο μηχανικός θα πρέπει να έχει πλήρη συνείδηση ότι πρόκειται για ένα δύσκολο επαγγελματικό περιβάλλον, όπου η πείρα, η τεχνογνωσία και η οργανωτικότητα μιας τεχνικής ομάδας είναι ανεκτίμητα προσόντα στις χώρες τις Αφρικής

(ε) Κοινωνικοί κίνδυνοι: Κατά βάση αναφερόμαστε σε χώρες με έντονο το στοιχείο του φυλετικού διαχωρισμού. Η επίτευξη του έργου είναι και στοιχείο ωρίμανσης των ίδιων των κοινωνιών. Οι αμφισβητήσεις και οι καχυποψίες για την εύνοια που μπορεί να τρέφει η πολιτική εξουσία σε συγκεκριμένες φυλές μέσα σε πολυφυλετικά κράτη, δημιουργεί προσχώματα στην ολοκλήρωση του έργου. Ιδιαίτερα το σημείο τοποθέτησης του υδροηλεκτρικού έργου και το στοίχημα της διαχείρισης του νερού από το ποτάμι του μπορούν να αποτελέσουν στοιχεία έντονων τοπικιστικών διαμαχών, ακόμα και εκτεταμένων βανδαλισμών. Θα πρέπει τα πάντα να

είναι πειστικά πως εκπορεύονται από μελέτες που προήλθαν με διαφανή και αντικειμενική κατεύθυνση.

(ζ) Περιβαλλοντικοί κίνδυνοι: Οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι είναι συνήθως μικροί όσον αφορά την τυπική εκπομπή ρύπων, καθώς τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα θεωρούνται καθαρές τεχνολογίες. Παρόλα αυτά προκύπτουν άλλα ζητήματα έτερης φύσεως. Εν πρώτοις το φράγμα αποτελεί μια διακοπή της συνέχειας της παροχής των φερτών υλών οι οποίες εγκλωβίζονται στη λεκάνη ή τον ταμιευτήρα που σχηματίζεται. Στην περίπτωση των μικρών υδροηλεκτρικών έργων ο ταμιευτήρας είναι μικρής χωρητικότητας με αποτέλεσμα οι φερτές ύλες να απαιτούν συνεχή αντιμετώπιση. Συνεπώς η διακοπή της ροής των φερτών υλών ενδέχεται να προκαλέσει εδαφολογικά προβλήματα κατάντη του φράγματος, λόγω μη αναπλήρωσης από τα ανάντη (Παπαντωνίου, 2008). Η μη ρύπανση του ποταμιού που χρησιμοποιεί το έργο είναι ζητούμενο για την αποφυγή μετάδοσης ασθενειών όπως σχιστοσωμίαση όταν ο ταμιευτήρας του έργου χρησιμοποιείται και για ύδρευση. Ειδική εκπαίδευση απαιτεί να γίνει στο προσωπικό για την ασφαλή εκτέλεση των ελέγχων λειτουργίας και της συντήρησης από ανθρώπινους κινδύνους όπως η ηλεκτροπληξία (UNDP, 2011). Άλλο ζήτημα είναι οι βιολογικές παράμετροι καθώς είναι αναγκαία η απαίτηση μιας παροχής συντήρησης και η διαμόρφωση διόδου για την απρόσκοπτη πορεία των ψαριών καθώς το φράγμα για αυτά είναι ένα ανυπέρβλητο εμπόδιο (Παπαντώνης, 2008).

Κάποια πιο προβληματικά ζητήματα που σχετίζονται με τον αφρικανικό χώρο όπως έχει δείξει η εμπειρία θα πρέπει να θεωρούνται και τα παρακάτω: ασταθείς δημογραφικές αναφορές λόγω συνεχώς μετακινούμενων ανθρώπινων πληθυσμών και ανταλλαγή γαιών, αβεβαιότητα οικολογικής μελέτης λόγω μετακίνησης ζωικών πληθυσμών, αποδάσωσης κλπ. και βέβαια ανταγωνισμός μεταξύ των χρήσεων νερού καθώς συνήθως τα έργα ηλεκτροδότησης συχνά είναι επεκτάσεις έργων ύδρευσης και άρδευσης καθώς διευκολύνουν την κοινότητα να πιάσει συνολικά ένα άλλο βιοτικό επίπεδο. Πιθανή αλλαγή προτεραιότητας στην εκμετάλλευση του νερού μπορεί να δώσει άλλη παροχή για τον υδροστρόβιλο. Ο μηχανικός θα πρέπει να έχει στο νου του έναν συνολικό σχεδιασμό για το έργο, για όλες τις χρήσεις.

Η έκθεση του UNDP αναφέρει κάποια συγκεκριμένα εμπόδια που εφάπτονται στην περιοχή της Λαϊκής Δημοκρατίας του Κονγκό τα οποία μπορούν να συγκεκριμενοποιηθούν ως έλλειψη εκσυγχρονισμένου και σταθερού θεσμικού πλαισίου, ασάφεια στην διάκριση αρμοδιοτήτων, και έλλειμμα πολιτικής βούλησης. Είναι χαρακτηριστικό πως για τη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό,

το θεσμικό πλαίσιο κινείται κατά βάση στα όρια του 1928. Παρακάτω δίνεται ο Πίνακας 2.2 που συσχετίζει τις επαρχίες της Λαϊκής Δημοκρατίας του Κονγκό με τα εκτιμώμενα ποσοστά ηλεκτροδότησης. Από ότι βλέπουμε στις περισσότερες επαρχίες το ποσοστό ηλεκτροδότησης είναι κάτω του 1%. Παρόλα αυτά η εικόνα είναι αντιφατική καθώς τοπικοί οργανισμοί, όπως κοινοτικές ομάδες, μη κυβερνητικές οργανώσεις και ενορίες έχουν λάβει μέτρα για τον εντοπισμό πιθανών υδροηλεκτρικών τοποθεσιών. Σε πολλές περιπτώσεις, αυτές οι ομάδες έχουν ήδη καλέσει στην πραγματικότητα τεχνικά γραφεία, ντόπιους κατασκευαστές και διανομείς εξοπλισμού για τη διενέργεια προκαταρκτικών μελετών προκειμένου να προτείνουν τεχνικές σχεδιάσεις για αυτές τις τοποθεσίες που περιμένουν μέχρι τώρα χρηματοδότηση.

Πίνακας 2.2 Ποσοστό Ηλεκτροδότησης στις διάφορες επαρχίες στη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό (Πηγή: UNDP, 2011)

Επαρχία	Έκταση (km ²)	Πληθυσμός το 2000 (σε χιλιάδες)	Ποσοστό Ηλεκτροδότησης (%)
Bandudu	295 658	5 666	0,12
Bas Congo	53920	2 9826	11,26
Equateur	403 292	5 690	0,68
Kasai Occidental	154 741	3 603	0,45
Kasai Oriental	170 302	4 639	0,14
Katanga	496 877	6 733	4,43
Kinshasa	9965	6 126	40,67
Kivu Nord	59483	4 345	1,47
Kivu Sud	65070	3 926	4,43
Maniema	132 250	1 316	0,10
Province Orientale	503 239	6 201	2,69
ΣΥΝΟΛΟ	2 049 139	78 071	6,48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Η Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό (Ζαΐρ)

3.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Η Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό (Ζαΐρ) κείται στο κέντρο της Αφρικής και διέρχεται από αυτό ο Ισημερινός. Ο πληθυσμός της χώρας είναι 73 599 190 και έκταση 2 345 000 km² Είναι δηλαδή 80 φορές μεγαλύτερο από το Βέλγιο και 4 φορές μεγαλύτερο από την Γαλλία (Fumunzaza, 1989). Η πρωτεύουσα του είναι η Kinshasa με πάνω από 8 401 000 ανθρώπους και διαιρείται σε 8 επαρχίες συν την επαρχία της Kinshasa. Το Κονγκό χαρακτηρίζεται από το πυκνό τροπικό βροχοδάσος στην κεντρική λεκάνη απορροής του ποταμού Κονγκό και στα ανατολικά υψίπεδα και είναι η δεύτερη μεγαλύτερη χώρα στην Αφρική (μετά την Αλγερία). Το κλίμα του είναι τροπικό και με βάση του κλίματος η χώρα μπορεί να χωριστεί σε τρεις ζώνες: το κλίμα είναι ζεστό και υγρό στην ισημερινή λεκάνη απορροής των ποταμών, δροσερό και ξηρό προς τα νοτιότερα υψίπεδα και δροσερό και υγρό στα ανατολικά επίπεδα. Βόρεια του Ισημερινού η υγρή περίοδος είναι από τον Απρίλη μέχρι τον Οκτώβρη και η ξηρή περίοδος από τον Δεκέμβρη μέχρι τον Φλεβάρη. Νότια του Ισημερινού η υγρή περίοδος είναι από τον Νοέμβρη μέχρι τον Μάρτη και η ξηρή περίοδος από τον Απρίλη μέχρι τον Οκτώβρη. Οι φυσικοί πόροι της χώρας είναι κοβάλτιο, χαλκός, νιόβιο, ταντάλιο, πετρέλαιο, βιομηχανικά και φυσικά διαμάντια, χρυσός, άργυρος, ψευδάργυρος, μαγγάνιο, κασσίτερος, ουράνιο, άνθρακας, υδροηλεκτρική ενέργεια και ξυλεία.

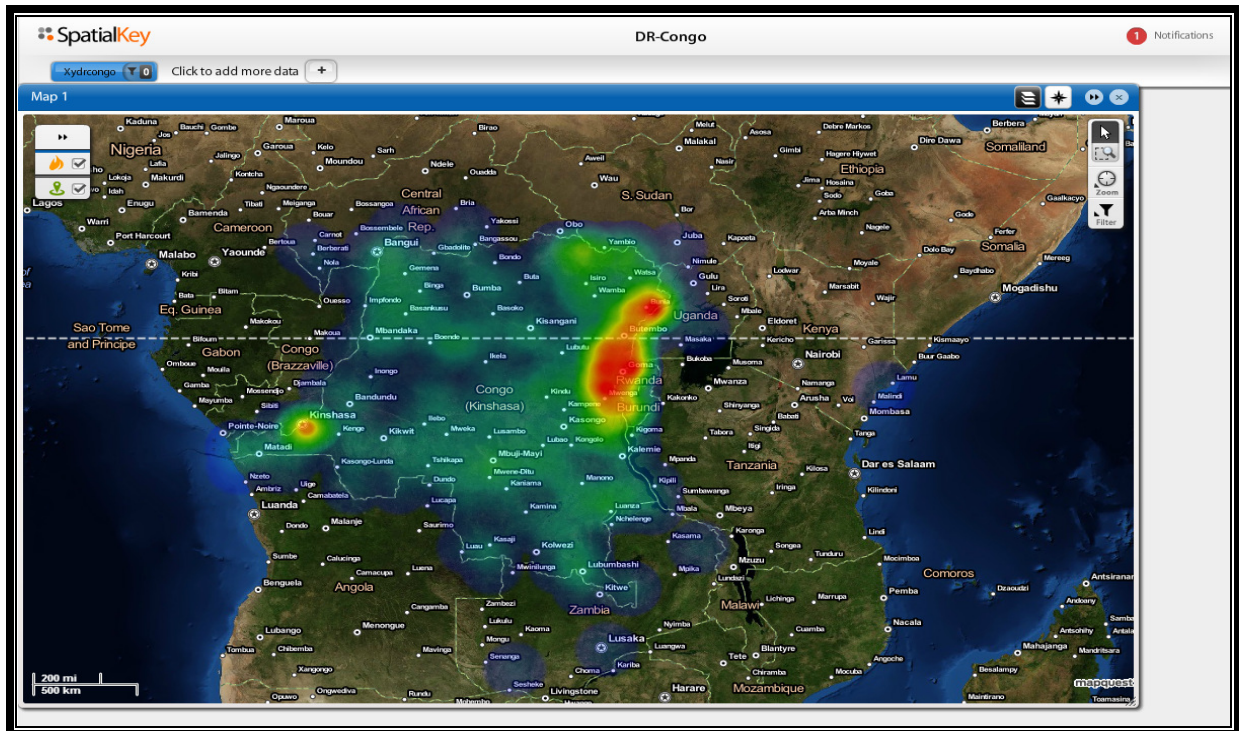
Ξεκινώντας την ανασκόπηση της περιοχής του Κονγκό θα αναφερθούμε πολύ συνοπτικά στην ιστορία της χώρας για να αποκτήσουμε μια καλύτερη εικόνα. Ο πρώτος ευρωπαίος εξερευνητής το 1482, ο πορτογάλος Diego-Cao ήταν ο πρώτος που ανακάλυψε την εκβολή του ποταμού Κονγκό στον Ατλαντικό ωκεανό. Από τότε πολλές ομάδες εξερευνητών έστρεψαν το ενδιαφέρον τους προς το εσωτερικό της νοτιότερης Αφρικάνικης ηπείρου. Ο σκώτος ιατρός David Livingstone διασχίζει την Κεντρική Αφρική από την ανατολή μέχρι τη δύση σε 999 ημέρες, διασχίζοντας τον ποταμό Κονγκό από άκρη σε άκρη. Το Σεπτέμβριο του 1876 ο βασιλιάς των Βέλγων Λεοπόλδος II, με την επιθυμία να οργανώσει μια επιστημονική και ανθρώπινη σταυροφορία για την Αφρική, συγκαλεί στο Βέλγιο μια συνδιάσκεψη με θέμα τον εν

λόγω στόχο, όπου συστήθηκε η AIA (Association Internationale Africaine). Οι Βελγικές αποστολές αποφάσισαν να αφήσουν την οδό Zanzibar-Tanganyika στην Τανζανία δια μέσου του Ινδικού ωκεανού για να εισχωρήσουν στην Αφρική μέσω του ποταμού Κονγκό από τον Ατλαντικό ωκεανό. Η AIA προκειμένου να ιδρύσει στη Λεκάνη του Ζαΐρ έναν πολιτικό οργανισμό συγκρότησε μια επιτροπή, την AIC (Association Internationale du Congo) το 1879 όπου θα αναλάμβανε τον προαναφερόμενο ρόλο. Με τη σειρά που παρουσιάζονται, οι ΗΠΑ, η Γαλλία και η Γερμανία ήταν οι πρώτες χώρες που αναγνώρισαν την επιτροπή αυτή, ώστε το 1885 τη γενική συμφωνία του Βερολίνου να την συνυπογράψουν 45 χώρες, οι οποίες αναγνώριζαν την ύπαρξη του Etat Indipendant du Congo. Ακόμα και ο Λεοπόλδος II αναγνώρισε την ανεξαρτησία του νεοσύστατου κράτους, όμως η ανεξαρτησία του έγκειται στην άσκηση ελεύθερου εμπορίου για τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες χωρίς την επέμβαση του Βελγίου. Έτσι το Ζαΐρ (Κονγκό) έγινε βελγική αποικία και ο Λεοπόλδος II ήταν ο μόνος που μπορούσε να αποφασίζει για αυτό. (Fumunzaza, 1989).

Οι Βέλγοι θα κυβερνούσαν τη χώρα μέχρι την ανεξαρτησία της χώρας στις 30 Ιουνίου του 1960 με πρωθυπουργό τον Patrice Lumumba. Ο Lumumba όμως διετέλεσε πρωθυπουργός μόνο 10 εβδομάδες, καθώς η χώρα αμέσως περιήλθε σε κρίση. Η επαρχία της Κατάγκα διακήρυξε την ανεξαρτησία της υπό τον Moïse Tshombe με την υποστήριξη των Βέλγων. Ο Lumumba ζήτησε τη βοήθεια των Ηνωμένων Εθνών και καθώς η αναρχία συνεχιζόταν στράφηκε προς τη Σοβιετική Ένωση. Ο Lumumba εκδιώχθηκε από την πρωθυπουργία από τον πρόεδρο Kasavubu. Έντονη πολιτική και κοινωνική αστάθεια επικράτησε όταν ο συνταγματάρχης Joseph Mobutu με τη στήριξη του Kasavubu μέσω πραξικοπήματος ανακήρυξε τον εαυτό του πρόεδρο τον Νοέμβριο του 1965, φυλακίζοντας και εκτελώντας τον Lumumba. Διατήρησε την εξουσία για 32 χρόνια με νοθευμένες εκλογές και με επίδειξη ωμής βίας. Εθνοτικές διαμάχες και εμφύλιος πόλεμος, συνοδευόμενος από ένα κύμα προσφύγων το 1994 από τις μάχες στην Ρουάντα και στο Μπουρούντι, οδήγησε το Μάιο του 1997 στην ανατροπή του καθεστώτος του Mobutu από μια εξέγερση που υποστηρίζεται και από τις δύο παραπάνω γειτονικές χώρες με πρωτοστάτη τον Laurent Kabila. Αυτός μετονόμασε τη χώρα σε Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό αλλά τον Αύγουστο του 1998 το καθεστώς του αντιμετωπίζει μια εξέγερση που υποστηρίζεται πάλι από τη Ρουάντα και το Μπουρούντι. Στρατεύματα της Αγκόλα, Τσαντ, Ναμίμπια, Σουδάν και Ζιμπάμπουε επενέβηκαν προς υποστήριξη στο καθεστώς του Kabila. Κατάπαυση του πυρός υπεγράφη τον Ιούλιο του 1999 από τη ΛΔΚ, τις κονγκολέζικες ένοπλες επαναστατικές ομάδες,

την Αγκόλα, την Ναμίμπια, την Ρουάντα, την Ουγκάντα και την Ζιμπάμπουε αλλά οι σποραδικές μάχες συνεχίστηκαν. Ο Laurent Kabila δολοφονήθηκε τον Ιανουάριο του 2001 και ο γιος του, Joseph Kabila, ονομάστηκε αρχηγός κράτους. Τον Οκτώβριο του 2002, ο νέος πρόεδρος ήταν επιτυχής στις διαπραγματεύσεις για την ανάκληση των δυνάμεων κατοχής της Ρουάντα στο Ανατολικό Κονγκό. Δύο μήνες αργότερα, η συμφωνία της Pretoria υπογράφηκε από όλα τα υπόλοιπα αντιμαχόμενα μέρη για να σταματήσουν τις μάχες και να εγκαθιδρύνουν μια κυβέρνηση εθνικής ενότητας. Μια μεταβατική κυβέρνηση ιδρύθηκε τον Ιούλιο του 2003, όπου προώθησε ένα επιτυχημένο συνταγματικό δημοψήφισμα το Δεκέμβριο του 2005 και το 2006 έγιναν εκλογές για την Προεδρία, την εθνική συνέλευση, και επαρχιακές νομοθετικών σωμάτων. Στις πιο πρόσφατες εθνικές εκλογές, που πραγματοποιήθηκε το Νοέμβριο του 2011, αμφισβητούμενα αποτελέσματα επιτρέπουν στον Joseph Kabila να επανεκλεγεί στην προεδρία. (<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/cg.html>)

Η οικονομία της Λαϊκής Δημοκρατίας του Κονγκό - ένα έθνος προικισμένο με συντριπτικό δυνητικό πλούτο - αργά αλλά σταθερά συνέρχεται μετά από δεκαετίες της παρακμής. Συστημική διαφθορά μετά από την ανεξαρτησία του 1960 και η σύρραξη που ξεκίνησε τον Μάιο του 1997 είχαν εντυπωσιακά μειώσει τις εθνικές εξαγωγές και τα κυβερνητικά έσοδα, είχαν αυξήσει το εξωτερικό χρέος και προκάλεσαν τον θάνατο πάνω από 5 εκατομμύρια ανθρώπων από βία, πείνα και ασθένειες (οι κύριες περιοχές συγκρούσεων μέχρι και σήμερα φαίνονται στο Σχήμα 3.1). Για αυτό το λόγο σήμερα η ΛΔΚ συγκαταλέγεται μέσα στα πρώτα “αποτυχημένα κράτη” (Failed State) στις ετήσιες παγκόσμιες κατατάξεις, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.1. Ξένες επιχειρήσεις μείωσαν τις δραστηριότητες τους λόγω αβεβαιότητας σχετικά με την έκβαση της σύγκρουσης, την έλλειψη υποδομής και το δύσκολο περιβάλλον λειτουργίας. Οι συνθήκες άρχισαν να βελτιώνονται στα τέλη του 2002 με την αποχώρηση ενός μεγάλου μέρους από τα εισβαλλόμενα ξένων στρατευμάτων. Η μεταβατική κυβέρνηση ξανάνοιξε τις σχέσεις με τα διεθνή χρηματοπιστωτικά ιδρύματα και τους διεθνείς χορηγούς, και με τον Πρόεδρο Kabila ξεκίνησε την υλοποίηση των μεταρρυθμίσεων. Η πρόοδος ήταν αργή και το Διεθνές Νομισματικό Ταμείο απέσυρε το πρόγραμμα του για την ΛΔΚ στο τέλος του Μαρτίου 2006 εξαιτίας φορολογικών υπερβάσεων. Μεγάλη οικονομική δραστηριότητα εξακολουθεί να παρουσιάζεται στην παραοικονομία και δεν αντανάκλαται στα δεδομένα του ΑΕΠ. Η ανανέωση της δραστηριότητα στον τομέα των ορυχείων, η πηγή των περισσότερων εσόδων από εξαγωγές, καλυτέρευσε τη δημοσιονομική θέση της χώρας και αύξησε το ΑΕΠ από το 2006-08, ωστόσο, η



Σχήμα 3.1 Περιοχές συρράξεων και αναταραχών στην ΛΔΚ (Πηγή: <http://www.acleddata.com/>)

Πίνακας 3.1 Παγκόσμια κατάταξη αποτυχημένων κρατών

(Πηγή: http://www.foreignpolicy.com/failed_states_index_2012_interactive)

Failed States Index 2012	Θέση Κατάταξης
Σομαλία	1
ΛΔΚ	2
Σουδάν	3
Νότιο Σουδάν	4
Τσαντ	5
Ζιμπάμπουε	6
Αφγανιστάν	7
Αιτή	8
Υεμένη	9
Ιράκ	10

επανεξέταση της κυβέρνησης των συμβόλαιων εξόρυξης που ξεκίνησε το 2006, σε συνδυασμό με μία πτώση τιμών στη διεθνή αγορά για τις βασικές εξαγωγές της ΛΔΚ, το 2009, οδήγησε σε μια κρίση του ισοζυγίου πληρωμών. Η παγκόσμια ύφεση έχει διακόψει την οικονομική ανάπτυξη το 2009 σε λιγότερο από το μισό από τα επίπεδα του 2008, αλλά ανάπτυξη επέστρεψε στο 6-7 % το 2010-11. Η ΛΔΚ υπέγραψε μια μείωση της φτώχειας και την ανάπτυξη μηχανισμού με το ΔΝΤ το 2009 και έλαβε 12 δις \$ στην ελάφρυνση του πολυμερούς και διμερούς χρέους το 2010 (<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/cg.html>).

3.2 Υποδομή της ΛΔΚ

3.2.1 Οδικό δίκτυο και Ενεργειακός Τομέας

Η κονγκολέζικη υποδομή είναι σε κακή κατάσταση. Μόνο τέσσερις από τις δέκα επαρχιακές πρωτεύουσες είναι συνδεδεμένες με την Kinshasa. Λιγότερο από το 10% του πληθυσμού είναι συνδεδεμένο με ηλεκτρικό ρεύμα. Αν και τα κινητά τηλέφωνα είναι πανταχού παρών, δεν υπάρχει κάποιου τύπου εθνικός οργανισμός τηλεπικοινωνίας. Οι λιμενικοί φόροι και τέλη μεταφοράς είναι πολύ υψηλοί και οι καθυστερήσεις είναι οι μεγαλύτερες από οπουδήποτε αλλού στην ήπειρο. Ο όγκος των σιδηροδρομικών μεταφορών αντιστοιχούν στο ένα δέκατο του όγκου του 1980. Ιδιαίτερα το στοίχιμα της ενοποίησης του οδικού δικτύου είναι και στοίχιμα πολιτικής ενοποίησης της χώρας και ρήξη με την απομόνωση περιοχών.

Το μεγαλύτερο μέρος της επικράτειας της Λαϊκής Δημοκρατίας του Κονγκό του δεν είναι προσβάσιμο οδικώς. Επαρχιακές πρωτεύουσες από άλλες επαρχίες συνδέονται μόνο οδικώς (όπως δείχνει το Σχήμα 3.2) ή εναερίως. Η επικοινωνία μεταξύ αυτών των πρωτευουσών και άλλα επαρχιακά κέντρα (πόσο μάλλον πρόσβαση στις αγροτικές περιοχές) συχνά δεν είναι δυνατή. Η εθνική ενότητα και η οικονομική σταθερότητα αποτελούν τις δύο κορυφαίες προτεραιότητες για τη χώρα και ο τομέας των μεταφορών είναι ζωτικής σημασίας για τις δύο. (Herderschee et al, 2012). Χάρη στη φύση και εξαιτίας της θέσης τους οι ποταμοί και οι παραπόταμοι είναι πιο ευνοϊκοί άξονες επικοινωνίας ιδιαίτερα για την παράκτια κοινωνία. Αλλωστε λόγω του ποταμιαίου δικτύου οι Βέλγοι παρακινήθηκαν προς εξερεύνηση της ενδοχώρας του Κονγκό. Δυστυχώς όμως η φύση των ποταμών δεν καθιστά την ναυσιπλοΐα και

ατμοπλοΐα δυνατή σε όλο το μήκος τους. Σε αυτά τα σημεία κατασκευάστηκαν είτε αυτοκινητόδρομοι είτε σιδηροδρομικές γραμμές (Fumunzaza, 1989). Το οδικό δίκτυο αποτελείται από 152 400 km το οποίο συντίθεται από τις εξής κατηγορίες: (α) εθνικό δίκτυο: 58 129 km, (β) επαρχιακό δίκτυο 86 871 km, (γ) αστικό δίκτυο 7 400 km. Από αυτό, μόνο τα 2 823 km έχουν ασφαλτοστρωθεί. Όσον αφορά το σιδηροδρομικό δίκτυο έχει μη διασυνδεδεμένα δίκτυα 5 033 km διαχειριζόμενα από τρεις δημόσιες υπηρεσίες. Από τα τρία αυτά δίκτυα χρησιμοποιούνται μόνο συγκεκριμένα τμήματα λόγω της χειροτερεύουσας κατάστασης των σιδηροδρομικών γραμμών και της ελλιπούς συντήρησης. Η δε ενοποίηση τους σε μία και αδιάκοπη σιδηροδρομική γραμμή οφείλεται εν μέρη και στη διαφορά ανοίγματος τροχών των σιδηροδρομικών τροχιών (<http://www.anapi.org/fr/>).

Στον ενεργειακό τομέα η χώρα σημειώνει δραματική καθυστέρηση. Λιγότερο από το 10% των νοικοκυριών έχουν πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια στην Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό, ένα από τα χαμηλότερα ποσοστά στην Αφρική. Αυτό το χαμηλό επίπεδο πρόσβασης είναι ένας σημαντικός φραγμός στην κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη. Η ενεργειακή τροφοδότηση καθαυτή είναι αναξιόπιστη, και όσοι έχουν πρόσβαση σε εκείνη, αντιμετωπίζουν συχνές διακοπές ηλεκτροδότησης που φτάνουν κατά μέσο όρο των δέκα ημερών διακοπή ρεύματος το μήνα. Αυτές οι διακοπές σοβαρά καταστέλλουν τις ιδιωτικές επιχειρήσεις, οι οποίες πρέπει να υποστούν το πρόσθετο κόστος της αγοράς εφεδρειακής γεννήτριας. Νέες εμπορικές συνδέσεις προς το δίκτυο δεν προβλέπονται, αναγκάζοντας τους πιο εμπορικούς πελάτες να βασιστούνε γεννήτριες ντίζελ, τη μεγαλύτερη εξάρτηση από εφεδρειακές γεννήτριες σε όλη την Αφρική. Παρόλα αυτά η αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας είναι εντός των μελλοντικών προδιαγραφών της χώρας αφού η δυνητική ισχύς προς εγκατάσταση φτάνει πάνω από 100 000 MW ενώ σήμερα η εγκατεστημένη ισχύς φτάνει περίπου τα 2 400 MW, μόνο το 3% δηλαδή. Από αυτά, το 99% παράγεται από υδροηλεκτρική ενέργεια ενώ το υπόλοιπο συνίσταται σε 60 μικρά θερμοηλεκτρικά εργοστάσια στερεών καυσίμων. Τα δε δυο μεγάλα υδροηλεκτρικά στη θέση του φράγματος Inga (Ινγκα) αντιστοιχούν σε 1 775 MW. Παρά το τεράστιο δυναμικό της χώρας, η εγχώρια παραγωγή είναι ανεπαρκής για να καλύψει την τοπική ζήτηση και οι εξαγωγές είναι περιορισμένες. Μόνο το 48% της εγκατεστημένης παραγωγικής ικανότητας είναι πράγματι διαθέσιμη.

Το σύστημα μετάδοσης στη ΛΔΚ αποτελείται από πολλά ασύνδετα ηλεκτρικά δίκτυα. Ο εξοπλισμός είναι παλιός, τα επίπεδα συντήρησης είναι ανεπαρκείς και οι νέες επενδύσεις

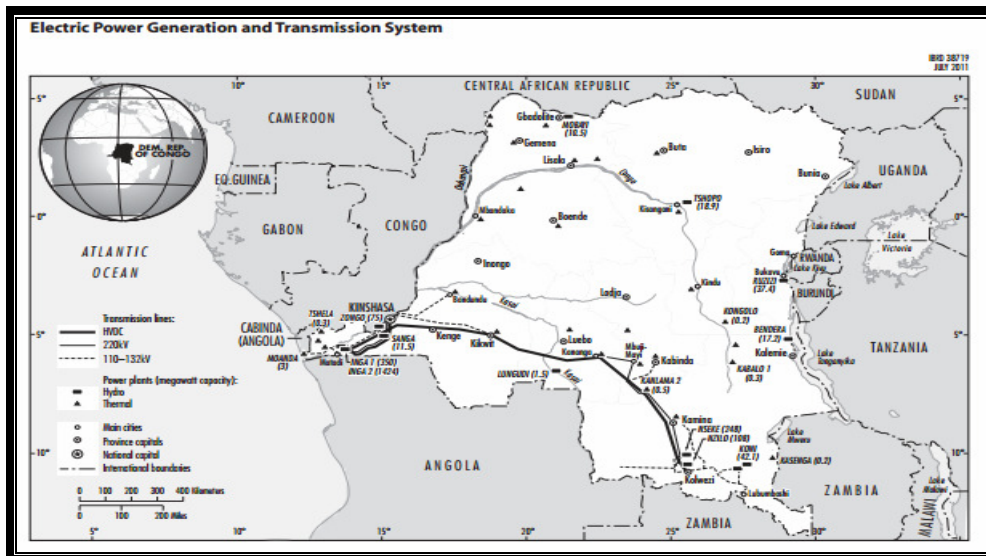
ελάχιστες οπότε το σύστημα δεν έχει επαρκή ικανότητα να ανταποκριθεί στην τρέχουσα ζήτηση. Ειδικότερα, οι γραμμές στην πρωτεύουσα είναι υπερφορτωμένες, και η γραμμή συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσεως (HVDC) μεταξύ Inga και Katanga φέρει μόνο το ένα τέταρτο της σχεδιαστικής του ικανότητας. Το σύστημα έχει τρία κύρια στοιχεία που εκτείνονται από κοινού σε 5 547 km και φαίνονται στο Σχήμα 3.3: (α) Μια γραμμή HVDC 500 kV διασχίζοντας 1 740 km από το φράγμα Inga για την περιοχή της Katanga, (β) τρία μεγάλα δίκτυα αποτελούνται από γραμμές υψηλής τάσης που κυμαίνονται μεταξύ 50 και 220 kV. Ένα δυτικό δίκτυο συνδέει τα φράγματα Inga με το Matadi και τη Kinshasa και συνδέει επίσης με τη Δημοκρατία του Κονγκό. Ένα νότιο δίκτυο στην περιοχή της Katanga συνδέει με Ζάμπια. Η HVDC γραμμή συνδέει τα νότια και τα δυτικά δίκτυα. Ένα ανατολικό δίκτυο συνδέει με το Μπουρούντι και τη Ρουάντα (γ) διάφορα ανεξάρτητα μίνι πλέγματα οργανώνονται γύρω από αστικά και βιομηχανικά κέντρα σε όλη τη χώρα υποστηριζόμενα από μικρούς ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς. (Herderschee et al, 2012)

Με ένα υπέδαφος που ξεχειλίζει από μεταλλεύματα κι έναν ποταμό ικανό να υδροδοτήσει κολοσσιαία υδροηλεκτρικά φράγματα, εντούτοις με άδεια κρατικά ταμεία και συνεχείς διακοπές ρεύματος, η Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό ενσαρκώνει το αφρικανικό παράδοξο, αν και δεν αποτελεί τη μοναδική περίπτωση. Τον Απρίλιο του 2008, το ΔΝΤ έκρουε τον κώδωνα του κινδύνου πως στις περισσότερες χώρες της υποσαχάριας Αφρικής, η ανεπάρκεια υποδομών έχει οπισθοχωρήσει την παραγωγικότητα κατά 30% - 60% κι απειλεί να προκαλέσει υπαναχώρηση της ανάπτυξης κατά δύο μονάδες. Το 40% με 80% της ανεπάρκειας των υποδομών συνδέεται με την ηλεκτρική ενέργεια (Herderschee et al, 2012). Εάν τα μέσα μαζικής ενημέρωσης συγκινούνται διότι ένα παιδί στα τρία δεν τελειώνει το δημοτικό σχολείο στην Αφρική, ελάχιστα είναι εκείνα που ενδιαφέρονται για το γεγονός ότι περισσότερα από τρία στα τέσσερα παιδιά δεν έχουν πρόσβαση στο ηλεκτρικό ρεύμα. Η παραπάνω διαπίστωση φαντάζει ακόμη πιο σκοτεινή στην ΛΔΚ, όπου πάνω από το 94% του πληθυσμού δεν μπορεί καν να χρησιμοποιήσει τον λαμπτήρα, ελλείψει ηλεκτρικού ρεύματος. Με άλλα λόγια, η σύνδεση με το δίκτυο ηλεκτροδότησης δεν εγγυάται το φως, εξαιτίας των σκόπιμων διακοπών ηλεκτρικού φορτίου. Αλληπάλληλες μειώσεις φορτίων μετατρέπουν τη ζωή των Κονγκολέζων σε μαρτύριο: αυξημένη αστική εγκληματικότητα που ευνοείται από το σκοτάδι, νοσοκομεία που δυσκολεύονται να συντηρήσουν τα εμβόλια, διακοπή άντλησης του πόσιμου νερού, δίχως να μετράμε τις ατελείωτες αγγαρείες για νερό και καυσόξυλα που εξαντλούν το χρόνο και τις δυνάμεις.

Μπροστά σε όλα αυτά, ο πληθυσμός, προσπαθώντας να τα βγάλει πέρα, καταφεύγει σε λύσεις που συχνά θέτουν σε κίνδυνο την ίδια του τη ζωή. Οι ηλεκτροπληξίες αποτελούν συχνό φαινόμενο κατά την παράνομη σύνδεση με το δίκτυο. Από την άλλη το ίδιο το δίκτυο είναι εγκαταλελειμμένο στην κατάσταση που το άφησαν οι Βέλγοι. Είναι τόσο δύσκολη η κατάσταση που οι συνδρομητές πολλές φορές αγοράζουν μόνοι τους τα καλώδια καθώς η SNEL (Société nationale d'électricité), δεν διαθέτει τους απαραίτητους πόρους να ανανεώσει τα ελαττωματικά του τμήματα.



Σχήμα 3.2 Εθνικά οδικά δίκτυα εντός της ΛΔΚ (Πηγή: Herderschee et al, 2012)



Σχήμα 3.3 Δίκτυα ηλεκτρικής τροφοδότησης εντός της ΛΔΚ (Πηγή: Herderschee et al, 2012)

3.2.2 Το πλούσιο υδροδυναμικό της ΛΔΚ και τα φράγματα Ίνγκα

Αλλά η κατάσταση θα μπορούσε να είναι και διαφορετική. Η ΛΔΚ θα μπορούσε να πετύχει λαμπρά αποτελέσματα χάρη στην ισχύ του ποταμού Κονγκό, με το υδροηλεκτρικό δυναμικό της να εκτιμάται στα όπως είπαμε πριν πάνω από 100 000 MW. Ιδίως δε, στο επίπεδο των απότομων και ορμητικών ρευμάτων της περιοχής Ίνγκα, στην επαρχία του Κάτω Κονγκό. Εκεί, ένας υδροηλεκτρικός σταθμός θα μπορούσε να παράγει 44 GW, εάν είχαν κατασκευαστεί όλα τα φράγματα του συμπλέγματος του Μεγάλου Ίνγκα (δηλαδή το Ίνγκα III - Inga III και το Grand Inga), δηλαδή ισχύ δύο φορές ανώτερη από εκείνη του αντίστοιχου φράγματος των Τριών Φαραγγιών στην Κίνα, η οποία θα επαρκούσε για να καλύπτει περίπου το 40% των αναγκών των κατοίκων της αφρικανικής ηπείρου, από το Κάιρο μέχρι το Ακρωτήριο της Καλής Ελπίδος (Herderschee et al, 2012). Σήμερα τα δύο φράγματα που υπάρχουν ήδη, το Ίνγκα I και το Ίνγκα II, που κατασκευάστηκαν το 1972 και το 1982 αντίστοιχα, παράγουν μόνο 1775 MW όπως είπαμε πιο πάνω, αν και η σημερινή παραγωγή έχει κολλήσει στα 700 MW, αφού από τις έξι ηλεκτροπαραγωγούς μονάδες του φράγματος Ίνγκα I, τρεις είναι εκτός λειτουργίας, ενώ, όσον αφορά το Ίνγκα II, τέσσερις λειτουργούν, τρεις μηχανές πρόκειται να επισκευαστούν χάρη στην Παγκόσμια Τράπεζα, συν μία τελευταία μέσω χρηματοδότησης από την Αφρικανική Τράπεζα Ανάπτυξης. Το συγκρότημα συνδέεται με την πρωτεύουσα, αλλά και με τα ορυχεία της Katanga, με μία γραμμή πολύ υψηλής τάσης, χιλίων επτακοσίων χιλιομέτρων. Πρόκειται για μία μονάδα στρατηγικής σημασίας, που φυλάσσεται σαν στρατόπεδο (http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_Inga_Dams). Για να υλοποιηθεί ο συγκεκριμένος στόχος, ο σταθμός χρειάζεται πόρους. Ύστερα, όμως, από τριάντα χρόνια δικτατορίας και μία δεκαετία πολέμου, το κράτος του Κονγκό συμπεριλαμβάνεται ανάμεσα στα πιο αποδιοργανωμένα κράτη του κόσμου - για την ακρίβεια το 2012 ανακηρύχθηκε το δεύτερο πιο «αποτυχημένο κράτος» (failed state) στον κόσμο σύμφωνα με την κατάταξη του Fund For Peace (<http://www.fundforpeace.org/global>) όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.1. Η χώρα είναι φτωχή και υπερχρεωμένη και ζημιωμένη από κάθε είδους συμφέροντα, δεν είναι αυτοδύναμη. Οι μάχες για την υπαρπαγή των πλουτοπαραγωγικών πηγών και η πολιτική αστάθεια διέκοψαν τη συντήρηση των εγκαταστάσεων του Ίνγκα και υπονόμισαν την οικονομική ανάπτυξη, με τα ταμεία να παραμένουν άδεια από καιρό. Οι πελατειακές και ξεπερασμένες μέθοδοι διαχείρισης

εμποδίζουν τη χρηματοδότηση των υποδομών, αφού το κράτος είτε χρεώνει το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγει πολύ πιο χαμηλά από το κόστος παραγωγής του για ψηφοθηρικούς λόγους των φτωχότερων πολιτών, είτε δεν συλλέγει σκόπιμα τις εισπράξεις, είτε αγνοεί τις παράνομες συνδέσεις (Foster and Benitez, 2011). Σε αυτό φταιει το γεγονός πως το κράτος δεν έχει φροντίσει για την ύπαρξη ανεξάρτητης αρχής για την χάραξη της ενεργειακής πολιτικής, ώστε να επεμβαίνει το ίδιο (Lukamba-Muhiya and Uken, 2006). Φαίνεται πως το κράτος είναι ταλαντευόμενο μεταξύ της αύξησης στην τιμολόγηση και στον κοινωνικό χαρακτήρα του ηλεκτρικού ρεύματος. Στην Αφρική, αυτού του είδους η παρεμβατικότητα υποκρύπτει συχνά τη διαφθορά των δημόσιων λειτουργιών.

Για να αναπληρώσει την έλλειψη κρατικών κεφαλαίων, η ΛΔΚ στρέφεται προς τη διεθνή βοήθεια. Οι συμπράξεις δημόσιου-ιδιωτικού τομέα (ΣΔΙΤ) είναι πολύ σπάνιες. Στην Katanga, η SNEL πραγματοποιεί ορισμένα έργα με μεταλλευτικές εταιρείες όπως η TFM και η KCC. Το πρόβλημα είναι ότι με τις ΣΔΙΤ προσαρμόζεται μέρος του έργου ανάλογα με τα συμφέροντα των ιδιωτών που το χρηματοδοτούν, κάτι που στην πράξη δεν εξυπηρετεί το κοινωνικό σύνολο. Μεγάλες επενδύσεις γίνονται στις ζώνες ελεύθερων συναλλαγών, στα λιμάνια, τα αεροδρόμια, τις εθνικές οδούς και στις γενικότερες υποδομές, ό,τι δηλαδή επιτρέπει την οργανωμένη φυγάδευση των πρώτων υλών. Πράγματι, όλα τα έργα ΣΔΙΤ στηρίζονται στα ορυχεία και τις εξαγωγές. Όσον αφορά την ανάπτυξη των φραγμάτων Ιγγκα, η πρόσφατη ιστορία είναι ενδεικτική: ο πρώτος όμιλος εξορυκτικών και μεταλλευτικών επιχειρήσεων στον κόσμο, η BHP Billiton, θα χρειαζόταν πάνω από 2 000 MW ηλεκτρικής ισχύος για να τροφοδοτήσει ένα εργοστάσιο αλουμίνας που βρίσκεται στα σκαριά στην περιοχή του Κάτω Κονγκό. Από μεριάς της σκόπευε λοιπόν να εδραιώσει μία συνεργασία με τη ΛΔΚ για την κατασκευή ενός καινούριου υδροηλεκτρικού φράγματος, του Ίγγκα III. Σύμφωνα με τις πρόσφατες μελέτες, το έργο αυτό θα είχε δυνατότητα παραγωγής 4 300 MW με κόστος 7 δισεκατομμύρια δολάρια. Η BHP Billiton εν τέλει επεδίωκε όμως να συγκρατήσει το δυναμικό του σταθμού στα 3 500 έως και 2 500 MW, ει δυνατόν, προκειμένου να περιορίσει την παραγωγή στη δική της κατανάλωση κι έτσι να μειώσει το συνολικό λογαριασμό. Μια τέτοιου είδους συνεργασία θα γινόταν εις βάρος της περιφερειακής ολοκλήρωσης και έτσι ναυάγησε. Στην ίδια περιοχή, ακριβώς πιο πριν από την συνεργασία με την BHP Billiton, και πάνω στο ίδιο έργο, είχε επίσης αναλάβει την ευθύνη η κοινοπραξία Westcor που απαρτιζόταν από πέντε κράτη (Λ.Δ. Κονγκό, Αγκόλα, Ζάμπια, Μποτσουάνα, Νότιος Αφρική). Τελικά, στις 20 Φεβρουαρίου 2010, κατόπιν

πρωτοβουλίας της Α.Δ. Κονγκό, οι υπουργοί Ενέργειας των χωρών-μελών της κοινοπραξίας αποφάσισαν να διαλύσουν τη Westcor. Η συμφωνία ήταν κατ' ουσίαν δυσμενής για το Κονγκό, επειδή τα υπογράφοντα κράτη θα αποκτούσαν τα ίδια δικαιώματα ιδιοκτησίας στο φράγμα με τη ΛΔΚ. Έτσι, η ιδέα δεν εξερευνήθηκε περαιτέρω. Σήμερα τα πράγματα είναι ακόμα στάσιμα. Ο οργανισμός, που είχε εκφράσει την επιθυμία να αποκαταστήσει δέκα υδροστροβίλους των σταθμών Ίνγκα Ι και ΙΙ, ανέβαλε το σχέδιό του δεύτερη φορά, επειδή η χρηματοπιστωτική κρίση δεν του επέτρεψε να συγκεντρώσει τα απαιτούμενα ποσά και ίσως να ολοκληρωθεί μετά το 2016.

3.3 Ο εξηλεκτρισμός μέσω μικρών υδροηλεκτρικών έργων στη ΛΔΚ

Μελετώντας για τη εγκατάσταση και αξιοποίηση των υδροηλεκτρικών έργων θα πρέπει να κάνουμε μια αναφορά ποιο ορίζουμε ως το πεδίο μελέτης τους. Αυτό στην περίπτωση της ΛΔΚ είναι και η Λεκάνη του ποταμού Κονγκό (Congo Basin) καθώς διατρέχει το μεγαλύτερο μέρος της χώρας και όλο το ποταμιαίο δίκτυο σχεδόν καταλήγει εν τέλει σε αυτόν, ως τη μόνη διέξοδο στον Ατλαντικό ωκεανό. Ο ποταμός Κονγκό είναι ο βαθύτερος ποταμός στον κόσμο, ο τρίτος μεγαλύτερος στον κόσμο σε επίπεδο παροχής νερού, και ο ένατος μακρύτερος στον κόσμο. Η λεκάνη του ποταμού Κονγκό αποτελείται από ένα χώρο πάνω από 3.4 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα και η λεκάνη απορροής του ποταμού περιλαμβάνει σχεδόν ολόκληρη τη Δημοκρατία του Κονγκό, τη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό, την Κεντροαφρικανική Δημοκρατία, τη δυτική Ζάμπια, τη βόρεια Αγκόλα και τμήματα του Καμερούν και της Τανζανίας, όπως δείχνει και το Σχήμα 3.4



Σχήμα 3.4 Λεκάνη του ποταμού Κονγκό και επιμέρους υπολεκάνες

(Πηγή:http://www.itc.nl/tiger/phase2/pdf/TIGER_workshop_2011_day2/D2_03_Faka_EO_CB_needs_for_Congo_basin_monitoring.pdf)

Συνεπώς μιλάμε για ένα ιδιαίτερα πυκνό και πολύπλοκο δίκτυο από περίπου 10 000 παραποτάμους και μικρότερα ρυάκια αλλά και 32 καταρράκτες με εξαίρεση τα αμμώδη οροπέδια στα νοτιοδυτικά που θα δούμε παρακάτω. Η λεκάνη του Κονγκό παρουσιάζει σαφείς διακρίσεις μεταξύ των διάφορων γεωμορφολογικών βυθίσεων και επιφανειακών παγιδεύσεων που βρίσκονται μεταξύ της Σαχάρας προς τα βόρεια, στον Ατλαντικό Ωκεανό στα νότια και τα δυτικά, και την περιοχή των λιμνών Ανατολικής Αφρικής προς τα ανατολικά. Στη λεκάνη αυτή οι παραπόταμοι έχουν ροές προς τα κάτω κατά μήκος των ομόκεντρων πλαγιών που κυμαίνονται από 275 στα 460 μέτρα σε υψόμετρο και διαμορφώνουν την κεντρική γεωμορφολογική βύθιση. Το κεντρικό τμήμα της λεκάνης του Κονγκό — συχνά ονομάζεται και *cuvette* («ρηχό μολ») είναι μια τεράστια βύθιση που περιέχει τεταρτογενείς αλλουβιακές αποθέσεις που επικάθονται σε παχιά ιζήματα ηπειρωτικής καταγωγής, αποτελούμενα κυρίως από άμμοι και ψαμμίτες. Η λεκάνη του Κονγκό είναι σπίτι για το δεύτερο μεγαλύτερο τροπικό δάσος του κόσμου. Το

Ισημερινό κλίμα που κυριαρχεί πάνω από ένα σημαντικό μέρος της λεκάνης του Κονγκό είναι συνυπάρχον με ένα αειθαλές πυκνό δάσος. Το κονγκολέζικο δάσος απλώνεται πάνω από την κεντρική βύθιση, επεκτεινόμενο συνεχώς από περίπου 4 ° N σε περίπου 5 ° N. Διακόπτεται μόνο από ξέφωτα, πολλά από τα οποία έχουν μια φυσική προέλευση. Η δασώδης περιοχή συνορεύει εκατέρωθεν με τη σαβάνα (ποώδη βλάστηση). Το δάσος και η σαβάνα συχνά αλληλοκαλύπτονται ανεπαίσθητα, αναμειγνύόμενα μαζί σε ένα μοτίβο μωσαϊκό. Πέρα από αυτό το σημείο αρχίζει η σαβάνα (<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/132447/Congo-basin>). Το μοτίβο των ποταμών στο Κονγκό είναι αυτό και του ομώνυμου ποταμού, δηλαδή σχηματίζοντας μαιάνδρους όπως δείχνει και το Σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5 Συνήθης μαιανδρική μορφή των ποταμών της ΛΔΚ

(Πηγή: http://en.wikipedia.org/wiki/Congo_River)

Το Κονγκό παρά το γεγονός πως έχει πολλά σημεία αξιοποιήσιμων υδατοπτώσεων, αυτά ακόμα δεν έχουν χαρτογραφηθεί. Κι αυτό γιατί λίγα είναι γνωστά για την υδρολογία της κονγκολέζικης λεκάνης απορροής, και ακόμα περισσότερο για την υδρομετρία των ποταμών της. Πράγματι το υδρομετεωρολογικό δίκτυο της ΛΔΚ είναι σε επιδεινούμενη κατάσταση και αποτελείται από ένα μικρό αριθμό μετρητικών σταθμών, οι περισσότεροι εγκατεστημένοι από την περίοδο της Βελγικής αποικιοκρατίας, άνισα διεσπαρμένοι σε όλη την λεκάνη όπως

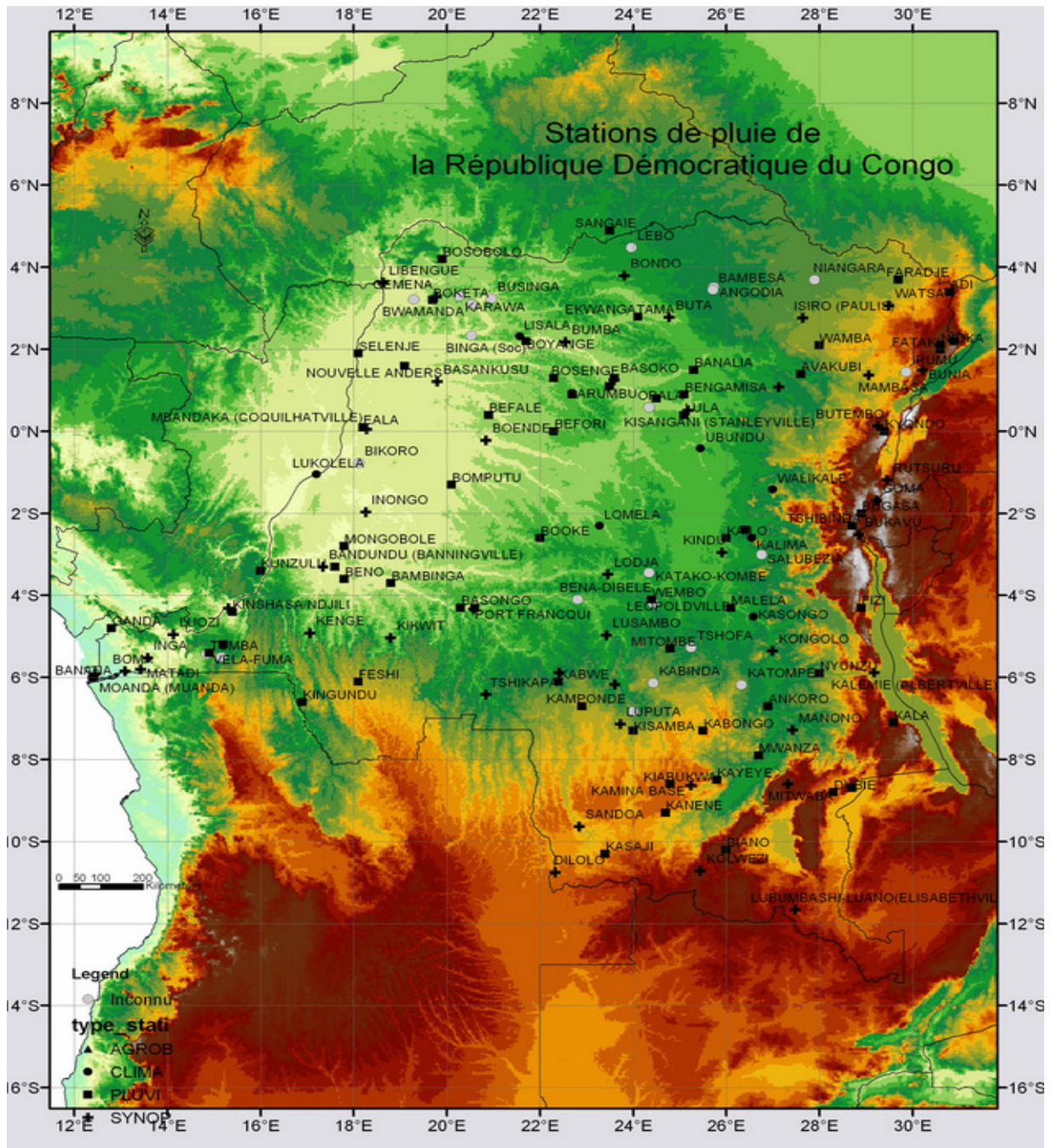
φαίνονται και στο Σχήμα 3.6. Κι αυτό είναι κάτι που στοιχίζει στην έρευνα καθώς η χρονική διάσταση της ροής των ποταμών είναι πολύ σημαντική για την ανάλυση της διαθεσιμότητας της μόνιμης ροής σε σταθερή περίοδο χρόνου ή της ροής με κυμαινόμενη παροχή. Εν προκειμένω η ετήσια κατανομή της κατακρήμνισης, η μελέτη του επιφανειακού ανάγλυφου και του μέγεθος των επιμέρους λεκανών είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες μεταξύ άλλων κλιματολογικών και γεωγραφικών παράμετρων για τον προσδιορισμό της παροχής. Στις περιπτώσεις που δεδομένα επιτόπιας έρευνας δεν υπάρχουν ή δεν είναι αξιόπιστα, τα μοντέλα τηλεανίχνευσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ποσοτικοποιήσουν τα μοντέλα βροχοπτώσεων και το καθεστώς ροής των ποταμών. Επαληθευτικά μπορούν να προστεθούν περιορισμένα δεδομένα για την περαιτέρω επικύρωση των μετρήσεων και των προβλέψεων. Χαρακτηριστικά προγράμματα για την επίτευξη αυτών των στόχων είναι το GeoSFM (Geospatial Streamflow Model), όπου γεωμορφολογικοί (ανάγλυφο, υγρασία εδάφους, φυτοκάλυψη κλπ) και κλιματολογικοί παράγοντες συνδυάζονται για την παραγωγή υδρογραφημάτων, όπως και το TRMM Satellite το οποίο μέσω δορυφόρου μπορεί να εκτιμήσει την βροχόπτωση. Η αλλαγή στις τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιείται στο μοντέλο μέχρι μια ικανοποιητική συμφωνία μεταξύ καταγεγραμμένης πραγματικότητας και της προσομοίωσης είναι αναπόσπαστο μέρος της μοντελοποίησης.

Σήμερα τα άλματα της τεχνολογίας και η τηλεπικοινωνία έχουν συνεισφέρει σημαντικά στην διευκόλυνση αλλά και στην ακριβή ανάκτηση των ζητούμενων μεταβλητών στα υδρομετρικά και υδρομετεωρολογικά μοντέλα μέσω αυτοματικών αισθητήρων που επιτρέπουν ακόμα περισσότερα δεδομένα εισόδου. Η δε μετάδοση τους και καταγραφή τους σε βάσεις δεδομένων έχει γίνει ευκολότερη με τη διαμεσολάβηση των δορυφορικών συνδέσεων που επιτρέπουν ακόμα και τη χρησιμοποίηση κινητών τηλεφώνων ή άλλων συσκευών. Όμως η πολυπλοκότητα του υδρολογικού κύκλου καθώς και η έλλειψη επαρκών γνώσεων σχετικά με τις ανθρωπογενείς επιπτώσεις πάνω στο περιβάλλον είναι δύο σημαντικοί παράγοντες για την αστοχία των μοντελοποιήσεων. Σήμερα τα προτεινόμενα μοντέλα δεν έχουν βελτιστοποιηθεί για την πλήρη κατανόηση των πολύπλοκων διαδικασιών βροχόπτωσης-επιφανειακής απορροής (rainfall-runoff) ιδιαίτερα στα τροπικά κλίματα. Η συνδυασμένη χρήση απομακρυσμένων μετρήσεων και επιτόπιων ερευνών απαιτεί προσεκτική βαθμονόμηση στο μοντέλο, ιδιαίτερα σε χώρες όπως η ΛΔΚ που η βροχόπτωση είναι υψηλή και οι ακραίες τιμές της παροχής, όπως οι πλυμμηρικές, μπορούν να αποβούν κρίσιμες.

Παραδειγματικά, η έρευνα της JRC (Bodis et al, 2011) από πλήθος ερευνητών μέσα από συστηματική παράθεση δεδομένων και εισαγωγή τους σε ανάλογα μοντέλα υδρολογικής εκτιμήσεως, δίνει χάρτες όλης της Αφρικής στους οποίους αποτυπώνεται το υδρογραφικό δίκτυο και οι παροχές όλης της ηπείρου, όπου από εκεί μπορούν να βρεθούν οι καταλληλότερες θέσεις για την εγκατάσταση υδροηλεκτρικών έργων, όπως δείχνει και το Σχήμα 3.7. Μάλιστα η ίδια εικόνα υπογραμμίζει τις θέσεις αυτές ως συγκριτικά οικονομικότερες και πιο αποδοτικές από τη χρησιμοποίηση άλλων εναλλακτικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Είναι φανερό πως μεγάλο μέρος της επικράτειας του Κονγκό παρουσιάζει μεγάλες δυνατότητες για την εγκατάσταση μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών.

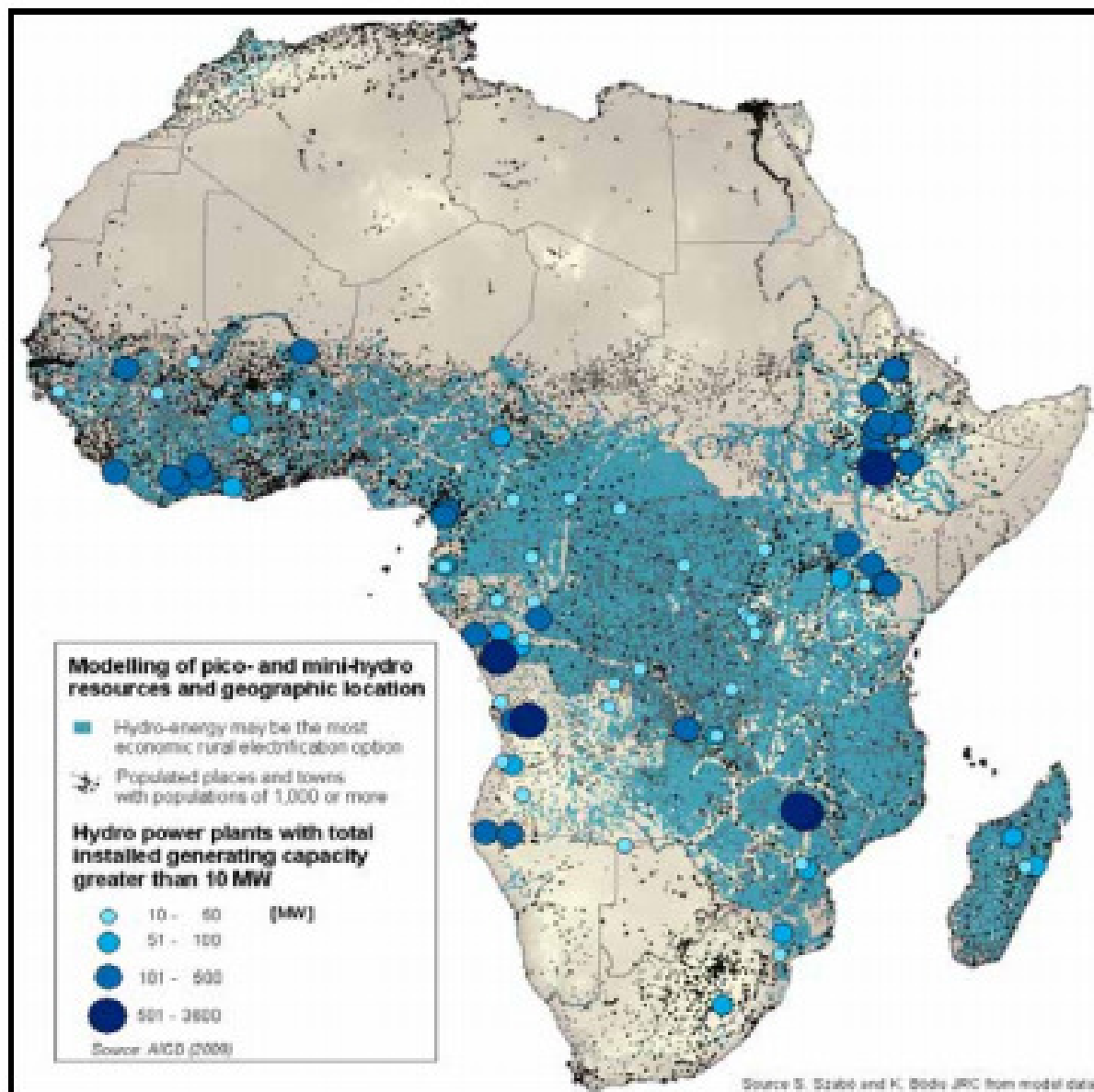
Διαιρώντας τη λεκάνη του ποταμού Κονγκό σε μικρότερες, μπορούμε να διακρίνουμε τη λεκάνη του ποταμού Kwango στα νοτιοανατολικά της ΛΔΚ, που μας ενδιαφέρει στη συνέχεια – η λεκάνη του φαίνεται στο Σχήμα 3.8. Ο ποταμός Kwango εκτός ότι σχηματίζει ένα πυκνό υδρογραφικό δίκτυο με πολλαπλά οφέλη για τους κατοίκους του, δίνει το όνομα του στην ομώνυμη συνοικία, όπου μαζί με τον ποταμό Kwilu και την εκεί ομώνυμη συνοικία, σχηματίζουν την ευρύτερη περιοχή Kwango - Kwilu. Η περιοχή Kwango - Kwilu είναι μια περιοχή με κατάλληλες δυνατότητες για την ανάπτυξη μιας σειράς οικονομικών δραστηριοτήτων. Αντλώντας πληροφορίες από την έκθεση του USAID (Rihani et al, 1983) μπορούμε να εξακριβώσουμε πολλά αναγνωριστικά στοιχεία για την περιοχή, που μπορούμε να υποθέσουμε πως λόγω της αργής προόδου και ανόδου του βιοτικού επιπέδου, οι ίδιες περίπου συνθήκες πρέπει να επικρατούν και σήμερα παρά το γεγονός πως έχουν παρέλθει τρεις δεκαετίες. Η περιοχή είναι γεμάτη από μεγάλα τροπικά δάση και σαβάνες διασχιζόμενη από απειράριθμα μικρά ποτάμια και ρυάκια τα οποία έχουν φορά ροής όλα από τον Νότο προς τον Βορά, όπως ο Kenge, με παράλληλες διαδρομές το ένα ως προς το άλλο. Η τοπογραφία του Kwilu είναι ιδιαίτερα ποικιλόμορφη, από δάση σε σαβάνες, και από αρκετά λοφώδεις περιοχές σε πεδιάδες, ενώ αντίθετα η τοπογραφία του Kwango κλίνει περισσότερο προς έναν μεγάλο αριθμόν από οροπέδια σαβάνας και λιγότερο δασώδεις περιοχές. Παρά τον φυσικό πλούτο σε υδατορεύματα, οι κάτοικοι αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα ανεύρεσης πόσιμου νερού καθώς τα επιφανειακά ύδατα συγκεντρώνουν μεγάλες ποσότητες οργανικής ύλης, που αλλάζουν το χρώμα του νερού σε κίτρινο, καφέ και μαύρο. Από την άλλη μεριά γεωολογικοί και γεωμορφολογικοί παράγοντες επηρεάζουν την ζωή των κατοίκων. Το υγρό τροπικό κλίμα ωθεί τους κατοίκους προς εγκατάσταση στις λοφώδεις περιοχές και η κύρια πηγή απόληψης πόσιμου

νερού είναι πηγές ανάβλυσης υπόγειων υδάτων. Το κλίμα χαρακτηρίζεται από μια μακρά περίοδο βροχόπτωσης, όπου το ύψος βροχόπτωσης ανάλογα με την περιοχή, κυμαίνεται από τα 1300 mm μέχρι τα 2000 mm (Al – Azwai, 2001). Η περιοχή του Kwilu υπερέχει σε φυσικό πλούτο όπως δένδρα, ινώδη φυτά, και καλό χώμα έναντι της περιοχής του Kwango. Η οικονομική βάση και των δυο περιοχών είναι κυρίως αγροτική. Συγκεκριμένα το 86% των κατοίκων είναι μικροακτήμονες και εργάτες γης. Τα κύρια αγροτικά προϊόντα είναι μανιόκα, καλαμπόκι, ρύζι, αραχίδες, κολοκύθι κλπ και κύριες τοπικές δραστηριότητες αποτελούν η παραγωγή σαπουνιού, φοινικέλαιου, η ξυλουργία, η βυρσοδεψία, η καλαθοποιία (χειροτεχνία) και η παραγωγή γαιοτσιμεντομίγματος.



Σχήμα 3.6 Υδρομετεωρολογικό δίκτυο της ΛΔΚ

(Πηγή: <http://www.hydrosiences.fr/sierem/produits/images/PluieRepDemCongo.jpg>)



Σχήμα 3.7 Υδρογραφικό δίκτυο υποσαχάριας Αφρικής και θέσεις καταλληλότητας εγκατάστασης υδροηλεκτρικών έργων Πηγή (Bodis et al, 2011)

Η ασθενής υποδομή της περιοχής επιδεινώνει την οικονομική καθυστέρηση της περιοχής καθώς οι περισσότεροι δρόμοι είναι σε άσχημη κατάσταση και η μεταφορά μεταξύ παραγωγού και αγοράς είναι πολύ δύσκολη. Η ηλεκτροδότηση στην περιοχή είναι ιδιαίτερα μικρή, καθώς εκτός από κάποιες ώρες παροχής ηλεκτρικού ρεύματος στην μεγαλύτερη πόλη το Kikwit. Από τον κανόνα εξαιρούνται μεγάλα πρότζεκτ, ιεραποστολές και καταστήματα μεγαλέμπορων,

συνήθως με δικές τους γεννήτριες. Η συνηθέστερη και αποκλειστική πηγή παραγωγής ενέργειας για τον τοπικό πληθυσμό είναι η καύση ξυλείας.



Σχήμα 3.8 Λεκάνη του ποταμού Kwango (Πηγή: <http://www.riversnetwork.org/rbo/index.php/component/k2/item/1719-kwango-river-basin-map>)

Η συγκεκριμένη αναφορά (Rihani et al, 1983) δείχνει πως η πρόσβαση του τοπικού πληθυσμού στην βασική εκπαίδευση θα μπορούσε να θεωρηθεί ικανοποιητική: γύρω στο 68% του πληθυσμού έχει παρακολουθήσει τουλάχιστον τις τρεις πρώτες τάξεις του δημοτικού. Βεβαίως η τυπική εκπαίδευση δεν εξοπλίζει με ανάλογα αγροτικά ή τεχνικά προσόντα χρήσιμα για την καθημερινή ζωή στα χωριά. Η τεχνική εκπαίδευση στην περιοχή παρουσιάζει άνθιση στις σχολές μηχανικών αλλά μια πτώση στις ειδικότητες των κτιστών και των σιδηρουργών. Τέλος η φυλετική κατανομή της εργασίας παραμένει συντριπτικά επιβαρυντική ευθύνη των γυναικών καθώς τις περισσότερες δουλειές του μέσου νοικοκυριού της κάνει η γυναίκα, ακόμα και τις γεωργικές δουλειές που στον ευρωπαϊκό χώρο ο άντρας είναι αυτός που πρωταγωνιστεί σε αυτές.

Οι δυνατότητες της περιοχής Kwango - Kwilu που αναφέρει η έκθεση είναι αρκετές. Οι πηγές ενέργειας προς δυνατή εκμετάλλευση είναι πολλές και διαφοροποιήσιμες, αλλά χωρίς κινήσεις ανανέωσης η απόδοσή τους θα περιορισθεί. Οι βασικές αστείρευτες πηγές ενέργειας της περιοχής Kwango – Kwilu είναι το νερό και το δάσος. Το ποταμιαίο δίκτυο της περιοχής είναι τεράστιο. Η διαθεσιμότητα νερού καθόλη την περιοχή και καθόλη την διάρκεια του έτους, μέσα από τα ποτάμια αλλά και από τις πηγές, ευνοεί την επέκταση της αγροτικής παραγωγής και τις ιχθυοκαλλιέργειες. Ακόμα περισσότερα η κινητική ενέργεια του νερού και η διαθεσιμότητα του μπορεί να εκμεταλλευτεί ακόμα περισσότερο μέσω της μετατροπής ενέργειας σε ηλεκτρική από υδροηλεκτρικά έργα στην περιοχή που θα ευνοήσουν τον εξηλεκτρισμό των χωριών. Εδώ φαίνεται πόσο επιτακτική είναι η μελέτη πιθανών θέσεων και η έναρξη κατασκευής τέτοιων έργων για την περιοχή. Όσον αφορά το δάσος είναι άλλη μια πηγή φυσικού πλούτου, αλλά εάν δεν ανανεωθεί, η περιοχή μακροπρόθεσμα θα χάσει μια από τις βασικές πηγές εισοδήματος. Η ανάγκη για αναδάσωση είναι πέρα για πέρα αναγκαία για την τοπική οικονομία. Οι υφιστάμενες δασικές βιομηχανίες όπως η παραγωγή φοινικέλαιου, οι μονάδες κοπής και επεξεργασίας ξυλείας, οι ξυλουργικές μικροεπιχειρήσεις, οι μονάδες επεξεργασίας ινών προϊόντων καθώς και οι μελλοντικές βιομηχανίες όπως η βιομηχανία χάρτου, εξαρτώνται εντελώς από το δάσος και την βιώσιμη ανανέωση του (Rihani et al, 1983).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Αρχές σχεδίασης ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου

4.1 Ορισμός και χαρακτηριστικά μικρών υδροηλεκτρικών έργων

Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα (ΜΥΗΕ) αποτελούν μια πολύ καλή, ποιοτική και πολλές φορές οικονομικότερη εφαρμογή για την παραγωγή της απαραίτητης μηχανικής και ηλεκτρικής ενέργειας για τις απομακρυσμένες περιοχές αλλά και σε συνεργασία με το κεντρικό δίκτυο μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Οι περισσότερες βιβλιογραφικές αναφορές κάνουν λόγο για τον ορισμό ενός ΥΗΕ ως «μικρού» σε σχέση με την καθιέρωση ενός ορίου επί της εγκατεστημένης ισχύς του. Παρόλα αυτά καλώς θεωρείται πως ο χαρακτηρισμός «μικρό» δεν αφορά μόνο ποσοτικές διαφορές σε ισχύ και σε διαστάσεις, αλλά κυρίως σε ποιοτικές διαφορές στη λειτουργία, στην επιλογή του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και στην εκμετάλλευση των έργων (Παπαντώνης, 2008). Συμβατικά, το ονομαστικό όριο ταξινόμησης των ΥΗΕ ποικίλει από χώρα σε χώρα. Για παράδειγμα αναφέρουμε τα 30 MW στις ΗΠΑ και τα 5 MW (Μπαλάρας κ.α., 2006). Ακόμα και εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης δεν υπάρχει συμφωνία Πορτογαλία, Ισπανία, Ιρλανδία, Ελλάδα και Βέλγιο δέχονται ως άνω όριο τα 10 MW, ενώ η Γαλλία τα 5 MW (ESHA, 1998). Εδώ να σημειώσουμε πως στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν και άλλες διακρίσεις: ως *micro* χαρακτηρίζεται ένα ΥΗΕ όταν η ονομαστική του ισχύς είναι μικρότερη των 100 kW, ως *mini* όταν είναι μικρότερη από 1 MW και ως *small* όταν είναι μεταξύ 1 MW και 10 MW. Και εδώ τα όρια δεν είναι απόλυτα και υπάρχουν αποκλίσεις στις διάφορες χώρες.

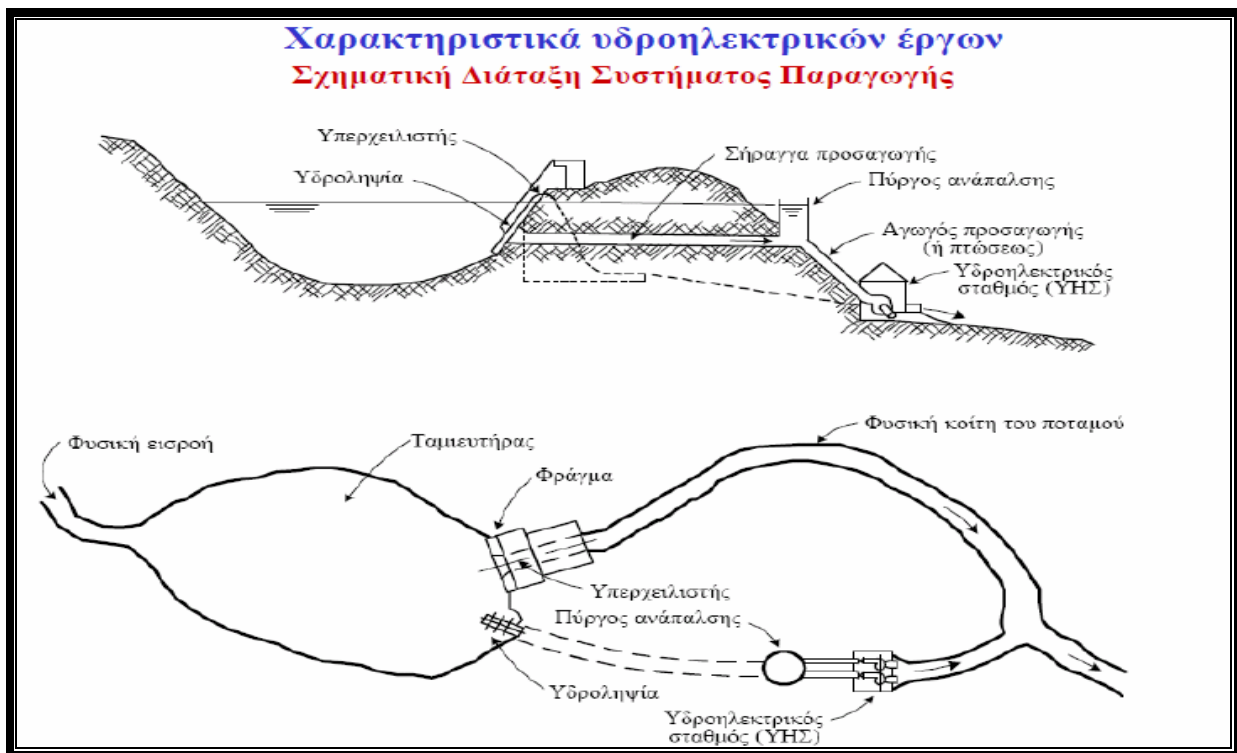
Μια άλλη παράμετρος διάκρισης των ΥΗΕ θεωρείται το ύψος της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης H , η οποία εκφράζει την ανά μονάδα μάζας υδραυλική ενέργεια του νερού και την τάξη μεγέθους της στατικής πίεσης στον αγωγό προσαγωγής και το τμήμα εισόδου του υδροστροβίλου, ενώ από αυτή κυρίως εξαρτάται η επιλογή του τύπου του υδροστροβίλου. Διακρίνονται τρεις κατηγορίες (Παπαντώνης, 2008): (α) μικρού ύψους όταν το H είναι μικρότερο των 20 m, (β) μέσου ύψους όταν $20 < H < 150$ m, (γ) μεγάλου ύψους όταν $H > 150$ m.

Δεδομένου ότι η υδραυλική ισχύς είναι γινόμενο της παροχής του νερού και της υδραυλικής πτώσης γίνεται φανερό ότι το κόστος κατασκευής ενός μικρού Υ.Η.Ε. είναι τόσο μικρότερο, και άρα η επένδυση τόσο πιο αποδοτική, όσο μεγαλύτερη είναι η υδραυλική πτώση H . Όμως κατά κανόνα οι μεγάλες υδραυλικές πτώσεις αναπτύσσονται σε ορεινές και απομακρυσμένες περιοχές οπότε ενδέχεται το κόστος των γραμμών μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας να είναι τόσο υψηλό ώστε να αντισταθμίζει το πλεονέκτημα του σχετικά χαμηλού κόστους του μικρού Υ.Η.Ε. Το αντίθετο συμβαίνει με τα μικρά ΥΗΕ μικρής υδραυλικής πτώσης. Το ύψος της επένδυσης είναι αυξημένο όμως κατά κανόνα βρίσκονται κοντά σε πεδινές και κατοικήσιμες περιοχές οπότε το κόστος των έργων σύνδεσης με το διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο είναι μικρό.

Μια άλλη παράμετρος διάκρισης των ΥΗΕ είναι ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός. Στα μικρά ΥΗΕ υπάρχει το πλεονέκτημα πως οι υδροστρόβιλοι, οι γεννήτριες και οι ρυθμιστές στροφών προσφέρονται τυποποιημένοι από μεγάλο αριθμό κατασκευαστών. Η τυποποίηση καλύπτει διάφορους και ευρέως χρησιμοποιούμενους τύπους όπως Francis, Pelton, Kaplan, βολβοειδείς, αλλά το ίδιο ισχύει και για πιο μικρής ισχύς, όπου χρησιμοποιούνται οι Cross-Flow (Banki), Turgo, διάφοροι τύποι αξονικής ροής και σωληνωτού τύπου S. Το βασικό πλεονέκτημα επιλογής τυποποιημένου υδροστρόβιλου έγκειται στο σημαντικά μικρότερο κόστος, δεδομένου ότι δεν επιβαρύνεται από το κόστος ανάπτυξης (υδραυλική χάραξη, δοκιμές σε μοντέλο κλπ) που σημαίνει και μικρότερο χρόνο παράδοσης, πολύ σημαντικό στοιχείο για τα ΜΥΗΕ, στα οποία ο χρόνος κατασκευής δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να υπερβαίνει τα 2 χρόνια, έναντι των μεγάλων ΥΗΕ που απαιτούν τουλάχιστον μια πενταετία για να ενταχθεί η μονάδα στο δίκτυο. Οι τυποποιημένοι υδροστρόβιλοι έχουν απλούστερη συντήρηση και φροντίδα για πιο εύκολες επεμβάσεις ειδικά στα έδρανα. Για την περίπτωση των ρυθμιστών στροφών η προσαρμογή είναι εύκολη και η τυποποίηση των γεννητριών προσφέρει ελευθερία στην επιλογή ανάμεσα στις ασύγχρονες και στις σύγχρονες γεννήτριες, ανάλογα με τις απαιτήσεις του δικτύου και τις οικονομικές δυνατότητες του επενδυτή.

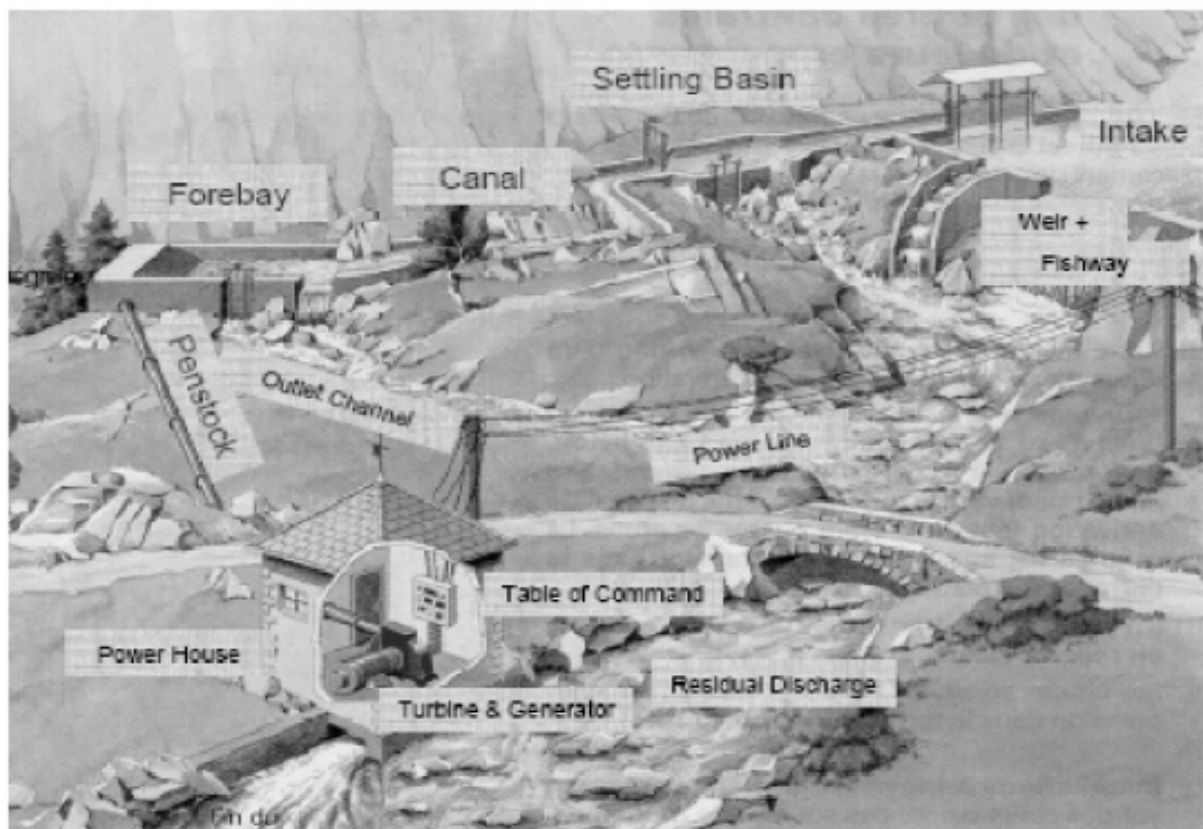
Ένα ΜΥΗΕ δεν θα πρέπει να θεωρείται ως μικρογραφία ενός μεγάλου καθώς η προσέγγιση αυτή θα οδηγήσει σε οικονομική αποτυχία την επένδυση. Το πρόγραμμα εκμετάλλευσης, ο εξοπλισμός, η διάταξη των έργων πολιτικού μηχανικού και η διαστασιολόγηση τους, ορίζουν πολύ σημαντικές διαφορές σε σχέση με τα μεγάλα ΥΗΕ. Για την ακρίβεια τα έργα πολιτικού μηχανικού σε ένα ΜΥΗΕ είναι ιδιαίτερα απλοποιημένα, πράγμα που συμβάλλει στη μείωση του γενικού κόστους αφού πολλές φορές μιλάμε για έργα που μπορεί να μην περιέχουν ούτε καν

ταμιευτήρα, ενώ μπορεί να συνδυάζονται με υπάρχουσες διευθετήσεις και υδραυλικά δίκτυα για ύδρευση, άρδευση κλπ. Τα βασικά μέρη ενός ΜΥΗΕ μπορούν να προσδιοριστούν ως τα ακόλουθα: (α) η κατάλληλη λεκάνη απορροής (όχι αναγκαία ταμιευτήρας), (β) ο υδροστρόβιλος (συνήθως ένας, αλλά όχι πάντοτε), (γ) το σύστημα απαγωγής του νερού, (δ) οι αναγκαίες ρυθμιστικές διατάξεις (υπόλοιπος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός), (ε) τα κατάλληλα έργα πολιτικού μηχανικού, (ζ) το δίκτυο σύνδεσης του σταθμού με το ηλεκτρικό δίκτυο της περιοχής. Τα ΥΗΕ χωρίζονται στα αποθηκευτικά σχήματα (storage schemes) όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1 και στα σχήματα κατά-το-ρού-του-ποταμού (run-of-river schemes) όπως φαίνεται στα Σχήματα 4.2 και 4.3. Τα δεύτερα διαφέρουν στο ότι δεν έχουν τη δυνατότητα μεταβολής της παροχής σε άλλη από εκείνη του ποταμού (Jiandong et al, 1997). Η τυπική γενική διάταξη των έργων που συνθέτουν ένα ΜΥΗΕ (τα περισσότερα είναι κατά-το-ρού-του-ποταμού) φαίνεται στο Σχήμα 4.3. Το ΜΥΗΕ είναι σαφώς προσανατολισμένο προς την μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση της διαθέσιμης υδατόπτωσης για παραγωγή της μέγιστης δυνατής ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας. Η όλη κατασκευή είναι σαφώς απλούστερη, η δε λειτουργία τους αυτοματοποιημένη σε πολύ υψηλό βαθμό, ώστε να απαιτείται συνήθως ένας συντηρητής μερικής απασχόλησης (Μπαλάρας κ.α., 2006).

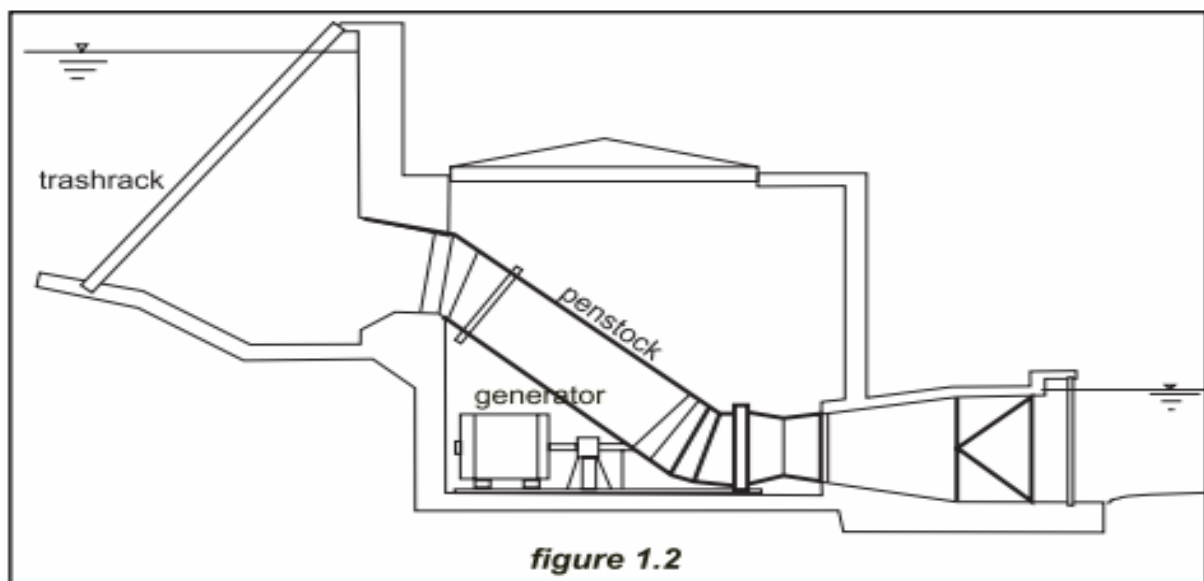


Σχήμα 4.1 Υδροηλεκτρικό με ταμιευτήρα αποθήκευσης νερού (Πηγή: Μαμάσης, 2011)

Τα αποθηκευτικά σχήματα (storage schemes) έχουν το πλεονέκτημα πως μπορούν να εκμεταλλευτούν την βροχόπτωση τις υγρές περιόδους με απελευθέρωση της στις ξηρές περιόδους. Το μειονέκτημα είναι πως είναι πιο σύνθετα και ακριβά έργα και με την πάροδο του χρόνου αυξάνονται οι καθιζήσεις, άρα έχουν μειωμένη παραγωγή ενέργειας από ότι είχε εκτιμηθεί στην αρχή. Αντίθετα τα σχήματα κατά-το-ρού-του-ποταμού (run-of-river schemes) είναι απλοϊκά, μπορούν να φτιαχτούν τοπικά και με χαμηλό κόστος, με τη συμμετοχή των τοπικών κοινωνιών να είναι προσιτή και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις να είναι ιδιαίτερα μικρές. Το μεγάλο μειονέκτημα είναι ο μηδενικός βαθμός αξιοποίησης των βροχερών περιόδων όπως παραπάνω (Harvey et al, 1993). Η λύση των σχημάτων run-of-river δίνει διαφορετικές διατάξεις ανάλογα με το ύψος της υδραυλικής πτώσης. Συγκεκριμένα για μεγάλο και μεσαίο ύψος η διάταξη είναι αυτή του Σχήματος 4.2, ενώ για χαμηλό ύψος μπορεί να επιλεγθεί η λύση του Σχήματος 4.3.



Σχήμα 4.2 Υδροηλεκτρικό έργο κατά-το-ρού-του-ποταμού μεγάλου ή μεσαίου ύψους
(Πηγή: Μέγα, 2009)



Σχήμα 4.3 Υδροηλεκτρικό έργο κατά-το-ρου-του-ποταμού μικρού ύψους (Πηγή: ESHA, 1998)

Από την άλλη μεριά, τα ΜΥΗΕ εν τω σύνολο τους εμφανίζουν κάποια μειονεκτήματα στις διαφορές του με τα μεγάλα ΥΗΕ. Εν πρώτοις, λόγω ακριβώς του μεγέθους τους, δεν έχουν την δυνατότητα ανακούφισης των αιχμών ζήτησης ισχύος του ηλεκτρικού δικτύου καθώς η κύρια παράμετρος διαστασιολόγησης είναι η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Η κατασκευή ταμιευτήρα μεγάλης χωρητικότητας εν γένει ενδιαφέρει στο ότι μέσω αυτού είναι δυνατή η καλύτερη αξιοποίηση των φυσικών εισροών, γιατί κατά τα άλλα επιβαρύνει το κόστος του έργου αρκετά. Συνήθως λοιπόν στα ΜΥΗΕ ο ταμιευτήρας, αν υπάρχει, περιορίζεται σε μια δεξαμενή που εξυπηρετεί τις ανάγκες της υδροληψίας και μόνο, κάτι που μειώνει κατά πολύ τις παρεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον. Η απουσία μεγάλου ταμιευτήρα σημαίνει επίσης πως τα εισερχόμενα νερά δεν έχουν τον χρόνο να ηρεμήσουν οπότε τα αιωρούμενα σωματίδια, κυρίως η άμμος, δεν καθιζάνει ικανοποιητικά παρά μόνο με διάταξη εξαμμωτή. Στην έξοδο του εξαμμωτή θα πρέπει να ελέγχεται η περιεκτικότητα της ροής σε αιωρούμενα σωματίδια και να διακόπτεται η λειτουργία της μονάδας μετά από κάποιο όριο έναντι μηχανικής διάβρωσης του υδροστρόβιλου και για καθαρισμό της λεκάνης από συγκεκριμένη διάωργα έκπλυσης με θυρόφραγμα (Παπαντώνης, 2008). Τέλος, όσον αφορά τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του τυποποιημένου ηλεκτρολογικού εξοπλισμού δεν είναι προσαρμοσμένα απολύτως στις ανάγκες του συγκεκριμένου έργου με αποτέλεσμα η παραγόμενη ενέργεια να υπολείπεται κατά τι από

αυτή που θα παραγόταν από υδροστρόβιλο ειδικά σχεδιασμένο για το έργο. Βεβαίως σε ορισμένες περιπτώσεις ο κατασκευαστής μπορεί να κάνει ορισμένες τροποποιήσεις (Παπαντώνης, 2008)

4.2 Τεχνικές διαδικασίες και μελέτες για το σχεδιασμό του έργου

Η οριστική αποτύπωση του σχεδιασμού κατασκευής ενός έργου είναι αποτέλεσμα μιας επίπονης, σύνθετης και επαναληπτικής διαδικασίας όπου, έχοντας πάντα κατά νου τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι διαφορετικές τεχνικές λύσεις τίθενται σε σύγκριση από οικονομική πλευρά. Αν και δεν είναι εύκολο να παρασχεθεί ένας πλήρης οδηγός για την αξιολόγηση ενός σχεδίου είναι δυνατόν να περιγραφούν τα θεμελιώδη βήματα προτού παρθεί η απόφαση από κάποιον να προχωρήσει σε μια μελέτη σκοπιμότητας ή όχι. Μία λίστα από τις μελέτες που θα έπρεπε να διενεργηθούν περιλαμβάνει: (α) τοπογραφία και γεωμορφολογία του ενδιαφερόμενης περιοχής, (β) αξιολόγηση των υδατικών πόρων και του παραγόμενου υδροδυναμικού, (γ) μέρος τοποθέτησης και βασική διάταξη, (δ) μελέτη ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, (ε) μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και αντιμετώπιση τους, (ζ) Εκτίμηση οικονομικοί κόστους και διερεύνηση χρηματοδότησης, (η) ενεργοποίηση θεσμικού πλαισίου και κινητοποίηση διοικήσεων για αδειοδότηση έργου (ESHA, 1998). Στις ίδιες αλλά περαιτέρω εμπλουτισμένες διαπιστώσεις καταλήγει και ο Jarle Ravn (Norwegian Institute of Technology, 1992). Συγκεκριμένα ο ερευνητής προβλέπει τέσσερις βασικούς κύκλους του έργου που χωρίζονται σε περισσότερες εργασίες και συνοπτικά τις αναφέρει ως εξής: Διερεύνηση (Investigation) – Σχεδιασμός (Planning) – Εγκατάσταση (Implementation) - Λειτουργία (Operation). Ο κύκλος της διερεύνησης αφορά τη γενική διαθεσιμότητα υδατικών και άλλων πόρων και ο κύκλος του σχεδιασμού αφορά τις μελέτες που περιγράφηκαν πιο πάνω κι από την ESHA.

Κατά τη διεθνή πρακτική η μελέτη ενός ΜΥΗΕ διεξάγεται σε τρεις διακριτές φάσεις: (α) την αναγνωριστική μελέτη, (β) την προκαταρκτική μελέτη και (γ) την μελέτη εφαρμογής (Παπαντώνης, 2008).

4.2.1 Αναγνωριστική Μελέτη (ή μελέτη σκοπιμότητας)

Η αναγνωριστική μελέτη μπορεί να θεωρηθεί ως μια συνοπτική προκαταρκτική μελέτη με σκοπό τη διερεύνηση της οικονομικής βιωσιμότητας της υδροηλεκτρικής αξιοποίησης μιας θέσης. Τα βήματα της αναγνωριστικής μελέτης είναι τα ακόλουθα:

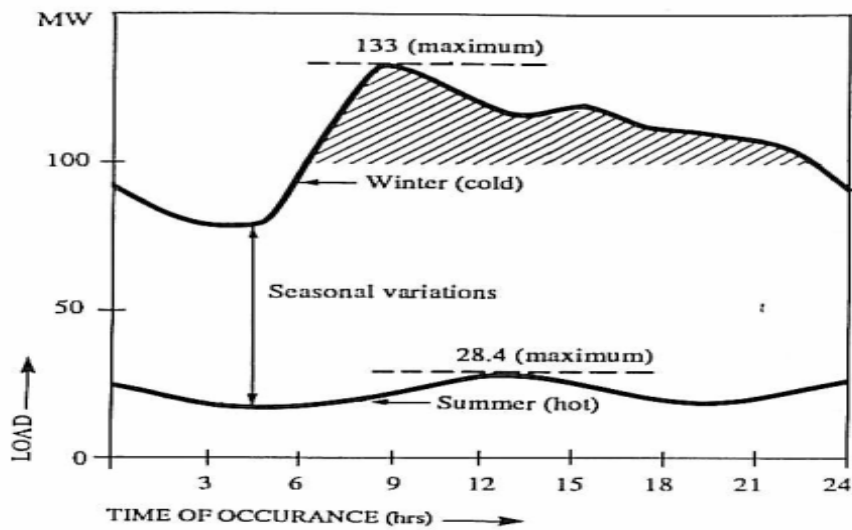
(α) αναγνώρισης της περιοχής. Η αναγνώριση της περιοχής περιλαμβάνει την αρχική διάταξη και χωροθέτηση του έργου, την καταγραφή των τοπικών συνθηκών, των δυσκολιών, της υποδομής και άλλων ανταγωνιστικών χρήσεων του νερού, τις γεωλογικές συνθήκες. Επίσης περιλαμβάνει τη χάραξη του έργου σε γεωγραφικό χάρτη ή αεροφωτογραφίες σε κλίμακα 1:50 000 και 1:5 000, από την οποία προκύπτουν τα βασικά χαρακτηριστικά του έργου, όπως η υδραυλική πτώση και το μήκος των έργων προσαγωγής. Κατά άλλους (ESHA, 1998 · Norwegian Institute of Technology, 1992) οι μικρότερες λεκάνες απορροής και οι τοποθεσίες των περισσότερων έργων θα έπρεπε να γίνονται σε χάρτες με κλίμακα 1: 10 000 με ισοϋψείς 2 m, αλλά στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες η πιο ικανοποιητική χαρτογράφηση φτάνει στα 1: 25 000. Τέλος γίνεται και η εκτίμηση της απόστασης από την πλησιέστερη γραμμή μέσης τάσης, με την οποία θα μπορούσε να συνδεθεί το δίκτυο.

(β) συλλογή υπαρχόντων υδρολογικών στοιχείων. Συλλέγονται και αξιολογούνται τα υπάρχοντα υδρολογικά στοιχεία και συγκεκριμένα χρονοσειρών παροχής. Στην περίπτωση δυσκολίας εύρεσης χρονοσειρών γίνεται προσεγγιστική εκτίμηση αυτών συνεκτιμώντας στοιχεία από την ίδια ή γειτονικές λεκάνες απορροής. Επίσης εκτιμάται η μέγιστη πλημμυρική παροχή και η ελάχιστη παροχή του υδατορεύματος. Στη φάση αυτή πολλές φορές είναι χρήσιμες και οι μαρτυρίες των κατοίκων όσον αφορά τις πλημμυρικές στάθμες (Παπαντώνης, 2008). Είναι προφανές πως ο σχεδιασμός δεν μπορεί να καθυστερήσει υπέρ μιας μεγάλης περιόδου συγκέντρωσης υδρολογικών παρατηρήσεων. Από την άλλη μεριά οι συνέπειες λάθος εκτιμήσεων μπορεί να αποβούν τραγικές. Από την άλλη το βασικό πρόβλημα έγκειται στην συλλογή αξιόπιστων χρονοσειρών και αναλύσεων. Το φαινόμενο περιπλέκεται με την ύπαρξη υπόγειου υδροφορέα καθώς η τροφοδοσία του στα επιφανειακά ρεύματα και αντίστροφα δυσκολεύει τις ασφαλείς χρονικές εκτιμήσεις (Norwegian Institute of Technology, 1992). Η εποχιακή διακύμανση της παροχής είναι αναγκαία και θα μετρηθεί στην προκαταρκτική μελέτη. Τέλος θα πρέπει να εκτιμηθούν και άλλα δεδομένα της περιοχής που αφορούν τις διαδικασίες εξατμισοδιαπνοής και διήθησης ειδικά για τα ΥΗΕ που περιλαμβάνουν φράγματα.

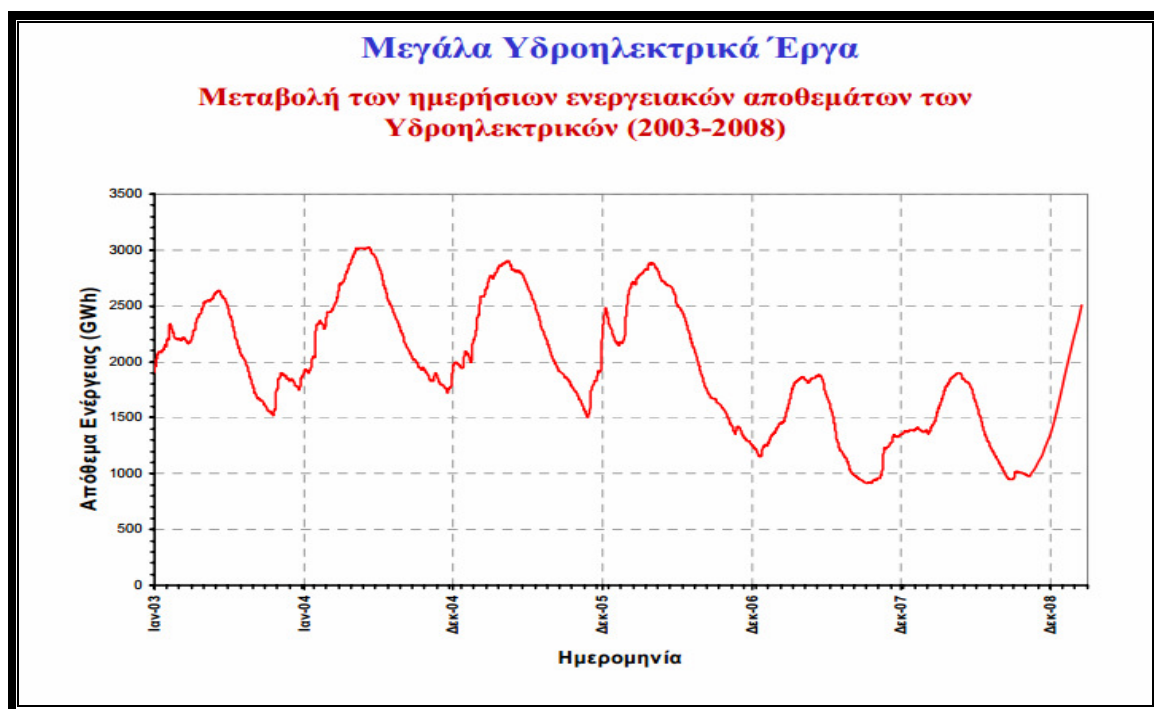
(γ) υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας. Από τα στοιχεία των δύο προηγούμενων βημάτων υπολογίζεται η ετησίως παραγόμενη ενέργεια για διάφορες τιμές της ονομαστικής

παροχής και της εγκατάστασης ενός ή περισσότερων υδροστροβίλων. Για ΜΥΗΕ που τροφοδοτούν ένα αυτόνομο δίκτυο θα πρέπει να διερευνηθούν οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια και να εξασφαλισθεί η διάθεση της καθώς επίσης να εξετασθούν άλλοι εναλλακτικοί τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η τελευταία αυτή περίπτωση εμφανίζει την δυσκολία πως θα πρέπει να βασισθεί σε ένα σενάριο αύξησης της ζήτησης σε ένα βάθος χρόνου ίσο με τη διάρκεια ζωής του ΜΥΗΕ. Η οικονομική βιωσιμότητα ενός ΜΥΗΕ που τροφοδοτεί ένα αυτόνομο δίκτυο είναι δυσμενέστερη από αυτή ενός ίδιου που τροφοδοτεί ένα ισχυρό διασυνδεδεμένο δίκτυο καθώς στα πρώτα χρόνια λειτουργίας του, λόγω μικρής ζήτησης δεν θα είναι σε θέση να διαθέσει την ηλεκτρική ενέργεια την οποία δύναται να παράγει, θα είναι δηλαδή υπερδιαστασιοποιημένο σε σχέση με την κατάσταση της έναρξης λειτουργίας του (Παπαντώνης, 2008).

(δ) μελέτης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η κατάλληλη διερεύνηση της ζήτησης περιλαμβάνει την αναζήτηση αξιόπιστων δεδομένων για την οικονομική αγορά, τις κοινωνικό-οικονομικές τάσεις και τις αναπτυξιακές δυναμικές που χρειάζονται για να προβλεφθούν οι μελλοντικές ανάγκες μιας περιοχής σε ηλεκτρισμό και να φτιαχτεί το κατάλληλο μοντέλο πρόβλεψης ηλεκτρικού φορτίου, με αναλυτική γνώση της ζήτησης, των επιδοτήσεων, των αιχμών ισχύος και τον τύπο των ηλεκτρικών αναγκών. Για την οικονομική αγορά, κρίσιμη παράμετρος είναι η γνώση όχι μόνο του μεγέθους ζήτησης αλλά και της γραφικής της συνάρτησης της ζήτησης εν τω χρόνω όπως δείχνει το Σχήμα 4.4, αλλά και της αναγκαίας αποθήκευσης εν τω χρόνω στα υδροηλεκτρικά αποθηκευτικά σχήματα όπως δείχνει το Σχήμα 4.5. Οι καταναλωτές δίνουν μεγάλη σημασία στην σταθερότητα και αξιοπιστία της παροχής ρεύματος, αλλά αυτή δεν είναι η μόνη αξία του γραφήματος. Βάση αυτού μπορεί να προσδιοριστεί η εφικτότητα εκκίνησης ενός ΜΥΗΕ για να διαπιστωθεί η εφικτότητα της κατασκευής και το ύψος της επένδυσης. Μελλοντικές προβλέψεις θα πρέπει να έχουν υπόψη τους όλο το οικονομικό προφίλ της περιοχής που προσδιορίζεται από γεωγραφική τοποθεσία, διαθεσιμότητα φυσικών πόρων, εκβιομηχάνιση περιοχής, τωρινό οικονομικό στάτους κατοίκων, νέες χρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας, και πιθανές εναλλακτικές πηγές αυτής (Norwegian Institute of Technology, 1992).



Σχήμα 4.4 Εποχιακή διακύμανση της ζήτησης (Πηγή: Norwegian Institute of Technology, 1992)



Σχήμα 4.5 Εποχιακή διακύμανση της αποθήκευσης σε αποθηκευτικά σχήματα (Πηγή: Μαμάσης, 2011)

(ε) υπολογισμός του κόστους επένδυσης. Εδώ δεν θεωρείται ακόμα σκόπιμη μια εξαντλητική μελέτη με επιμέρους λεπτομερείς που αφορούν την κοστολόγηση, αλλά μια χονδροειδής

εκτίμηση στο αν υπάρχει πιθανότητα περαιτέρω εξέταση της υπόψη θέσης, καθώς συνήθως εξετάζονται πολλές θέσεις σε ένα έργο. Ούτως ή άλλως, όλα είναι υπό αναίρεση, πριν την τελική μελέτη (Παπαντώνης, 2008).

(ζ) επαναληπτική διαδικασία. Τα βήματα (γ) και (ε) επαναλαμβάνονται για διάφορες τιμές της ονομαστικής παροχής έτσι ώστε να προκύψει η βέλτιστη τιμή της, αυτής και έτσι, της ονομαστικής ισχύος και του πλήθους των υδροστροβίλων (Παπαντώνης, 2008).

(η) προτάσεις χρηματοδότησης του έργου. Τα διεθνή χρηματοδοτικά ιδρύματα και οι παρόμοιοι οργανισμοί έχουν κάποιους κανόνες και προϋποθέσεις για τις μελέτες εφικτότητας ενός έργου. Εκεί καθορίζεται αν κρίνεται το έργο χρηματοδοτίσιμο, ικανό δηλαδή για παροχή δανείων (Norwegian Institute of Technology, 1992).

(θ) καταγραφή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι επεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον περιλαμβάνουν τόσο αρνητικές, όσο και θετικές επιπτώσεις που κάθε έργο, οσοδήποτε μικρό και αν είναι πρέπει να συμβιβαστεί πως πρέπει να αντιμετωπίσει. Στις ανεπτυγμένες χώρες μάλιστα το γράμμα του νόμου είναι ιδιαίτερα αυστηρό σε παραβάσεις και δεν αφήνει περιθώρια αγνόησης σημαντικών περιβαλλοντικών συνεπειών. Αντίθετα στις αναπτυσσόμενες χώρες η κατάσταση είναι διαφορετική αφού η ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια είναι επείγουσα και οι πιθανές τοποθεσίες για εγκατάσταση αναπτυξιακού έργου περισσότερες. Στην υποσαχάρια Αφρική που η πυκνότητα του πληθυσμού είναι μικρή, λιγότεροι κάτοικοι επηρεάζονται από το έργο (Norwegian Institute of Technology, 1992).

(ι) σύνταξη έκθεσης αναγνωριστικής φάσης. Στην έκθεση αυτή αναφέρονται αναλυτικά όλα τα ευρήματα των προηγούμενων βημάτων με ιδιαίτερη έμφαση στην τεχνικοοικονομική ανάλυση και την καταγραφή των σημείων που χρήζουν περισσότερης διερεύνησης. Η έκθεση καταλήγει στο εάν συνίσταται ή όχι να υπάρχει συνέχεια στη μελέτη. Η έκθεση συντάσσεται από ειδικευμένο μηχανικό, με τη συμμετοχή γεωλόγου και περιβαλλοντολόγου. Η διαδικασία αυτή δεν μπορεί να ξεπερνάει τις 15 με 20 μέρες στην περίπτωση ενός ΜΥΗΕ μέχρι 1 MW.

4.3 Υδρολογική ανάλυση

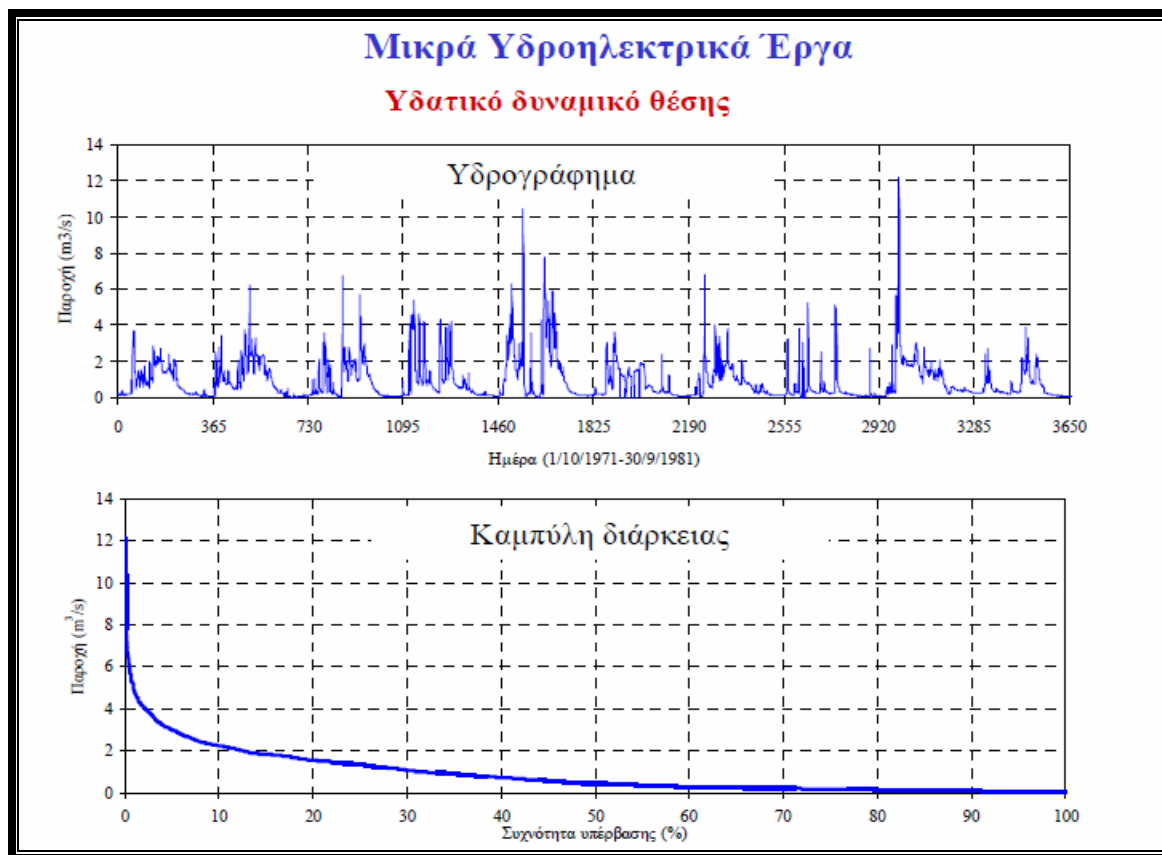
Απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη υδροδυναμικού είναι η ύπαρξη επιφανειακής απορροής νερού και κλίσεως εδάφους ώστε να σχηματίζεται η απαραίτητη υψομετρική διαφορά. Το βασικό δεδομένο που απαιτείται κατά τη μελέτη ενός ΥΗΕ, ανεξαρτήτως μεγέθους, είναι η

χρονική διακύμανση της παροχής του υδατορεύματος στην θέση όπου θα διαμορφωθεί η υδροληψία του έργου, δηλαδή οι χρονοσειρές της παροχής. Η παροχή του υδατορεύματος αποτελεί την πρωτεύουσα πληροφορία διότι καθορίζει την διαστασιολόγηση και τον τύπο του έργου. Η μελέτη των διακυμάνσεων της παροχής μέσα από παλαιότερες χρονοσειρές εξασφαλίζει τις απαιτούμενες υδρολογικές παραμέτρους, κάτι που σημαίνει πως είναι σιωπηρά δεκτό ότι τα υδρολογικά φαινόμενα παρουσιάζουν περιοδικότητα, με την έννοια ότι υπάρχει κυκλική εναλλαγή όχι στα γεγονότα καθαυτά αλλά στην πιθανότητα να πραγματοποιηθούν (Παπαντώνης, 2008). Όπως θα φανεί στη συνέχεια, η διάθεση μεγάλων χρονοσειρών της παροχής, είναι για αρκετά ποτάμια σπάνιες εξαιρέσεις στον κανόνα, ιδιαίτερα για τα μικρά υδατορεύματα, ενώ η διεξαγωγή των μετρήσεων της παροχής είναι πολύ δαπανηρή ή δύσκολη λόγω έντονης χειμαρικότητας. Εξού και η απαίτηση της γνώσης της δευτερεύουσας υδρολογικής πληροφορίας που αφορά τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχόπτωση, χιονόπτωση) και τη μελέτη της μεταξύ τους συσχέτισης. Η χωρική κλίμακα ανάλυσης για έναν ποταμό προφανώς αποτελεί η λεκάνη απορροής του, της οποίας είναι συλλεκτήριο ρεύμα της επιφανειακής απορροής. Η συσχέτιση μεταξύ κατακρημνισμάτων και επιφανειακής απορροής δεν είναι η μόνη, καθώς εντός του υδρολογικού κύκλου υπάρχουν και άλλες συνιστώσες: (α) κατακρήμνιση, (β) επιφανειακή απορροή, (γ) εξάτμιση και διαπνοή, (δ) κατακράτηση, (ε) διήθηση και υπόγεια απορροή, (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2006). Οι πλέον βασικές είναι οι πρώτες τρεις. Συνεπώς υπάρχουν δύο ειδών προσεγγίσεις που μπορεί να κάνει κανείς, χωρίς η μία να αποκλείει την χρησιμοποίηση της άλλης: η εκτίμηση μέσω ανάλυσης συχνοτήτων με παλαιότερες χρονοσειρές παροχής είτε η συσχέτιση μέσω των μεθόδων βροχόπτωσης - απορροής (Harvey et al, 1993). Και οι δύο μέθοδοι στοχεύουν στην απόδοση των βασικών υδρολογικών παραμέτρων σχεδιασμού: (α) την ετήσια απορροή, (β) την καθημερινή καμπύλη διάρκειας παροχής, (γ) την ελάχιστη παροχή, (δ) την μέγιστη πλημμυρική παροχή (Jiandong et al, 1997), χωρίς να αποκλείουν η μία τη χρήση της άλλης, αλλά να χρησιμοποιούνται προς αλληλοεπιβεβαίωση. Παρακάτω παραθέτουμε σε μάκρος τα στοιχεία της θεωρητικής επεξεργασίας δεδομένων.

4.3.1 Ανάλυση συχνοτήτων και καμπύλη διάρκειας της παροχής

Οι υδρολογικές μεταβλητές, όπως η ετήσια απορροή και η μέγιστη πλημμυρική παροχή έχουν στοιχεία τυχαιότητας και ανεξαρτησίας στην πραγματοποίησή τους, είναι στοχαστικά γεγονότα. Μια υγρή περίοδος μπορεί να διαδεχθεί απότομα από μια ξηρή περίοδος, παρόλα αυτά, και οι δύο εμφανίζουν μια πιθανότητα επανεμφάνισης μετά από κάποια χρονικά διαστήματα. Η αναστροφή του διαστήματος επανεμφάνισης λέγεται συχνότητα. Παραδοσιακά χρησιμοποιούμε την ανάλυση συχνοτήτων που μας δίνει την θεωρητική, είτε την εμπειρική καμπύλη συχνοτήτων.

Ως καμπύλη διάρκειας παροχής ενός μεγέθους, όπως για παράδειγμα της παροχής, σε μια εξεταζόμενη διατομή υδατορεύματος, ορίζεται η καμπύλη που παριστάνει την τιμή του μεγέθους συναρτήσει του χρονικού διαστήματος επί τοις εκατό (% του χρόνου) για το οποίο το συγκεκριμένο μέγεθος έχει τιμή μεγαλύτερη ή ίση από αυτή της καμπύλης. Αυτό για την παροχή, απαιτεί την ταξινόμηση των τιμών της παροχής κατά σειρά μεγέθους και στη συνέχεια να αδιαστατοποιηθεί η κλίμακα του χρόνου. Χαρακτηριστικές τιμές που ζητούνται για τον σχεδιασμό είναι οι Q_{30} , Q_{50} και Q_{80} , δηλαδή για τις οποίες το 30%, το 50% και το 80% αντίστοιχα του χρονικού διαστήματος (συνήθως μιλάμε για ένα υδρολογικό έτος), η παροχή είναι ίση ή μεγαλύτερη τους (Παπαντώνης, 2008 · Jiandong et al, 1997). Η μορφή της καμπύλης διάρκειας παροχής και η συσχέτιση του με το υδρογράφημα φαίνεται στο Σχήμα 4.6.



Σχήμα 4.6 Υδρογράφημα και καμπύλη διάρκειας της παροχής (Πηγή: Μαμάσης, 2011)

Το βασικό μειονέκτημα της καμπύλης διάρκειας παροχής είναι ότι σε αυτή δεν παριστάνεται η χρονική διαδοχή των παροχών. Το μειονέκτημα αυτό είναι δυνατόν να περιορισθεί εάν χαραχθεί χωριστά η καμπύλη διάρκειας της παροχής κάθε εποχής ή περιόδου, π.χ. θερινής και χειμερινής περιόδου. Η απώλεια πληροφορίας μεταξύ υδρογραφήματος και καμπύλης διάρκειας παροχής δεν είναι σημαντική στην περίπτωση ΜΥΗΕ χωρίς ταμιευτήρα. Από την άλλη, για τα περισσότερα μικρά υδατορεύματα, η διάθεση χρονοσειρών ημερήσιων παροχών επί περισσότερα έτη αποτελεί την εξαίρεση και κατά κανόνα δεν υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις παροχών ή στην καλύτερη περίπτωση έχουν διεξαχθεί μετρήσεις για ένα έτος. Η γνώση όμως της καμπύλης διάρκειας είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό μεγεθών όπως η ετήσια απορροή σχεδιασμού.

Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές εκτίμησης της καμπύλης διάρκειας σε μια διατομή υδατορεύματος. Εν πρώτοις εξετάζουμε εάν υπάρχουν κοντά περιοχές με λειτουργούντες μετρητικούς σταθμούς για να γίνει παρεμβολή και συσχετισμός δεδομένων

μεταξύ των δύο περιοχών. Για να θεωρηθεί επιτυχής η συσχέτιση, οι χρονοσειρές δεδομένων των καταγεγραμμένων περιοχών θα πρέπει να έχουν ιστορία τουλάχιστον δεκαπέντε ετών, ενώ ο σταθμός στην ενδιαφερόμενη περιοχή για το ΜΥΗΕ θα πρέπει να συγκεντρώσει δείγμα στοιχείων (αν δεν υπάρχουν) τουλάχιστον για πέντε έτη, όπως και οι δύο περιοχές να θεωρούνται ομοιογενείς μεταξύ τους ως προς την ομοιότητα της ροής, την προέλευση της (το πως σχηματίζεται η ροή ανάντη του σημείου υδροληψίας) και ως προς το έδαφος και τη γεωλογία των λεκανών απορροής. Η παρεμβολή μπορεί να αφορά τη συσχέτιση διαφόρων μεγεθών: (α) λεκανών απορροής, (β) μέσων ετήσιων (ή μηνιαίων) όρων στάθμης – παροχής, (γ) μέσων ετήσιων (ή μηνιαίων) όρων απορροής, (δ) μέσων ετήσιων (ή μηνιαίων) όρων βροχόπτωσης – απορροής κλπ (Jiandong et al, 1997). Η μαθηματική σχέση που εκφράζει τη συσχέτιση πρέπει να σέβεται τις ήδη παρατηρημένες τιμές του σταθμού του ΜΥΗΕ. Η πιο απλή σχέση επί παραδείγματι, συσχέτισης δυο περιοχών βάση των λεκανών απορροής ισχύει για περιοχές όπου τα χαρακτηριστικά φυσικής απορροής είναι τα ίδια, η κατακρήμνιση είναι περίπου ομοιόμορφη, αφού θα παρουσιάζουν μεγάλη συσχέτιση ως προς την ετήσια απορροή μεταξύ τους. Κατόπιν αυτής της συσχέτισης μπορεί να συντεθεί η νέα καμπύλη διάρκειας της παροχής για την ενδιαφερόμενη περιοχή. Η μαθηματική εξίσωση που περιγράφει τα παραπάνω είναι (Jiandong et al, 1997):

$$Q_{ad} = (A_d / A_i) Q_{ai} \quad (4.1)$$

όπου Q_{ad}, Q_{ai} = οι μέσες ετήσιες απορροές σχεδιασμού και γειτονικής περιοχής αντίστοιχα

A_d, A_i = το εμβαδόν των λεκανών απορροής σχεδιασμού και γειτονικής περιοχής αντίστοιχα

Μια εναλλακτική μέθοδος προσδιορισμού της καμπύλης διάρκειας της παροχής (ΚΔΠ) είναι η χρησιμοποίηση τυποποιημένων ΚΔΠ με παράμετρο το λόγο BSI (Baseflow Index) της βασικής απορροής προς τη συνολική επιφανειακή απορροή της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής. Η τιμή της BFI προκύπτει από το υδρογράφημα, εκφράζει την διηθητική ικανότητα του εδάφους και ορίζεται ως ο λόγος της βασικής απορροής προς τη συνολική επιφανειακή απορροή. Όσο μεγαλύτερη η τιμή του BFI, τόσο μεγαλύτερη η συνεισφορά της βασικής ροής και κατά συνέπεια τόσος περισσότερο επίπεδη προκύπτει η ΚΔΠ.

Μια τρίτη εναλλακτική μέθοδος ο υπολογισμός του μέσου ετήσιου όγκου νερού R που διέρχεται από την εξεταζόμενη διατομή. Ο όγκος αυτός προκύπτει από την σχέση

$$R = A \cdot h_a \cdot \psi \quad (4.2)$$

όπου A η επιφάνεια της λεκάνης, h_a το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και ψ η εκτιμώμενη τιμή του συντελεστού απορροής. Η ετήσια μέση παροχή Q_a που αντιστοιχεί θα είναι ίση προς τον ετήσιο όγκο του διερχόμενου νερού προς τη διάρκεια της αντίστοιχης περιόδου (ενός έτους). Στη συνέχεια η ΚΔΠ προκύπτει πολλαπλασιάζοντας κάθε τιμή της καμπύλης διάρκειας του αδιαστοτοποιημένου μέσου μηνιαίου ύψους βροχόπτωσης ως προς το μέσο ετήσιο h_o , για κάθε τιμή του χρόνου, επί τη μέση ετήσια παροχή Q_a (Παπαντώνης, 2008).

Με ανάλογους τρόπους μπορεί να συσχετισθεί η ΚΠΔ άλλων γειτονικών περιοχών που έχουν πλήρη και συνεχή πληροφόρηση για την ημερήσια διακύμανση της παροχής, ώστε εάν για την ενδιαφερόμενη διατομή υδατορεύματος έχουμε στοιχεία που αφορούν την μηνιαία διακύμανση του ίδιου μεγέθους, μπορούμε μέσω συσχέτισης να εμπλουτίσουμε τις πληροφορίες μας. Η γνώση της ημερήσιας διακύμανσης της παροχής είναι ιδιαίτερα χρήσιμοεργαλείο στα ΜΥΗΕ που δεν έχουν ταμιευτήρα (run-of-river schemes)

4.3.2 Πλημμυρική παροχή

Εκτός από τα παραπάνω πρέπει να προσδιοριστεί η πλημμυρική παροχή για το σχεδιασμό του υπερχειλιστή. Τα κριτήρια σχεδιασμού για ένα ΜΥΗΕ καθορίζονται από την πλημμυρική παροχή σχεδιασμού (με περίοδο επαναφοράς 30 - 50 χρόνια για τα ΜΥΗΕ), ο πλημμυρικός όγκος και το πλημμυρογράφημα. Εδώ εκτός από τη μέθοδο της ΚΔΠ, υπάρχουν άλλες έμμεσες μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για την εκτίμηση της πλημμυρικής παροχής, όπως στοχαστικοί μέθοδοι αξιολόγηση μετρήσεων, εμπειρικοί τύποι, μοναδιαία υδρογραφήματα και η ορθολογική μέθοδος. Η τελευταία δίνεται από τον τύπο (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2006):

$$Q_p = 0.278\psi IA_d \quad (4.3)$$

όπου Q_p είναι η αιχμή της απορροής (m^3/sec), ψ μια αδιάστατη παράμετρος γνωστή ως συντελεστής απορροής, I η ένταση της βροχής (mm/hr) και A_d η επιφάνεια της υδρολογικής λεκάνης (km^2). Προκειμένου η σχέση (4.7) να εκφράζει τη ζητούμενη πλημμυρική παροχή θα πρέπει η ένταση I να είναι η μέγιστη ένταση της βροχόπτωσης για τη λεκάνη, της οποίας η διάρκεια είναι ίση με το χρόνο συγκέντρωσης t_c της λεκάνης απορροής, έτσι ώστε να συνεισφέρουν στην επιφανειακή απορροή και τα στοιχεία νερού που προέρχονται από το πλέον

απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης. Ο χρόνος συγκέντρωσης θα εξαρτάται προφανώς από το μήκος L του κυρίου υδατορεύματος μέχρι τον υδροκρίτη, τη μέση κλίση της λεκάνης απορροής, την μορφή και σύνθεση της επιφάνειας της λεκάνης απορροής κλπ. Λόγω αδυναμίας διατύπωσης μιας ακριβούς σχέσεως για την έκφραση του t_c συναρτήσεως των χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής χρησιμοποιούνται διάφορες εμπειρικές σχέσεις, όπως η σχέση του Kirpich και η σχέση του Giandotti. Παρακάτω δίνουμε τους τύπους με τη σειρά αντιστοίχησης:

$$t_c = (36.06 \cdot 10^{-6} \frac{L^3}{h})^{0.385} \quad (4.4)$$

$$t_c = \frac{4\sqrt{A_d} + 1.5L}{0.8\sqrt{z_m - z_o}} \quad (4.5)$$

όπου στη σχέση (4.4) του Kirpich ο χρόνος συγκέντρωσης t_c σε min υπολογίζεται βάση του μήκους L (σε m) του κυρίου υδατορεύματος μέχρι τον υδροκρίτη και με h (σε m) η αντίστοιχη υψομετρική διαφορά (από την αρχή του υδατορεύματος στον υδροκρίτη μέχρι την εξεταζόμενη διατομή εξόδου). Παρομοίως, στη σχέση (4.5) του Giandotti ο χρόνος συγκέντρωσης t_c σε ώρες υπολογίζεται από το εμβαδόν της λεκάνης A_d (σε km^2), το μήκος L (σε m) πάλι του κυρίου υδατορεύματος μέχρι τον υδροκρίτη, με z_m (σε m) η μέση στάθμη της λεκάνης απορροής και με z_o (σε m) η στάθμη στη διατομή εξόδου της λεκάνης απορροής. Τέλος στην στοχαστική αξιολόγηση με δεδομένα τις καταγεγραμμένες ή συνθετικές χρονοσειρές εξετάζεται η πιθανότητα υπέρβασης από την παροχή της τιμής της πλημμυρικής παροχής μέσα σε ένα χρονικό διάστημα T ετών. Κατά συνέπεια με $P(X \leq x)_n$ παριστάνεται η πιθανότητα με την οποία το x (έστω η παροχή) δεν γίνεται ίση ή δεν παρεμβάλλεται σε διάστημα n περιόδων. Λαμβάνοντας υπόψη τον ορισμό της περιόδου επαναφοράς T , ότι δηλαδή:

$$T = \frac{1}{P(X \geq x)} \quad (4.6)$$

προκύπτει:

$$P(X \geq x)_n = 1 - (1 - \frac{1}{T})^n \quad (4.7)$$

και αναλόγως προχωράμε στην επιλογή της πλημμυρικής παροχής. Τονίζεται εδώ πως το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι συνυφασμένο με μια πιθανότητα αστοχίας δεδομένου ότι οι πλημμύρες έχουν ένα χαρακτήρα τυχαίο και μη κυκλικό.

4.3.3 Μέτρηση παροχής

Μία από τις πλέον βασικές παραμέτρους για την απόφαση κατασκευής ενός ΜΥΗΕ σε μια υποψήφια θέση είναι η εκτίμηση της παροχής νερού της υπό εξέταση υδατόπτωσης. Προς συμπλήρωση των μεθόδων που αποδίδουν την ΚΔΠ, είτε προς έναρξη μετρήσεων που δεν είχαν γίνει στο παρελθόν, πρέπει πάντα να γίνονται επιτόπιες μετρήσεις στο πραγματικό ρεύμα. Στην περίπτωση απουσίας μετρήσεων, πρέπει να γίνουν μετρήσεις τουλάχιστον για 5 έτη για να βγουν συμπεράσματα για την υδραυλικότητα της περιοχής. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της παροχής είναι οι μέθοδοι ταχύτητας – διατομής, η μέθοδος του διαλύματος, η σταθμημετρία και οι διατάξεις μέτρησης ροής.

4.4 Υδραυλική ανάλυση

Εξετάζοντας το πρόβλημα ως προς τις υδραυλικές του παραμέτρους πρέπει να δώσουμε τον ορισμό του ύψους πτώσης (ή πίεσης νερού). Ένας υδροστρόβιλος μετατρέπει την ενέργεια του υγρού (φυσικό νερό στη μεγάλη πλειοψηφία των περιπτώσεων) σε μηχανική ενέργεια, δηλαδή σε κινητήρα ροπή στην στρεφόμενη άτρακτο του δρομέα. Σε ένα ΥΗΕ η ενέργεια του νερού ανά μονάδα μάζας του είναι η δυναμική ενέργεια, ίση προς την υδραυλική πτώση:

$$H_{gross} = z_E - z_A \quad (4.8)$$

όπου H_{gross} το μεικτό ύψος πτώσης, z_E η στάθμη του στον άνω ταμιευτήρα που σχηματίζεται από τον υδατοφράκτη (ή το φράγμα) και z_A η στάθμη του νερού κατάντη του έργου, που πλέον η παροχή οδηγείται στη φυσική της ροή, έχοντας ουσιαστικά μηδενική κινητική ενέργεια. Εάν το έργο περιλαμβάνει διώρυγα και δεξαμενή φόρτισης, ως z_E θεωρείται η στάθμη της δεξαμενής φόρτισης. Εδώ διακρίνουμε το μικτό ύψος πτώσης και το καθαρό ύψος πτώσης. Το μικτό ύψος πτώσης καθορίζεται μόνο από την κατακόρυφη απόσταση που διανύει το νερό όταν πέφτει μέχρι να φτάσει στην λεκάνη ηρεμίας όπου η κινητική του ενέργεια μηδενίζεται. Το καθαρό ύψος πτώσης όμως είναι αυτό που απομένει μετά την αφαίρεση των υδραυλικών απωλειών στο σύστημα προσαγωγής του νερού. Αυτές ευθύνονται για την ελαχιστοποίηση της

μηχανικής ισχύς που ανακτάται από τον υδροστρόβιλο έναντι της δυνητικής που προσφέρει το μεικτό ύψος πτώσης. Συνεπώς το καθαρό ύψος πτώσης δίνεται από τον τύπο:

$$H_{net} = H_{gross} - H_{loss} \quad (4.9)$$

Αντίστοιχα ο γενικός τύπος των υδραυλικών απωλειών είναι ο ακόλουθος:

$$H_{loss} = H_L + H_\zeta \quad (4.10)$$

όπου ο όρος $H_L = \Sigma H_{Li}$, εκφράζει τις γραμμικές απώλειες, δηλαδή το άθροισμα των υδραυλικών απωλειών των επιμέρους ευθύγραμμων τμημάτων των αγωγών προσαγωγής και απαγωγής νερού, ενώ ο όρος $H_\zeta = \Sigma H_{\zeta i}$, οι τοπικές απώλειες, δηλαδή το άθροισμα των εντοπισμένων υδραυλικών απωλειών πλέον των απωλειών αναρρόφησης και εξόδου.

Πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή του υπολογισμού των υδραυλικών απωλειών τονίζουμε τον παρακάτω συλλογισμό (Μπαλάρας κ.α., 2006). Επειδή οι απώλειες αυτές είναι ανάλογες του τετραγώνου της μέσης ταχύτητας του ρευστού, η χρήση συνεπώς μεγάλης διαμέτρου αγωγών συνεπάγεται μικρές ταχύτητες και άρα μικρές υδραυλικές απώλειες. Το γεγονός αυτό όμως προκαλεί αυξημένο κόστος σωληνώσεων και οικονομική επιβάρυνση του έργου και έτσι καθίσταται λοιπόν σαφές ότι ο προσδιορισμός των απωλειών αποτελεί ένα συμβιβασμό ανάμεσα στο μέγεθος τους και στο συνολικό κόστος. Η εκτίμηση της κατάλληλης διαμέτρου γίνεται με επαναληπτική διαδικασία ώστε να προσδιοριστεί η μέση ταχύτητα εντός των αγωγών και να ελαχιστοποιηθούν τελικά, οι απώλειες ενέργειας. Ακολουθεί ανάλυση για τα είδη των απωλειών:

(α) γραμμικές υδραυλικές απώλειες. Είναι γνωστό πως σε έναν ευθύγραμμο αγωγό μήκους L και διαμέτρου D κατά τη ροή ενός ρευστού με παροχή Q , προκύπτουν γραμμικές υδραυλικές απώλειες που δίνονται από τον τύπο των Darcy – Weisbach (Δημητρίου, 2005):

$$H_{loss} = f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (4.11)$$

όπου V είναι η μέση ταχύτητα της ροής και δίνεται από τη σχέση:

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad (4.12)$$

g η επιτάχυνση της βαρύτητας ($= 9.81 \text{ m}^3/\text{s}$) και f ο συντελεστής γραμμικών απωλειών, ο οποίος είναι συνάρτηση των συνθηκών ροής και του είδους του αγωγού. Η διαδικασία υπολογισμού του συντελεστή f δεν είναι μια μονοσήμαντη διαδικασία. Υπάρχουν διάφορες εμπειρικές μέθοδοι για τον προσδιορισμό του. Οι συνηθέστερες είναι:

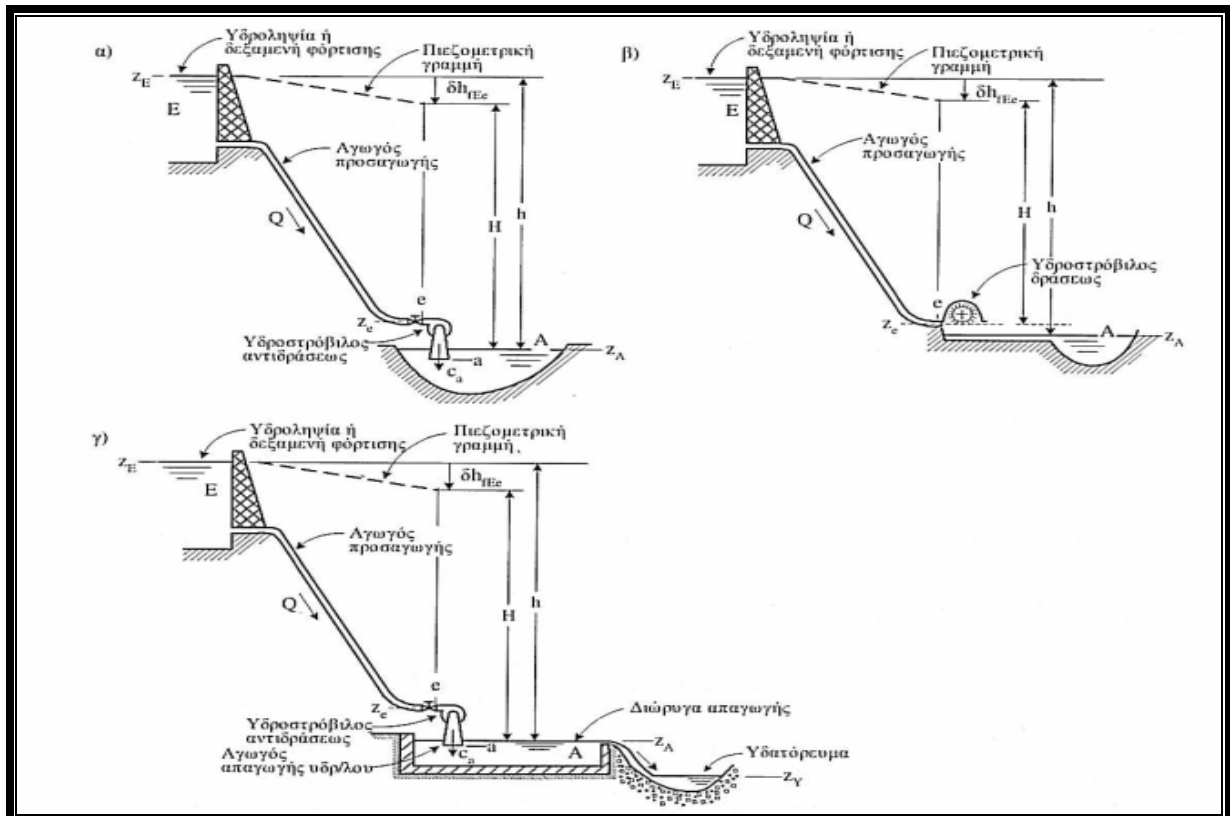
(i) διάγραμμα Moody. Η τιμή του f προκύπτει από το διάγραμμα αυτό ως συνάρτηση της σχετικής τραχύτητας $\varepsilon_s = \varepsilon/D$, που ορίζεται ως ο λόγος της τραχύτητας ε του αγωγού προς τη διάμετρο D , και του αριθμού Reynolds, $Re = V \cdot D/\nu$, όπου ν είναι η κινηματική συνεκτικότητα του νερού.

(ii) η σχέση Colebrook – White. Έχει τη μορφή:

$$1/f^{1/2} = 1.74 - 2 \cdot \log_{10}\{(2 \cdot \varepsilon_s) + 18.6/(Re \cdot f^{1/2})\} \quad (4.13)$$

η σχέση αυτή παρέχει πολύ ικανοποιητική ακρίβεια και αποτελεί την πιο εύχρηστη μέθοδο.

Χαρακτηριστικά σημεία τοπικών απωλειών είναι οι βάνες, οι θυρίδες, τα καμπύλα τμήματα σωληνώσεων, οι αλλαγές στη διάμετρο στη σωλήνωση κλπ. Επιπλέον, τοπικές απώλειες υφίσταται και ο ίδιος ο στρόβιλος κατά την διέλευση του νερού εντός του. Ένας από τους λόγους για την ύπαρξη αυτών των απωλειών είναι η αποφυγή της σπηλαίωσης, φαινόμενο το οποίο πρέπει να αποφεύγεται με την εξασφάλιση μιας ελάχιστης πίεσης του νερού στην έξοδο του στροβίλου, μεγαλύτερης από την τάση ατμών του νερού για στροβίλους αντίδρασης. Μια άλλη πηγή μη αξιοποιήσιμης ενέργειας που διαφεύγει της ενεργειακής μετατροπής του στροβίλου είναι η κινητική ενέργεια που αναπτύσσεται στη διατομή εξόδου του όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.7, που δείχνει τη συνολική ροή ενέργειας (Παπαντώνης, 2002). Εδώ είναι που έρχεται ο ρόλος του αγωγού απαγωγής του υδροστροβίλου που διαμορφώνεται ως διαχυτής στον οποίο η ροή επιβραδύνεται από την έξοδο του δρομέα με παράλληλη ανάκτηση της κινητικής ενέργειας.



Σχήμα 4.7 Αξιοποίηση της υδραυλικής πτώσης σε εγκατάσταση υδροστροβίλου α) αντιδράσεως, β) δράσεως, γ) αντιδράσεως και διώρυγα απαγωγής (Πηγή: Παπαντωνης, 2008)

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν ο υδροστροβίλος καλείται να μετατρέψει τη διαθέσιμη υδραυλική πτώση H σε μηχανική ενέργεια. Η παραγόμενη μηχανική ισχύς εξαρτάται από δύο βασικούς παράγοντες, την υδραυλική πτώση και την παροχή, αλλά και από τον τύπο του υδροστροβίλου. Αυτό που ενδιαφέρει στον υδροστροβίλο, είναι η λειτουργία του υπό σταθερή ταχύτητα περιστροφής, η οποία αντιστοιχεί σε μια τιμή A του ανοίγματος του ρυθμιστικού οργάνου (τα ρυθμιστικά πτερύγια), και ο ολικός βαθμός απόδοσης η . Οι υδροστροβίλοι έχουν την ικανότητα να λειτουργούν αποτελεσματικά μόνο σε μια ορισμένη περιοχή παροχών, γύρω από την ονομαστική τιμή λειτουργίας τους. Κανείς από τους υδροστροβίλους δεν μπορεί να λειτουργήσει με εύρος παροχής από μηδενική έως την ονομαστική παροχή. Το συνηθέστερο εύρος παροχής εκτείνεται από το 40% μέχρι το 100% της ονομαστικής παροχής. Μικρότερη παροχή φέρνει τον υδροστροβίλο σε κίνδυνο να παραμείνει εκτός λειτουργίας, με αποτέλεσμα τη μη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Μεγαλύτερη πάλι παροχή, σημαίνει πως μόνο ένα μέρος της θα αξιοποιηθεί (αυτό της ονομαστικής λειτουργίας του στροβίλου) και το υπόλοιπο θα

διαφύγει αναξιοποίητο. Συνεπώς τα παραπάνω αποτελούν σημαντικές συνιστώσες του προσδιορισμού της παραγόμενης ισχύος και του σημείου λειτουργίας του ΥΗΣ, δηλαδή της εκμετάλλευσης του διαθέσιμου υδροδυναμικού. Φυσικά μεγέθη όπως το ύψος πτώσης ή ο βαθμός απόδοσης γύρω από μια παροχή δεν είναι σταθερά και ειδικά για ΜΥΗΕ, το ποσοστό μεταβολής είναι σημαντικά μεγαλύτερο από ότι για τα μεγάλα ΥΗΕ. Ο υπολογισμός και η εκτίμηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να γίνει με βάση την ΚΔΠ. Στην καμπύλη αυτή είναι δυνατός ο υπολογισμός της ετήσιας παραγόμενης ποσότητας νερού που θα περάσει από το στρόβιλο με εμβαδομέτρηση στο διάγραμμα της αντίστοιχης επιφάνειας, η οποία περιλαμβάνεται μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης παροχής που είναι επιτρεπτό να δεχτεί ο υδροστρόβιλος κατά τη λειτουργία του. Η ετήσια παραγόμενη ενέργεια διακρίνεται σε πρωτεύουσα και δευτερεύουσα. Ως πρωτεύουσα χαρακτηρίζεται η ενέργεια που παράγεται ετησίως από τον ΥΗΣ ανεξάρτητα από τις συνθήκες υδραυλικότητας του έτους. Ως δευτερεύουσα ορίζεται η ενέργεια που καθορίζεται από αυτές τις συνθήκες. Τέλος πρέπει να προσθέσουμε πως ένα μέγεθος σημαντικό που πρέπει να προσμετράται από την αρχή είναι η παροχή συντήρησης ή οικολογική παροχή, δηλαδή η ελάχιστη παροχή που πρέπει να υπάρχει στην κοίτη του ποταμού κατάντη του έργου ώστε να εξασφαλίζονται οι υπόλοιπες ανταγωνιστικές χρήσεις του νερού αλλά και οι συνθήκες επιβίωσης της ιχθυοπανίδας και της χλωρίδας. Η παροχή αυτή δεν προσμετράται στους υπολογισμούς για τη μάζα νερού προς αξιοποίηση για ηλεκτρική ενέργεια.

4.5 Τοπογραφική και γεωτεχνική ανάλυση

Οι πιθανές θέσεις κατασκευής ενός έργου υδροληψίας και του ΥΗΣ είναι θεωρητικά άπειρες, εάν δεν συντρέχουν λόγοι απαγορευτικοί, όπως οικολογικοί, κατασκευαστικοί κλπ. Σκοπός είναι να επιλεγεί η θέση η οποία συγκεντρώνει τα βασικά πλεονεκτήματα, όπως μεγάλη επιφανειακή απορροή και υψηλή τιμή της υδραυλικής πτώσης H_{net} ώστε να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή ενέργειας. Ο γενικός τύπος υπολογισμού της εκμεταλλευόμενης υδραυλικής ισχύος ισχύς είναι:

$$N_i = \gamma \cdot Q \cdot H_{net} \quad (4.14)$$

όπου γ (Nt/m^3) η πυκνότητα του νερού. Τα στοιχεία αρχικώς συγκεντρώνονται από χάρτες και

από αεροφωτογραφίες για την αρχική εκτίμηση της περιοχής εγκατάστασης του έργου. Συνήθως οι επιλογές είναι περισσότερες της μίας και εξετάζονται συγκριτικά μεταξύ τους. Η τοπογραφική επισκόπηση μιας περιοχής θα πρέπει όμως να συνοδεύεται και με αποτελέσματα όσον αφορά τη γεωμορφολογική κατάσταση της περιοχής. Ας μην ξεχνάμε πως τα ΥΗΕ αποτελούν παρέμβαση στην φυσική στατική ισορροπία των πρανών και του εδάφους στην κοίτη του ποταμού, ιδιαίτερα λόγω των έργων επιχωμάτωσης, εκσκαφών, θεμελίωσης κλπ. Συνεπώς η επιλογή της κάθε περιοχής θα πρέπει να συνοδεύεται με γεωλογική ανάλυση, τόσο για τα μέρη τα οποία εδράζεται το έργο, τόσο για την ευρύτερη περιοχή. Γεωλογικά φαινόμενα όπως κατολισθήσεις τα οποία έχουν παρατηρηθεί στο παρελθόν σε γειτονικές περιοχές στο έργο, θα πρέπει να εξετάζονται ως προς τον λόγο γένεσής τους, ιδιαίτερα εάν αυτός είναι η αποψίλωση των εκεί πρανών και η κατάσταση του εδάφους είναι ίδια και στις δύο περιοχές. Η μελέτη μιας περιοχής για πιο μεγάλα ΥΗΕ περιλαμβάνει και άλλες μεθόδους και εργασίες βέβαια. Συνολικά μπορούμε να δούμε: (α) αεροφωτογεωλογία, (β) γεωμορφολογικοί χάρτες, (γ) ανάλυση εργαστηρίου (κοκκομετρία, ταξινόμηση, τριαξονική καταπόνηση κλπ), (δ) γεωφυσικές μελέτες (μέθοδος διάθλασης σεισμικών κυμάτων για την στρωματογραφία της περιοχής και των κύριων ασυνεχειών), (ε) κατασκευή φρεάτων με γεωτρήσεις (ESHA, 1998).

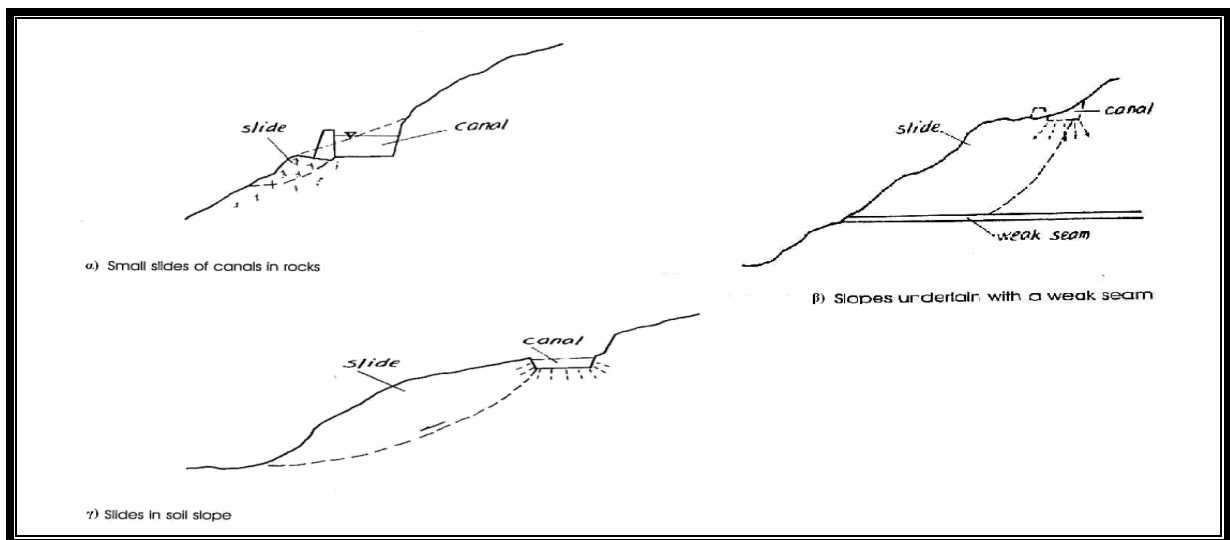
Είναι γενικώς παραδεκτό πως τα ΜΥΗΕ δεν επιφέρουν ιδιαίτερα σοβαρές εντατικές φορτίσεις στο έδαφος, ούτε στην υδρογεωλογική κατάσταση των φιλοξενούμενων πρανών, έναντι των μεγάλων ΥΗΕ. Τα γεωλογικά δεδομένα που πρέπει να εξεταστούν για ένα φράγμα ενός μεγάλου ΥΗΕ είναι: (α) έδαφη καλύψεως μητρικού πετρώματος, (β) φύση, χαρακτηριστικά, αποσάθρωση και βάθος των μητρικών πετρωμάτων, (γ) δομή και ρηγματώσεις αυτών, (δ) περατότητα κάτω και γύρω από τη θέση του φράγματος, (ε) γεωμετρία περατών σχηματισμών (Μαρίνος, 2001). Κατά τους ίδιους αναλυτές για τα ΜΥΗΕ, η ευστάθεια των πρανών είναι το κρισιμότερο ζήτημα, ειδικότερα στην περιοχή του ΥΗΣ και της δεξαμενής φόρτισης. Παρόλα αυτά τα προβλήματα θεμελίωσης μπορεί να χρίζουν επίσης προσοχής, ιδιαίτερα για τις θέσεις των ΥΗΣ και της υδροληψίας, όταν το έδαφος περιέχει στρώματα αργίλου και ιλύος και άλλα μαλακά υλικά, αφού περαιτέρω έρευνες μέσω δοκιμαστικών γεωτρήσεων συνήθως δείχνουν πως χρειάζεται ενίσχυση του εδάφους έναντι των διαφορικών καθιζήσεων και πιθανής ρευστοποίησης του εδάφους από την δόνηση των μηχανημάτων σε λειτουργία ή από σεισμικά φαινόμενα, είτε απόρριψης της τοποθεσίας εν γένει. Η τυχόν παραμονή στην τοποθεσία σε περίπτωση προβληματικών εδαφών απαιτεί λύσεις ενίσχυσης του

εδάφους όπως είναι η έγχυση ρευστού κονιάματος με πίεση (τσιμεντενέσεις) (ESHA, 1998). Στην περίπτωση βραχωδών εδαφών που επικαλύπτονται από στρώσεις αποσαθρωμένου εδάφους, θα ήταν συνετό να γίνει απομάκρυνση του πάνω στρώματος και θεμελίωση απευθείας στο πιο ανθεκτικό σώμα του βράχου.

Τα συνηθέστερα γεωτεχνικά προβλήματα των ΜΥΗΕ προκύπτουν σαν θέματα ευστάθειας πρανών. Το συχνότερο φαινόμενο αστάθειας πρανών σχετίζεται με τις κατολισθήσεις που σχετίζονται με ασυνέχειες ή ρήγματα, των πετρωμάτων που εφάπτονται στη διώρυγα τροφοδοσίας (ο οποίος πολλές φορές είναι ανοιχτό κανάλι και όχι αγωγός πίεσης). Οι περιπτώσεις αυτές σχετίζονται με την αποσάθρωση των ιδίων των πετρωμάτων, την διαρροή νερού από τα κανάλια και την υδροπερατότητα των πετρωμάτων, καθώς και την διηθητική ικανότητα του εδάφους. Τα αποτελέσματα γίνονται χειρότερα σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων, πλημμυρικών φαινομένων κλπ. Οι εικόνες του Σχήματος 4.8 μαρτυρούν τις πιθανές περιπτώσεις αστοχίας. Το δεύτερο πιο συχνό φαινόμενο είναι η διάχυτη μεταφορά κορρημάτων και άλλων εδαφικών υλικών των επιφανειακών γαιών επί των κλιτύων κάποιας χαράδρωσης ή ενός ασταθούς πρανού, που εμφανίζονται ιδιαίτερα μετά από έντονη βροχόπτωση. Εδώ πλήττονται τόσο τα ανοιχτά κανάλια όσο και τα έργα υδροληψίας (τα κορρήματα δημιουργούν αναχώματα). Οι εικόνες του Σχήματος 4.9 είναι ενδεικτικές εδώ. Το τρίτο πιο συχνό φαινόμενο σχετίζεται με την σχιστότητα των πετρωμάτων ή τις διακλάσεις και τις στρώσεις ιζηματογενών πετρωμάτων ή εδαφών και την διήθηση της βροχής μέσω των σύνθετων επιπέδων ολίσθησης. Το Σχήμα 4.10 αναδεικνύει την από πάνω περίπτωση. Τα τελευταία σε συχνότητα φαινόμενα (Jiandong et al, 1996) είναι κατολισθήσεις που αφορούν την δεξαμενή φορτίσεως ή τον αγωγό πτώσεως, αλλά εδώ η διαφορά προκύπτει ως στατιστικής φύσεως, κυρίως λόγω της σχετικά πιο περιορισμένη έκταση αυτών των έργων έναντι της διώρυγας τροφοδοσίας που έχει συχνά μεγαλύτερη διαδρομή, και της συχνά πιο απλοϊκής κατασκευής του καναλιού. Τυχόν προβλήματα σε υποψήφια θέση θεμελίωσης του ΥΗΣ είναι άξια προσοχής.

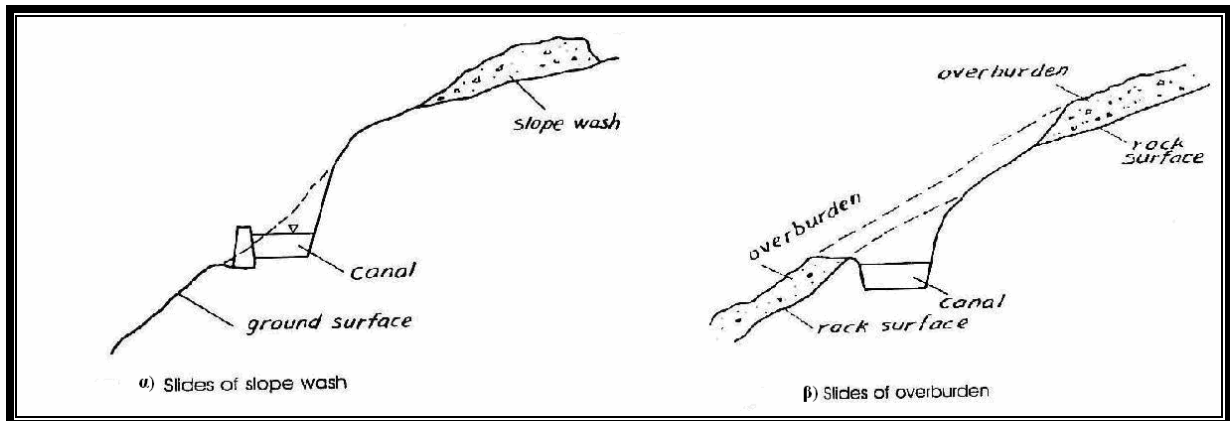
Οι κύριες μορφές κατολίστεσης έχουν τις εξής τυπικές μορφές: επίπεδες, περιστροφικές, πολυγωνικές, σφηνοειδείς, καταπτώσεις με ανατροπή, πτώσεις βράχων, ροές ξηρής άμμου και άλλα σύνθετα φαινόμενα. Η συνήθης πρακτική σε αυτές τις περιπτώσεις αφορά την έγκαιρη αναγνώριση της γεωμορφολογικής επάρκειας της περιοχής σε ότι αφορά τις απαιτήσεις ενός ΜΥΗΕ και την μικρότερη δυνατή παρέμβαση από πλευράς μηχανικού, με πρώτη επιλογή την

απόρριψη της τοποθέτησης της κατασκευής ή όδευσης του αγωγού από τα επικίνδυνα σημεία. Σύμφωνα με τους Harvey et al (Harvey et al, 1993) υπάρχουν αναγνωριστικά σημάδια και πρότυπες τεχνικές λύσεις προς αξιοποίηση για την κάθε περίπτωση. Στις περιπτώσεις των κατολισθήσεων και των χαραδρώσεων τα αναγνωριστικά στοιχεία είναι σωροί κατακερματισμένων βράχων, ξηρή λάσπη και έλλειψη βλάστησης. Σε περίπτωση αναγκαίας όδευσης του αγωγού τροφοδοσίας από σημεία επίφοβα από πτώση κορημάτων ή ροής εδάφους που μπορεί να διακόψει τη ροή σε ανοιχτά κανάλια, οι προτεινόμενες λύσεις: (α) αναδάσωση και αναχλόαση (β) σχηματισμός αναβαθμίδων, (γ) τοίχοι αντιστηρίξεως, (δ) αποστράγγιση, (ε) προστατευτικά παραπετάσματα σε κάθε αναβαθμίδα, (ζ) σκέπασμα του αγωγού για την ανάλογη περιοχή. Το Σχήμα 4.11 δείχνει ακριβώς τις παραπάνω διατάξεις.

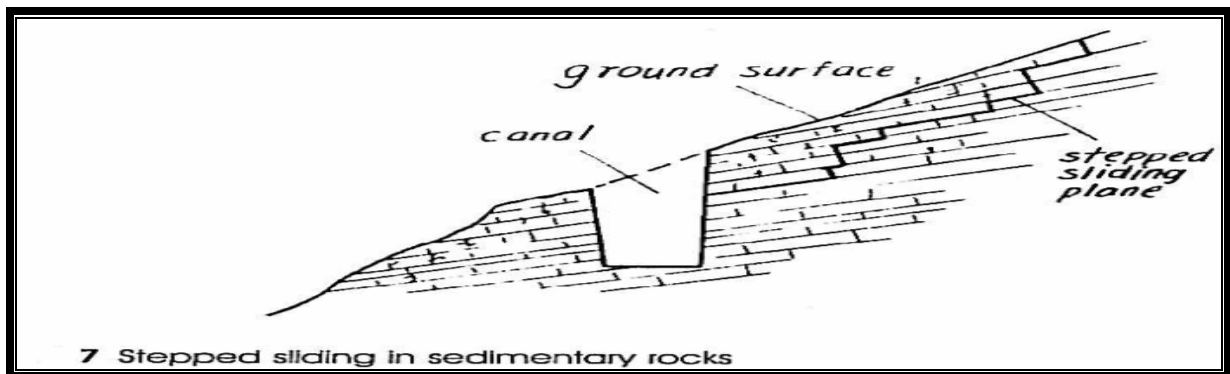


Σχήμα 4.8 Αστοχία πρανούς σε κανάλι προσαγωγής του ΥΗΕ από α) κατολίσθηση βραχομάζας, β) κατολίσθηση εδαφομάζας, ή γ) κατολίσθηση παρουσίας ολισθηρού παρεμβάλλοντος στρώματος (Πηγή: Jiandong et al, 1997)

Οι περιπτώσεις των περιστροφικών κατολισθήσεων και των εδαφικών ροών είναι πιο περίπλοκες και έτσι πιο απρόβλεπτες. Προτεινόμενες λύσεις να περιλαμβάνει γεφύρωση πάνω την περιοχή αστοχίας ή ανάρτηση από καλώδια, ή και χρήση κλειστού αγωγού. Αναγνωριστικό των περιστροφικών κατολισθήσεων είναι ημικυκλικές εδαφικές ρηγματώσεις. Όλα αυτά φαίνονται στο Σχήμα 4.12.

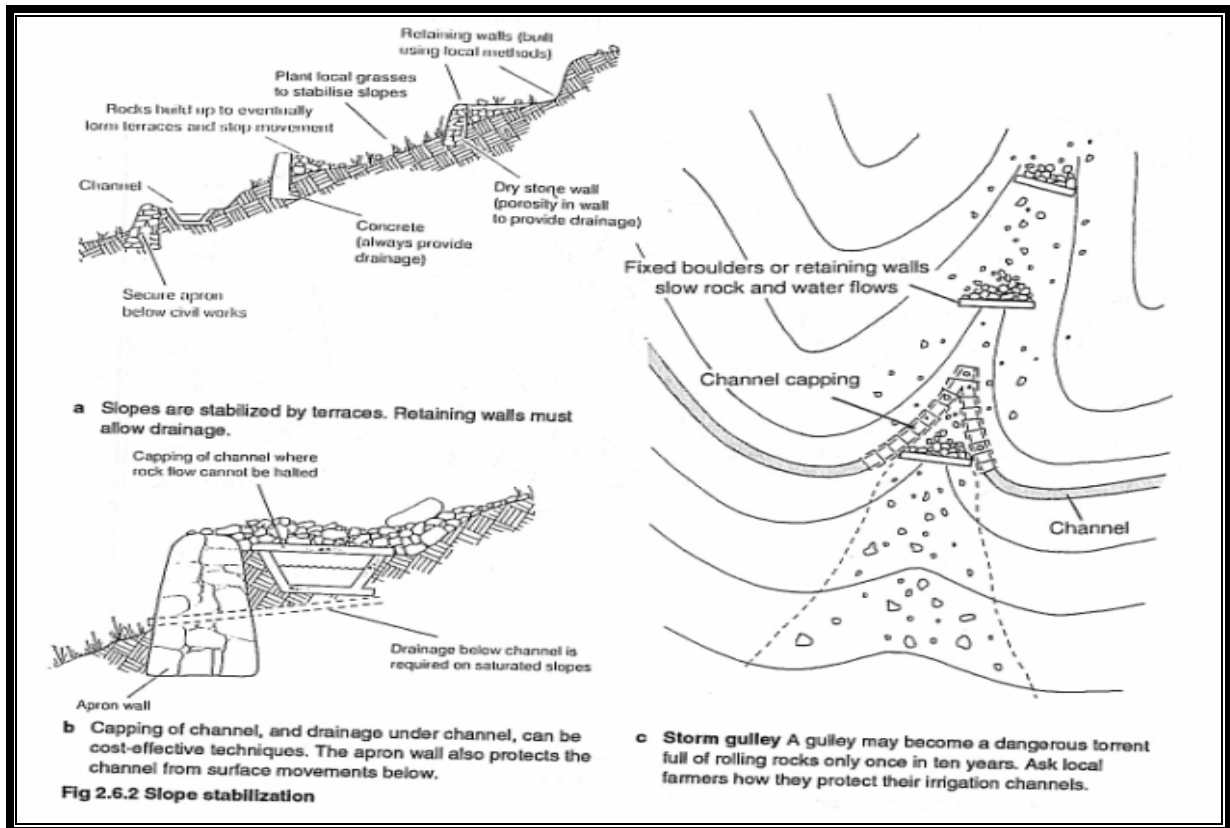


Σχήμα 4.9 Διάχυτη μεταφορά κορημάτων σε κανάλι προσαγωγής του ΥΗΕ από α) έντονη βροχόπτωση ή β) έντονη επιφόρτιση (Πηγή: Jiandong et al, 1997)



Σχήμα 4.10 Αστοχία πρανούς σε κανάλι προσαγωγής του ΥΗΕ λόγω έντονης σχιστότητας (Πηγή: Jiandong et al, 1997)

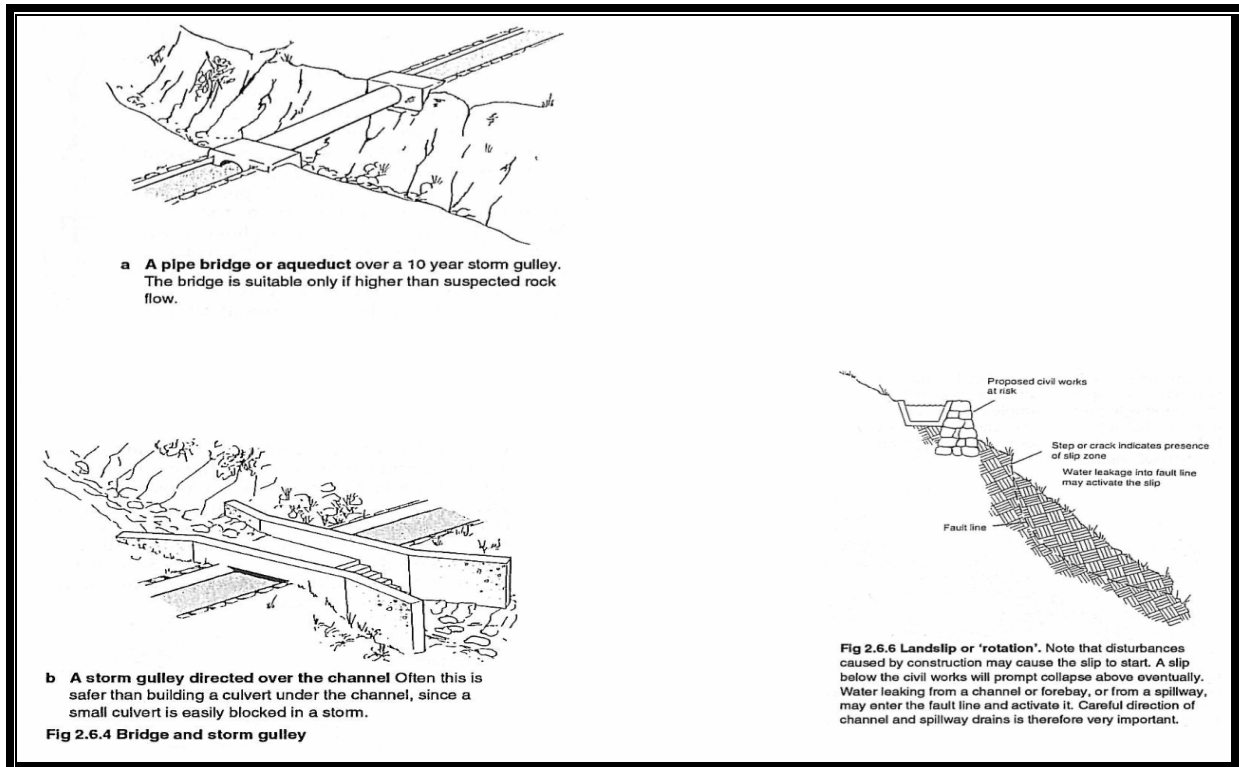
Μια άλλη πρακτική μέθοδος για τη μείωση του κινδύνου εδαφικών μετακινήσεων είναι η απόσυρση των εδαφικών μαζών που επικάθονται στα περιστρεφόμενα εδαφικά σώματα ή τη λείανση της πλαγιάς για τη μείωση πάλι της παράλληλης δύναμης μετατόπισης με την επιφάνεια ολισθήσεως.



Σχήμα 4.11 Λύσεις προστασίας καναλιού προσαγωγής από πτώση κορημάτων ή ροής εδάφους (Πηγή: Harvey et al, 1993)

Τέλος για την καλύτερη προστασία των κατασκευών έναντι απρόβλεπτων κινήσεων των στρωσιγενών πετρωμάτων ή εδαφών (αναγνωρίζονται είτε με γυμνό μάτι είτε μέσω ενδείξεων πτώσης κορημάτων) είναι τα φράγματα από συρματοκυβώτια και πείρους συγκράτησης. Υπενθυμίζεται εδώ πως σε όλες τις περιπτώσεις ασταθειών των πρανών, οποιαδήποτε ένδειξη σε οποιοδήποτε ύψος του ίδιου πρανούς σημαίνει αστάθεια σε όλο το πρανές και κίνδυνος για τις κατασκευές. Η ένταση της βασικής απορροής μειώνεται με έργα αποστράγγισης (πηγάδια, αγωγοί κλπ) ταπεινώνοντας τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και συμβάλλοντας στην ευστάθεια του πρανούς. Η σεισμική δράση συνήθως δεν επηρεάζει ιδιαίτερα την ευστάθεια των έργων, αλλά η επιτάχυνση που προκαλεί θα πρέπει να συνυπολογίζεται εντός των δυναμικών φαινομένων στους σωλήνες του έργου (Harvey et al, 1993 · Jiandong et al, 1997). Φυσικά και γεωμορφολογικά φαινόμενα όπως αλλαγή στις γωνίες των κλιτύων, η διαμόρφωση εδάφους, η διάσπαρτη εμφάνιση καρστικών πηγών και η παροχή τους, το πάχος των θάμνων και των

δέντρων, οι κολλουβιακές αποθέσεις στην πλαγιά, οι επιφανειακές ρωγμές, ο βαθμός συμπίκνωσης του εδάφους, η χλωδής βλάστηση καθώς και οι ενδείξεις παλαιών κατολισθήσεων αποτελούν στοιχεία που προδίδουν γεωστατικά και λειτουργικά προβλήματα.



Σχήμα 4.12 Λύσεις προστασίας καναλιού από περιστροφικές κατολισθήσεις

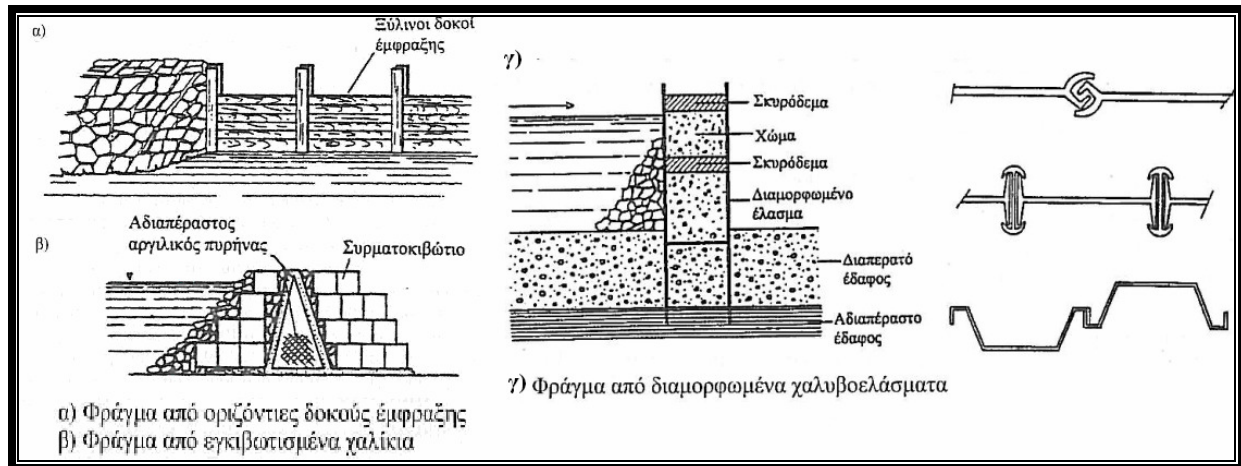
(Πηγή: Harvey et al, 1993)

Οι επισκέψεις για γεωλογική και τοπογραφική επισκόπηση της περιοχής μπορούν να συνδυαστούν και με μετρήσεις του ύψους πίεσης. Εδώ τα μέσα και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται έχουν να κάνουν μόνο με το επιθυμητό βαθμό ακριβείας των μετρήσεων, οικονομική προσιτότητα του εξοπλισμού και την εμπειρία του χρήστη σε αναβαθμισμένες τεχνολογίες που θα αναφερθούμε παρακάτω. Οι περισσότερες μέθοδοι ξεχωρίζουν για την απλοϊκότητα των μέσων που χρησιμοποιούν. Ονομαστικά στην έρευνα των Harvey et al (Harvey et al, 1993) αναφέρονται οι εξής μέθοδοι: (α) μέτρηση με εύκαμπτη μάνικα (με τη βοήθεια συνεργάτη ή με μετρητικό χάρακα), (β) μέτρηση με εύκαμπτη μάνικα και πιεσόμετρο, (γ) μέτρηση με αλφάδι με φυσαλίδα αέρα και σανίδα, (δ) μέτρηση με υψόμετρο, (ε) μέτρηση με σιτογωνιόμετρο, (ζ) μετρήσεις με θεοδόλιχα, χωροβάτες, total station κλπ, (η) εκτιμήσεις από

υψομετρικό χάρτη. Η τελευταία λύση καταλαβαίνουμε πως κάνει χονδροειδή εκτίμηση του ύψους υδραυλικής πτώσης.

4.6 Μέρη του έργου

Τα μέρη και η διάταξη ενός υδροηλεκτρικού συστήματος φαίνονται στα Σχήματα 4.1 και 4.2. Η πρώτη απεικονίζει τις διατάξεις των αποθηκευτικών σχημάτων (storage schemes) ενώ η δεύτερη τις διατάξεις των σχημάτων κατά-το-ρου-του-ποταμού (run-of-river schemes). Συνήθως στα ΜΥΗΕ οι διατάξεις που περιλαμβάνουν φράγματα σπανίζουν. Τα φράγματα είναι αναπόσπαστα μέρη των μεγάλων ΥΗΕ και χρησιμοποιούνται για αύξηση του διαθέσιμου ύψους πτώσης και τη δημιουργία ταμιευτήρα.. Στα ΜΥΗΕ όταν το έδαφος είναι σχετικά επίπεδο, ένα μικρό φράγμα για την ανύψωση της στάθμης μπορεί να είναι αρκετό για τη δημιουργία του αναγκαίου ύψους πτώσης και για την απαιτούμενη ισχύ (θα πρέπει η είσοδος του νερού να γίνεται αρκετά πιο ψηλά από τον πυθμένα ώστε να αποφεύγεται η εισχώρηση υλικών και αρκετά πιο χαμηλά από την ελεύθερη επιφάνεια). Τα φράγματα εν γένει, αποτελούν ακριβές κατασκευές και στα ΜΥΗΕ καταβάλλεται προσπάθεια για την αποφυγή τους ή την ελαχιστοποίηση του μεγέθους τους. Η δεξαμενή φόρτισης με κατάλληλες διαστάσεις μπορεί να αντικαταστήσει σε πολλές περιπτώσεις το φράγμα κυρίως σε έργα μεγάλου ύψους πτώσης (Μπαλάρας κ.α., 2006). Συνήθως για τα ΜΥΗΕ προτείνονται τύποι φραγμάτων πολύ απλής κατασκευής. Αυτά μπορεί να είναι λιθόκτιστα φράγματα, που απαιτούν πολλά εργατικά και λίθους καλής ποιότητας στερεωμένους μεταξύ τους με τσιμεντοκονία. Στην περίπτωση εδάφους ιδιαίτερα διαπερατού και για ύψους έως 3 m είναι δυνατή η διαμόρφωση στεγανού φράγματος - παραπετάσματος από χαλυβοελάσματα κατάλληλης διατομής, σε μονή ή διπλή σειρά. Τέλος για πολύ μικρές παροχές μπορούμε επίσης να κατασκευάσουμε μικρό φράγμα βαρύτητας με αργιλικό πυρήνα και ορθογωνικά πλέγματα από ανοξείδωτο ή γαλβανισμένο συρματόπλεγμα γεμισμένα με χαλίκια ή ακόμα και φράγμα από οριζόντιες ξύλινες δοκούς έμφραξης που συρταρώνουν σε κατακόρυφες υποδοχές. Τα τρία παραπάνω φαίνονται στο Σχήμα 4.13. Για την κατασκευή ενός φράγματος, θα πρέπει η κοίτη του υδατορεύματος να εκτραπεί προσωρινά.



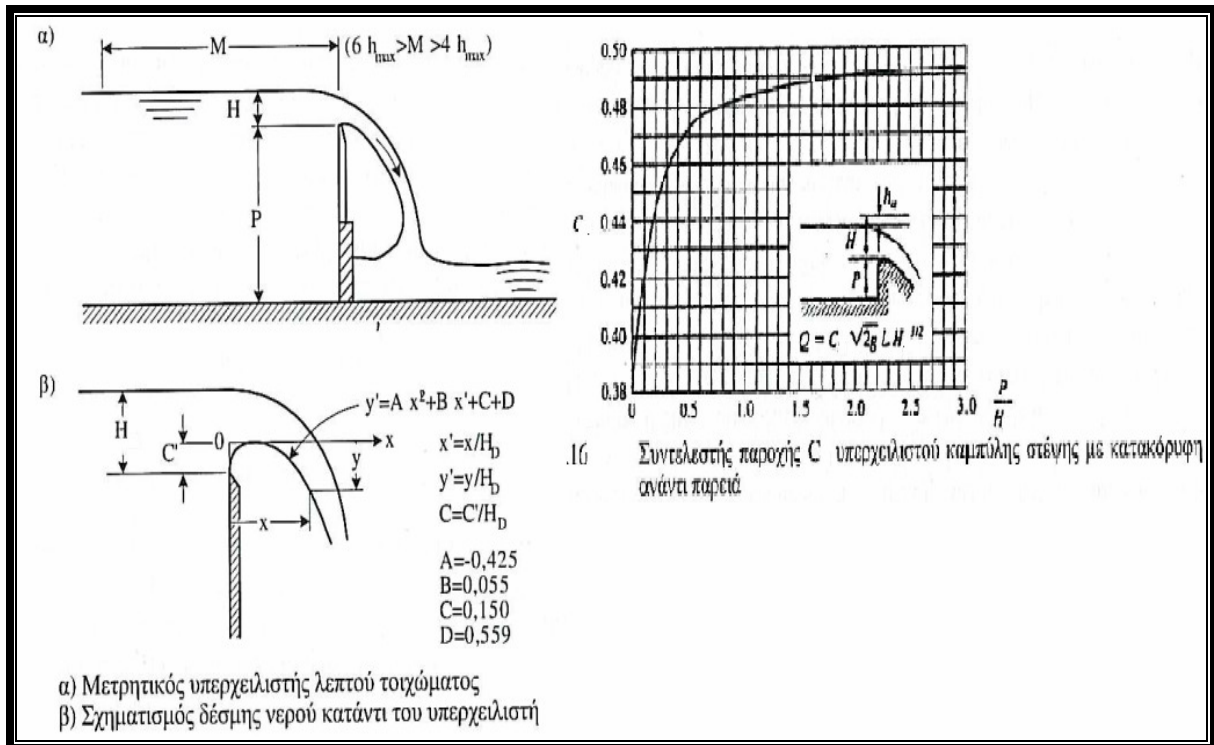
Σχήμα 4.13 Διαμόρφωση φραγμάτων από α) ξύλινες δοκούς έμφραξης, β) εγκυβωτισμένα χαλίκια, γ) χαλυβοελάσματα (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

Στα περισσότερα ΜΥΗΕ οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την υδροληψία είναι οι υπερχειλιστές. Υπερχειλιστές είναι οι κατασκευές που παρεμβάλλονται στη ροή νερού με ελεύθερη επιφάνεια με σκοπό να διατηρηθεί η στάθμη σε υψηλότερο επίπεδο από τη στέψη του υπερχειλιστού. Όσον αφορά τη λειτουργία τους διακρίνονται σε δύο είδη υπερχειλιστές: α) τους υπερχειλιστές των φραγμάτων, που παροχετεύουν την μέγιστη πιθανή πλημμυρική απορροή του υδατορεύματος και β) τους υπερχειλιστές των ΜΥΗΕ που εγκαθίστανται κατά το ρου του ποταμού και οι οποίοι έχουν σκοπό τη δημιουργία μιας λεκάνης νερού, οι διαστάσεις της οποίας να εξασφαλίζουν καλές συνθήκες υδροληψίας και τη δημιουργία υδραυλικής πτώσης (για την περίπτωση mini ΥΗΕ). Οι πιο τυπικοί εκπρόσωποι αυτής της κατηγορίας είναι ο υπερχειλιστής λεπτού τοιχώματος και ο υπερχειλιστής καμπύλης στέψης. Ο δεύτερος προκύπτει ως βελτίωση της μελέτης επί του πρώτου. Πιο συγκεκριμένα, στον υπερχειλιστή εν γένει, η ροή καθώς υπερχειλίζει από τη στέψη του, η δυναμική ενέργεια της ανάντη στάθμης μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια που έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική επιτάχυνση της ροής. Συνεπώς η σημαντική ταχύτητα της ροής θα προκαλέσει διάβρωση στη βάση δίχως διατάξεις όπως οι δεξαμενές ηρεμίας (όπου μέρος της κινητικής ενέργειας καταστρέφεται). Εδώ ο υπερχειλιστής καμπύλης στέψης καταφέρνει και βελτιώνει τη διαδρομή της ροή αφού την οδηγεί πιο ομαλά στις δεξαμενές ηρεμίας. Η μελέτη της καμπύλης αυτού του τύπου του υπερχειλιστή προκύπτει ως εξής: η ροή στον υπερχειλιστή λεπτού τοιχώματος σχηματίζει μια δέσμη νερού, η κάτω παρειά της οποίας καθορίζει μια ισοθλιπτική επιφάνεια, σταθερής πίεσης και ίσης προς την

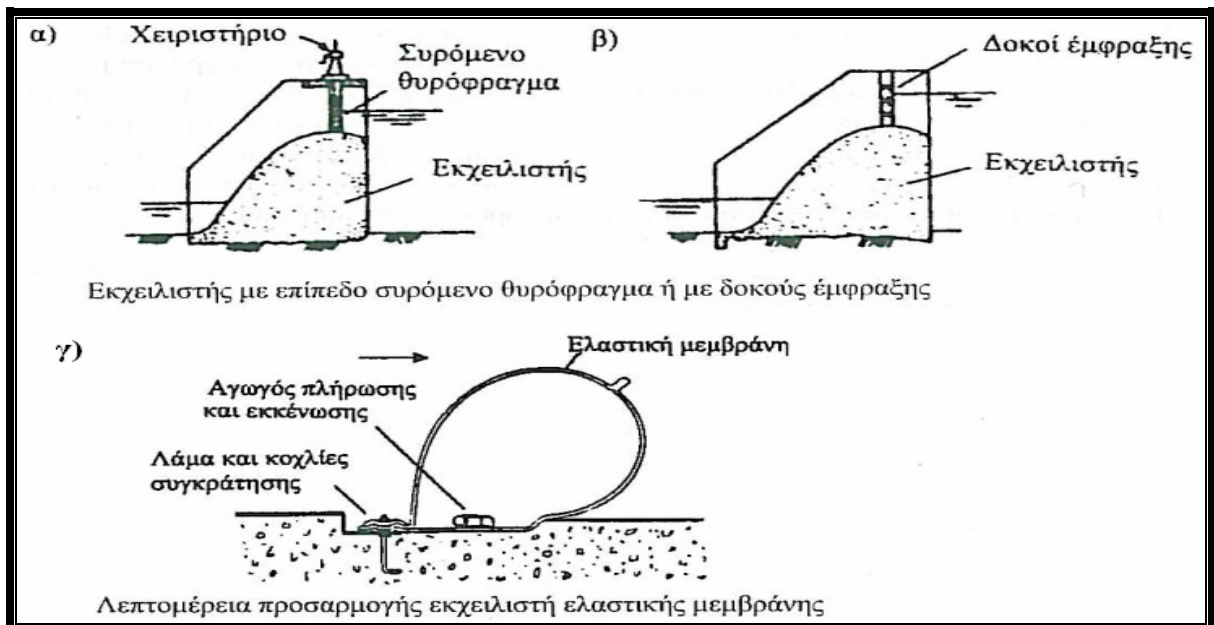
ατμοσφαιρική. Στην περίπτωση λοιπόν των υπερχειλιστών καμπύλης στέψης, η στερεοποίηση της κάτω παρειάς της υδάτινης δέσμης σχηματίζει την μορφή της καμπύλης του υπερχειλιστή. Έτσι, για παροχή ίση προς την παροχή σχεδίασης, στη βρεχόμενη επιφάνεια του υπερχειλιστή επικρατεί σταθερή πίεση και ίση προς την ατμοσφαιρική, με αποτέλεσμα να είναι μηδενικές οι δυνάμεις που αναπτύσσονται σε αυτόν. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί σε πιθανές διακυμάνσεις της παροχής, καθώς για μικρότερες παροχές συνεπάγεται υπερπίεση στην καμπύλη επιφάνεια (άρα πρόσθετες δυνάμεις στην έδραση) και για μεγαλύτερες παροχές συνεπάγεται υποπίεση (άρα κίνδυνος διάβρωσης της επιφάνειας και ανάπτυξη σπηλαίωσης). Η διερχόμενη παροχή εκφράζεται από το υδροστατικό ύψος. Ο συντελεστής της μορφής του υπερχειλιστή C εξαρτάται από το βάθος του νερού ανάντη P , την μορφή της στέψης και την κλίση της ανάντη επιφάνειας του υπερχειλιστή (συνήθως κάθετη στη ροή). Μια καλή προσέγγιση της τιμής του δίνεται από τον τύπο (4.14):

$$C = 0.4 + 0.5 \frac{H}{P} \quad (4.15)$$

η εξίσωση της καμπύλης της κάτω παρειάς της υδάτινης δέσμης περιγράφεται από μία δευτεροβάθμια εξίσωση της μορφής $y = f(x)$ όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.14. Τέλος οι υπερχειλιστές των οποίων η γεωμετρία μεταβάλλεται μέσω θυροφραγμάτων, περιστρεφόμενων, συρόμενων ή άλλων, χαρακτηρίζονται ως εκχειλιστές. Οι κυριότεροι τύποι των ρυθμιζόμενων υπερχειλιστών είναι εκείνοι με τα θυροφράγματα και οι εκχειλιστές ελαστικώς διογκούμενοι, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.15. Οι εκχειλιστές με μορφή θυροφράγματος επιλέγονται στις περιπτώσεις στις οποίες η πλυμμηρική παροχή είναι πολύ μεγάλη ενώ παράλληλα το απαιτούμενο μήκος L της στέψης του υπερχειλιστή καμπύλης στέψης ή το μέγιστο απαιτούμενο υδροστατικό ύψος δεν είναι δυνατόν να αναπτυχθούν σε μια συγκεκριμένη εγκατάσταση.

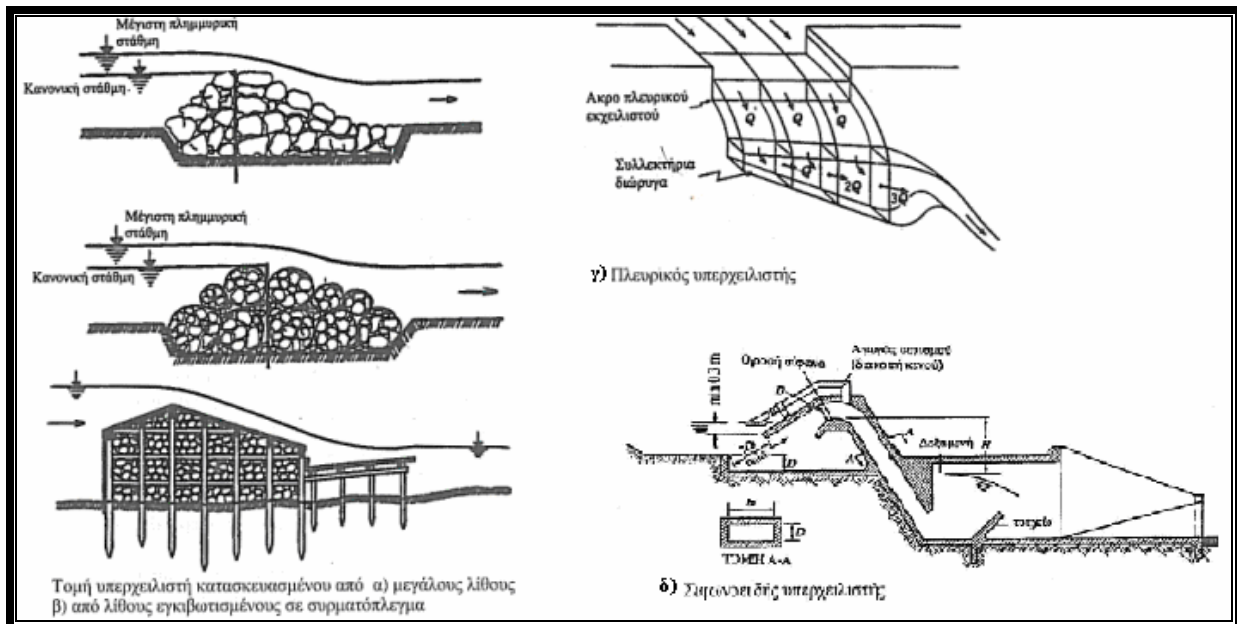


Σχήμα 4.14 α) Υπερχειλιστής λεπτού τοιχώματος, β) σχηματισμός δέσμης νερού κατάντι και γ) διάγραμμα υπολογισμού του συντελεστή παροχής (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)



Σχήμα 4.15 α) Εκχειλιστής με επίπεδο συρόμενο θυρόφραγμα β) εκχειλιστής με δοκούς έμφραξης και γ) εκχειλιστής ελαστικής μεμβράνης (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

Τα ΜΥΗΕ πρέπει να κατασκευάζονται υπερχειλιστές απλής κατασκευής ανάλογα με τα υλικά και τους τεχνίτες που είναι διαθέσιμοι στην περιοχή και των οποίων το βασικό πλεονέκτημα είναι το μικρό κόστος κατασκευής. Φυσικά αυτό συνεπάγεται μειονεκτήματα όπως συνεχή παρακολούθηση και καθαρισμό του ανάντη πυθμένα του έργου, χαμηλότερο ύψος του υπερχειλιστή λόγω ανάπτυξης μεγάλης κινητικής ενέργειας της υπερχειλίζουσας παροχής κλπ. Στο Σχήμα 4.16 βλέπουμε δύο κατηγορίες υπερχειλιστών από μεγάλους λίθους και από λίθους σε συρματόπλεγμα. Μια ενδιαφέρουσα περίπτωση είναι αυτή του πλευρικού υπερχειλιστή, στον οποίον η συλλεκτήρια διώρυγα με κατάλληλη κλίση που παροχετεύει έως και τη μέγιστη παροχή. Εδώ βεβαίως η ροή είναι τυρβώδης κατά την πτώση του νερού από τη στέψη. Για τα ΜΥΗΕ πολύ μικρού ύψους, στην περίπτωση τήρησης συγκεκριμένων ορίων στην ανάντι στάθμη, υπάρχει η λύση των σιφωνοειδών υπερχειλιστών. Αυτού του τύπου οι υπερχειλιστές ενεργοποιούνται αυτόματα με την ανύψωση της ανάντι στάθμης του ταμευτήρα στο επίπεδο της οροφής του σίφωνα, όπου ένας αγωγός αερισμού απορροφάει τον αέρα, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη της υποπίεσης και άρα ανάπτυξη ροής προς τα κατόντι. Η διακοπή της ροής γίνεται επίσης αυτόματα όταν η ανάντι στάθμη φτάσει στην στάθμη του αεραγωγού οπότε εισέρχεται αέρας στο σύστημα και αποκαθίσταται η ατμοσφαιρική πίεση. Όλα τα παραπάνω φαίνονται στο Σχήμα 4.16 (Παπαντώνης, 2008).



Σχήμα 4.16 α) Υπερχειλιστής με μεγάλους λίθους β) υπερχειλιστής με λίθους εγκυβωτισμένους, γ) πλευρικός υπερχειλιστής και δ) σιφωνοειδής υπερχειλιστής (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

Σε όλους τους υπερχειλιστές θα πρέπει να προβλέπεται διώρυγα έκπλυσης του πυθμένα εφοδιασμένη με επίπεδο συρόμενο θυροφράγμα. Το άνοιγμα του θυροφράγματος δημιουργεί ροή υψηλής ταχύτητας η οποία πρέπει να εκτελείται περιοδικά. Η όλη διαμόρφωση θα πρέπει να εξασφαλίζει ομοιόμορφες συνθήκες ροής στην είσοδο του υδροστροβίλου.

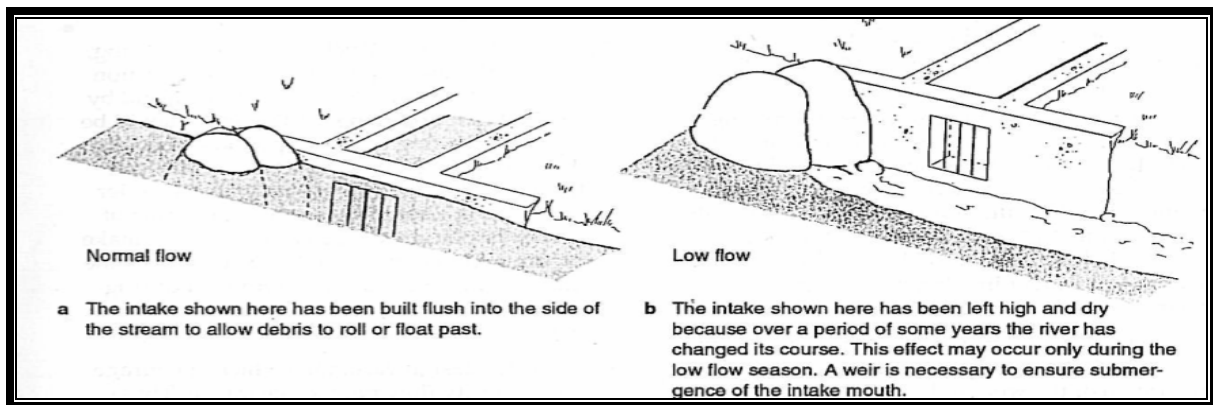
Οι λεκάνες ηρεμίας εγκαθίστανται για την παραλαβή του υδραυλικού άλματος που θα υποσκάψει τη βάση της κατασκευής, όταν η ροή κατάντη του υπερχειλιστού γίνεται υποκρίσιμη από υπερκρίσιμη. Ο τύπος συσχέτισης της ανάντη και της κατάντη στάθμης του υδραυλικού άλματος σε διώρυγα ορθογωνικής διατομής είναι (Νουτσόπουλος κ.α., 2007):

$$y_2 = (y_1 / 2) \cdot (\sqrt{1 + 8Fr_1^2}) - 1 \quad (4.16)$$

Το πρώτο εν σειρά, από ανάντη, τεχνικό έργο είναι το έργο υδροληψίας με το οποίο αποσπάται η ενεργειακά εκμεταλλεύσιμη παροχή από το φυσικό υδατόρευμα ή, γενικότερα από την πηγή ύδατος. Οι κύριοι τύποι υδροληψίας είναι η πλευρική (side intake), η ορεινή (tyrolean intake) και η υδροληψία τύπου σίφωνα (siphon intake) (Μέγα, 2009). Επίσης άλλη μορφή υδροληψίας είναι και η βυθισμένη υδροληψία (Παπαντώνης, 2008). Σκοπός του έργου υδροληψίας είναι η οδήγηση της παροχής του νερού στην διώρυγα τροφοδοσίας (ανοικτός αγωγός) ή κατ' ευθείαν στον αγωγό πτώσεως, για την περίπτωση στην οποία δεν παρεμβάλλεται ανοικτή διώρυγα, διαμορφώνοντας τη ροή κατά το δυνατόν ομοιόμορφη, αφού οι τυχόν στροβιλισμοί και οι αποκολλήσεις της ροής δεν συμβάλλουν στην ομαλή λειτουργία του έργου. Το δεύτερο πράγμα που θα πρέπει να προσέχει κανείς είναι το ζήτημα των φερτών υλών που είναι έτοιμες να εισέλθουν με την εισαγωγή του νερού. Ο κανόνας λει πώς όλα τα έργα υδροληψίας είναι εφοδιασμένα με εσχάρα η οποία συγκρατεί τα επιπλέοντα σώματα (κλαδιά δέντρων κλπ), με θυροφράγματα ή βάνες ώστε να διακόπτεται η ροή σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης ή συντήρησης. Οι εσχάρες βιδώνονται στο πλαίσιο σκυροδέματος με ανοξεϊδωτες βίδες ή τοποθετούνται συρταρωτά σε αντίστοιχη υποδοχή που διαμορφώνεται στο σκυρόδεμα. Ο καθαρισμός τους γίνεται είτε μηχανικά είτε μέσω διάφορων τύπων μηχανισμών.

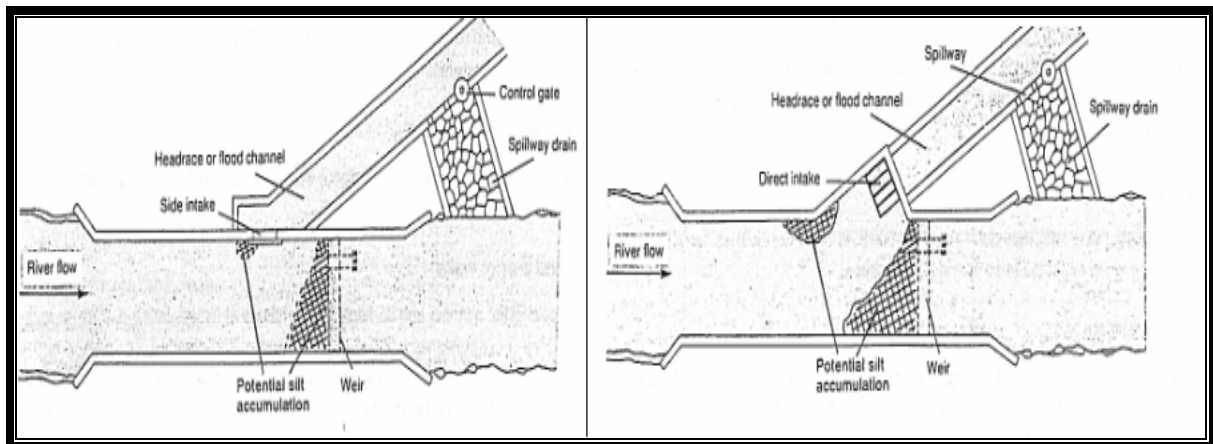
Στην πλευρική υδροληψία, η διώρυγα θα πρέπει κατά το δυνατόν να προσανατολίζεται κατά την διεύθυνση της ροής του υδατορεύματος έτσι ώστε να εξασφαλίζεται σε αυτήν η μεγαλύτερη ομοιομορφία της ροής. Η τοποθεσία της πλευρικής υδροληψίας είναι ένα σύνθετο ζήτημα με διάφορες παραμέτρους που εξαρτώνται από τις φυσικές συνθήκες της κοίτης και της διαδρομής του υδατορεύματος. Εν πρώτοις θα πρέπει η συγκέντρωση φερτών υλών εντός της διώρυγας να

είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Αυτό σε αρκετές περιπτώσεις γίνεται σχεδιάζοντας την πλευρική υδροληψία με εισαγωγή νερού πίσω από βράχο όπως δείχνει το Σχήμα 4.17. Από την άλλη, ιδιαίτερα για την τοποθέτηση της διώρυγας υδροληψίας προς την εξωτερική οριογραμμή μιας καμπύλης στη διαδρομή του υδατορεύματος, πρέπει να διεξαχθεί έρευνα πάνω στην συμπεριφορά του ποταμιού στις περιόδους ξηρασίας καθώς ενδέχεται να στενεύει το πλάτος της ροής του ποταμού, ή να ελαττώνεται σημαντικά η στάθμη ή ακόμα χειρότερα να έχει αλλάξει σταδιακά η ροή του υδατορεύματος, όπως δείχνουν τα παραδείγματα του Σχήματος 4.17 (Harvey et al, 1993).



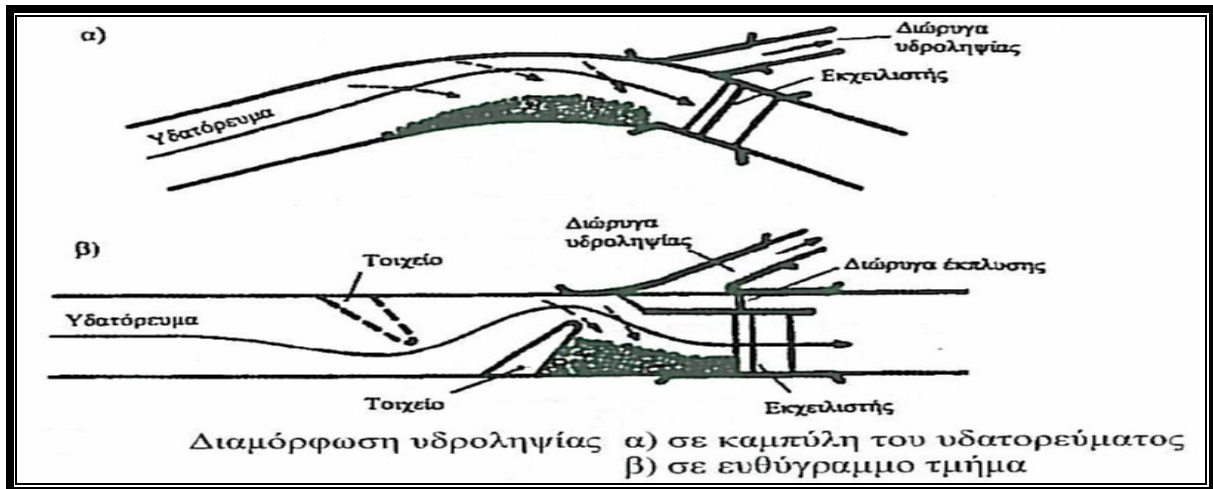
Σχήμα 4.17 α) Τοποθέτηση διώρυγας υδροληψίας πίσω από φυσικό εμπόδιο και β) αστοχία σχεδιασμού λόγω στένεματος κοίτης ποταμού (Πηγή: Harvey et al, 1993)

Ταυτόχρονα η τοποθέτηση της διώρυγας, άρα και της εσχάρας, πρέπει να έχει κάποια σχετική απόσταση από τον υπερχειλιστή, τόση ώστε να θεωρείται εντός του όγκου του ταμιευτήρα για την απόληψη υδροληψίας υπό καλές συνθήκες, αλλά και τόση ώστε να μην αλληλοεμπλέκεται στην συσσώρευση φερτών υλών στην ανάντη παρειά του υπερχειλιστή. Βεβαίως η πλευρική υδροληψία δεν είναι η μόνη τεχνική λύση. Το πλέγμα της εσχάρας μπορεί να είναι είτε παράλληλο στην ροή είτε μετωπικό σε αυτήν διαμορφωμένο υπό άλλη διάταξη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.19. Η διαφορά τους πηγάζει στο ότι το παράλληλο πλέγμα εγκιβωτίζει στοιχεία φερτών υλών στην ροή του και απαιτεί πιο συχνό καθαρισμό, από ότι το μετωπικό πλέγμα, που επί της ουσίας σχεδιάζεται έτσι ώστε να φορτίζει την ανάντη διώρυγα με στερεοπαροχή, όπου θα κατακρατείται όμως στις ανάντη διατάξεις (εξαμμωτής κλπ) (Harvey et al, 1993).

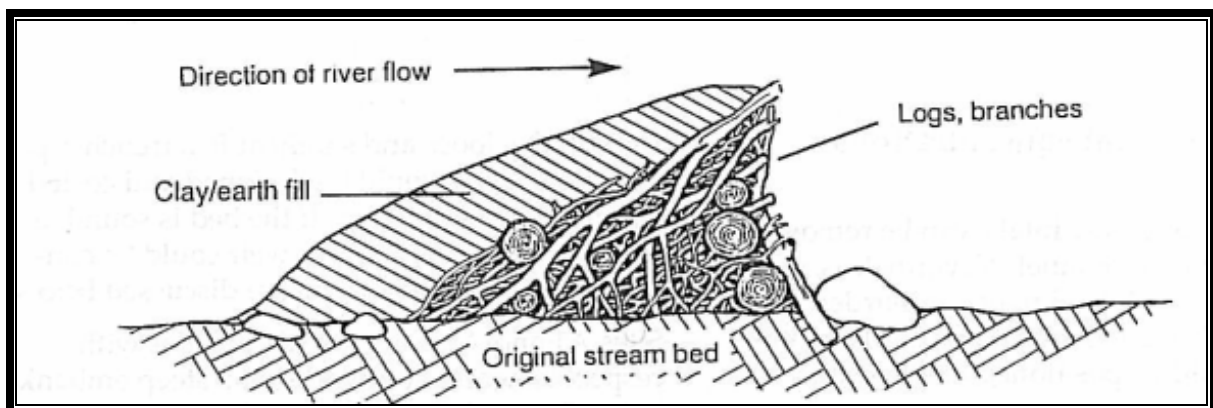


Εικόνα 4.19 Εσχάρα υδροληψίας υπό τοποθέτηση παράλληλη στη ροή και υπό τοποθέτηση μετωπική στη διώρυγα τροφοδοσίας (Πηγή: Harvey et al, 1993)

Θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να αποφεύγεται ο σχηματισμός νεκρών ζωνών ή ζωνών ανακυκλοφορίας στις οποίες εννοείται η κατακάθιση των αιωρούμενων σωματιδίων. Από το Σχήμα 4.20 φαίνεται πως είναι προτιμότερη η διαμόρφωση της υδροληψίας σε κοίλο τμήμα καμπύλης του υδατορεύματος καθώς η ζώνη ανακυκλοφορίας και κατακάθισης των φερτών σχηματίζεται στην απέναντι κυρτή καμπυλότητα. Βεβαίως, η διαμόρφωση ειδικών τοιχίων μπορεί να σχηματίσει ανακυκλοφορία στην κατάλληλη πλευρά έτσι ώστε να πετύχουμε απεμπλοκή από τις φερτές ύλες. Επίσης η διαμόρφωση προφράγματος από πρόχειρα υλικά, ανάντη της διάταξης υδροληψίας όπως στο Σχήμα 4.21, αποτελεί ένα πρώτο ανάχωμα για τα φερτά στερεά της ροής. Επιπλέον, ένας αναβαθμός πυθμένα με μορφή προβόλου ανάντη της εσχάρας είναι ικανοποιητική πρώτη διάταξη για εγκλωβισμό των παρασυρόμενων φερτών υλών. Η διώρυγα δεν είναι ανάγκη να αποτελεί ένα ανοιχτό κανάλι αν και αυτό είναι πλειοψηφική περίπτωση για τα ΜΥΗΕ: η λύση του αγωγού είναι ικανή όταν συνοδευτεί από ισχυρή προστασία του έναντι της στερεοπαροχής (Harvey et al, 1993).

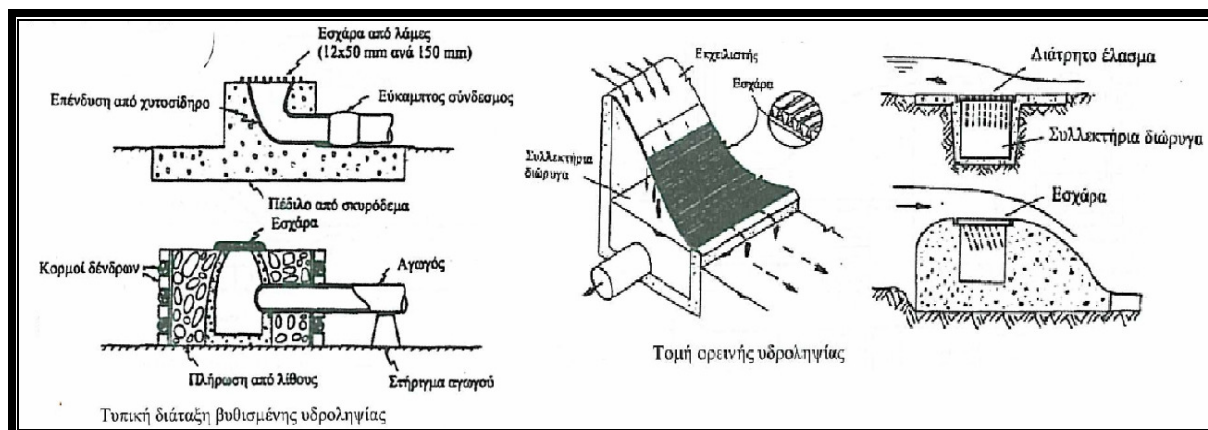


Σχήμα 4.20 Διαμόρφωση υδροληψίας σε κοίλο και σε ευθύγραμμο τμήμα του ποταμού
(Πηγή: Παπαντώνης, 2008)



Σχήμα 4.21 Διαμόρφωση προφράγματος από πρόχειρα υλικά (Πηγή: Harvey et al, 1993)

Τέλος, θα κλείσουμε την αναφορά στις άλλες τυπικές διατάξεις υδροληψίας πέραν της σιφωνοειδούς τύπου που αναπτύχθηκε, δηλαδή την ορεινή και την βυθισμένη υδροληψία. Η ορεινή υδροληψία (ή τυρολέζικη) είναι μια μορφή υδροληψίας που είναι τυπική των ορεινών περιοχών με μεγάλη στερεοπαροχή. Ο υπερχειλιστής φέρει εσχάρα με λάμες διατεταγμένες κατά τη φορά της ροής ή διάτρητο έλασμα, όπου η ροή οδηγείται από εκεί προς τη συλλεκτήρια διώρυγα και από εκεί στον αμμοκράτη και στη συνέχεια στον αγωγό προσαγωγής. Το Σχήμα 4.22 δείχνει τις λεπτομέρειες στις παραπάνω δύο διατάξεις.



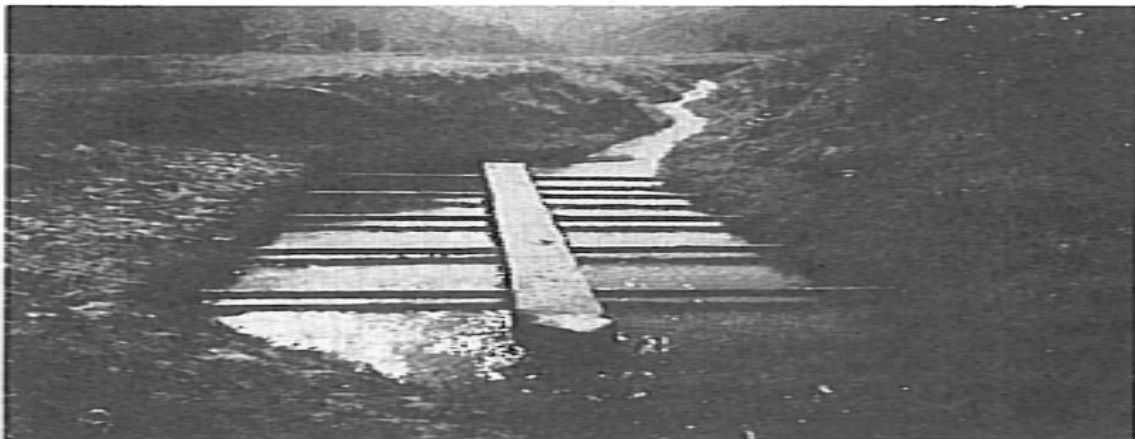
Σχήμα 4.22 Διατάξεις βυθισμένης και ορεινής υδροληψίας (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

Όσον αφορά τον εξαμμωτή εντάσσεται στο έργο όταν θεωρείται αναγκαία η αφαίρεση, των αιωρούμενων σωματιδίων από τη ροή του νερού πριν αυτή οδηγηθεί στον αγωγό πτώσης και κατόπιν στον υδροστρόβιλο. Οι κόκκοι του εδάφους, όταν συμπαρασυρθούν με το νερό, σε μεγάλες ταχύτητες του δεύτερου, καθίστανται απειλή για μηχανική διάβρωση. Ο εξαμμωτής είναι μια επιμήκης ευθύγραμμης διώρυγας, με πολύ μικρή κλίση και διατομή συγκεκριμένης γεωμετρίας, για να επιτευχθεί όσον το δυνατόν η μεγαλύτερη ομοιομορφία της ροής. Εδώ η ροή επιβραδύνει από την διώρυγα τροφοδοσίας. Η φιλοσοφία της λειτουργίας του εξαμμωτή είναι η ελαχιστοποίηση των στροβιλισμών από τα προηγούμενα στάδια της ροής και η ελεύθερη καθίζηση των αιωρούμενων σωματιδίων εν το χρόνω που επιτρέπει το επαρκές μήκος του εξαμμωτή, ώστε μετά να συλλεχθούν στο κατώτατο σημείο, να εκπλυθούν και να εκκενωθούν με κάποιο ανάλογο σύστημα (πλευρικά θυρόφραγμα, μικροί αγωγοί κλπ). Η ανάγκη αυτή μπορεί να γίνεται μηχανικά ή αυτόματα, συνεχόμενα ή ασυνεχώς. Ανάμεσα στην διώρυγα και τον εξαμμωτή θα πρέπει να τοποθετηθεί μια μεταλλική εσχάρα. Για ασυνεχή έκπλυση, θα πρέπει να διαμορφωθούν δύο παράλληλες δεξαμενές αυτής της λειτουργίας, για να μην υπάρχει διακύμανση στην παροχή λειτουργίας του υδροστρόβιλου. Οι ανάγκες εξάμμοσης εξαρτώνται κύρια από την τιμή της υδραυλικής πτώσης και τον τύπο του υδροστρόβιλου. Συγκεκριμένα οι υδροστρόβιλοι Francis είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στην φθορά από μηχανική διάβρωση, τόσο στις ακμές των πτερυγίων του δρομέα αλλά κυρίως στους λαβυρίνθους, η αύξηση του διάκενου των οποίων συνεπάγεται αύξηση των ογκομετρικών απωλειών και άρα μείωση του βαθμού απόδοσης (Παπαντώνης, 2002). Αντίθετα οι υδροστρόβιλοι Pelton εμφανίζουν προβλήματα για τις ζώνες υψηλής ταχύτητας κυρίως στο άκρο της βελονής του ακροφύσιου. Για να είναι

επαρκές το μήκος L της δεξαμενής ώστε να καθιζάνουν στον πυθμένα τα σωματίδια μέχρι διάμετρο d θα πρέπει να είναι $L > L_k$ όπου (Παπαντώνης 2008):

$$L_k = c \cdot t_k = \frac{c \cdot h_\beta}{w_k - u^*} \quad (4.17)$$

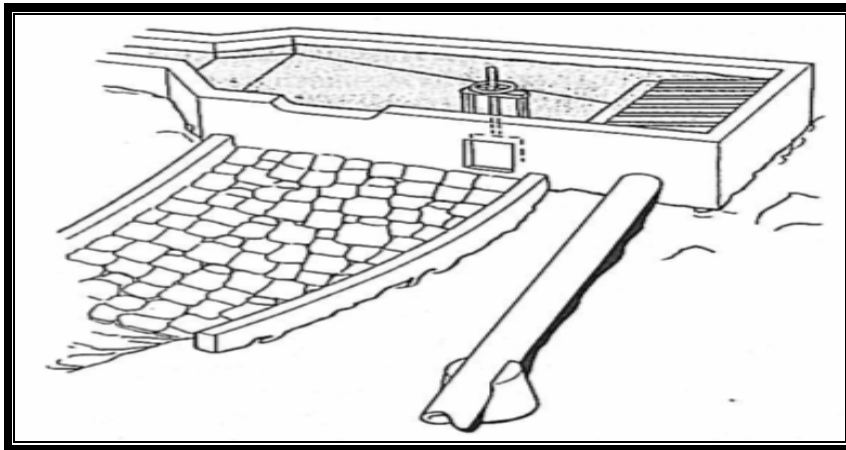
όπου L_k το κρίσιμο μήκος που θα διατρέξει ένα σωματίδιο διαμέτρου d οριζόντια διαδρομή, c η μέση ταχύτητα ροής, t_k ο χρόνος που το σωματίδιο θα καθιζάνει στον πυθμένα, h_β το βάθος ροής μετρούμενο από το υψηλότερο σημείο αυτής, w_k η ταχύτητα κατακάθισης του σωματιδίου και u^* η ταχύτητα τριβής σε ροή σε διώρυγα με ελεύθερη επιφάνεια. Για τη γνώση της ελάχιστης διαμέτρου d καθώς και τα όρια συγκέντρωσης των εδαφικών σωματιδίων, χρειάζεται κοκκομετρική ανάλυση του υποστρώματος του υδατορεύματος. Για τη μέτρηση του όγκου της στερεοπαροχής συνήθως χρησιμοποιείται η λύση της συσχέτισης με γνωστές τιμές στερεοπαροχής σε γειτονικά ή άλλα μετρημένα ποτάμια. Μια άλλη πρακτική και αλλά με κίνδυνο μεγάλων αβεβαιοτήτων είναι η μέτρηση βάση της διαδικασίας του εμβαδομετρικού διαχωρισμού της προβολής της επιφάνειας που καταλαμβάνει το ποτάμι στο οριζόντιο επίπεδο, και με έναν κουβά, ανά διάφορες στιγμές και σε διαφορετικά σημεία, λαμβάνονται δείγματα για την στερεοπαροχή. Οι προκύπτουσες τιμές βαίνουν κοντινότερα στην επαλήθευση εαν μελετάμε την δυσμενέστερη περίοδο του χρόνου, δηλαδή πλημμυρικές περιόδους (Harvey et al, 1993). Στο Σχήμα 4.23 φαίνεται ο τρόπος των μετρήσεων της στερεοπαροχής.



Σχήμα 4.23 Εμβαδομετρικός διαχωρισμός και μετρήσεις της στερεοπαροχής με κουβά (Πηγή: Harvey et al, 1993)

Ο υπολογισμός των υδραυλικών απωλειών των παραπάνω γίνεται με την κλασσική ανάλυση των ανοιχτών ή των κλειστών αγωγών αναλόγως, με την προϋπόθεση της γνώσης των γεωμετρικών και των υδραυλικών τους στοιχείων. Τα τοιχώματα της διώρυγας τροφοδοσίας συνήθως κατασκευάζονται από σκυρόδεμα με ενίσχυση από χαλύβδινο πλέγμα ανά τμήματα μεταξύ των οποίων διαμορφώνεται στεγανός αρμός διαστολής. Το ύψος τους πρέπει να είναι αρκετά υπερυψωμένο λόγω φόβου ανύψωσης της στάθμης, κυματισμών κλπ.

Όσον αφορά την δεξαμενή φόρτισης αυτή έχει δυο κύριες λειτουργίες: α) ως δεξαμενή φροντίζει για την απρόσκοπτη προμήθευση νερού τόσο κατά τη φάση της εκκίνησης, ώστε παρά τους συνήθως μικρούς χρόνους εκκίνησης των υδροστροβίλων (5 -10 sec) να μην εισέρχεται ανεπιθύμητος αέρας και δημιουργείται πρόβλημα στην λειτουργία του, και β) η δεξαμενή λειτουργεί ως τελικός εξαμμωτής και δημιουργεί συνθήκες ομοιόμορφης ροής για την καθίζηση των αιωρούμενων σωματιδίων. Εντός δεξαμενής υπάρχουν πάλι οι γνωστές διατάξεις (θυρόφραγμα έκπλυσης, αναβαθμός συγκράτησης φερτών, υπερχειλιστής για την μεγάλη διακύμανση της παροχής) αλλά και μια κεκλιμένη εσχάρα προ του αγωγού πτώσης όπου συκρατούνται τα επιπλέοντα σώματα, όπως φαίνονται στο Σχήμα 4.24. Οι απώλειες ροής στην εσχάρα υπολογίζονται με τον τύπο (4.25). Ο αγωγός πρέπει να στέκει σε επαρκές βύθισμα για να αναπτύσσονται καλές συνθήκες υδροληψίας (Παπαντώνης, 2008).

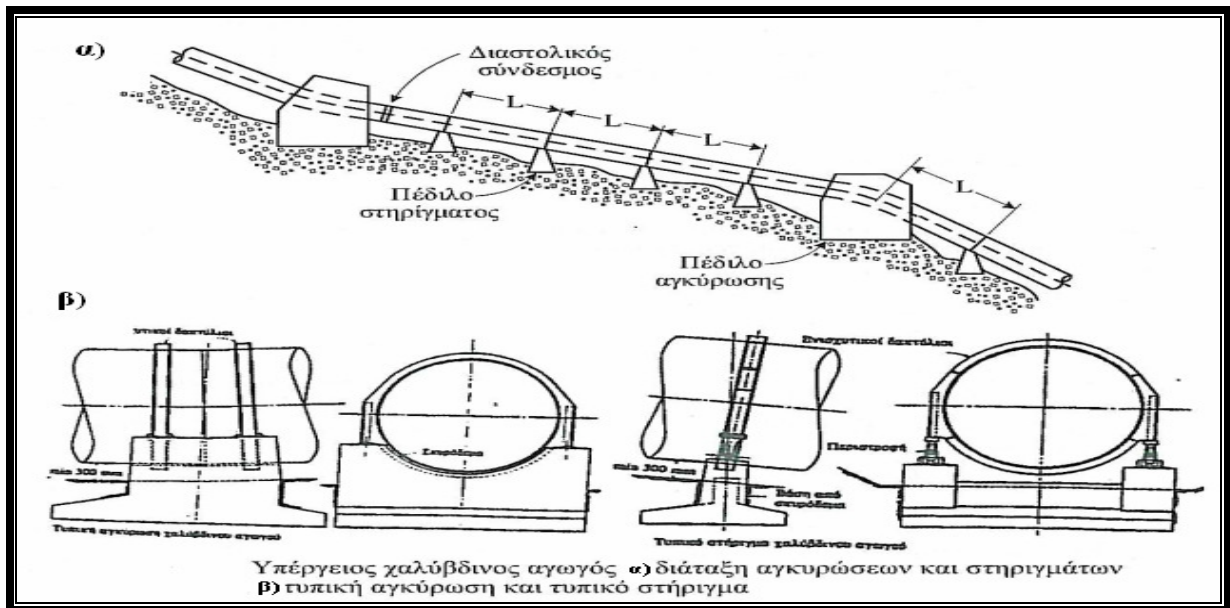


Σχήμα 4.24 Δεξαμενή φόρτισης με υπερχειλιστή και θυρόφραγμα (Πηγή: Harvey et al, 1993)

Η τοποθέτηση της δεξαμενής φόρτισης συναρτάται άμεσα από την ελάττωση του μήκους του αγωγού πτώσεως (ή του αγωγού προσαγωγής). Ο παράγοντας κόστους του μήκους του

αγωγού πτώσης βεβαίως δεν είναι η απόλυτη βάση, αφού πιθανοί γεωλογικοί κίνδυνοι για την διώρυγα τροφοδοσίας όπως είδαμε παραπάνω, να επανεξετάσουν την επιμήκυνση του αγωγού. Αυτό φυσικά θα έχει συνέπεια στο κόστος, όσο όμως οικονομικά σημαντικά μπορεί να είναι έργα προστασίας και αποκατάστασης από γεωλογικά φαινόμενα και καταστροφές μέρων του έργου. Συνεπώς εδώ απαιτείται διερεύνηση από την αρχή. Ταυτόχρονα οι λύσεις που περιλαμβάνουν εκσκαφή εδάφους επίσης είναι οικονομικά επιβαρυντικές και δεν θα πρέπει να προχωράνε παρά πέρα από ένα όριο (Harvey et al, 1993). Ο αγωγός πτώσης μπορεί να είναι κατασκευασμένος από διάφορα υλικά ανάλογα με την παροχή και την υδατόπτωση, όπως χαλβοσωλήνες, αμιαντοσωλήνες, πλαστικοί σωλήνες ή σωλήνες από ελατό χυτοσίδηρο, ακόμα και σωλήνες από περιτυλιγμένες ίνες γυαλιού ή σωλήνες υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλενίου. Οι πιο σημαντικές παράμετροι για τον αγωγό πτώσης είναι η διάμετρος και το πάχος του. Η διάμετρος περιπλέκεται γύρω από το ζήτημα της οικονομικής βιωσιμότητας του έργου πάνω στη βάση της ανάπτυξης της μέσης ταχύτητας και των υδραυλικών απωλειών. Για μικρότερες διαμέτρους, κάτι που κάνει το έργο οικονομικότερο, παρουσιάζεται το φαινόμενο των μεγαλύτερων ενεργειακών απωλειών, άρα και απωλειών ισχύος, με φανερές συνέπειες στο έργο. Συν αυτά, η μέση τιμή της ταχύτητας του νερού δεν θα πρέπει να ξεπερνάει ένα όριο, καθώς και οι συνθήκες εμφάνισης υπερβολικών υπερπίεσεων ή υποπίεσεων πρέπει να ελαττωθούν στο μέγιστο. Συνεπώς η εκλογή της διαμέτρου είναι μια επαναληπτική διαδικασία μέσω δοκιμών. Το πάχος προσδιορίζεται και αυτό επαναληπτικά μέχρις ότου συνεπαληθεύονται η απαίτηση η αναπτυσσόμενη ορθή τάση λόγω της μέγιστης δυνατής υπερπίεσης να είναι μικρότερη από την επιτρεπόμενη τάση του σωλήνα και η επιλογή αυτή να είναι οικονομοτεχνικά συμφέρουσα. Ο αγωγός κατά την ανάπτυξη ταχύτητα εντός του από το νερό δέχεται κάποιες δυνάμεις πίεσης. Σε αυτές θα πρέπει να προστίθενται και οι δυνάμεις που οφείλονται στο ίδιο βάρος του, αλλά και στις θερμοκρασιακές μεταβολές, αλλά και άλλες όπως οι σεισμικές δυνάμεις, την ώθηση από τον πλευρικό άνεμο κλπ. Η παραλαβή όλων αυτών των δυνάμεων γίνεται μέσω πέδινων αντιστήριξης και πέδινων στήριξης. Τα πρώτα παρεμποδίζουν μόνο την κάθετη κίνηση και όχι την σχετική στροφή (λειτουργούν σαν αρθρώσεις) ενώ τα δεύτερα παρεμποδίζουν όλα τα προηγούμενα και την σχετική στροφή (λειτουργούν σαν πακτώσεις, συνήθως είναι μονολιθικά σώματα από σκυρόδεμα). Για την ουσία αυτής της μελέτης θα μιλήσουμε παρακάτω. Τις παραμορφώσεις κατά μήκος του αγωγού λόγω θερμικών επιδράσεων τις παραλαμβάνουν οι διαστολικοί σύνδεσμοι (Παπαντώνης, 2008). Το Σχήμα 4.25 δείχνει την μορφή των στηρίξεων.

Ο αγωγός επίσης θα πρέπει να έχει επαρκή επιφανειακή προστασία, τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά, κάτι που σημαίνει συνήθως η τοποθέτηση του σε όρυγμα και η υπογειοποίηση του με στρώμα άμμου, η επάλειψη του με π.χ. λιθανθρακόπισσα και ταινίες υαλοβάμβακα, αλλά και συνήθως στα ΜΥΗΕ, η καθοδική προστασία (Παπαντώνης, 2008).



Σχήμα 4.25 α) Διάταξη αγκυρώσεων και στηριγμάτων και β) τυπική αγκύρωση και τυπικό στήριγμα (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

4.7 Ηλεκτρομηχανολογικός Μηχανισμός

4.7.1 Θεωρητικά Στοιχεία Υδροστρόβιλου

Αναλύοντας τα μέρη του ηλεκτρομηχανολογικού μηχανισμού βλέπουμε εν πρώτοις το σημαντικότερο στοιχείο, τον υδροστρόβιλο και στη συνέχεια τη γεννήτρια καθώς και τον υπόλοιπο βοηθητικό εξοπλισμό. Ως υδροστρόβιλος ορίζεται η μηχανή που μετατρέπει την ενέργεια του υγρού σε μηχανική ενέργεια μέσω της συνεχούς ροής του υγρού και σταθερής περιστροφικής κίνησης. Η μετατροπή της ενέργειας λαμβάνει χώρα στο στρεφόμενο μέρος της μηχανής, το οποίο καλείται δρομέας, μέσω ανάπτυξης της κινητήριας ροπής M σε αυτό.

Συμβολίζοντας με ω την γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα, η αντίστοιχη μηχανική ισχύς είναι ίση με (Παπαντωνίου, 2002):

$$N = M \cdot \omega \quad (4.18)$$

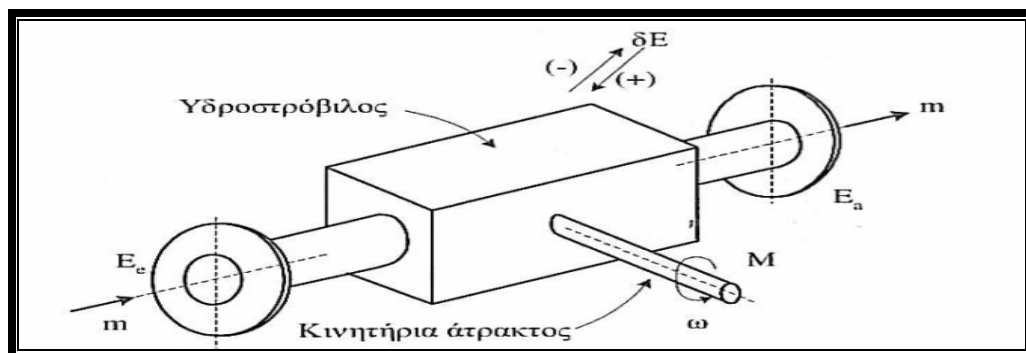
Η άτρακτος του δρομέα είναι συζευγμένη με την άτρακτο της ηλεκτρικής γεννήτριας, μέσω της οποίας μετατρέπεται η μηχανική ισχύς N σε ηλεκτρική ισχύ N_e , δηλαδή σε μια μορφή ενέργειας η οποία είναι εύκολο να μεταφερθεί στον τόπο κατανάλωσης της. Για την σταθεροποίηση της περιστροφικής κίνησης της ατράκτου, θα πρέπει να αναπτύσσεται ανθιστάμενη ροπή στην κοινή άτρακτο, ίση προς την κινητήρια, αλλά αντιθέτου φοράς. Το μοντέλο του υδροστρόβιλου περιγράφεται από την εικόνα του Σχήματος 4.26, όπου οι διατομές εισόδου και εξόδου συμβολίζονται με τους δείκτες a και e αντίστοιχα. Εξετάζοντας την ενεργειακή κατάσταση σε κάθε διατομή και στοιχειοθετώντας τον ενεργειακό ισολογισμό, έχουμε πως στην θέση της ατράκτου η θεωρητική ισχύς N_i του υδροστρόβιλου είναι ίση με (Παπαντωνίου, 2002):

$$N_i = m(E_e - E_a) \quad (4.19)$$

όπου m η μάζα του διερχόμενου υγρού και E_a, E_e οι ενεργειακές καταστάσεις του υγρού στην έξοδο και στην είσοδο αντίστοιχα. Η μετατροπή αυτή της ενέργειας του υγρού σε μηχανική ισχύ γίνεται από κατάλληλη διαμόρφωση του δρομέα. Η πραγματική ισχύ που αναπτύσσεται στην άτρακτο όπως καθορίστηκε στη σχέση (4.18) θα είναι μικρότερη από την θεωρητική ισχύ της σχέσης (4.19). Οι ενεργειακές απώλειες οφείλονται κύρια στις απώλειες λόγω τριβών της ροής δια μέσου της μηχανής και στις απώλειες τριβής των εδράνων της ατράκτου. Έτσι μπορούμε να μιλήσουμε για τον ολικό βαθμό απόδοσης η του υδροστρόβιλου που είναι (Παπαντωνίου, 2008):

$$\eta = \frac{N}{N_i} \quad (4.20)$$

που εκφράζει το ποσοστό της δέσμωσης ενέργειας προς μετατροπή από κινητική σε μηχανική ενέργεια. Η ισοδύναμη σχέση της (4.19) είναι φυσικά η (4.14). Ο υδροστρόβιλος παίρνει πολλές κατασκευαστικές μορφές αλλά κάθε διαφορετικός μορφολογικός τύπος περιέχει έναν δρομέα που αποτελείται από πτερύγια, δηλαδή φέρουσες επιφάνειες και σίγουρα τον δίσκο της πλήμνης στον οποίο είναι πακτωμένα τα πτερύγια.



Σχήμα 4.26 Ενεργειακός ισολογισμός σε υδροστρόβιλο (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

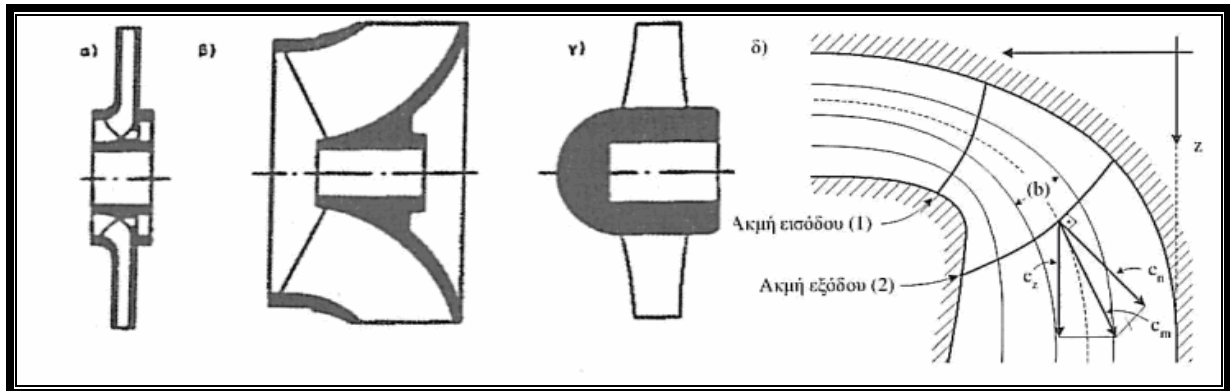
Οι δρομείς των υδροστροβίλων Francis φέρουν και δίσκο στεφάνης στον οποίο είναι πακτωμένα τα άκρα των περυγίων, ενισχύοντας με αυτόν τον τρόπο τη στιβαρότητα της κατασκευής. Οι δυνάμεις και ροπές στρέψεως που αναπτύσσονται στα περύγια μεταφέρονται στην πλήμνη και από αυτή στην άτρακτο της μηχανής. Για λόγους ζυγοστάθμισης η μορφή κάθε υδροστρόβιλου είναι αξονοσυμμετρική ως προς τον άξονα περιστροφής. Στα περύγια κατά την κίνηση του νερού, αναπτύσσονται στατικές πιέσεις. Ο τρόπος ανάπτυξης τους χωρίζει τους υδροστρόβιλους σε δύο κατηγορίες: τους υδροστρόβιλους ολικής προσβολής (ή αλλιώς αντιδράσεως), στους οποίους η ροή μέσω του δρομέα γίνεται με παράλληλη μεταβολή της στατικής πίεσης του υγρού, και οι υδροστρόβιλοι μερικής προσβολής (ή αλλιώς δράσεως) στους οποίους όλος ο δρομέας λειτουργεί σε χώρο μηδενικής μεταβολής της στατικής πίεσεως με μηδενικό βαθμό αντιδράσεως. Υπενθυμίζεται πως ο βαθμός αντίδρασης μιας βαθμίδας στροβιλομηχανής είναι ο λόγος της μεταβολής της στατικής πίεσης μεταξύ εισόδου και εξόδου της περωτής προς τη μεταβολή της στατικής πίεσης εισόδου και εξόδου από τη βαθμίδα. Για τις ανάγκες σχεδιασμού κυρίως της γεωμετρίας των υδροστρόβιλων θα πρέπει να μελετηθεί το πεδίο ροής τους και αξιοποίηση δεδομένων για την ελαχιστοποίηση των απωλειών και την βέλτιστη εκμετάλλευση του εκμεταλλεύσιμου ύψους πτώσης. Αρχικά θα πρέπει να γίνει μια αναφορά στο θεώρημα της ροπής της ορμής ή αλλιώς της συστροφής σε μερικές περωτές (Παπαντώνης, 2002). Ως μερική εννοείται μια περωτή της οποίας το πλάτος $b(r)$ είναι μικρό σε σύγκριση με την ακτίνα r , έτσι ώστε να είναι απόλυτα αποδεκτή η υπόθεση ότι κατά το πλάτος $b(r)$ οι συνθήκες ροής δεν μεταβάλλονται. Το ίδιο θα συμβαίνει και στις διατομές εισόδου και εξόδου, E_1 και E_2 αντίστοιχα, κάθε μερικής περωτής. Από το θεώρημα της συστροφής, λαμβάνοντας υπόψη την ομοιομορφία των συνθηκών της ροής στις επιφάνειες E_1 και E_2 αντίστοιχα, όπως φαίνονται

στο Σχήμα 4.27, η περιφερειακή ροπή M_u που αναπτύσσεται στον δρομέα ως προς τον άξονα περιστροφής και συμμετρίας εκφράζεται ως:

$$M_u = \rho_1 c_{n1} c_{u1} r_1 E_1 - \rho_2 c_{n2} c_{u2} r_2 E_2 \quad (4.21)$$

$$N_u = M_u \omega = m_u (u_1 c_{u1} - u_2 c_{u2}) \quad (4.22)$$

όπου $\rho_{1,2}$ η πυκνότητα του ρευστού σε κάθε θέση, $c_{n1,2}$ η ορθή συνιστώσα της ταχύτητας της ροής, $c_{u1,2}$ η περιφερειακή συνιστώσα της ταχύτητας της ροής, και $u_{1,2}$ η περιφερειακή συνιστώσα της ταχύτητας της περωτής.



Σχήμα 4.27 Μεσημβρινή τομή δρομέα α) ακτινικής ροής, β) μικτής ροής, γ) αξονικής ροής και δ) συνιστώσες της ταχύτητας και τρίγωνο ταχυτήτων εξόδου δρομέα μικτής ροής

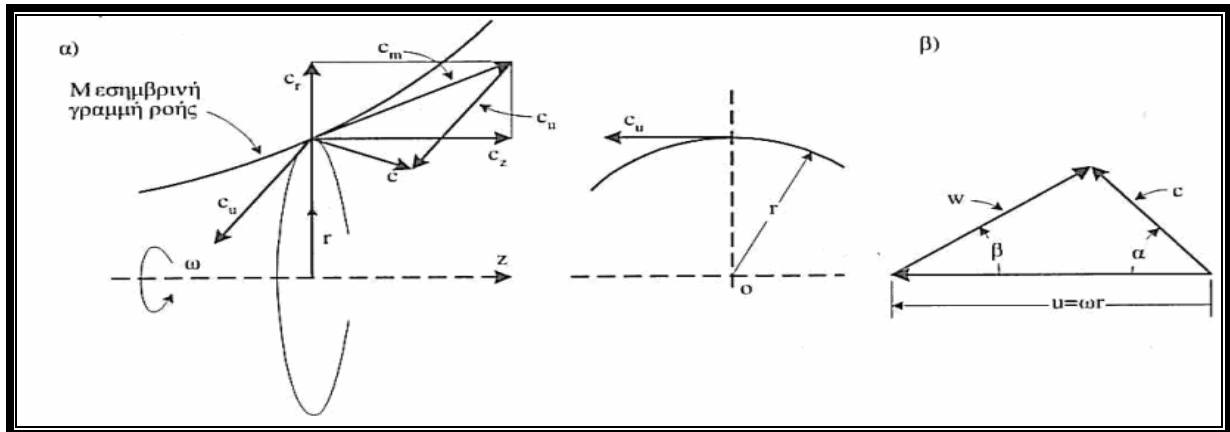
(Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

Τα παραπάνω γίνονται περισσότερο αντιληπτά εάν αναλύσουμε τα γραφήματα του Σχήματος 4.28 όπου απεικονίζεται η ανάλυση της ταχύτητας σε πολικό σύστημα συντεταγμένων επί μεσημβρινής γραμμής ροής και εμφανίζεται ο ρόλος του τριγώνου ταχυτήτων. Έτσι η ταχύτητα του ρευστού αναλύεται σε τρεις συνιστώσες: την ακτινική c_r , την αξονική c_z , και την περιφερειακή c_u . Οι δύο πρώτες συνθέτουν την μεσημβρινή συνιστώσα c_m . Στο τρίγωνο ταχυτήτων γίνεται η εισαγωγή της σχετικής ταχύτητας w , δηλαδή της ταχύτητας της ροής που θα μέτραγε ένα μετρητικό όργανο ή παρατηρητής που στρέφεται μαζί με τον δρομέα. Η απόλυτη ταχύτητα του ρευστού, στην περίπτωση δρομέα στρεφόμενου με γωνιακή ταχύτητα ω , θα είναι (Παπαντώνης, 2002):

$$\mathbf{c} = \mathbf{u} + \mathbf{w} \quad (4.23)$$

όπου η ταχύτητα του στρεφόμενου συστήματος ως προς το απόλυτο στην εξεταζόμενη θέση ακτίνας r , είναι ίση προς $\mathbf{u} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}$. Σύμφωνα με τα προηγούμενα ισχύουν οι σχέσεις:

$$\mathbf{w}_r = \mathbf{c}_r, \quad \mathbf{w}_z = \mathbf{c}_z \quad \text{και} \quad \mathbf{w}_u = \mathbf{c}_u - \mathbf{u} \quad (4.24)$$



Σχήμα 4.28 α) Συνιστώσες του διανύσματος της ταχύτητας και β) τρίγωνο ταχυτήτων (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

Οι περωτές μπορούν να χωριστούν σύμφωνα με την κατεύθυνση της ροής εντός τους. Στις περωτές ακτινικής ροής το πλάτος b των περυγίων είναι μικρό σε σχέση με την διάμετρο D της περωτής. Ως εκ τούτου η αξονική συνιστώσα είναι σχεδόν μηδενική από την είσοδο ως την έξοδο της περωτής και επομένως η μεσημβρινή συνιστώσα είναι περίπου ίση με την ακτινική συνιστώσα της ταχύτητας του ρευστού ($c_m \approx c_r$). Ένα άλλο χαρακτηριστικό των περωτών αυτής της μορφής είναι ότι το ρευστό πραγματοποιεί στροφή κλίσης 90° που αρχίζει στην είσοδο της περωτής και ολοκληρώνεται εντός αυτής. Στις περωτές αξονικής ροής το πλάτος b των περυγίων είναι μεγάλο σε σχέση με την διάμετρο D της περωτής. Επομένως η ακτινική συνιστώσα είναι σχεδόν μηδενική από την είσοδο ως την έξοδο της περωτής και η μεσημβρινή συνιστώσα είναι περίπου ίση με την αξονική συνιστώσα της ταχύτητας του ρευστού ($c_m \approx c_z$). Στις περωτές αυτής της μορφής το ρευστό δεν πραγματοποιεί στροφή εντός της περωτής. Οι περωτές μεικτής ροής είναι συνδυασμός των δύο τύπων που προαναφέρθηκαν. Σε αυτές ούτε η ακτινική, ούτε η αξονική συνιστώσα της ταχύτητας του ρευστού είναι αμελητέες και επομένως η μεσημβρινή συνιστώσα προκύπτει από την σύνθεσή τους, η οποία είναι η ταχύτητα που κείται

στο μεσημβρινό επίπεδο (επίπεδο που περιλαμβάνει τον άξονα συμμετρίας). Οι μορφές των περωτών φαίνονται στο Σχήμα 4.27.

Για ασυμπίεστο ρευστό λοιπόν η ισχύς N_u που αναπτύσσεται στην περωτή μπορεί να δοθεί από τον ανάλογο τύπο της σχέσης (4.13), δηλαδή (Παπαντώνης, 2002):

$$N_u = \gamma Q_u H_u \quad (4.25)$$

όπου Q_u η διερχόμενη παροχή από την περωτή και H_u το θεωρητικό ύψος του δρομέα. Συνδυάζοντας τις (4.22) και (4.25) έχουμε τελικά την εξίσωση που ανέπτυξε ο Euler:

$$H_u = \frac{1}{g}(u_1 c_{u1} - u_2 c_{u2}) = H_{o1} - H_{o2} \quad (4.26)$$

όπου H_{o1} και H_{o2} η ολική ενέργεια στις διατομές εισόδου και εξόδου αντίστοιχα. Από εδώ μπορούμε να προβούμε σε μια διερεύνηση συσχέτισης της γεωμετρίας των περυγίων του δρομέα με την ενέργεια που εναλλάσσεται μέσω του δρομέα. Η διερεύνηση αυτή θα γίνει σε δρομέα πλήρως ακτινικής ροής δεδομένου ότι στην περίπτωση αυτή είναι εύκολη η παράσταση των διαφόρων μεγεθών και των ταχυτήτων τόσο στην όψη όσο και στην μεσημβρινή προβολή, χωρίς όμως να περιορίζεται η γενικότητα των παρατηρήσεων και των συμπερασμάτων. Από την σχέση (4.26) γίνεται φανερό πως η εκμετάλλευση του θεωρητικού ύψους γίνεται βέλτιστη για την όσο το δυνατόν ελάττωση της H_{o2} . Ένας από τους όρους της ενέργειας είναι η κινητική ταχύτητα του υγρού όπου εδώ έχουμε τη συνεισφορά της ακτινικής και της περιφερειακής συνιστώσας (στον δρομέα ακτινικής ροής $c_z \approx 0$). Από τις δύο αυτές συνιστώσες η ακτινική c_{r2} συνδέεται με την αρχή της συνέχειας και δεν απαλείφεται ενώ η c_{u2} είναι ουσιαστικά άχρηστη: αυξάνει τις απώλειες της ροής κατάντη του δρομέα και αποτελεί μια μορφή ενέργεια που διαφεύγει από τον δρομέα ανεκμετάλλευτη. Για τους λόγους αυτούς επιδιώκεται η μορφοποίηση του δρομέα ώστε το υγρό να εξέρχεται χωρίς συστροφή και να ισχύει:

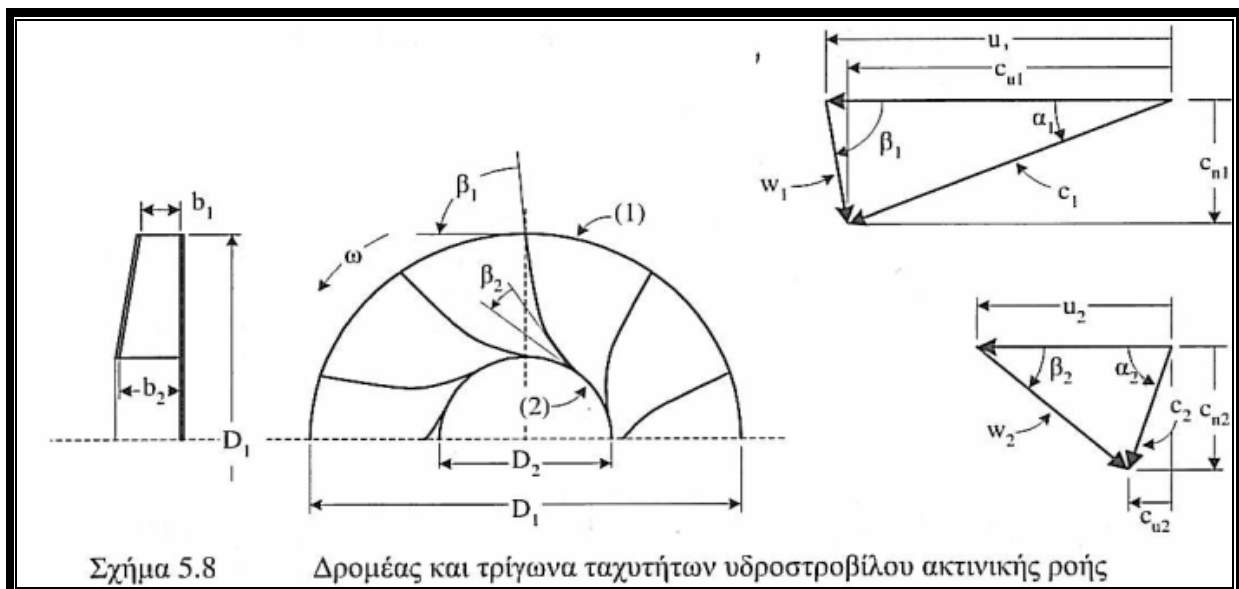
$$H_{ud} = \frac{1}{g} u_1 c_{u1} \quad (4.27)$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω είναι δυνατή η σχεδίαση των περυγίων της περωτής, όπου αναλύοντας την ροή σύμφωνα με τα τρίγωνα ταχυτήτων, στο τρίγωνο εισόδου είναι γνωστή η περιφερειακή ταχύτητα $u_1 = \omega \times D_1 / 2$, η ακτινική συνιστώσα της ταχύτητας $c_{r1} = w_{r1}$, ίση προς $c_{r1} = Q_u / \pi D_1 b_1$, η περιφερειακή συνιστώσα c_{u1} όπως προκύπτει από τη σχέση (4.27) και

άρα είναι γνωστή η c_1 . Από την εφαρμογή της διανυσματικής ανάλυσης της σχέσης (4.24) προκύπτει η σχετική ταχύτητα στη διατομή w_1 η απαιτούμενη κλίση της οποίας είναι β_1 (Σχήμα 4.29). Από εδώ προσδιορίζουμε την γωνία πρόσπτωσης του διερχόμενου υγρού. Με παρόμοιο τρόπο προσδιορίζουμε την γωνία εκφυγής του νερού β_2 . Από την σχέση (4.27) γίνεται φανερός ο ρόλος της περιφερειακής ταχύτητας στην εξωτερική περίμετρο του δρομέα. Υπενθυμίζεται εδώ πως η γωνιακή ταχύτητα υπολογίζεται από τον τύπο (Παπαντωνίου, 2008):

$$\omega = 2\pi n / 60 \quad (4.28)$$

όπου η γωνιακή ταχύτητα μετριέται σε rad/sec και n σε RPM (rotations per minute – στροφές ανά λεπτό). Τα υπόλοιπα στοιχεία των εξισώσεων διακρίνονται στο Σχήμα 4.29. Η επιλογή του καλύτερου συνδυασμού ταχύτητας περιστροφής και διαμέτρου του δρομέα, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της μηχανής και για αυτό ο συνδυασμός ταχύτητας περιστροφής και διαμέτρου του δρομέα είναι αποτέλεσμα οικονομοτεχνικής επιλογής. Υπενθυμίζεται εδώ ότι στις περιπτώσεις προσθήκης διάταξης ακίνητης ακτινικής στεφάνης περυγίων, μπορεί να μην αναπτύσσεται έργο και άρα μετατροπή ενέργειας σε μηχανική (άεργη ροή) σε αυτήν λόγω ακινησίας, αλλά αυτό σημαίνει πως η ροπή πρέπει να παραληφθεί από τα έδρανα του υδροστροβίλου. Η στεφάνη αυτή διαθέτει ρυθμιστικά περύγια, αξονοσυμμετρικά τοποθετημένα, που περιστρέφονται ομοιόμορφα μέσω μηχανισμού, αλλάζοντας την



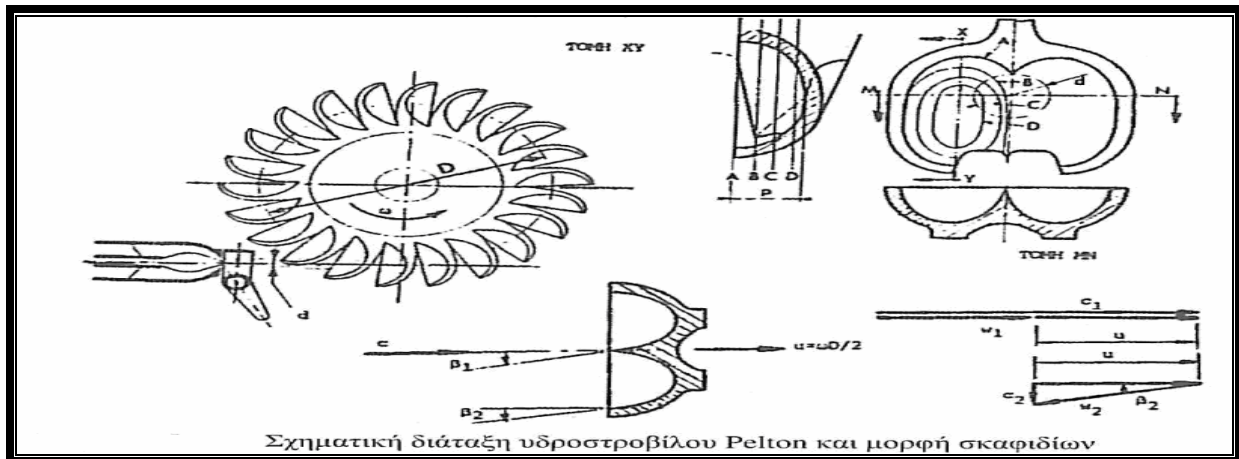
Σχήμα 5.8 Δρομέας και τρίγωνα ταχυτήτων υδροστροβίλου ακτινικής ροής

Σχήμα 4.29 Δρομέας και τρίγωνα ταχυτήτων υδροστροβίλου ακτινικής ροής

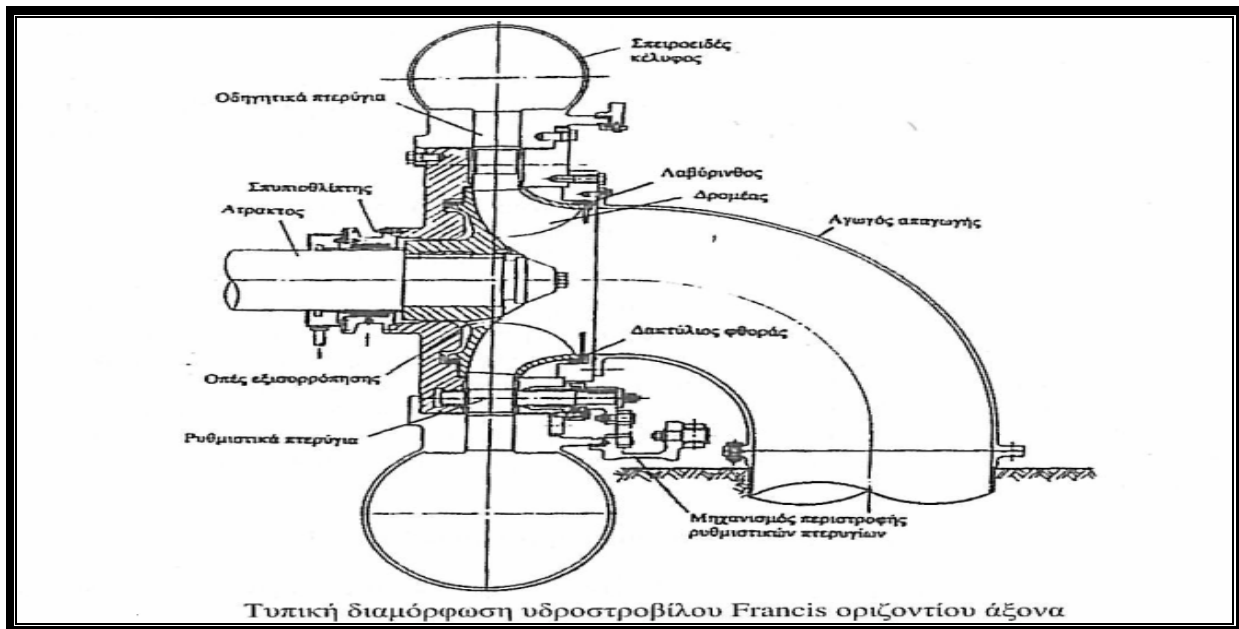
(Πηγή: Παπαντωνίου, 2008)

κλίση της ταχύτητας στη διατομή εξόδου τους και άρα τη συστροφή του υγρού ανάντη του δρομέα, δηλαδή το γινόμενο $u_1 c_{u1}$. Εκτός αυτού του ρόλου, η περιστροφή των ρυθμιστικών πτερυγίων επιτυγχάνει και μεταβολή του διάκενου των πτερυγίων, άρα και τη μεταβολή της παροχής κι έτσι της ρύθμισης της παραγόμενης ισχύος του υδροστροβίλου, για σταθερή ταχύτητα περιστροφής και διαθέσιμη υδραυλική πτώση. Από εδώ λοιπόν ρυθμίζεται το σημείο λειτουργίας του υδροστροβίλου (Παπαντώνης, 2008).

Τα τμήματα ενός συνηθισμένου υδροστρόβιλου αντιδράσεως περιληπτικά περιλαμβάνουν τα εξής μέρη: (α) το τμήμα εισόδου με τη ρυθμιστική στεφάνη, το οποίο εξασφαλίζει την ομοιόμορφη τροφοδοσία του δρομέα κατά την περιφέρεια, μέσω της διαμόρφωσης μορφής σπειροειδούς κελύφους, (β) τον δρομέα στον οποίον μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του νερού σε μηχανική, ο οποίος περιλαμβάνει την πτερύγωση και πιθανώς πλήμνη, η οποία βοηθάει στην ανάπτυξη μεγαλύτερης στιβαρότητας της κατασκευής, (γ) την άτρακτο, το μέσο μετάδοσης στροφών στην ηλεκτρική γεννήτρια και άρα ενεργοποίησης της, (δ) το τμήμα εξόδου, που σκοπό έχει την περισυλλογή του διερχόμενου νερού και την επιβράδυνση της ταχύτητας του στη διάωρυγα επιστροφής του στο υδατόρευμα, το οποίο τμήμα έχει συνήθως μορφή ευθύγραμμου κωνικού αποκλίνοντος τμήματος, γωνίας κώνου όχι μεγαλύτερης των 7° για τη μη αποκόλληση της ροής, (ε) τον μηχανισμό στεγανότητας που αποτελείται κυρίως από στυπιοθλίπτες που παρεμβάλλονται μεταξύ της ατράκτου και του εσωτερικού τοιχώματος που διαχωρίζει την πτερωτή από την υπόλοιπη μηχανή, ο οποίος είναι απαραίτητος προκειμένου να μη διαφεύγει το ρευστό από το τμήμα της πτερωτής στο υπόλοιπο εσωτερικό της μηχανής και διαταραχθεί η ομαλή λειτουργία της μηχανής, καθώς και για τη μη εισχώρηση αέρα κατά τη φάση εκκίνησης καθώς θα αναπτυχθούν υποπίεσεις, και (ζ) το εξωτερικό κέλυφος που συνδέει όλα τα υπόλοιπα τμήματα του υδροστρόβιλου. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι υδροστρόβιλοι Francis, ακτινικής και μεικτής ροής, ο υδροστρόβιλος διαγώνιος ροής Deriaz και οι υδροστρόβιλοι αξονικής ροής Kaplan, ο βολβοειδής, ο σωληνωτός και ο υδροστρόβιλος δακτυλίου (Straflo). Αντίθετα διαφορές υπάρχουν στους υδροστρόβιλους δράσεως τύπου Pelton, Turgo και Cross – Flow (ή Banki) όπου εκεί η τροφοδοσία της ροής γίνεται μέσω ακροφύσιων τροφοδοσίας και αντί της ύπαρξης πτερύγωσης η περιφέρεια του δρομέα φέρει σκαφίδια που δέχονται τη δύναμη από τα ακροφύσια. Χαρακτηριστική εικόνα του υδροστρόβιλου Pelton φαίνεται στο Σχήμα 4.30, ενώ το Σχήμα 4.31 αφορά την τυπική διαμόρφωση του υδροστρόβιλου Francis.



Σχήμα 4.30 Διάταξη υδροστροβίλου Pelton και μορφή σκαφιδίων (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)



Σχήμα 4.31 Διάταξη υδροστροβίλου Francis οριζόντιου άξονα (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

Κάθε υδροστροβίλος λειτουργεί σε ένα σημείο λειτουργίας το οποίο βρίσκεται πάνω στην χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας του υδροστροβίλου, που μπορεί να παρασταθεί και σε ένα γράφημα. Ως χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας ενός υδροστροβίλου εννοούνται οι καμπύλες μεταβολής της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης H_{net} συναρτήσει της παροχής Q με παράμετρο το άνοιγμα A των ρυθμιστικών πτερυγίων και για σταθερή ταχύτητα περιστροφής. Οι καμπύλες αυτές χαράσσονται εργαστηριακά σε γεωμετρικά όμοιο μοντέλο σύμφωνα με τους νόμους ομοιότητας για τη συναγωγή συμπερασμάτων.

Άλλα διαγράμματα που χρησιμοποιούνται στους υδροστροβίλους είναι εκείνα προς σύγκριση και επιλογή τύπου υδροστροβίλου. Δεν είναι όλοι οι υδροστροβίλοι κατάλληλοι για χρήση και αξιοποίηση σε όλες τις περιπτώσεις. Τα κυριότερα κριτήρια επιλογής που αλληλοδιαπλέκονται μεταξύ τους είναι το ύψος υδάτινης πτώσης, η παροχή, και η ταχύτητα περιστροφής. Τα διαγράμματα αυτά αντιστοιχούν σε οικονομοτεχνικά βιώσιμες και λειτουργικές κατασκευές, πράγμα που σημαίνει ότι έχουν παραχθεί στη βάση υπαρχόντων πρότυπων μετρήσεων από διάφορα είδη υδροστροβίλων και πίσω από αυτά υπάρχουν κάποια όρια και παραδοχές. Από εκεί και πέρα είναι η ευθύνη του μηχανικού να τα συμβουλευτεί και να εκλέξει έστω, αρχικές σύμφωνες λύσεις. Τα όρια και οι παραδοχές αφορούν κυρίως τον βαθμό απόδοσης των υδροστροβίλων στο κανονικό σημείο λειτουργίας (κάτι που προϋποθέτει ένα περιθώριο πλαισίου λειτουργίας για κάθε τύπο υδροστροβίλου), το τρίγωνο εισόδου στον κάθε υδροστροβίλο και τη μορφή του (αναλογίες ταχυτήτων, γωνίες κλπ), καθώς και όρια κατασκευής όπως το ότι η u_1 δεν ξεπερνάει τα 50-60 m³/sec στα συνήθη κράματα από τα οποία κατασκευάζονται οι δρομείς των υδροστροβίλων. Όλα τα παραπάνω προέρχονται από εργαστηριακό προσδιορισμό των λειτουργικών χαρακτηριστικών υδροστροβίλων, σε γεωμετρικά όμοια μοντέλα, τα οποία συνδέονται με νόμους ομοιότητας προς τα πραγματικά μοντέλα προς χρήση. Ένα σημαντικό μέγεθος που εμφανίζεται για να αποδώσει την εδώ την ταχύτητα περιστροφής (η οποία είναι καθοριστική για τον υπολογισμό της ταχύτητας περιστροφής της γεννήτριας άρα και της παραγόμενης ενέργειας) είναι ο ειδικός αριθμός στροφών. Για μια συγκεκριμένη μορφή της μεσημβρινής τομής των υδροστροβίλων, όλοι οι γεωμετρικά όμοιοι υδροστροβίλοι έχουν την ίδια τιμή για τον ειδικό αριθμό στροφών. Ως ειδικός αριθμός στροφών ως προς παροχή n_q του υδροστροβίλου ορίζεται η ταχύτητα περιστροφής ιδεατού γεωμετρικά όμοιου προς αυτόν υδροστροβίλου ο οποίος στο κανονικό σημείο λειτουργίας του θα έχει $Q_K'=1$ και $H_K'=1$. Απαλείφοντας από τις εξισώσεις τον γεωμετρικό λόγο ομοιότητας προκύπτει (Παπαντώνης, 2008):

$$n_q = n \frac{Q_K^{1/2}}{H_K^{1/2}} \quad (4.29)$$

όπου εδώ ο δείκτης K συμβολίζει το χαρακτηριστικό σημείο λειτουργίας σε κάθε περίπτωση. Κατά παράδοση, αν και όλο και λιγότερο σήμερα, χρησιμοποιείται και ο ειδικός αριθμός στροφών ως προς ισχύ n_s ο οποίος είναι παράμετρος της ισχύς και της υδατόπτωσης. Δηλαδή:

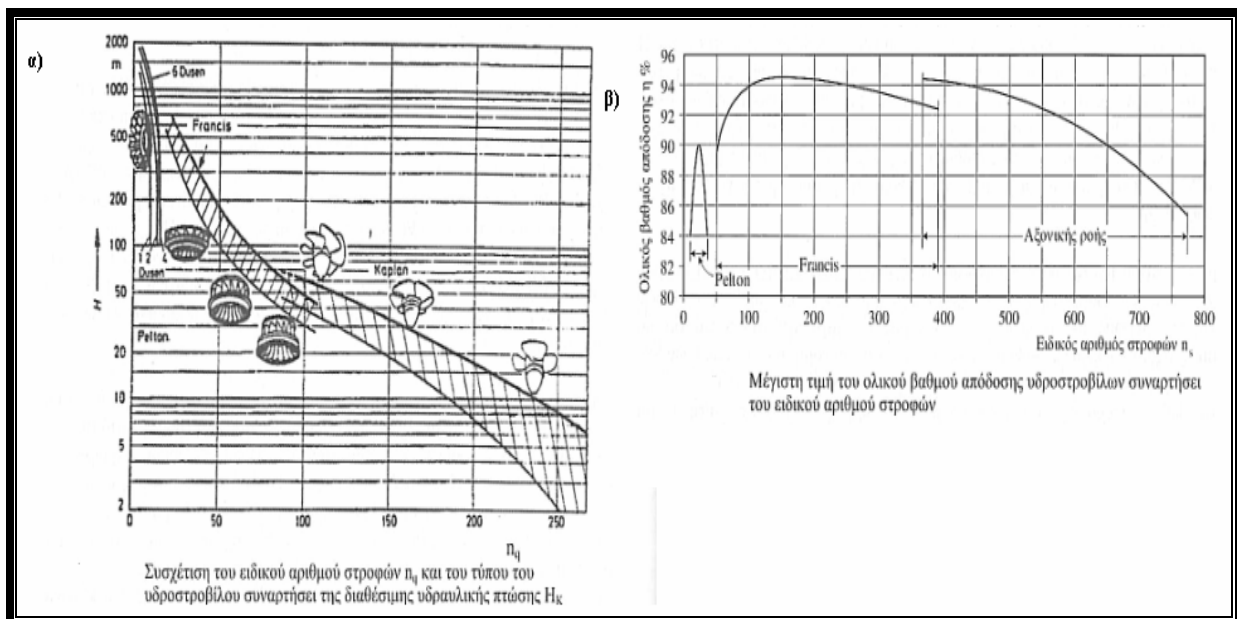
$$n_s = n \frac{N_K^{1/2}}{H_K^{5/4}} \quad (4.30)$$

η καταρχήν επιλογή της τιμής του μπορεί να γίνει από συσχετίσεις διατυπωμένες σε μαθηματικές εξισώσεις μετά από ανάλυση μεγάλου αριθμού κατασκευασμένων υδροστροβίλων. Παραθέτουμε χαρακτηριστικά τις περιπτώσεις των στροβίλων Francis και Pelton αντίστοιχα:

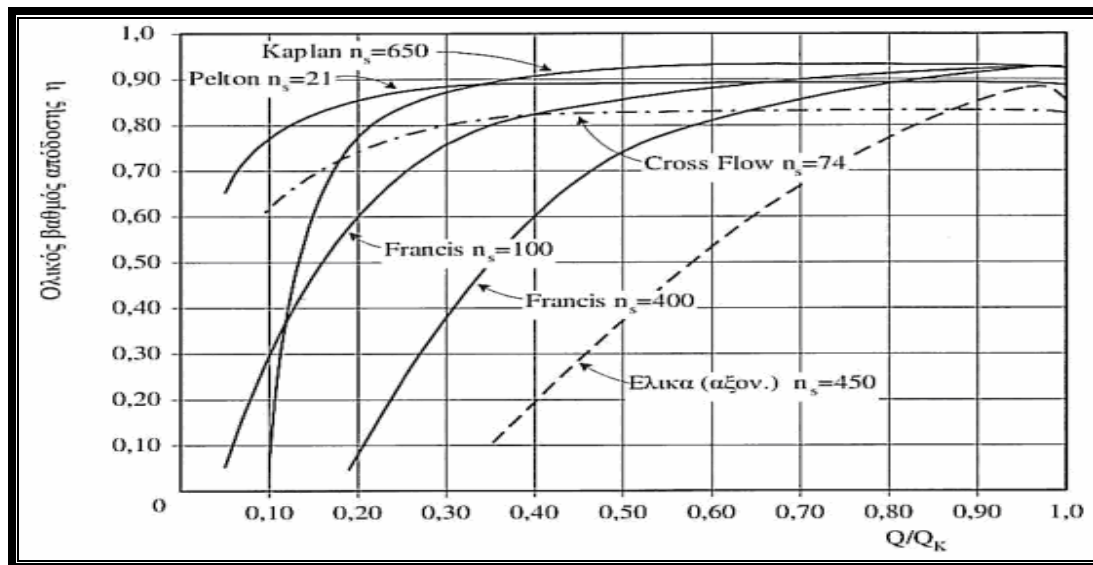
$$n_s = 1304 \cdot H_K^{-0.654} \quad (4.31)$$

$$n_s = 196 \cdot H_K^{-0.5} \quad (4.32)$$

Παρακάτω φαίνεται στο Σχήμα 4.32 με τη σειρά: (α) διάγραμμα συσχέτισης του ύψους εκμεταλλεύσιμης πτώσης και τον ειδικό αριθμό στροφών ως προς παροχή, (β) το διάγραμμα συσχέτισης του βαθμού απόδοσης και του ειδικού αριθμού στροφών ως προς ισχύ ενώ στο Σχήμα 4.33 φαίνεται το διάγραμμα ενδεικτικής μεταβολής του ολικού βαθμού απόδοσης υδροστροβίλων συναρτήσει του φορτίου του (Παπαντώνης, 2008).



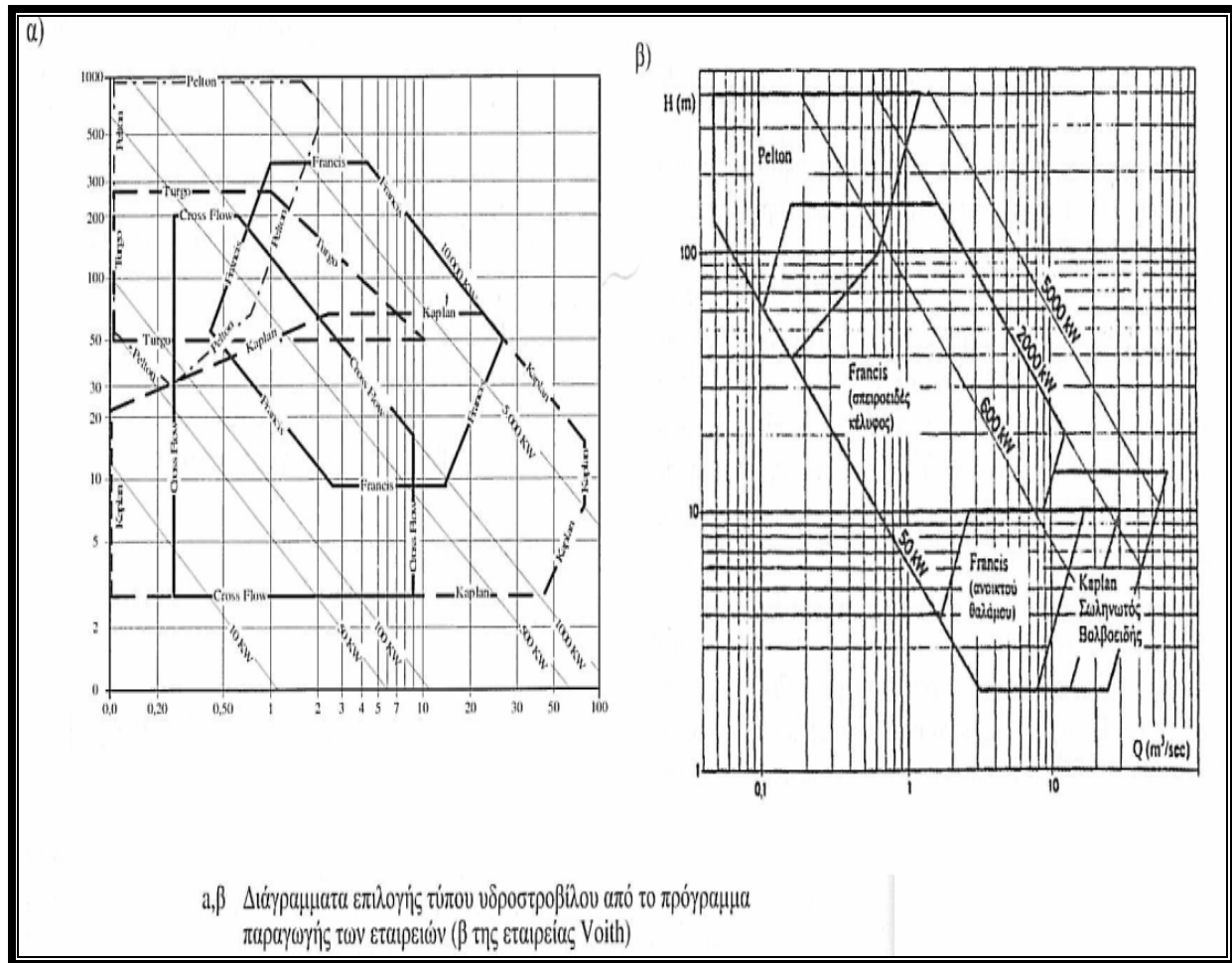
Σχήμα 4.32 α) Διάγραμμα συσχέτισης του ειδικού αριθμού στροφών και του τύπου του υδροστροβίλου συναρτήσει της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης και β) διάγραμμα μέγιστης τιμής του ολικού βαθμού απόδοσης υδροστροβίλων συναρτήσει του ειδικού αριθμού απόδοσης με (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)



Σχήμα 4.33 Διάγραμμα μεταβολής του ολικού βαθμού απόδοσης υδροστροβίλων συναρτήσει του φορτίου τους (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

Για το τελευταίο διάγραμμα σημειώνουμε πως η εκλογή του μικρότερου δυνατού υδροστροβίλου μπορεί να έχει επιπτώσεις όπως χαμηλό βαθμό απόδοσης, αστάθεια λειτουργίας, υπερβολικές εκσκαφές για ασφαλή λειτουργία λόγω σπηλαιώσης κλπ. Επίσης φαίνεται και από όλα τα διαγράμματα ότι πρακτικά υπάρχει ένα εύρος καλής λειτουργίας που περιορίζονται τόσο τα ύψη υδατόπτωσης, όσο και οι διερχόμενες παροχές.

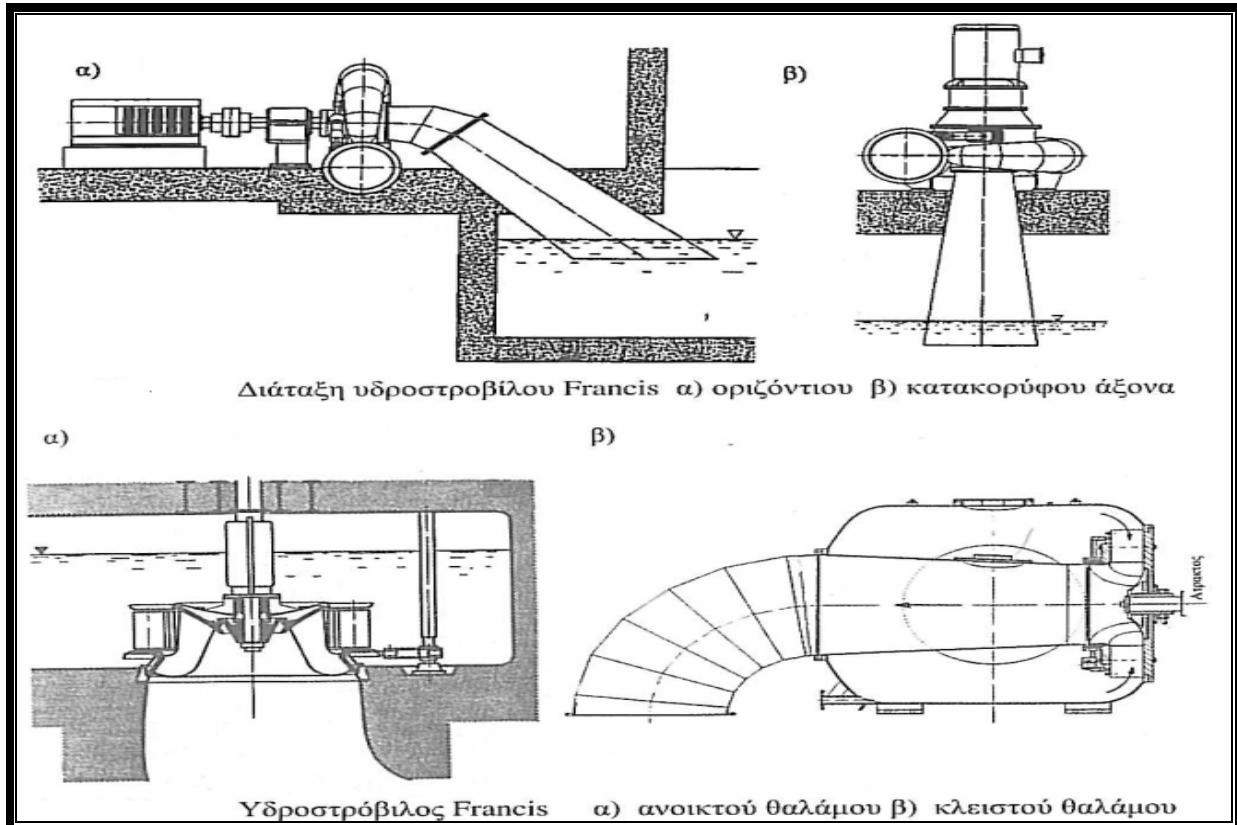
Όπως προέκυψε από τα προηγούμενα οι υδροστροβίλοι καλύπτουν το ευρύτερο πεδίο στο διάγραμμα παροχής – υδραυλικής πτώσης και για το λόγο αυτό η εφαρμογή τους είναι η συχνότερη. Κατασκευάζονται τυποποιημένοι από μεγάλο πλήθος κατασκευαστών καλύπτοντας την περιοχή ισχύος από 100 περίπου kW μέχρι 10 ή 15 MW, όπως φαίνονται στο Σχήμα 4.34.



Σχήμα 4.34 Διαγράμματα επιλογής τύπου υδροστροβίλου (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

Επίσης προσφέρονται σε διάφορες διαμορφώσεις και διατάξεις που αναφέρονται κυρίως στη διεύθυνση του άξονα περιστροφής και στο τμήμα εισόδου. Μιλάμε δηλαδή είτε για διαμορφώσεις του άξονα, σε οριζόντια ή κατακόρυφη μορφή, σπειροειδούς ή μη σπειροειδούς τύπου. Ο οριζόντιος υδροστρόβιλος μπορεί να εδράζεται στα δικά του έδρανα και έτσι η ηλεκτρική γεννήτρια να είναι τυποποιημένη και απλής κατασκευής. Αντίθετα στον κατακόρυφο, ο δρομέας του μπορεί να εδράζεται στα έδρανα της γεννήτριας, αλλά αυτό σημαίνει πως η τελευταία θα πρέπει να είναι ειδικής σχεδίασης. Μεταξύ γεννήτριας και υδροστροβίλου μπορεί να παρεμβάλλεται ελαστικός σύνδεσμος. Ο δρομέας συνήθως κατασκευάζεται από ανοξείδωτο χάλυβα, συγκολλητό, ενώ για τα μικρά μεγέθη μπορεί να κατασκευαστεί χυτός από μπρούντζο νικελίου αλουμινίου. Στην περίπτωση του μη σπειροειδούς τύπου έχουμε τον τύπο ανοικτού

θαλάμου για μικρές παροχές ή τον τύπο κλειστού θαλάμου. Στο Σχήμα 4.35 φαίνονται τα πιθανά σχήματα του τύπου Francis

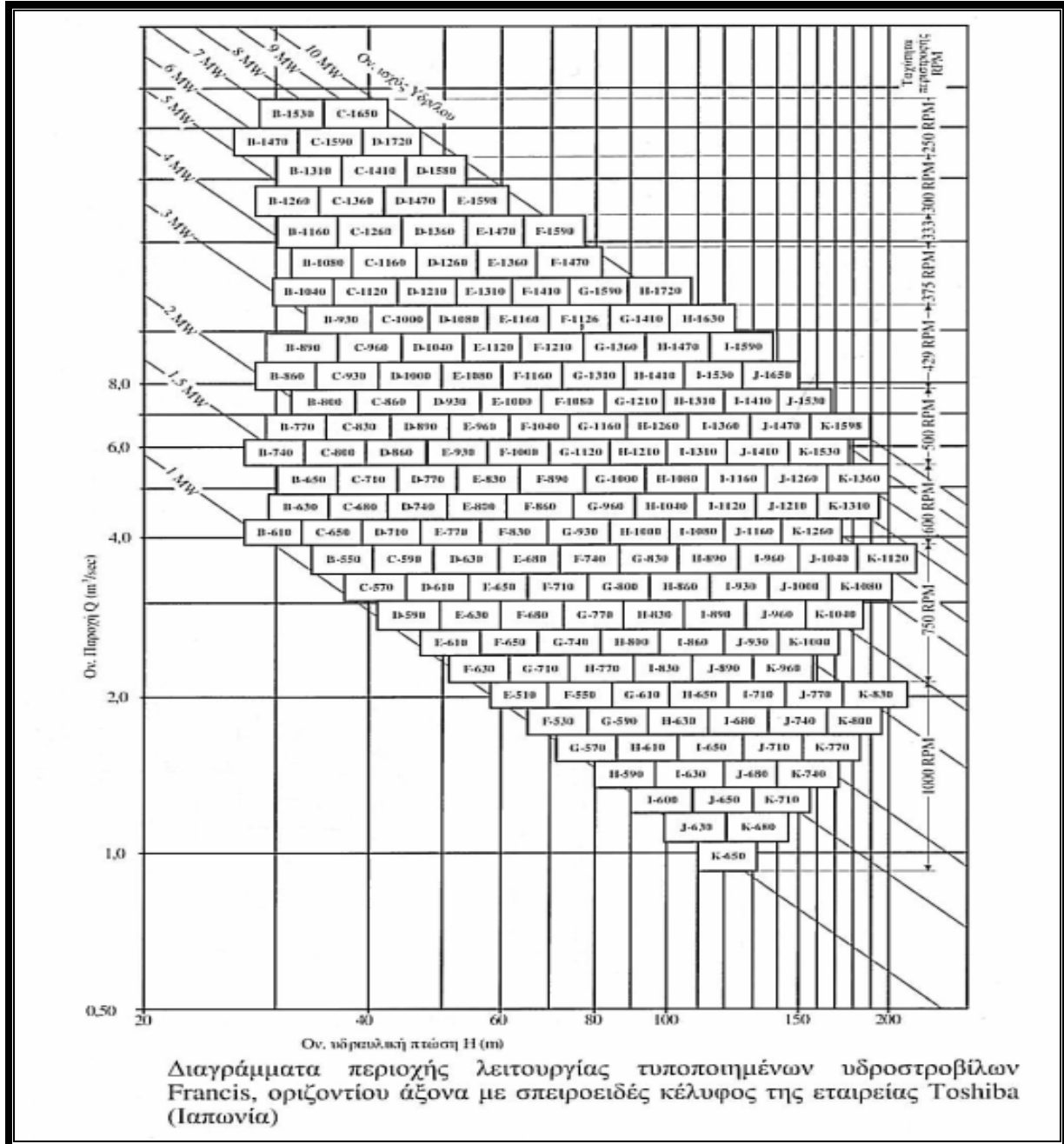


Σχήμα 4.35 Διατάξεις υδροστροβίλου Francis οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα, ανοικτού και κλειστού θαλάμου (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

Στο διάγραμμα του Σχήματος 4.33 όπως είδαμε φαίνεται η μεταβολή απόδοσης του υδροστροβίλου Francis. Η μέγιστη τιμή του ολικού βαθμού απόδοσης του υδροστροβίλου επιτυγχάνεται με μία μέση τιμή του ειδικού αριθμού στροφών. Όσο αυξάνει η τιμή του ειδικού αριθμού στροφών τόσο περισσότερο απότομη γίνεται η καμπύλη βαθμού απόδοσης συναρτήσει του φορτίου, άρα τόσο μειώνεται το εύρος λειτουργίας του υδροστροβίλου Francis (Παπαντώνης, 2008).

Τέλος στο Σχήμα 4.36 δίνουμε το διάγραμμα επιλογής κατηγορίας τυποποιημένου υδροστροβίλου Francis, οριζόντιου άξονα με σπειροειδής κέλυφος, που δίνει η εταιρεία Toshiba για διάφορες ανάγκες εξυπηρέτησης των παροχών και της υδατόπτωσης. Τα γράμματα σε κάθε

κατηγορία συμβολίζουν την τιμή του ειδικού αριθμού στροφών (υψηλή τιμή του ισούται με μικτή ροή εντός του δρομέα, ενώ χαμηλή τιμή του ισούται με έντονα ακτινική ροή) και τα νούμερα συμβολίζουν την διάμετρο του δρομέα.



Σχήμα 4.36 Διάγραμμα περιοχής λειτουργίας τυποποιημένων υδροστρόβιλων Francis οριζόντιου άξονα με σπειροειδής κέλυφος της εταιρείας Toshiba (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

4.7.2 Θεωρητικά Στοιχεία Γεννήτριας

Ένα άλλο σημαντικό τμήμα του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού είναι η γεννήτρια, η οποία παραλαμβάνει την μηχανική ισχύ από τον υδροστρόβιλο και την μετατρέπει σε ηλεκτρική. Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στην ανάπτυξη ηλεκτρεγερτικής δύναμης από επαγωγή, χρησιμοποιώντας απλές διατάξεις που περιλαμβάνουν κυρίως ένα σταθερό στοιχείο, τον στάτη, και ένα στρεφόμενο στοιχείο, τον ρότορα. Ένα από τα δύο στοιχεία πρόκειται για μαγνήτη ο οποίος παράγει μαγνητικό πεδίο, όπου οι πόλοι του μπορεί να είναι εσωτερικοί και να λαμβάνουν τη θέση του ρότορα ή εξωτερικοί και να λαμβάνουν τη θέση του στάτη. Οι γεννήτριες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες τις σύγχρονες και τις ασύγχρονες. Και οι δύο έχουν το καθήκον να μεταδώσουν ρεύμα σταθερής συχνότητας στο ηλεκτρικό δίκτυο, είτε αυτό είναι αυτόνομο, είτε ισχυρά διασυνδεδεμένο εθνικό δίκτυο. Εξετάζουμε πρώτα τις σύγχρονες γεννήτριες (ή εναλλακτήρες).

Στο Σχήμα 4.37, (σχήμα α) φαίνεται μια στοιχειώδης σύγχρονη γεννήτρια όπου υπάρχει ένας μόνιμος μαγνήτης και στο εσωτερικό επαγωγικό τύμπανο είναι τοποθετημένοι δύο αγωγοί κ - λ και ν - μ όπου ενώνονται στο πίσω μέρος και σχηματίζουν μια σπείρα. Η περιστροφή αυτής, παράγει ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις στους αγωγούς που αθροίζονται, σε κάθε στιγμή, και η σχέση που περιγράφει το φαινόμενο είναι (Παπαντώνης, 2008):

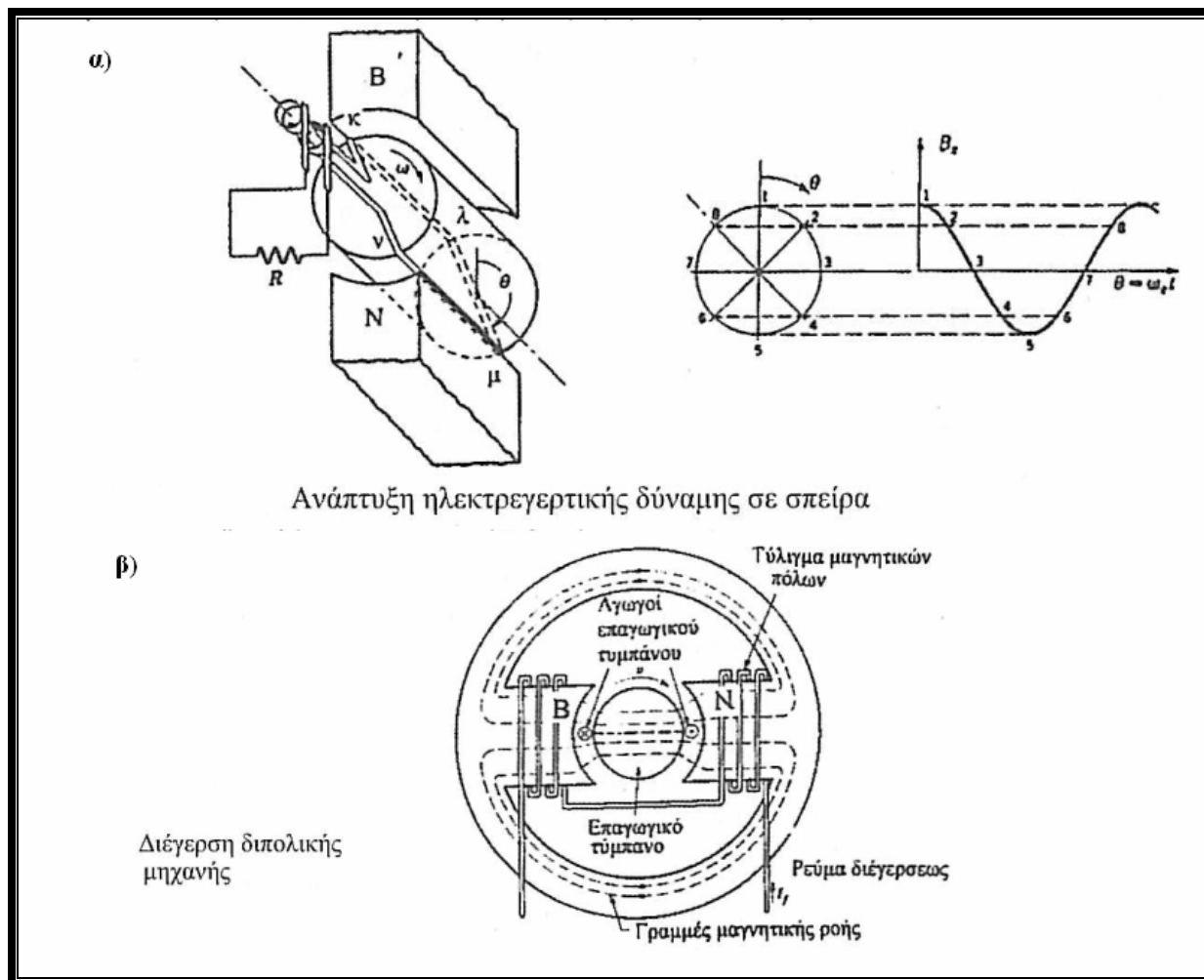
$$e(t) = 2 \cdot B(t) \cdot l \cdot u \quad (4.34)$$

όπου $e(t)$ είναι το μέγεθος της ηλεκτρεγερτικής δύναμης, $B(t)$ η ένταση του μαγνητικού πεδίου κάθε στιγμή, l το μήκος των αγωγών, u η περιφερειακή ταχύτητα του τύμπανου. Στο διάγραμμα του Σχήματος 4.37 φαίνεται η κατανομή του μαγνητικού πεδίου σύμφωνα με την γωνία περιστροφής, όπου γίνεται μέγιστο στο μέσο των πόλων, και μηδέν στην ουδέτερη ζώνη. Εάν τα άκρα της σπείρας συνδεθούν με μια ωμική αντίσταση R , η οποία αποτελεί το φορτίο, μέσω δακτυλιδιών και ψηκτρών μονωμένων μεταξύ τους και προς τον άξονα, τότε θα διαρρέεται από εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα έντασης:

$$i(t) = \frac{e(t)}{R} \quad (4.35)$$

Προκύπτει μια στοιχειώδης γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος, περιόδου ίσης με την περίοδο περιστροφής της σπείρας, άρα και της περιόδου του μαγνητικού πεδίου (εξού και ο χαρακτηρισμός σύγχρονη). Οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις σε αντιδιαμετρικά τοποθετημένους

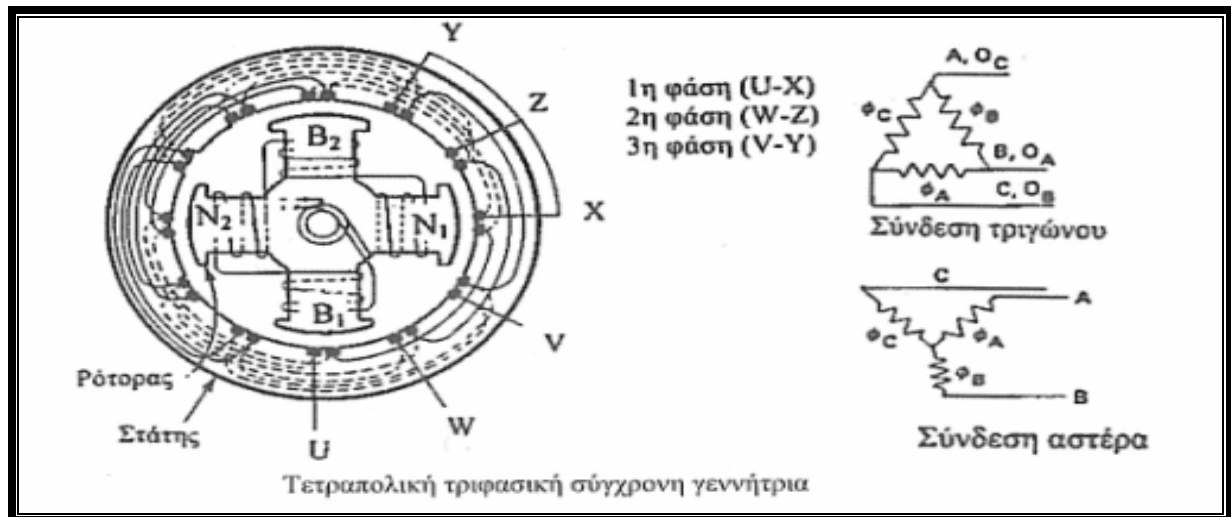
αγωγούς είναι επαπτομενικές του τύμπανου και αντίθετες προς την φορά περιστροφής. Αυτό σημαίνει πως η ροπή που αναπτύσσεται είναι ανθιστάμενη προς τη ροπή περιστροφής του υδροστρόβιλου, και για την επίτευξη σταθερής γωνίας ταχύτητας θα πρέπει οι δύο αναπτυσσόμενες ροπές να εξισορροποούνται.



Σχήμα 4.37 α) Ανάπτυξη ηλεκτρεγερτικής δύναμης σε σπείρα, β) Διπολικής μηχανή που λειτουργεί σε ρεύμα διεγέρσεως (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

Οι εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους χρησιμοποιούνται για μικρές ισχείς και χαμηλές τάσεις ενώ για μεγαλύτερες ισχείς και σχετικά χαμηλές ταχύτητες περιστροφής, όπως στην περίπτωση των περισσότερων ΥΗΕ, χρησιμοποιούνται εναλλακτήρες με εσωτερικούς πόλους, όπως δείχνει το Σχήμα 4.38. Ταυτόχρονα και στις δύο περιπτώσεις, υπάρχει η δυνατότητα, αντί για σταθερό μαγνήτη, το μαγνητικό πεδίο να δημιουργείται μέσω τυλιγμάτων στους πόλους, τα

οποία να είναι τυλιγμένα εν σειρά, τροφοδοτούμενα από πηγή με ηλεκτρικό ρεύμα, όπου όταν αντιστρέφεται η φορά του ηλεκτρικού ρεύματος να αντιστρέφεται η πολικότητα των πόλων. Το σύνολο των τυλιγμάτων των μαγνητικών πόλων ονομάζεται τύλιγμα διέγερσης και το ηλεκτρικό ρεύμα που περνά από αυτό χαρακτηρίζεται ως ρεύμα διέγερσης.



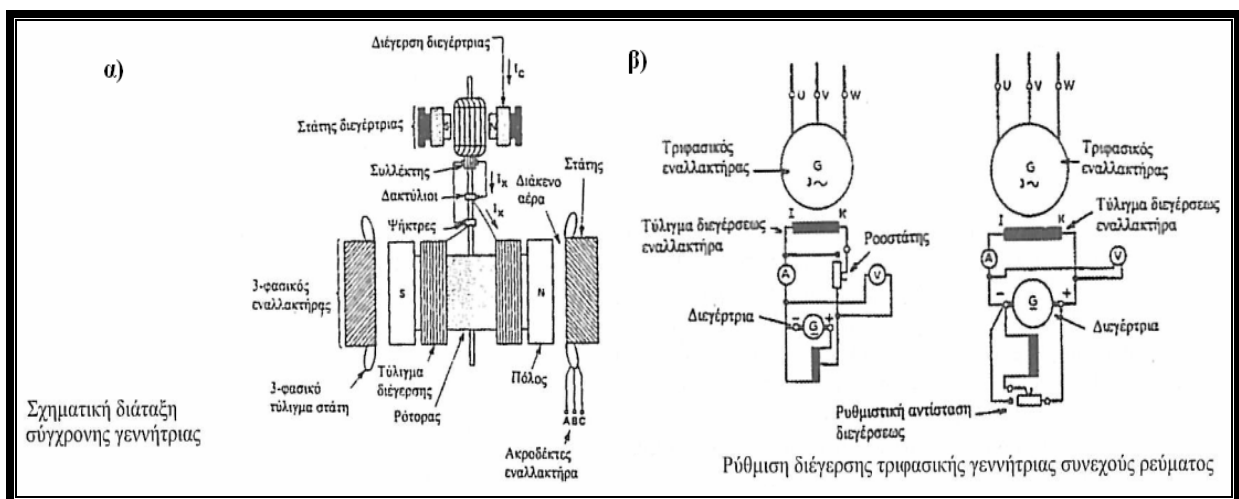
Σχήμα 4.38 Τετραπολική τριφασική σύγχρονη γεννήτρια και συνδέσεις τριγώνου και αστέρα (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

Στην περίπτωση των εξωτερικών πόλων, όπως δείχνει και το Σχήμα 4.37 (εικόνα β), το επαγωγικό τύμπανο αποτελείται από τον πυρήνα και το τύλιγμα. Ο πυρήνας κατασκευάζεται από ομοιόμορφους δίσκους από μαγνητικά ελάσματα πάχους συνήθως 0,5 mm που έχουν επιφανειακή μόνωση από ειδικό βερνίκι ώστε να μειώνονται οι απώλειες από δινορεύματα. Οι δίσκοι φέρουν δόντια τα οποία κατά τη συγκρότηση του πυρήνα ευθυγραμμίζονται ώστε να σχηματίζουν αυλάκια παράλληλα προς τον άξονα της μηχανής, για να τοποθετηθεί το τύλιγμα. Για τη διέγερση της μηχανής τα τυλίγματα των πόλων τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από τη διεγέρτρια, δηλαδή μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος η οποία συνήθως είναι απευθείας συνδεδεμένη στον άξονα της μηχανής από τον οποίο παίρνει κίνηση. Ο τύπος εξίσωσης των περιστροφών του υδροστρόβιλου με τη συχνότητα περιστροφής της γεννήτριας είναι (Παπαντώνης, 2008):

$$n_{\sigma} = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (4.36)$$

όπου n_r (RPM) η σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής του τύμπανου της γεννήτριας και f σε Herz η συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος σταθερής συχνότητας. Στο Σχήμα 4.38 φαίνεται η περίπτωση επίσης τετραπολικής τριφασικής σύγχρονης γεννήτριας με εσωτερικούς πόλους, μια συνήθης μορφή σύγχρονης γεννήτριας. Οι τριφασικοί εναλλακτήρες έχουν στο επαγωγικό τους τύμπανο τρία όμοια ανεξάρτητα μεταξύ τους τυλίγματα με διαφορά τοποθέτησης ανά 60° . Κάθε τύλιγμα έχει δύο άκρα, άρα διακρίνονται τρεις αρχές και τρία πέρατα. Επομένως οι εναλλακτικές ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις έχουν διαφορά φάσης 120° . Οι πιο γνωστοί τρόποι σύνδεσης είναι η σύνδεση σε αστέρα και η σύνδεση σε τρίγωνο.

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που αναπτύσσεται στο τύλιγμα κάθε φάσεως είναι ανάλογη του πλήθους p των ζευγών των πόλων, της ταχύτητας περιστροφής n του ρότορα, του αριθμού των αγωγών του τυλίγματος κάθε φάσεως και της μαγνητικής ροής κάθε πόλου. Δεδομένης της σταθερής συχνότητας του τροφοδοτούμενου δικτύου, το μόνο από τα παραπάνω που είναι μεταβλητό είναι η μεταβολή της μαγνητικής ροής των πόλων, η οποία προκαλείται μέσω της μεταβολής της μαγνητικής έντασης. Ακριβώς εδώ χρησιμεύει το ρεύμα διέγερσης, η ρύθμιση του οποίου γίνεται μέσω ρεοστάτη για μικρές μηχανές ή μέσω ρύθμισης της τάσεως της διεγέρτριας με τη βοήθεια ρυθμιστικής αντίστασης διεγέρσεως, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.39. Ως διεγέρτρια μπορεί να χρησιμοποιηθεί γεννήτρια εναλλασόμενου ρεύματος και στατικό σύστημα ανόρθωσης (πχ μέσω θυρίστωρ) (Παπαντώνης, 2008).



Σχήμα 4.39 α) Σχηματική διάταξη σύγχρονης γεννήτριας και β) ρύθμιση διέγερση τριφασικής γεννήτριας συνεχούς ρεύματος μέσω ρεοστάτη ή με τη βοήθεια ρυθμιστικής αντίστασης διεγέρσεως (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

Η εκκίνηση της σύγχρονης γεννήτριας γίνεται εν κενώ, όταν εκείνη είναι αποσυνδεδεμένη από το δίκτυο. Αρχικά τίθεται σε κίνηση ο υδροστροβίλος μέχρι το σημείο της σύγχρονης ταχύτητας περιστροφής. Το τύλιγμα της διέγερσης δεν τροφοδοτείται και έτσι δεν αναπτύσσεται τάση στους ακροδέκτες της μηχανής. Μετά την επίτευξη σύγχρονης ταχύτητας, η διέγερση ρυθμίζεται ώστε να παραχθεί η ονομαστική τάση στους ακροδέκτες της γεννήτριας και να ολοκληρωθεί η διαδικασία παραλληλισμού. Υπενθυμίζεται πως ως παραλληλισμός ορίζεται η διαδικασία εξίσωσης των στιγμιαίων τιμών των τάσεων της γεννήτριας και του δικτύου. Θα πρέπει να εξασφαλίζεται η ισότητα των τάσεων, των συχνοτήτων και η ίδια διαδοχή φάσεων, όπως και ο μηδενισμός της φασικής απόκλισης μεταξύ των τάσεων των αντίστοιχων φάσεων. Στη συνέχεια κλείνει ο διακόπτης, συνδέεται η γεννήτρια με το δίκτυο, όποτε αρχίζει η γεννήτρια να φορτίζεται. Η ένταση διεγέρσεως ρυθμίζεται συνεχώς ώστε η τάση στους ακροδέκτες της γεννήτριας να διατηρείται ίση προς την ονομαστική. Η κράτηση αφορά την ακριβώς αντίστροφη διαδικασία: αποφορτίζεται η γεννήτρια με σταδιακό άνοιγμα των διακοπών και την τάση της γεννήτριας σταθερή. Στη συνέχεια μηδενίζεται η τάση της γεννήτριας ανοίγοντας τον διακόπτη με το δίκτυο, και κατόπιν επιτρέπεται να σταματήσει η λειτουργία του υδροστροβίλου με κλείσιμο του κλείστρου. Για να αποφευχθεί το φαινόμενο της εν κενώ περιστροφής του στροβίλου επί μεγάλο διάστημα, το σύστημα του υδροστροβίλου εξοπλίζεται με μηχανικό φρένο.

Οι απώλειες ισχύς που αναπτύσσονται διακρίνονται στις ωμικές, στις μηχανικές και στις απώλειες του πυρήνα. Οι ωμικές αυξάνονται παραβολικά με το φορτίο. Οι μηχανικές είναι και πάλι οι απώλειες των εδράνων της γεννήτριας και απώλειες λόγω των ανεμισμών που αναπτύσσονται μέσα στο χώρο του στάτη κατά την περιστροφή του ρότορα. Οι απώλειες του πυρήνα οφείλονται στην υστέρηση και στα δινορεύματα που αναπτύσσονται στον πυρήνα και στα μηχανικά μέρη της μηχανής. Γνωρίζοντας πως ο τύπος για τριφασική γεννήτρια η ηλεκτρική ισχύς θα είναι (Παπαντώνης, 2008):

$$N = \sqrt{3}U \cdot I \cdot \cos \phi \quad (4.37)$$

θα είναι:

$$\eta_G = \frac{N_e}{N} \quad (4.38)$$

όπου N_e η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς. Εδώ να πούμε πως οι διάφορες απώλειες μετατρέπονται σε θερμότητα με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας των διαφόρων

μερών της. Για να προστατευθούν οι μονώσεις και τα λοιπά στοιχεία της μηχανής η απαγωγή της θερμότητας γίνεται μέσω αερισμού από ανεμιστήρα που παίρνει κίνηση από την άτρακτο της μηχανής, αλλά και διάταξη αεραγωγού στον ΥΗΣ, προστατευόμενου με περσίδες για τη μη είσοδο μικρών ζώων ή πουλιών (Παπαντώνης, 2008).

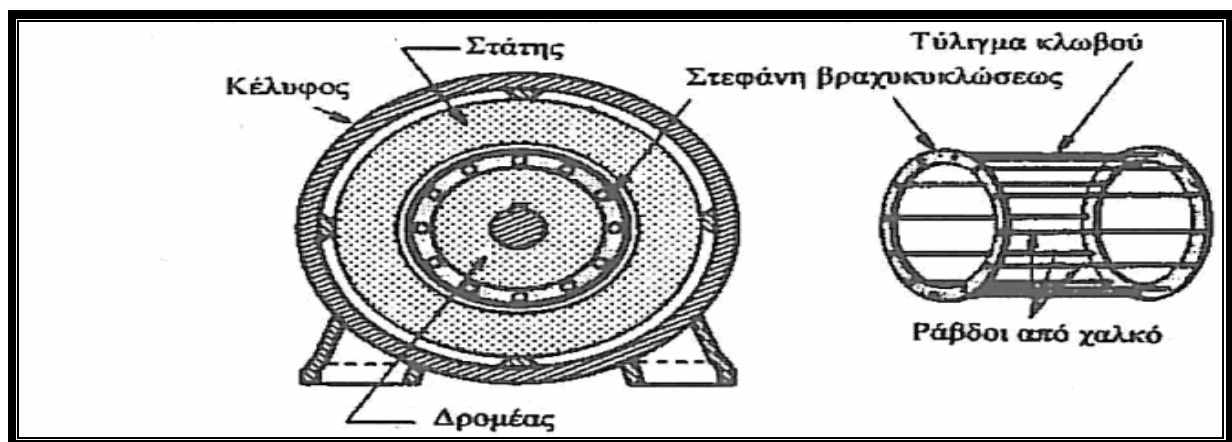
Με διαφορετικό τρόπο λειτουργούν οι ασύγχρονες γεννήτριες. Πρακτικώς είναι οι ίδιες κατασκευές με τους ασύγχρονους κινητήρες και έχουν ως κοινό στοιχείο πως επάγεται στον ρότορα εναλλασσόμενο ρεύμα. Στις ασύγχρονες μηχανές ο στάτης είναι ουσιαστικά ο ίδιος με αυτόν της σύγχρονης μηχανής με εσωτερικούς πόλους. Ο πυρήνας του στάτη τοποθετείται μέσα στο κέλυφος και αποτελείται από λεπτά μαγνητικά ελάσματα με οδοντώσεις. Στα αυλάκια τους μπαίνει το τριφασικό τύλιγμα, τα άκρα του οποίου καταλήγουν στους ακροδέκτες της μηχανής, πάλι είτε σε συνδεσμολογία αστέρα είτε τριγώνου. Η ασύγχρονη μηχανή μπορεί να θεωρηθεί ως ένας γενικευμένος μετασχηματιστής στον οποίο το μαγνητικό πεδίο του στάτη επάγεται στον ρότορα μέσω του διάκενου αέρα το οποίο λειτουργεί ως πυρήνας. Εδώ το τύλιγμα του στάτη συνδέεται με τριφασική πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος. Αυτό σημαίνει πως στο διάκενο θα αναπτυχθεί ένα μαγνητικό πεδίο περιστρεφόμενο με την σύγχρονη ταχύτητα, η δε φορά περιστροφής καθορίζεται από τη διαδοχή των φάσεων. Ο ρότορας μιας ασύγχρονης μηχανής είναι στερεωμένος στην άτρακτο, έχει μορφή κυλινδρικού τύμπανου και αποτελείται από λεπτά μαγνητικά ελάσματα με οδοντώσεις. Σε αυτές μπαίνουν οι ράβδοι από χαλκό ή ορείχαλκο χωρίς μόνωση, οι οποίοι συγκολλούνται στις άκρες τους με στεφάνια βραχυκυκλώσεως που σχηματίζουν έναν κλωβό, όπως δείχνει το Σχήμα 4.40. Εντός του κλωβού οι αγωγοί θα βρεθούν σε μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο και στα άκρα τους θα αναπτυχθεί ηλεκτρεγερτική δύναμη και ηλεκτρικό ρεύμα αντίθετης φοράς καθώς το κύκλωμα του κλωβού κλείνει. Εδώ οι επαπτομενικές δυνάμεις αναπτύσσουν ροπή στον ρότορα.

Εάν η ταχύτητα περιστροφής του ρότορα n είναι μικρότερη από την σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου του στάτη n_s , η φορά του ηλεκτρικού ρεύματος στους αγωγούς του κλωβού αντιστοιχεί στην ανάπτυξη κινητήριας ροπής κατά τη φορά του ρότορα, οπότε η μηχανή λειτουργεί σαν επαγωγικός κινητήρας. Σε αντίθετη περίπτωση για την σχέση των μεταξύ ταχυτήτων, η ταχύτητα του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του στάτη ως προς τους αγωγούς του ρότορα είναι αρνητική, άρα οι αγωγοί του ρότορα τέμνουν σε αντίθετη φορά το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, άρα αντιστρέφεται η φορά της ηλεκτρεγερτικής δύναμης, του ηλεκτρικού ρεύματος στους αγωγούς και της αναπτυσσόμενης ροπής γίνεται ανθιστάμενη,

ακριβώς σαν μια γεννήτρια (Παπαντώνης, 2008). Σε κάθε περίπτωση η σχετική ταχύτητα ως προς τον ρότορα του μαγνητικού πεδίου του στάτη υπολογίζεται από τον τύπο:

$$n_{\pi} = (n_{\sigma} - n) \cdot R \cdot \frac{\pi}{30} \quad (4.39)$$

όπου R είναι η ακτίνα του ρότορα. Από τα παραπάνω συνάγεται πως για τη λειτουργία και χρήση της ασύγχρονης γεννήτριας είναι αναγκαία η εύρεση μιας πηγής για το ρεύμα μαγνητίσεως, άρα το δίκτυο δεν θα μπορεί να είναι αυτόνομο. Οι ταχύτητες που αναπτύσσονται σε μια ασύγχρονη μηχανή έχουν να κάνουν με την μεταβολή του ρεύματος που διαρρέουν τα μέρη του.



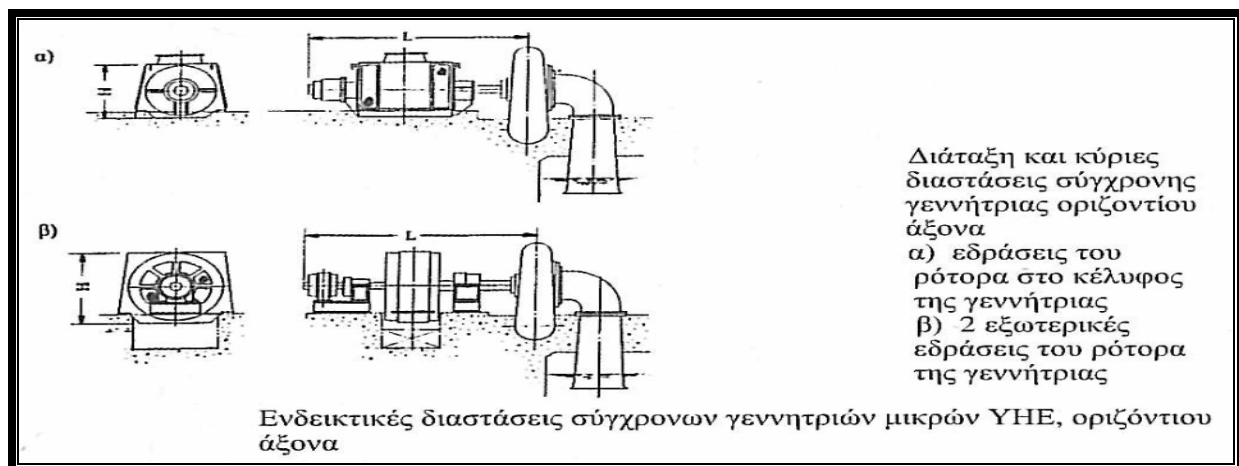
Σχήμα 4.40 Τυπική διάταξη ασύγχρονης γεννήτριας (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

Η αύξηση της περιστροφής δεν είναι αέναη, καθώς εν καιρώ αναπτύσσονται επαγωγικές αντιστάσεις, τόσο στον στάτη, όσο και στον ρότορα, που μειώνουν ταχύτερα την ένταση του ρεύματος σε σχέση με τις πολύ υψηλές ταχύτητες περιστροφής. Κατά τη λειτουργία ως γεννήτρια, η τιμή της ταχύτητας περιστροφής κατά τη λειτουργία του συστήματος κινητήρα – φορτίου προκύπτει από το σημείο τομής της χαρακτηριστικής ροπής - στροφών του υδροστρόβιλου με τη χαρακτηριστική ροπών – στροφών της γεννήτριας. Αποδεικνύεται επίσης πως οι ασύγχρονες μηχανές πάντα απορροφούν άεργη ισχύ από το δίκτυο με το οποίο συνδέεται για τις ανάγκες μαγνήτισης. Οι απώλειες και οι διαδικασίες εκκίνησης είναι οι ίδιες με αυτές των σύγχρονων γεννητριών. Οι ασύγχρονες γεννήτριες χαρακτηρίζονται από την απλότητα στην κατασκευή και στη συντήρηση, αλλά δεν έχουν τόσο λειτουργικά χαρακτηριστικά όπως οι σύγχρονες γεννήτριες. Για τους λόγους αυτούς οι ασύγχρονες γεννήτριες εξοπλίζουν ΜΥΗΕ με ονομαστική ισχύ μονάδων κάτω του 1 MW.

Στον Πίνακα 4.2 γίνεται η σύγκριση των σύγχρονων και των ασύγχρονων γεννητριών, όσον αφορά τα λειτουργικά και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά. Παρά το μικρότερο κόστος των ασύγχρονων γεννητριών και τις μικρότερες απαιτήσεις συντήρησης σε σύγκριση με τις σύγχρονες, για ονομαστικές ισχύεις μεγαλύτερες των 600 – 1000 kW προτιμούνται οι σύγχρονες γεννήτριες στην περίπτωση λειτουργίας σε διασυνδεδεμένο δίκτυο.

4.7.3 Τυποποιήσεις Γεννητριών και Βοηθητικά Όργανα

Και στις γεννήτριες υπάρχει η δυνατότητα τυποποίησης με πολλαπλά οφέλη. Για ταχύτητες περιστροφές του στροβίλου μικρότερες των 500 RPM παρεμβάλλεται γριναζωτός πολλαπλασιαστής στροφών, κάτι που απομείνει αρκετά το συνολικό κόστος αγοράς της γεννήτριας. Οι κατασκευαστικές προδιαγραφές μιας γεννήτριας ενός ΜΥΗΕ πρέπει να είναι τέτοιες που να αντέχει σε υπερταχύνσεις της τάξεως του 60%. Η επιλογή γεννήτριας γίνεται βάση της ονομαστικής τάσης, της ονομαστικής ισχύος, της συχνότητας του δικτύου και της σύγχρονης ταχύτητας περιστροφής. Η έδραση του ρότορα μπορεί να γίνεται είτε εντός του κελύφους της γεννήτριας, είτε με εξωτερική έδραση όπως δείχνει το Σχήμα 4.41. Οι γεννήτριες είναι είτε κατακόρυφου, είτε οριζόντιου άξονα.

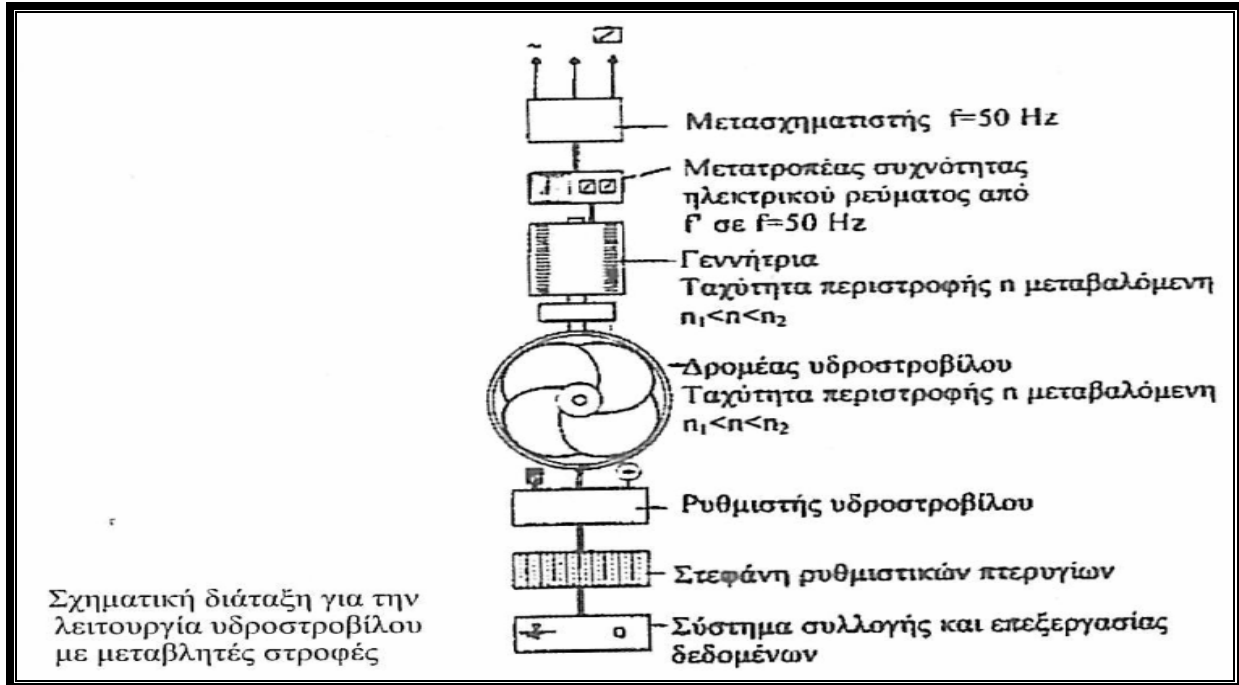


Σχήμα 4.41 Ενδεικτικές διαστάσεις σύγχρονων γεννητριών ΜΥΗΕ, οριζόντιου άξονα

(Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

Το Σχήμα 4.42 δείχνει τη σχετική διάταξη για λειτουργία υδροστροβίλου με μεταβλητές στροφές. Επί της ουσίας παρεμβάλλεται μετά τη γεννήτρια ένας μετατροπέας τύπου AC-DC και

DC-AC μέσω του οποίου το εναλλασσόμενο ρεύμα γίνεται συνεχές για να τροφοδοτήσει το δίκτυο.



Σχήμα 4.42 Σχηματική διάταξη για την λειτουργία υδροστροβίλου με μεταβλητές στροφές (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

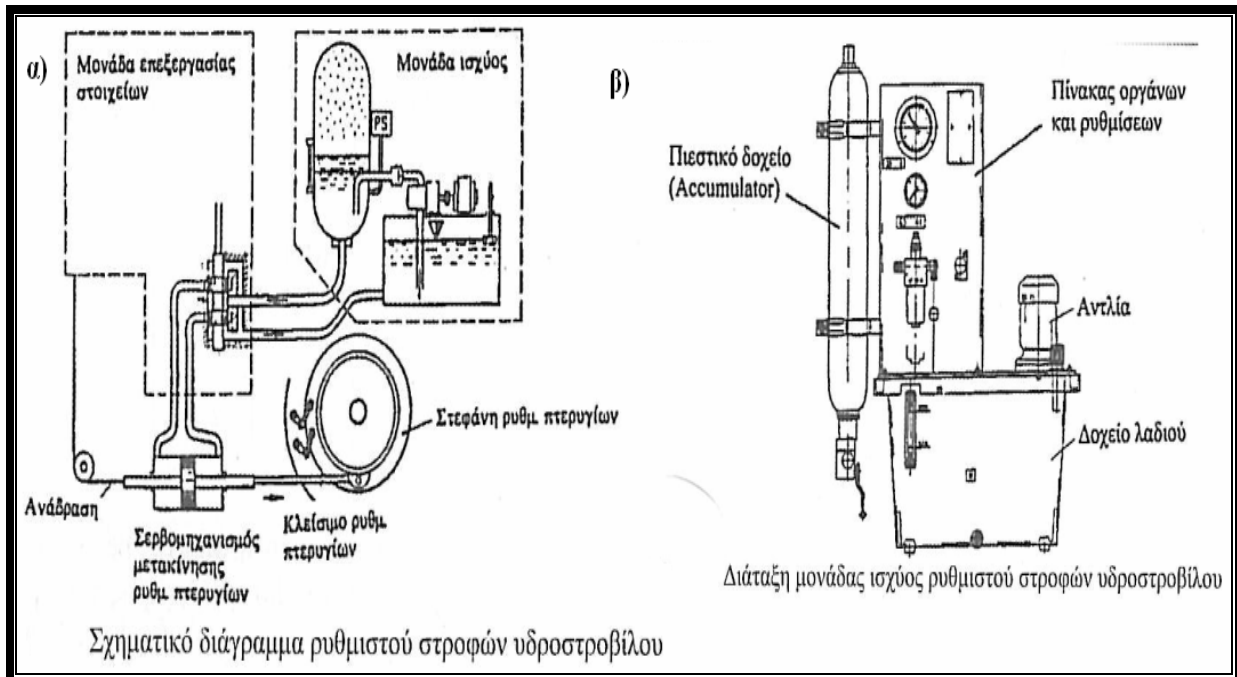
Πίνακας 4.2 Χαρακτηριστικά σύγχρονης & ασύγχρονης γεννήτριας (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

Χαρακτηριστικά	Σύγχρονη	Ασύγχρονη
Συντελεστής ισχύος. Άεργη ισχύος	Καθορίζεται από τη ρύθμιση διέγερσης	Άεργη ισχύς από το δίκτυο είναι απαραίτητη. Ο συντελεστής ισχύος ενός δικτύου μειώνεται λόγω της επαγωγικής συμπεριφοράς. Συνήθως απαιτείται διόρθωση του συντελεστή ισχύος με συστοιχία πυκνωτών.
Βαθμός απόδοσης	Καμία διαφορά	Καμία διαφορά
Ρύθμιση τάσεως	Ρυθμιζόμενη μέσω ρύθμιση της διέγερσης	Μη ρυθμιζόμενη. Καθορίζεται από το διασυνδεδεμένο δίκτυο
Παραλληλισμός με το δίκτυο	Απαιτείται εξοπλισμός παραλληλισμού τάσεως, συχνότητας και διαδοχής φάσεως με προς σύνδεση δίκτυο	Δεν απαιτείται διαδικασία παραλληλισμού (μόνο σωστή διαδοχή των φάσεων για τη φορά της ταχύτητας περιστροφής)
Μεταβατικά φαινόμενα κατά την σύνδεση με το δίκτυο	Δεν αναπτύσσονται	Κατά την εν κενώ σύνδεση με το δικτύου με τη σχεδόν σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής αναπτύσσονται έντονες διακυμάνσεις του ρεύματος. Συχνά απαιτείται έλεγχος ευστάθειας του δικτύου.
Κατασκευή	Πολύπλοκη κατασκευή λόγω της ανάγκης τροφοδοσίας των τυλιγμάτων των στρεφόμενων πόλων (δακτυλίδια, ψήκτρες, διεγέρτρια)	Απλή και συμπαγής κατασκευή στην περίπτωση βραχυκυκλωμένου ρότορα τύπου κλωβού
Διαστάσεις και βάρος	Μεγαλύτερες διαστάσεις και βάρος λόγω του εξοπλισμού διέγερσης	Συμπαγής κατασκευή μικρότερου βάρους από τη σύγχρονη γεννήτρια
Επέμβαση ρυθμιστή υδροστροβίλου	Είναι απαραίτητη στην περίπτωση τροφοδοσίας ανεξάρτητου (αυτόνομου) δικτύου	Δεν απαιτείται καθώς η ταχύτητα περιστροφής, η συχνότητα και η τάση εξαρτώνται από το διασυνδεδεμένο δίκτυο
Συντήρηση	Αυξημένη λόγω του συστήματος διέγερσης των ψυχρών και της διάταξης παραλληλισμού	Εύκολη
Κόστος	Αυξημένο σε σύγκριση με τις ασύγχρονες	Μικρότερο

Κάθε γεννήτρια συνοδεύεται από μετασηματιστές ισχύος, συνήθως μετασηματιστές ελαίου με ψύξη μέσω φυσικού αερισμού, κατάλληλοι για εσωτερική ή υπαίθρια εγκατάσταση, οι οποίοι είναι σε ειδικό δωμάτιο, στο δάπεδο του οποίου διαμορφώνεται ελαιολεκάνη και πλέγμα γείωσης για την προστασία από βηματικές τάσεις. Ο χώρος εξαερίζεται μέσω αεραγωγού με περσίδες για την απαγωγή της θερμότητας. Άλλα όργανα που συνυπάρχουν μαζί με τον μετασηματιστή εντός του δωματίου είναι το πηνίο Bulcholz, ο δείκτης στάθμης του λαδιού, το θερμομέτρο θερμοκρασίας λαδιού, η βάνα εξαέρωσης, ή βάνα δείγματος λαδιού, το δοχείο διαστολής, το δοχείο υγροσκοπικής ουσίας, οι ακροδέκτες γείωσης, οι αναρτήρες ανύψωσης, όργανα κατάλληλα για τους χειρισμούς, την ασφάλεια και τη λειτουργία του όλου συστήματος. Τα όργανα πάλι για τη διασύνδεση με το δίκτυο είναι ο ασφαλειοαποζευκτήρας (ή εναλλακτικά ο αυτόματος διακόπτης), όπου στην πρώτη περίπτωση θα πρέπει να εγκατασταθεί αυτόματος διακόπτης, ενώ στη δεύτερη δεν χρειάζεται. Στο ίδιο δωμάτιο υπάρχουν και πίνακες χαμηλής τάσης όπου εντός τους περιλαμβάνονται αυτόματοι διακόπτες χαμηλής τάσης από τις γεννήτριες προς τον μετασηματιστή ισχύος, τους μετασηματιστές τάσεως και εντάσεως μετρήσεων και προστασίας, μετρητικά όργανα όπως αμπερόμετρα ανά φάση, κιλοβατόμετρα για τη μέτρηση της ενεργού ισχύς της γεννήτριας, όργανο μέτρησης του συντελεστού ισχύος και ηλεκτρονόμο για τη διαπίστωση αντιστροφής της ροής της ενεργού ισχύος, τη συστοιχία πυκνωτών διόρθωσης του συντελεστού ισχύος και την αναχώρηση προς τις εσωτερικές καταναλώσεις. Οι τελευταίες καλύπτουν όλες τις ανάγκες φωτισμού, φωτισμού ασφαλείας, τροφοδοσία γερανογέφυρας για τα μηχανήματα, τροφοδοσία ρυθμιστή υδροστρόβιλου (που θα αναλύσουμε παρακάτω), ανιχνευτές, ρευματοδότες, φορτιστή μπαταριών, αεροσυμπιεστή, ανορθωτικά συστήματα κλπ. Από εδώ επίσης τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα και οι ανάντη διατάξεις του έργου (υδροληψία, δεξαμενή φόρτισης) για φωτισμό, κίνηση των εσχάρων, θυροφραγμάτων κλπ και ενεργοποίηση των μετρητικών οργάνων (Παπαντώνης, 2008)

Παραπάνω μιλήσαμε για τον ρυθμιστή στροφών, η διάταξη του οποίου φαίνεται στο Σχήμα 4.43. Το συγκεκριμένο όργανο έχει την ευθύνη πάνω στην μετακίνηση είτε της ρυθμιστικής περύγωσης της στεφάνης είτε της βελονής του ακροφυσίου στον υδροστρόβιλο. Η αρχή λειτουργίας του είναι η ρύθμιση των παραπάνω ώστε να διατηρείται η εξίσωση της απορροφούμενης από την γεννήτρια αντίσταση και της παραγόμενης από τον υδροστρόβιλο να διατηρείται σταθερή. Φυσικά ο ρυθμιστής επεμβαίνει στις φάσεις εκκίνησης και κράτησης του στρόβιλου. Τα ρυθμιστικά περύγια ανοιγοκλείνουν μέσω εμβόλου διπλής διαδρομής το οποίο

τροφοδοτείται μέσω βαλβίδας με σερβομηχανισμό. Συμπληρωματικές διατάξεις του ρυθμιστού είναι η δεξαμενή υδραυλικού ελαίου, η φυγόκεντρη αντλία, η βαλβίδα ελέγχου, η ηλεκτρομηχανική βαλβίδα διακοπής και το πιεστικό δοχείο με επιτήρηση της πίεσης που επεμβαίνει σε αυξημένες αναγκαιότητες κλεισίματος του κλείστρου. Το τμήμα επεξεργασίας στοιχείων του ρυθμιστή είναι πλέον πλήρως ψηφιακό και η όλη μονάδα ρύθμισης προσφέρεται σε τυποποιημένα μεγέθη.



Σχήμα 4.43 α) Σχηματικό διάγραμμα ρυθμιστού στροφών υδροστροβίλου, β) Διάταξη μονάδας ισχύος ρυθμιστού στροφών υδροστροβίλου (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

Η περίπτωση του Κιμπάου

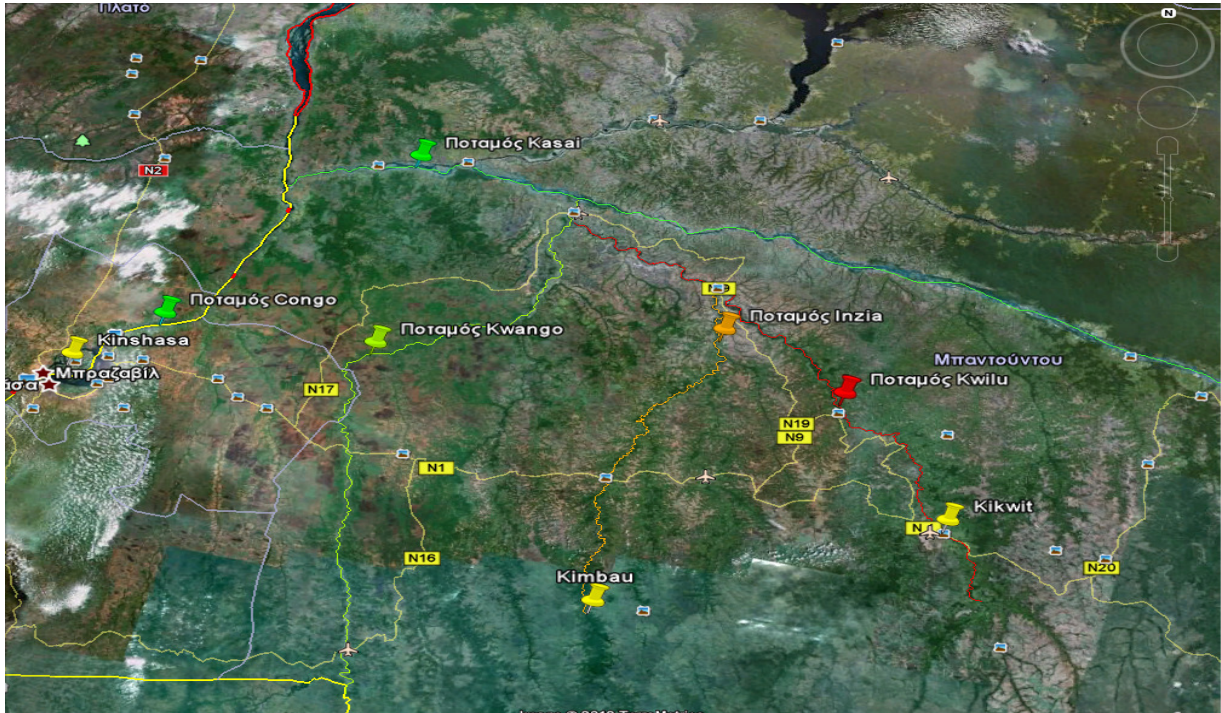
5.1 Περιγραφή του προβλήματος και της ευρύτερης περιοχής

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, η περίπτωση μελέτης (case study) αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η περίπτωση του υδροηλεκτρικού έργου του Κιμπάου, όπου και απεικονίζει την χρησιμότητα και την κεντρικότητα των ΜΥΗΕ στις απομονωμένες περιοχές της ΛΔΚ. Το συγκεκριμένο πρότζεκτ λίγους μήνες μετά από την αρχή της λειτουργίας του παρουσίασε διάφορα τεχνικά ζητήματα που συντέλεσαν στην οριστική διακοπή λειτουργίας του. Η πηγή για όλα τα παρακάτω αποτέλεσε η σχετική έρευνα του Πολυτεχνείου του Μπάρι (Politecnico di Bari, 2009). Εδώ θα μελετήσουμε την περιοχή και τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν στο έργο, να διερευνήσουμε τις αιτίες αστοχίας του έργου και να προσπαθήσουμε να προτείνουμε λύσεις.

Ο κεντρικός υδροηλεκτρικός σταθμός, βρίσκεται στο ρέμα Nzasi (ένας παραπόταμος του ποταμού Κονγκό) στη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό. Το εν λόγω έργο βρίσκεται κοντά στο χωριό Kimbau που βρίσκεται περισσότερο από 500 χιλιόμετρα νότια - ανατολικά της Kinshasa, εντός της περιφέρειας του Bandundu (νοτιοδυτική Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό), στην ευρύτερη περιοχή του Kwango, περίπου 140 χιλιόμετρα νότια της Εθνικής Οδού N1. Η Εθνική Οδός N1 είναι κέντρο διακριτής σημασίας, καθώς περιλαμβάνει πλήθος κοινωνικών υποδομών και συνδέει την Kinshasa με το Kikwit, αριστερά του ποταμού Inzia. Στα Σχήματα 5.1 και 5.2 βλέπουμε μια άποψη της γενικής περιοχής του Kwilu - Kwango, το χωριό του Kimbau, καθώς και την διασύνδεση των ποταμών και των παραπόταμων που σχετίζονται με τον υδροηλεκτρικό σταθμό. Παρακάτω θα μιλήσουμε και πιο αναλυτικά για την υδρολογία της περιοχής. Όλες οι πληροφορίες για τα τοπωνύμια και τον γεωγραφικό προσδιορισμό τους έχουν ως πηγή Εθνική Υπηρεσία Γεωδιαστημικών Πληροφοριών των ΗΠΑ (<http://www.geographic.org>). Η σχηματοποίηση είναι δικιά μας χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Google Earth.

Επειδή η περιοχή του Kimbau περιλαμβάνει 27 χωριά, θα πρέπει να γίνει διασταύρωση για τη θέση του χωριού του Kimbau (που φέρουν την ίδια ονομασία) μέσω πολλών στοιχείων. Με βάση διάφορους χάρτες στους οποίους εντόπισαν οι Ιταλοί συνάδελφοι το χωριό, και μέσω μιας αναφοράς για το μικρό αεροδρόμιο του Kimbau

(<http://www.maplandia.com/angola/airports/kimbau-airport>) καταλήγουμε στην παρακάτω τοποθεσία που δείχνουν στα Σχήματα 5.1 και 5.2. Στον Πίνακα 5.3 που δίνουν οι Ιταλοί συνάδελφοι φαίνονται οι συντεταγμένες των επιμέρους σημείων που σχετίζονται με το έργο.



Σχήμα 5.1 Χάρτης ευρύτερης περιοχής των ποταμών Kwilu – Kwango



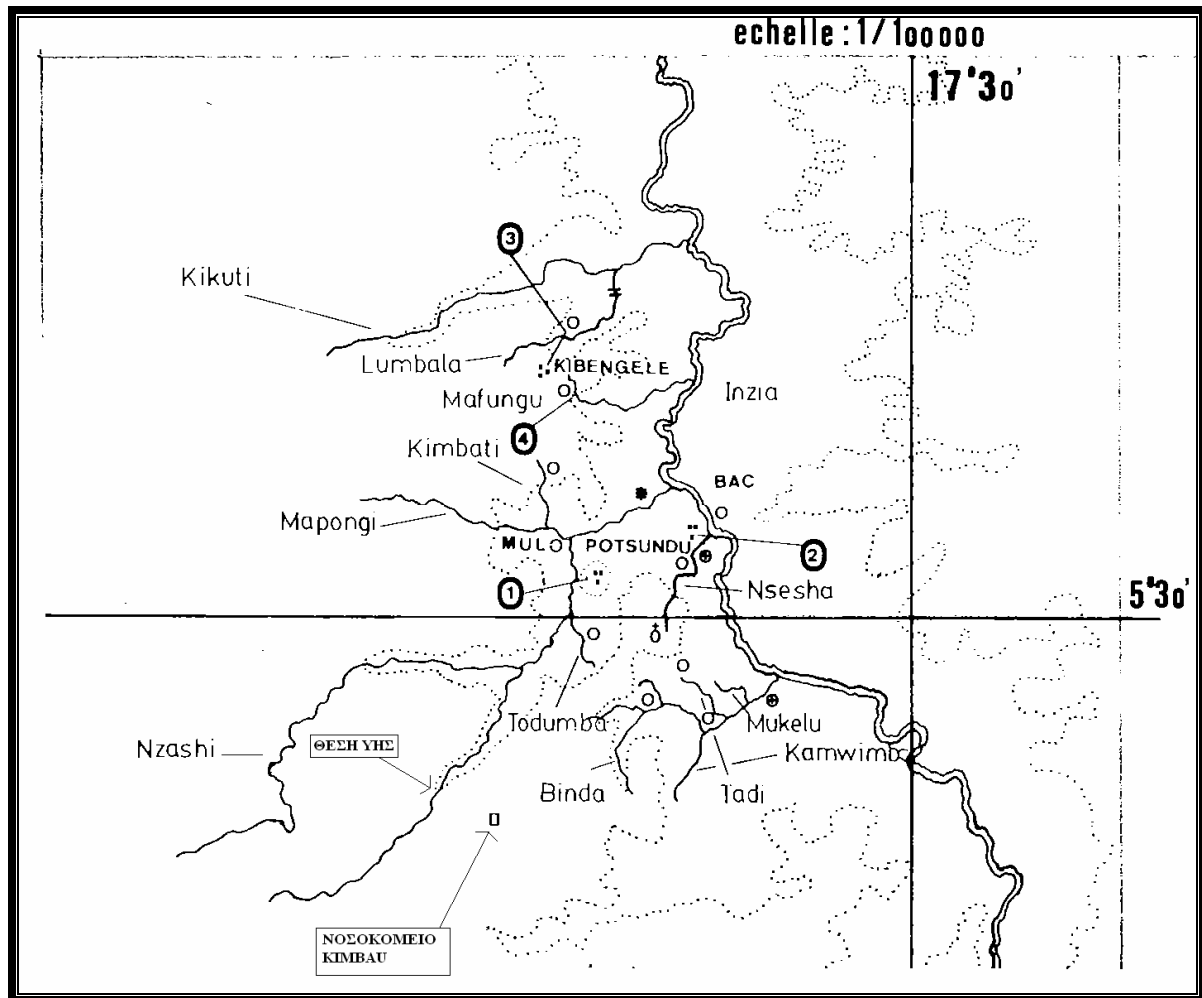
Σχήμα 5.2 Χάρτης ευρύτερης περιοχής του Kimbau με λεπτομέρειες

Πίνακας 5.1 Γεωγραφικές συντεταγμένες σημαντικών σημείων του Kimbau

Περιοχή	Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος	Υψόμετρο (m)
Νοσοκομείο	5°32'19.37"N	17°26'28.54"A	803
Φράγμα	5°32'6.25"N	17°24'55.24"A	691
Αγωγός – Αντλίες	5°32'2.10"N	17°24'57.77"A	667
ΥΗΣ	5°32'2.10"N	17°24'56.22"A	621
Αποθήκη ΑΙΦΟ	5°32'5.05"N	17°24'56.41"A	632
Ενορία Kimbau	5°30'28.12"N	17°27'43.16"A	601
Καλόγριες Carmelitas	5°30'39.17"N	17°27'45.11"A	587
Πηγή	5°30'36.86"N	17°27'37.07"A	538
Κεντρική Είσοδος Νοσοκομείου	5°32'18.21"N	17°26'29.26"A	798
Εξωτερικό Υδραγωγείο Νοσοκομείου	5°32'16.18"N	17°26'31.85"A	799
Σπίτι Chiara Castellani	5°32'14.92"N	17°26'31.17"A	811
Σπίτι Δόκτορος Aimeè	5°32'5.08"N	17°26'35.70"A	800
Είσοδος Σχολικών Μονάδων ΙΤΕ	5°31'50.08"N	17°27'10.59"A	743
Επισκοπή Kenge	4°48'24.59"N	17°2'13.84"A	-

Προς επίρρωση των παραπάνω παραθέτουμε έναν άλλο χάρτη που δείχνει τη γενική άποψη του Kimbau μαζί με τα γειτονικά χωριά που συνθέτουν τη γενική περιοχή του Kimbau. Εδώ εξακριβώνουμε και τη θέση του ποταμού Nzasi ο οποίος εκβάλλει στον ποταμό Inzia. Επειδή το χωριό μεταξύ τους χωρίζεται από τον Inzia, η μετακίνηση των κατοίκων γίνεται μέσω βάρκας μικρών διαστάσεων. Οι παραπάνω παρατηρήσεις φαίνονται στο Σχήμα 5.3 όπου φαίνονται αναλυτικότερα οι παραπόταμοι της περιοχής.

Ο σταθμός ιδρύθηκε με στόχο την εξασφάλιση της ηλεκτρικής ενέργειας και πόσιμου νερού στο νοσοκομείο του Kimbau και διοικείται από την Ρωμαιοκαθολική Επισκοπή του Kenge. Η κατασκευή του έργου έγινε σε συνεργασία τόσο της Ρωμαιοκαθολικής Επισκοπής του Kenge αλλά και της AIFO (Associazione Italiana Amici di Raoul Follereau) οι οποίοι διαχειρίζονταν την αποπεράτωση του μέχρι το τέλος των κατασκευαστικών εργασιών του σταθμού.



Σχήμα 5.3 Χάρτης ευρύτερης περιοχής Kimbau (Προέλευση: Ukety et al, 1985)

Η Ρωμαιοκαθολική Επισκοπή του Kenge είναι μία από τις 40 επισκοπές και 6 αρχιεπισκοπές που καλύπτουν την επικράτεια της ΛΔΚ. Ο θεσμός της Ρωμαιοκαθολικής Εκκλησίας είναι ένας από τους σημαντικότερους στην κονγκολέζικη κοινωνία, στην οποία το 95% του πληθυσμού είναι χριστιανοί. Η Ρωμαιοκαθολική Εκκλησία με τα σχολεία της έχει συμβάλει στην εκπαίδευση του 60% των μαθητών της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης και στο 40% των μαθητών

στην δευτεροβάθμια εκπαίδευση του πληθυσμού, καθώς και στη δημιουργία πολλών νοσοκομείων, κλινικών καθώς και μικρών επιχειρήσεων πάσης φύσεως (http://en.wikipedia.org/wiki/Democratic_Republic_of_the_Congo).

Η AIFO είναι μια οργάνωση κατά βάση εθελοντών με έδρα την Bologna της Ιταλίας, με διεθνή δράση, όπου σε πολλά μέρη του κόσμου αναγνωρίζεται ως μη κυβερνητική οργάνωση. Οι δράσεις της χωρίζονται σχηματικά σε αυτές στις αναπτυσσόμενες χώρες και σε αυτές στην ίδια την Ιταλία. Στις πρώτες σχετίζονται με την αντιμετώπιση της λέπρας, των προβλημάτων αναπηρίας και στην επανεκπαίδευση των ανάπηρων πολιτών καθώς και στην γενική προώθηση της γενικής πρωτοβάθμιας ιατρικής περίθαλψης των κοινοτήτων και των ευπαθών ανήλικων. Στην Ιταλία κυρίως ασχολείται με θέματα ανάπτυξης των τοπικών κοινοτήτων μέσω εκπαίδευσης και κατάρτισης (<http://www.aifo.it>). Για το πεδίο παρέμβασης, η AIFO αναφέρει πως σε τμήματα της περιοχής του Bandudu για την οποία μιλήσαμε και παραπάνω, έχει επιταχυνθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια η διαδικασία της απερίμωσης, με επακόλουθους περιοδικούς λιμούς που ωθούν τους κατοίκους σε μαζικές εσωτερικές μετανάστευσεις συνήθως προς την Kinshasa, για να εξασκήσουν την τέχνη τους ή για να ασχοληθούν με το μικρεμπόριο. Για το λόγο αυτό σε πολλά χωριά της Νότιας ΛΔΚ οι μόνιμοι κάτοικοι είναι σχεδόν αποκλειστικά γυναίκες, παιδιά και ηλικιωμένοι, επειδή πολλοί άνδρες βρίσκονται για δουλειά στην Kinshasa. Ασθένειες και επιδημίες (όπως ελονοσία, φυματίωση, ιλαρά, φιλαρίαση, λέπρα, AIDS) είναι μια πραγματικότητα καθημερινή και δραματική για ένα πληθυσμό που δεν έχει πρόσβαση σε ένα δίκτυο από κατάλληλες υγειονομικές υπηρεσίες. Η μητρική και παιδική θνησιμότητα έχει φτάσει σε πολύ υψηλά επίπεδα και εκτιμάται ότι ο υποσιτισμός είναι η αιτία πολλών θανάτων, που όμως επίσης οφείλεται και σε πολλές ενδημικές ασθένειες στην παιδική ηλικία, ιδιαίτερα σε παιδιά ηλικίας κάτω των 5 ετών. Οι νόσοι του αναπνευστικού, η ελονοσία, οι μεταδιδόμενες λοιμώξεις μέσω της κοπρανοστοματικής οδού αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την παιδική θνησιμότητα και εμφανίζονται όλες κοντά στην περιοχή των ποταμών. Με πρωτοβουλία της Ρωμαιοκαθολικής επισκοπής λήφθηκαν πρωτοβουλίες σε τομείς προτεραιότητας όπως η υγεία και η εκπαίδευση καθώς περιοχές στο Bandudu η κατάσταση είχε φτάσει σχεδόν στο στάδιο της κοινωνικής εξαφάνισης (<http://www.aifo.it>).

Η περιοχή του Κιμπάου είναι δύσκολο να προσεγγιστεί κατά το μεγαλύτερο διάστημα του έτους εξαιτίας των εκεί σοβαρών οδικών προβλημάτων. Στον ποταμό κατά το παρελθόν η πλοήγηση και μια επισφαλή πίστα για μικρά αεροσκάφη (το μικρό αεροδρόμιο που αναφέρθηκε

παραπάνω) είχαν παράσχει εναλλακτικές διαδρομές μετακίνησης. Μόνο κατά τα τελευταία δύο χρόνια η ανάπτυξη ενός συστήματος εθνικών οδών, χάρις στη συνεργασία της κυβέρνησης της Κίνας με την κυβέρνηση του Κονγκό, έχει βελτιώσει την κατάσταση λίγο. Οι συνηθέστερες διαδρομές για να φτάσει κανείς στο Kimbau είναι είτε η Kinshasa – Kenge – Kimbau, είτε Matadi – Kenge – Kimbau (το Matadi είναι πόλη δυτικά της Kinshasa, κοντά στον ωκεανό). Η Εθνική Οδός N1 που συνδέει την Kinshasa με το Kenge είναι μόνο εν μέρει ασφαλτοστρωμένη. Ο δρόμος μέχρι το Bankana είναι ασφαλτοστρωμένος και σε καλή κατάσταση (133 χιλιόμετρα), αλλά το υπόλοιπο της διαδρομής μέχρι το Kenge καταλαμβάνει ένας αμμώδης δρόμος. Η Εθνική Οδός N1 χρησιμοποιείται καθημερινά από τεράστια φορτηγά για τη μεταφορά ανθρώπων και αγαθών. Στους υπόλοιπους δρόμους το σημαντικό βάρος των φορτηγών δημιουργεί βαθιές τρύπες, συχνά ανυπέρβλητες για τα αυτοκίνητα, τα οποία αναγκάζονται να χρησιμοποιούν άλλα μονοπάτια μέσα στη ζούγκλα. Κατά μήκος της εξεταζόμενης διαδρομής δεν υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας μέσω τηλεφώνου, καθώς δεν υπάρχει καθόλου τηλεφωνική κάλυψη μέχρι την Ρωμαιοκαθολική Επισκοπή του Kenge, δηλαδή μετά από 272 χιλιόμετρα έξω από την Kinshasa. Ο δρόμος που συνδέει το Kenge με τον ωκεανό, περνάει από το Matadi, αλλά αυτή η διαδρομή δεν επιτρέπει τη διέλευση βαρέων ρυμουλκούμενων φορτηγών με container, αλλά αντιθέτως τα εμπορεύματα συνήθως φορτώνονται σε πολύ παλιά φορτηγά (πιθανώς μεταχειρισμένα από Ευρώπη) που καταφέρνουν να αντέξουν το ανώμαλο οδόστρωμα – δεν χρησιμοποιούνται νέα ή σύγχρονα μέσα μεταφοράς καθώς θα καταστρέφονταν σε σύντομο χρονικό διάστημα. Συνεπώς τα εναλλακτικά μέσα μεταφοράς από τις υδάτινες οδούς είναι μια συνετή επιλογή σε πολλές περιπτώσεις. Στα Σχήματα 5.4 και 5.5 απεικονίζονται ο δρόμος προς το Kimbau και ο ποταμός Inzia που διασχίζει την περιοχή και είναι πλεύσιμος με βάρκα αντίστοιχα.



Σχήμα 5.4 Δρόμος στο Κιμπάου την ξηρή περίοδο (Πηγή: <http://www.peacelink.it>)



Σχήμα 5.5 Ποταμός Inzia (Πηγή: <http://www.peacelink.it>)

Στον τομέα της υγείας, η Ρωμαιοκαθολικής Επισκοπής του Kenge διαχειρίζεται συνολικά δύο κρατικά νοσοκομεία, των Kenge και Kimbau, 16 κέντρα υγείας, εν μέρει ιδιωτικά και εν μέρει κρατικές, και ένα φαρμακείο για την ίδια την επισκοπή. Το νοσοκομείο του Kimbau που μας ενδιαφέρει, είναι αρκετά παλιό και χτίστηκε από τους Βέλγους ως μέρος ενός σχεδίου για την υγεία που ανατέθηκε από την βασίλισσα του Βελγίου για τη θεραπεία των παθήσεων της παιδικής ηλικίας. Ήταν εξοπλισμένο από την αρχή με τις βασικές υπηρεσίες για τη λειτουργία του (μέσω της αντλίας πόσιμο νερού και ηλεκτρικού ρεύματος μέσω γεννήτριας). Ωστόσο, μετά την ανεξαρτησία της χώρας (1960) και του εμφυλίου πολέμου που ακολούθησε, με την έλλειψη τόσο του τεχνικού προσωπικού και του πετρελαίου για τις μηχανές ντίζελ, η αντλία έγινε άχρηστη. Πέρασε στα χέρια της Ρωμαιοκαθολικής Επισκοπής του Kenge τη δεκαετία του 1980-1990. Το νοσοκομείο διαθέτει διαμερίσματα για μαιευτική, ιατρική και χειρουργική βοήθεια αλλά οι εξοπλισμοί είναι φτωχοί, έτσι ώστε το νοσοκομείο είναι τώρα ένα πρώτων βοηθειών περισσότερο από μια κλινική σταθερής θεραπείας και περίθαλψης. Η Ρωμαιοκαθολική Επισκοπή του Kenge και η AIFO θεώρησαν απαραίτητη, ότι για την ορθή διαχείριση του νοσοκομείου, έπρεπε να το εξοπλίσουν με παροχή καθαρού νερού και ηλεκτρικού ρεύματος για να συντελεστεί μια κάποια αποκατάσταση του ρόλου του στην περιοχή.

Γενικός στόχος του νοσοκομείου είναι η εξυπηρέτηση του πληθυσμού της περιοχής της Kimbau, ο οποίος είναι περίπου 150 000 κάτοικοι, η οποία περιοχή καλύπτει μια έκταση περίπου 6 000 km², πάνω στη γραμμή του Ισημερινού, και χαρακτηρίζεται από πολλά ποτάμια, δάση και στέπες. Τα πέντε χωριά στα περίχωρα της περιοχής του Kimbau λαμβάνουν προφανώς

ιδιαίτερα οφέλη από το νοσοκομείο, τα οποία υπολογίζεται πως έχουν πληθυσμό περί των 3 500 κατοίκων.

Οι εργασίες για την κατασκευή του υδροηλεκτρικού σταθμού ξεκίνησαν το 2003 και ολοκληρώθηκαν μετά από αρκετές τεχνικές δυσκολίες το 2007, όταν στις 6 του Μαρτίου επιτεύχθηκε ο φωτισμός του πρώτου λαμπτήρα εντός του νοσοκομείου. Λίγους μήνες μετά τη θέση σε λειτουργία των εγκαταστάσεων, ο σταθμός αντιμετώπισε προβλήματα διαφόρων ειδών, τόσο τεχνικά αλλά και περιβαλλοντικά. Για αυτό το σκοπό σχεδιάστηκε το «Κιμπάου πρότζεκτ» (Kimbau Project) το 2009. Ήταν μια προσπάθεια απομακρυσμένης τεχνικής βοήθειας από το Πολυτεχνείο του Μπάρι προς το νοσοκομείο του Κιμπάου. Η ολοκλήρωση του πρότζεκτ έγινε εφικτή βάσει της συμμετοχής πλήθους προπτυχιακών φοιτητών δουλεύοντας μαζί με τους επιβλέποντες καθηγητές του ίδιου του Πολυτεχνείου του Μπάρι μέσω συνεχών επαφών με το προσωπικό του νοσοκομείου.

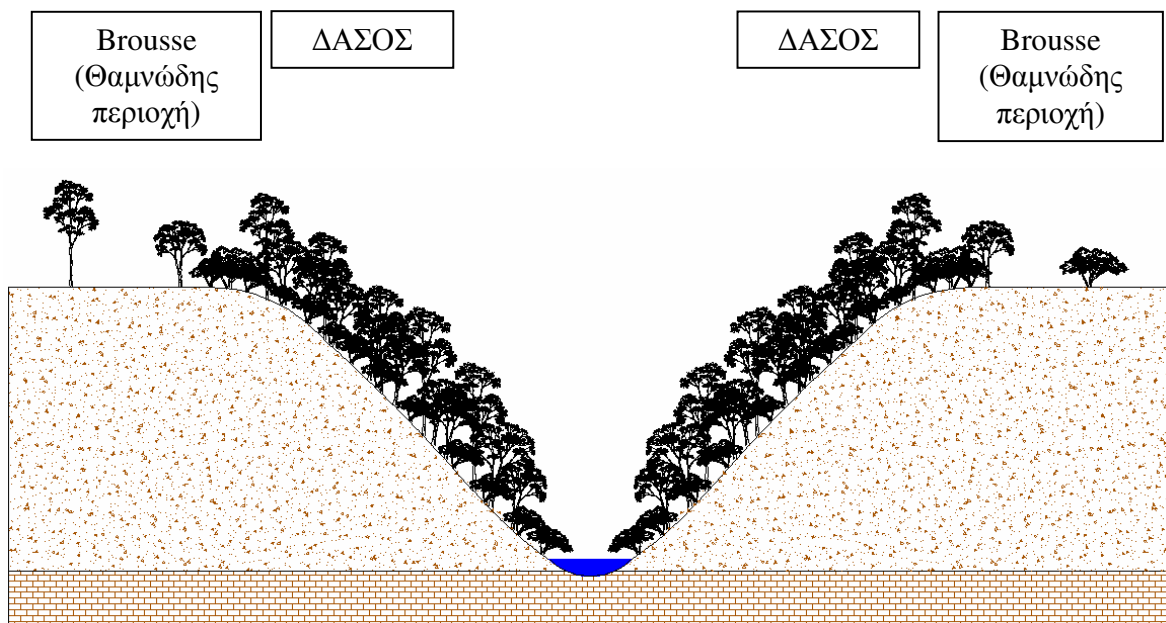
Σήμερα το έργο βρίσκεται εκτός λειτουργίας καθώς είχαμε διάρρηξη του αγωγού πτώσης, μαζί με άλλα φαινόμενα. Εδώ επιχειρούμε να εντοπίσουμε τα ζητήματα που διέπουν τη μη επιθυμητή και μη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος και προτείνουμε γενικές λύσεις που θα αναπτυχθούν, βασισμένοι στην έρευνα των Ιταλών συναδέλφων μας, που έχουν μελετήσει πρώτοι το έργο.

Εν πρώτοις παρουσιάζουμε αναλυτικά τα μέρη του έργου και στη συνέχεια αναλύουμε τα προβλήματα που ανέκυψαν στην φάση λειτουργίας του έργου μελετώντας τα από τη σκοπιά του μηχανικού. Τέλος προσδιορίζουμε τις πιθανές αιτίες και προτείνουμε λύσεις για την εξάλειψη ή έστω τη μείωση των προβλημάτων αυτών.

Αρχίζοντας με την ανάλυση του γενικότερου τοπίου της κατασκευής και τη μορφολογία του εδάφους, το τοπίο χαρακτηρίζεται κυρίως από ένα λοφώδες ανάγλυφο με υψόμετρο μεταξύ 490 μ. και 800 μ. πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η μορφή του ανάγλυφου επηρεάζεται έντονα από την λιθολογική φύση των ιζημάτων που εξέρχονται από το έδαφος της περιοχής. Στην πραγματικότητα, η δράση του νερού και των φυσικών υδατορευμάτων έχει σχηματίσει πολυάριθμες κοιλάδες στη χαλαρή άμμο, φέρνοντας στο φως ένα γυμνό υπόστρωμα αποτελούμενο από τσιμεντοποιημένους ψαμμίτες με τη δημιουργία υψομετρικών διαφορών γενικά μικρότερων από 100 m. Στη διεπαφή αυτού του υποστρώματος βρίσκονται όλα τα υδάτινα ρεύματα.

5.1.1 Γεωλογικά και στρωματογραφικά δεδομένα της περιοχής

Κατά μήκος των κοιλάδων, όπου οι κλίσεις είναι υψηλές (40° - 45°) παρουσιάζεται μια πλούσια βλάστηση (δάση) και το μέρος των λόφων φιλοξενεί μια ποώδη και θαμνώδης βλάστηση με λίγα δέντρα (brousse) όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.6. Αυτή η σαφής διαφοροποίηση μεταξύ των πεδιάδων και θαμνώδους περιοχής στην κοιλάδα είναι σχεδόν σταθερή καθ' όλη την περιοχή: φαίνεται να προκαλείται από τη χρήση της φωτιάς για τη δημιουργία καλλιεργήσιμων εκτάσεων και τη φύση του ίδιου του άγονου εδάφους, αφού στερείται το στρώμα του χούμου και δεν είναι πλέον σε θέση να διατηρήσει μια ξυλώδη βλάστηση. Στην πραγματικότητα, η στρώση της χαλαζιακής άμμου εάν δεν διαθέτει καλλιεργήσιμη φυτική γη, δεν μπορεί να κρατήσει αρκετό νερό, το οποίο διεισδύει γρήγορα στα υποκείμενα στρώματα μέχρι να φθάσουν τον υδροφόρο ορίζοντα (Politecnico di Bari, 2009).



Σχήμα 5.6 Μορφολογία του εδάφους στην περιοχή του χειμάρρου Nzasi

(Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)

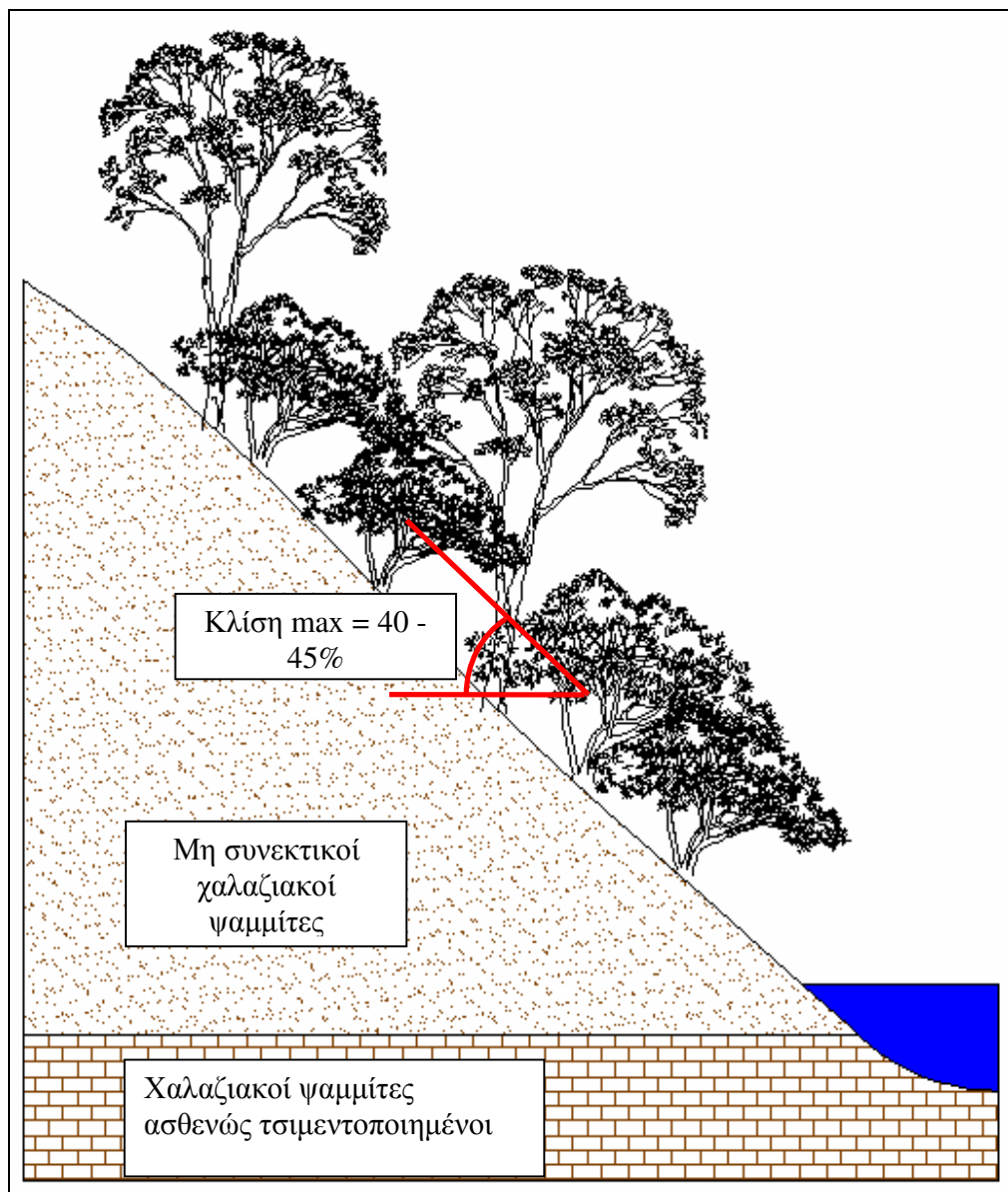
Όσον αφορά τη γεωτεχνική κατάσταση, οι αποθέσεις που βρίσκονται στις περιοχές που επηρεάζονται από τα έργα ανήκουν στη σειρά του ποταμού Kwango. Ειδικότερα, το ερευνητέο τμήμα του ποταμού Mvula (ποτάμι της περιοχής) παρουσιάζει από τη δειγματοληψία δύο

διαφορετικές μονάδες λιθολογικών στοιχείων με την ακόλουθη αλληλουχία (Politecnico di Bari, 2009):

(α) χαλαζιακοί ψαμμίτες, μη συνεκτικοί, με ελάχιστο πάχος 40 m;

(β) χαλαζιακοί ψαμμίτες ασθενώς τσιμεντοποιημένοι με απεριόριστο πάχος.

Οι τσιμεντοποιημένοι ψαμμίτες είναι στρωματοποιημένοι σε υπόγεια στρώματα που διαμορφώνουν την κλίση ροής των ποταμών που επηρεάζουν την περιοχή (βλ. Σχήμα 5.7).



Σχήμα 5.7 Στρωματογραφική διάρθρωση κοντά στο Mvula (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)

Η βλάστηση δεν επιτρέπει έναν πιο λεπτομερή προσδιορισμό της στρωματογραφίας κατά μήκος των κοιλάδων. Δεν έχουν, ωστόσο, επισημανθεί επίπεδα από πηλό ή τύρφη, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν καθιζήσεις του εδάφους για την εκδίωξη του νερού από τους πόρους. Τα προβλήματα αστάθειας μπορεί να προκύψουν σε αντιστοιχία με όλες τις τομές της ροής του υδατορεύματος, όπου οι απότομες κοιλάδες, που σχηματίζονται από χαλαρά ψαμμίτες, φτάνουν σε υψηλά κλίσεις (45%). Η σταθερότητα αυτών των πρανών είναι εγγυημένη από το είδος της βλάστησης δάσους. Επομένως, η διατήρηση της φυσικής φυτοκάλυψης πρέπει να διατηρηθεί για την προστασία των τεχνικών έργων που θα πραγματοποιηθούν σε αυτές τις πολύ απότομες πλαγιές.

Οι ψαμμίτες είναι ιζηματογενή πετρώματα και δημιουργούνται από την διαγέννεση της άμμου, την συμπαγοποίηση της. Η ορυκτολογική σύσταση των κόκκων των ψαμμιτών παίζει τον κυρίαρχο ρόλο στην ταξινόμησή τους και δίνει στοιχεία σχετικά με την προέλευσή τους. Ο «σκελετός» των ψαμμιτών αποτελούνται από κόκκους άμμου και χονδρής ιλύος, ενώ το συνδετικό υλικό εμφανίζεται ανάμεσα στους κόκκους του σκελετού, το οποίο μπορεί να είναι ασβεστιτικό, χαλαζιακό ή αργιλικό. Από το συνδετικό υλικό χαρακτηρίζεται ο ψαμμίτης ως χαλαζιακός, ασβεστιτικός ή αργιλικός. Οι ψαμμίτες συνίστανται κυρίως από κλαστικά ορυκτά και τεμάχια πετρωμάτων, τα οποία προέρχονται από μηχανική - χημική αποσάθρωση πετρωμάτων, και από ποικιλία δευτερευόντων ορυκτών.

Από τα διαθέσιμα στοιχεία είναι δυνατό να δοθούν λεπτομέρειες, μόνο για ορισμένες γεωτεχνικές παραμέτρους, οι οποίες προήλθαν συσχετίζοντας την κατάσταση της πυκνότητας του εδάφους (από την πρότυπη ταξινόμηση των εδαφών) και της πρόβας SPT (standard penetration test). Από τα παρακάτω στοιχεία προσδιορίστηκε η σχετική πυκνότητα (D_r) και η γωνία κλίσης (ϕ) των ενδιαφερόμενων εδαφών (Politecnico di Bari, 2009):

Χαλαροί ψαμμίτες που αποτελούν τις όχθες του χειμάρρου έχουν:

(α) αντοχή σε μονοαξονική θλίψη $< 1 \text{ kg/cm}^2 = 0,098 \text{ MPa}$

(β) σχετική πυκνότητα (D_r) μεταξύ 0,2 και 0,4 και

(γ) εσωτερική γωνία τριβής (ϕ) = $30^\circ - 35^\circ$

Οι τσιμέντοποιημένοι ψαμμίτες της κοίτης του χειμάρρου έχουν

(α) αντοχή σε μονοαξονική θλίψη $< 50 \text{ kg/cm}^2 = 4,9 \text{ MPa}$

(β) σχετική πυκνότητα (D_r) μεταξύ 0,6 και 0,8 και

(γ) εσωτερική γωνία τριβής (ϕ) = 40 ° - 45 °.

Τα παραπάνω είναι εξαγόμενα αποτελέσματα της σύγκρισης μεταξύ επιτόπιων δοκιμών και πρότυπων πινάκων κατατάξεων των πετρωμάτων, και αυτό σημαίνει πως οι ανώτερες στρώσεις, ακριβώς επειδή είναι νεότερα ιζηματογενή υλικά, ανήκουν στην κατηγορία των χαλαρών πετρωμάτων και συνεπώς περιγράφονται από την κατηγορία των «εδαφομαζών» ή «εδαφών», ενώ οι κατώτερες στρώσεις, ακριβώς επειδή έχουν φτάσει πιο κοντά στην πλήρη διαγέννεση τους ως παλαιότερα, ανήκουν στην κατηγορία των στερεών πετρωμάτων «βραχομαζών» ή «βράχων». Η τελευταία κατηγορία πετρωμάτων άλλωστε εκφράζεται και από την ενιαία μορφή ενός πετρώματος χωρίς επιφάνειες αποχωρισμού. Η διάκριση αυτή γίνεται για καθαρά κατασκευαστικούς λόγους (Δημόπουλος, 2008). Τα παραπάνω συμπεράσματα επικυρώνονται και από τα ευρήματα της σχετικής πυκνότητας της κάθε στρώσης αλλά και από την αντοχή της σε μονοαξονική θλίψη. Πιο συγκεκριμένα, στον Πίνακα 5.2 βλέπουμε πως για την σχετική πυκνότητα των μη συνεκτικών εδαφών ισχύουν τα παρακάτω (Καββαδάς, 2007α):

Πίνακας 5.2 Σχετική πυκνότητα μη συνεκτικών εδαφών (Πηγή: Καββαδάς, 2007α)

Σχετική Πυκνότητα (%)	Περιγραφή μη συνεκτικού εδάφους
0 – 15	Πολύ χαλαρό
15 – 35	Χαλαρό
35 – 65	Μέσης Πυκνότητας
65 – 85	Πυκνό
85 – 100	Πολύ πυκνό

Τα δεδομένα που δίνουν οι Ιταλοί συνάδελφοι συμπίπτουν με την παραπάνω κατάταξη. Παρατηρούμε πως η τσιμεντοποίηση από χαλαζία αυξάνει τη σχετική πυκνότητα του πετρώματος, καθώς μειώνονται τα κενά των πόρων. Από τη μελέτη της αντοχής σε μονοαξονικής θλίψης καταλαβαίνουμε πως η φέρουσα ικανότητα των ανωτέρων στρώσεων της άμμου είναι πολύ μικρή για θεμελίωση οποιασδήποτε ογκώδους κατασκευής. Κρίνοντας την κατώτερη στρώση, θα πρέπει να χαρακτηριστεί ως ασθενής βραχώμαζα και αυτό σημαίνει πως όποια προβλήματα καθιζήσεων θα πρέπει να εξεταστούν. Στον Πίνακα 5.3 δίνεται το εύρος του

μεγέθους των κόκκων των εδαφικών σχηματισμών που θα μας χρειαστεί για την επαλήθευση του εξαμωτή πιο κάτω.

Πίνακας 5.3 Κατάταξη εδαφών σύμφωνα με το μέγεθος κόκκων (Πηγή: Καββαδάς, 2007α)

Κατηγορία	Υποκατηγορία	Μέγεθος κόκκων (mm)
Χάλικες	Χονδρόκοκκοι	20 - 60
	Μεσόκοκκοι	6 - 20
	Λεπτόκοκκοι	2 - 6
Άμμοι	Χονδρόκοκκοι	0,6 - 2
	Μεσόκοκκοι	0,2 - 0,6
	Λεπτόκοκκοι	0,06 - 0,2
Ιλείς	Χονδρόκοκκοι	0,02 - 0,06
	Μεσόκοκκοι	0,006 - 0,02
	Λεπτόκοκκοι	0,002 - 0,006
Άργιλοι	-	< 0,002

Συνεπώς το μέσο μέγεθος του κόκκου του χαλαζία είναι ανάμεσα στο διάστημα των 0,06 και 2 mm. Οι τιμές της εσωτερικής γωνίας τριβής για τις δύο στρώσεις προέκυψαν από τις επιτόπιες μετρήσεις και φαίνονται λογικές, αφού σε χαλαρά αμμώδη εδάφη η γωνία τριβής κυμαίνεται στο διάστημα των 30° - 35° και για τους συνεκτικούς ψαμμίτες κυμαίνεται στο διάστημα των 35° - 45° (Μαρίνος, 2001). Εξάλλου τα αποτελέσματα μπορούν να επικυρωθούν από την απλή παρατήρηση της γωνίας ευστάθειας των ίδιων των πρανών στην περιοχή.

Τέλος τονίζουμε το γεγονός πως τα χαλαρά μη συνεκτικά εδάφη πλησιάζουνε τη πλέον χαλαρή διάταξη των κόκκων με το μέγιστο ποσοστό κενών εντός του εδαφικού υλικού, άρα πλησιάζουνε την ελάχιστη πυκνότητα για το έδαφος. Η πυκνότητα ενός εδαφικού υλικού εξαρτάται πρωτίστως από την φύση του. Για άμμους και χάλικες η πυκνότητα p_{es} κυμαίνεται από 1,70 έως 2,40 Mg/m³, ενώ για ιλείς και άργιλους κυμαίνεται από 1,40 έως 2,10 Mg/m³ (Καββαδάς, 2007α). Εδώ λοιπόν θα θεωρήσουμε πως για D_r μεταξύ 0,2 και 0,4 της επάνω στρώσης, αναλογικά η πυκνότητα του εδαφικού υλικού p_{es} θα είναι μεταξύ 1,84 έως 1,98 Mg/m³, προκύπτει αντίστοιχα πως το ειδικό βάρος της άνω στρώσης μπορεί να θεωρηθεί μεταξύ

$\gamma_{εδ} = \rho_{εδ} \cdot g = 1,84 \cdot 10 = 18,4 \text{ KN/m}^3$ και $\gamma_{εδ} = \rho_{εδ} \cdot g = 1,98 \cdot 10 = 19,8 \approx 20 \text{ KN/m}^3$. Κάνοντας μια συντηρητική εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους θα θεωρήσουμε $\gamma_{εδ} = 20 \text{ KN/m}^3$.

5.1.2 Υδρολογικά και κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής

Εξετάζοντας τη γενική υδρολογία της περιοχής, βλέπουμε πως οι υδάτινες διαδρομές είναι σε αφθονία, παρουσιάζουν σταθερή παροχή νερού και κυρίως καθαρότητα λόγω της σαφούς παρουσίας των αμμωδών εδαφών. και συρρέουν από τον Inzia, πλέουν από το Kimbau μέχρι το Misele (χωριό βορειότερα του Kimbau, που συναντάει την Εθνική Οδό N1) και στη συνέχεια από το Misele στον Kwilu, και απο εκεί μέσω του Kwango, του Kasai και του Congo, για την Κινσάσα, όπως δείχνει το Σχήμα 5.1.

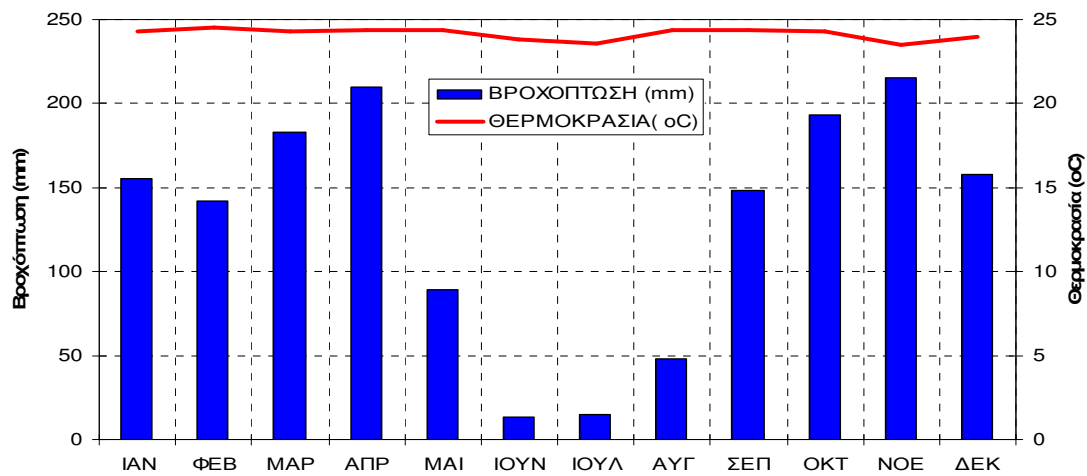
Οι δύο κύριοι ποταμοί του Kimbau όπου είναι τοποθετημένοι στο βορά και στο νότο και ανάμεσα τους βρίσκονται το νοσοκομείο, τα σχολεία και τα χωριά, είναι ο Nzasi στο Βορρά και ο Mvula στο νότο. Η λεκάνη απορροής του Mvula εκτιμάται σε 20 τετραγωνικά χιλιόμετρα και του Nzasi σε 18 τετραγωνικά χιλιόμετρα αντίστοιχα.

Οι μετρήσεις του όγκου ροής έχουν δώσει τα ακόλουθα αποτελέσματα:

(α) ποταμού Mvula: $Q = 0,73 \text{ m}^3 / \text{s}$

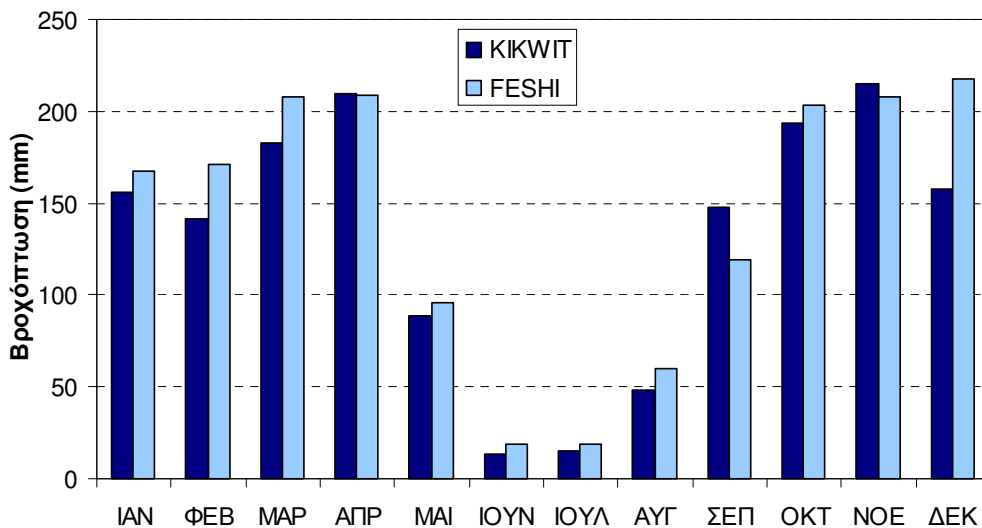
(β) ποταμού Nzasi: $Q = 0,48 \text{ m}^3 / \text{s}$.

Στην περιοχή υπάρχουν δύο μετεωρολογικοί σταθμοί ο KIKWIT (5.03°S, 18.80°E, H 518 m) και ο FESHI (6.10°S 18.10°E). Οι μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις και θερμοκρασίες για μια περίοδο 41 ετών (1932-1973) του σταθμού KIKWIT παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.8. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 24.1 °C και η μέση ετήσια βροχόπτωση 1572 mm. Από τα κλιματικά δεδομένα προκύπτει ότι το κλίμα της περιοχής κατατάσσεται στον τύπο Am (Τροπικό μουσωνικό) σύμφωνα με την κατάταξη Koppen. Βέβαια η περιοχή δεν επηρεάζεται από μουσώνες αλλά επικρατεί μια διαχωρισμένη ξηρή περίοδος το «χειμώνα». Η ετήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή είναι της τάξης των 1 650 mm (Al-Awai, 2001)



Σχήμα 5.8 Μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις και θερμοκρασίες του σταθμού Kikwit

Οι μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις των σταθμών KIKWIT και FESHI παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.9. Οι τιμές για τον σταθμό FESHI έχουν προκύψει από δεδομένα μιας περιόδου 28 ετών (1931-1959). Η μέση ετήσια βροχόπτωση του δεύτερου σταθμού είναι 1 696 mm.



Σχήμα 5.9 Μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις σταθμών Kikwit και Feshi

Στη περιοχή αναφέρονται δύο ποταμοί ο Mvula και ο Nzazi με λεκάνες απορροής 20 και 18 km² και μέσες ετήσιες παροχές 0,73 και 0,48 m³/s. Με βάση τα δεδομένα αυτά οι ετήσιοι όγκοι απορροής είναι 23 και 15.1 hm³ οι οποίοι αντιστοιχούν σε 1 152 και 842 mm απορροής αντίστοιχα. Δεδομένου ότι η ετήσια βροχόπτωση στην περιοχή είναι της τάξης των 1 650 mm (Al-Awai, 2001) οι ετήσιοι συντελεστές απορροής των δύο λεκανών εκτιμώνται σε 0,70 και 0,51. Δεδομένου ότι η γεωλογία της περιοχής επιτρέπει την ανάπτυξη υδροφορέων η μικρή διακοπή της βροχόπτωσης δεν έχει σημαντική επίδραση στην διακύμανση της παροχής η οποία παραμένει πρακτικά σταθερή όλο το χρόνο (Al-Awai, 2001). Οι παραπάνω εκτιμήσεις συμβαδίζουν με την εργασία του Rodier (Rodier, 1983) ο οποίος μελέτησε το υδρολογικό καθεστώς μιας περιοχής 5 000 000 km² στη ΛΔΚ (όπου ανήκει και η περιοχή μελέτης) και επεξεργάστηκε τα υδρολογικά δεδομένα 80 λεκανών απορροής. Σύμφωνα με τη εργασία οι απορροές στην περιοχή κυμαίνονται από 800 έως 1 300 mm ενώ η χρονική τους διακύμανση είναι μικρή.

5.1.3 Στερεομεταφορά για τα ποτάμια της περιοχής

Λόγω της αξιοσημείωτης στερεομεταφοράς των υδάτων της ΛΔΚ καθίσταται αναγκαίο, για μια μεγαλύτερη διάρκεια ασφαλούς λειτουργίας της εγκατάστασης, η κατασκευή της δεξαμενής καθίζησης να πληρεί τις ακόλουθες απαιτήσεις: (α) λειτουργική γεωμετρία για να αποφευχθούν φαινόμενα κυματισμών και έντονων αναταραχών εντός της ροής και (β) εξοπλισμό με αγωγούς εκροής στο κάτω μέρος για την εκκένωση των αποθέσεων. Στο Σχήμα 5.10 φαίνεται το υδατόρευμα του ποταμού Nzasi στον οποίον είναι τοποθετημένος ο υπερχειλιστής του υδροηλεκτρικού συστήματος. Ο ποταμός Mvula είναι αρκετά πιο κάτω από την εξεταζόμενη περιοχή του έργου.



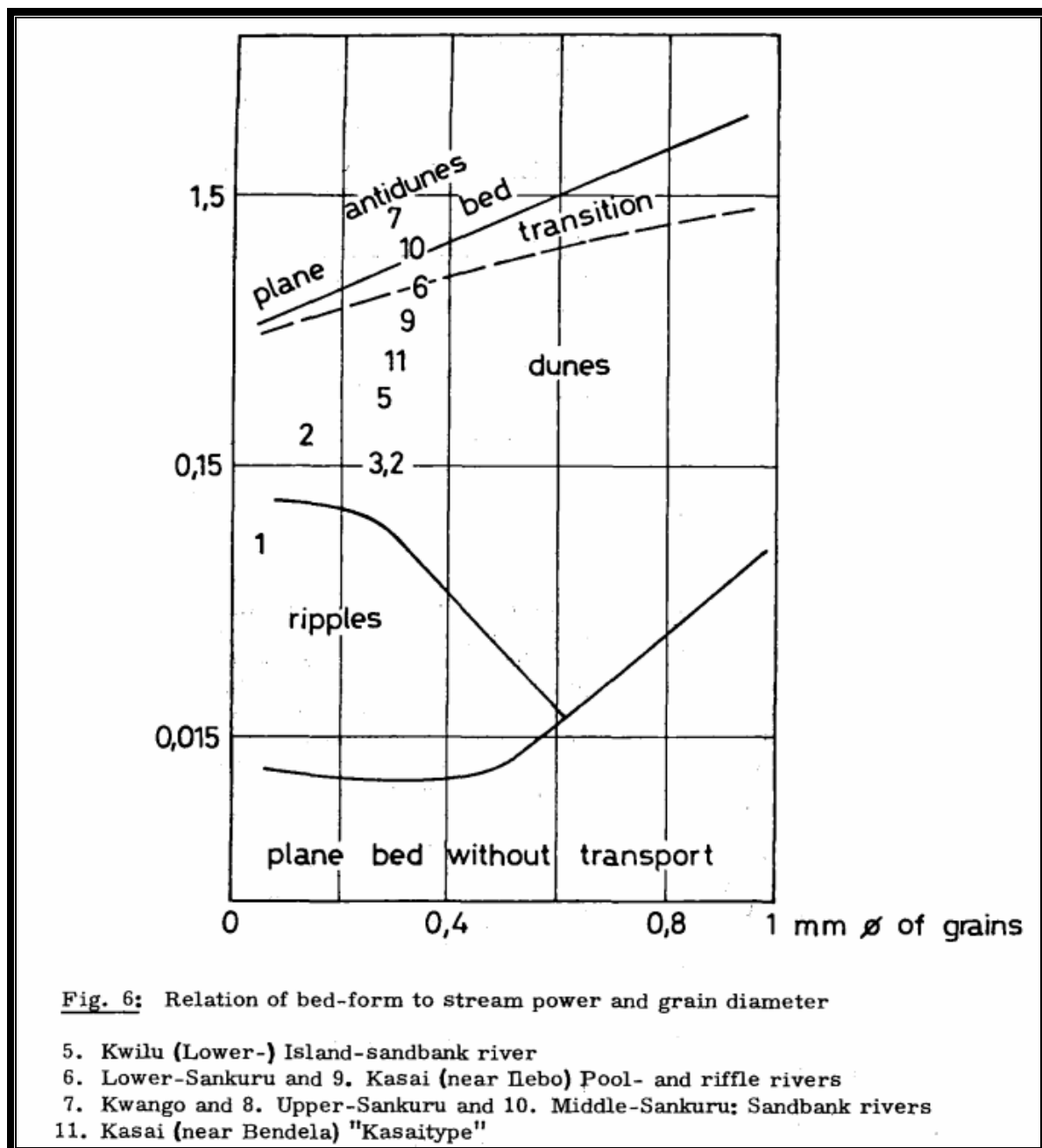
Εικόνα 5.10 Ποτάμις Nzasi (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)

Μια πρώτη εκτίμηση για το μέγεθος της στερεοπαροχής προκύπτει από μετρήσεις στον ποταμό Kwilu, ο οποίος είναι η κατάληξη του Inzia, του οποίου η ημερήσια στερεοπαροχή υπολογίζεται στα $3 \text{ m}^3/\text{m}$ (Savat, 1975) και η μέση διάμετρος του ποταμού αυτού φαίνεται από τον Πίνακα 5.4. Όσον αφορά τον ποταμό Inzia ο οποίος καταλήγει ο ποταμός Nzasi, έχει σταθερή παροχή όλο το χρόνο, ακόμα και στους τέσσερις μήνες ξηρασίας λόγω του μεγάλου πορώδους των εδαφών της περιοχής (Savat, 1975).

Πίνακας 5.4 Μέση διάμετρος κόκκου στα κύρια ποτάμια της περιφέρειας του Bandudu (Προέλευση: Savat, 1975)

Ποτάμις	Kwango	Kwilu	Kasai
Μέση Διάμετρος Κόκκου Άμμου (mm)	0,27	0,28	0,298

Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα, ανάλογες υποθέσεις θα κάνουμε και για τον ποταμό Nzasi. Από την σύγκριση μεταξύ των παροχών των ποταμιών της περιφέρειας του Bandudu και του μεγέθους κόκκου της άμμου όπου το Σχήμα 5.11 προσφέρει, καταλήγουμε ξανά στα ίδια συμπεράσματα για την γνωστή παροχή του ποταμού Nzasi.



Σχήμα 5.11 Συσχέτιση παροχής ποταμού της περιφέρειας του Bandudu και μέσης διάμετρου κόκκου (Πηγή: Savat, 1975)

Προχωράμε την έρευνα μας σύμφωνα με την εύλογη υπόθεση πως επειδή επικρατούν οι ίδιες μετεωρολογικές και γεωμορφολογικές συνθήκες για τον ποταμό Nzasi αλλά και τον ποταμό

Kwilu στον οποίο εκβάλλει ο τελευταίος, μπορούμε, έχοντας γνωστή την λεκάνη αποστράγγισης του ποταμού Kwilu κατά την υγρή περίοδο όπου η στερεομεταφορά γίνεται μέγιστη, να συγκρίνουμε τους δυο ποταμούς ως προς τις παροχές τους (χρησιμοποιώντας τον τύπο 4.4) και την σχετική τους στερεομεταφορά. Η λεκάνη απορροής λοιπόν είναι $1\,550\text{ km}^2$ (http://en.wikipedia.org/wiki/Kwilu_River). Συνεπώς έχουμε:

$$Q_{Kwilu} = \frac{A_{Kwilu}}{A_{Nzasi}} Q_{Nzasi} = \frac{1550\text{km}^2}{18\text{km}^2} 0,48\text{m}^3 / \text{sec} = 41,33\text{m}^3 / \text{sec} \quad (5.1)$$

Αναλόγως μπορούμε να υπολογίσουμε την στερεομεταφορά TS_{Nzasi} με ανάλογο τρόπο:

$$TS_{Nzasi} = \frac{Q_{Nzasi}}{Q_{Kwilu}} TS_{Kwilu} = \frac{0,48\text{m}^3 / \text{sec}}{41,33\text{m}^3 / \text{sec}} 3\text{m}^3 / \text{m} / \text{day} = 0,035\text{m}^3 / \text{m} / \text{day} \quad (5.2)$$

Υπολογίζουμε από τις δοσμένες συντεταγμένες του έργου και τον χάρτη του Σχήματος 5.3 πως ο υπερχειλιστής του έργου μας, βρίσκεται περίπου 3 με 4 km μακριά από τις απαρχές του ποταμού. Συνεπώς μπορούμε να εκτιμήσουμε την στιγμιαία στερεομεταφορά του Nzasi ως:

$$TS_{Nzasi} = 0,035\text{m}^3 / \text{m} / \text{day} \cdot \frac{4000\text{m}}{86400\text{sec}} = 0,0016\text{m}^3 / \text{sec} \quad (5.3)$$

η οποία είναι σχετικά μικρή. Τα αποτελέσματα αυτά θα χρησιμεύσουν για την ανάλυση του εξαμμωτή.

5.2 Ανάλυση των μερών του έργου

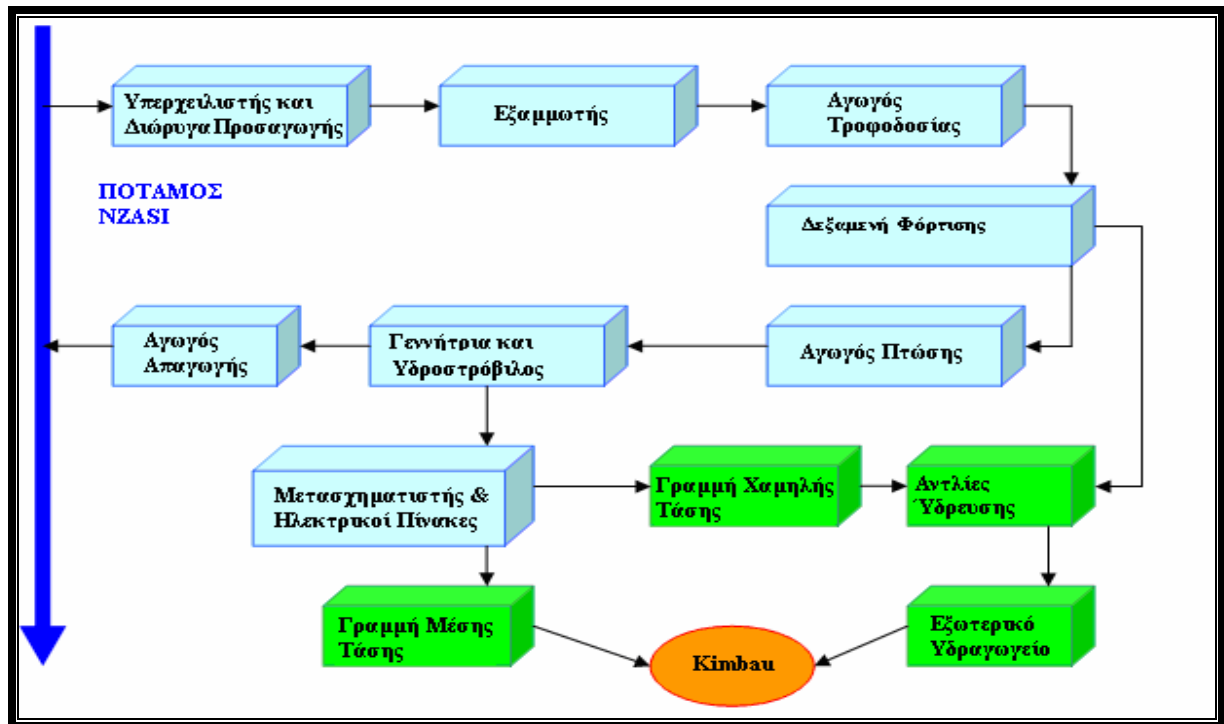
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα ΜΥΗΕ είναι δομοστοιχειακά και έτσι ο τύπος τους, τα επιμέρους έργα και ο τρόπος λειτουργίας τους ποικίλει. Συνεχίζοντας, παραθέτουμε το σχετικό σχεδιάγραμμα στο Σχήμα 5.12 για τα έργα πολιτικού μηχανικού και τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό που συνθέτουν το υδροηλεκτρικό σύστημα, προκειμένου να έχουμε μια σαφή περιγραφή της λειτουργίας του όλου έργου. Ο κατάλογος των έργων αποτελείται από τα κάτωθι:

- (α) Υπερχειλιστής & Διώρυγα Υδροληψίας
- (β) Εξαμμωτής (ή Αμμοκράτης)
- (γ) Αγωγός Τροφοδοσίας
- (δ) Δεξαμενή Φόρτωσης και Αντλίες Ύδρευσης
- (ε) Αγωγός Πτώσης
- (ζ) Γεννήτρια και Κεντρικός Οικίσκος

(η) Ηλεκτρικός Πίνακας και Μετασχηματιστής

(θ) Αγωγός Απαγωγής

Πραγματοποιούμε μια σύντομη εξέταση των στοιχείων υδροηλεκτρικού συστήματος έχουμε τα εξής:



Σχήμα 5.12 Σχεδιάγραμμα λειτουργίας του υδροηλεκτρικού έργου του ποταμού Nzasi

(α) Υπερχειλιστής & Διώρυγα Προσαγωγής

Ο υπερχειλιστής είναι κατασκευασμένος από ένα τοίχο από σκυρόδεμα περιορισμένου πάχους, περίπου δύο μέτρα ύψος, κατάλληλα αγκυρωμένο στον πυθμένα και στις δύο πλευρές, με σιδηρένιο θυρόφραγμα εκκένωσης με χειροκίνητη ρύθμιση για την αποστράγγιση και καθαρισμό της άμμου. Η μορφή του δεν προσεγγίζει αυτή του υπερχειλιστή καμπύλης στέψης που περιγράφηκε και πιο πάνω, αλλά αυτή της κεκλιμένης κατόντη επιφάνειας όπως φαίνεται και στα Σχήματα 5.13 και 5.14. Η στέψη του υπερχειλιστή είναι τραπεζοειδής. Η όλη κατασκευή είναι τοποθετημένη ελάχιστα ανάντη από σημείο αλλαγή κλίσης του υδατορεύματος, με σκοπό την αποφυγή συσσώρευσης φερτών υλών και για εξασφάλιση καλών συνθηκών υδροληψίας, όπως δείχνει το παράρτημα. Η δε διώρυγα προσαγωγής, είναι εφοδιασμένη με κεκλιμένη εσχάρα

καθαρισμού στερεωμένη ώστε να συγκρατεί τα διάφορα φύλλα δέντρων και άλλα φυτικά στοιχεία που παρασέρνει η ροή. Όλα τα παραπάνω δείχνονται στο Παράρτημα 1 που δείχνει αναλυτικά τα τεχνικά σχέδια και συγκεκριμένα την κάτοψη της υδροληψίας αλλά και στα σχετικά Σχήματα 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19 και 5.20.



Σχήμα 5.13 Ο υπερχειλιστής του Nzasi με κλειστό θυρόφραγμα
(Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)



Σχήμα 5.14 Ο υπερχειλιστής του Nzasi με ανοιχτό θυρόφραγμα
(Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)



Σχήμα 5.15 Θυρόφραγμα και εσχάρα του υπερχειλιστή (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)



Σχήμα 5.16 Ο υπερχειλιστής του Nzasi με ανοιχτό θυρόφραγμα (Πηγή: <http://ocdpafrika.wordpress.com>)



Σχήμα 5.17 Λεπτομέρεια θυροφράγματος



Σχήμα 5.18 Λεπτομέρεια εσχάρας



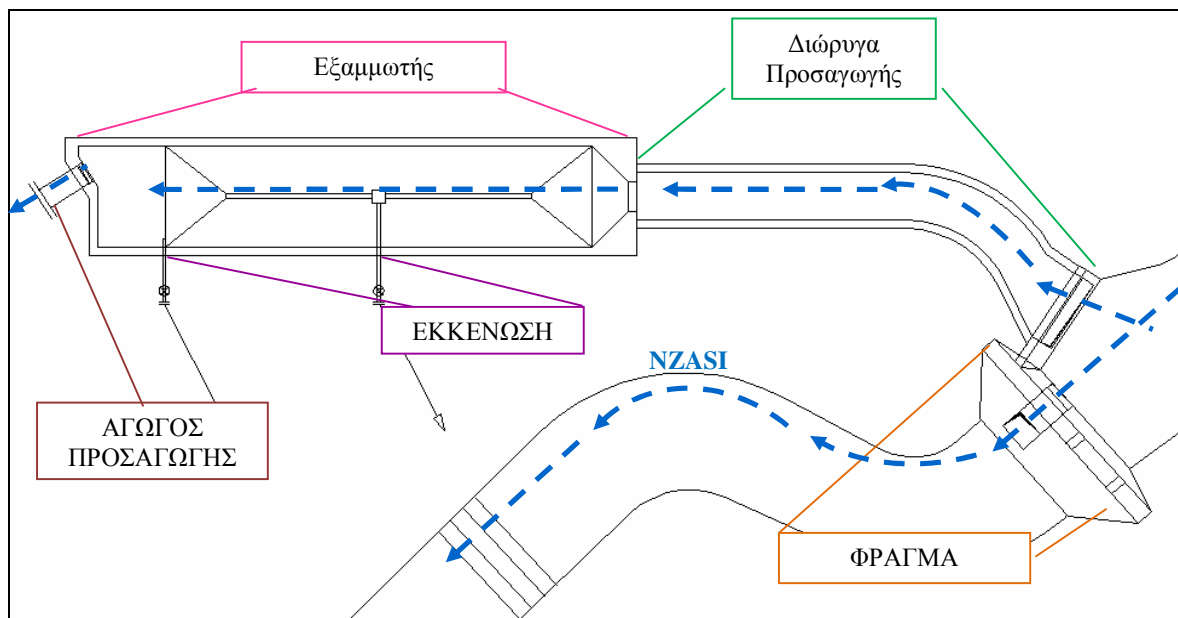
Σχήμα 5.19 – Ανοιχτό θυροφράγμα



Σχήμα 5.20 Υπερχειλιστής Θυροφράγματος

(β) Εξαμμωτής (ή Αμμοκράτης)

Συνδέεται με τα έργα υδροληψίας, στο τμήμα το οποίο η κοιλάδα είναι ακόμα επίπεδη, με τη διάβρυγα προσαγωγής να είναι περίπου 13 μέτρα μήκους, σταθερού ορθογωνικού σχήματος. Ο εξαμμωτής έχει προβλεφθεί ευθύγραμμος μήκους 16 μέτρων, πλάτους τριών μέτρων, με εγκάρσιες και διαμήκειες κλίσεις προς το κέντρο, από όπου αναμένεται συνεχής απαγωγή νερού περιορισμένης εμβέλειας στην κοιλάδα από αγωγούς - εκκενωτές πυθμένα. Στο τέρμα της δεξαμενής εξάμμωσης, μετά από έναν αναβαθμό περίπου 40 cm, τοποθετείται ως έξοδος το στόμιο του σωλήνα PVC του αγωγού τροφοδοσίας. Αμέσως ανάντη της δεξαμενής καθίζησης τοποθετείται ένα θυρόφραγμα για το πιθανό σταμάτημα της ροής του νερού και της εκδίωξης της υπερχειλίσης. (Βλ. Παράρτημα 1, Σχήματα 5.21, 5.22, 5.23, 5.24, 5.25 και 5.26).



Σχήμα 5.21 Έργα υδροληψίας και δεξαμενή εξάμμωσης (Παράρτημα 1)



Σχήμα 5.22 Θυρόφραγμα και εξαμμώτης (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)



Σχήμα 5.23 Εκσκαφή δίπλα από τον εξαμμοτή για την εγκατάσταση των εκκενωτών πυθμένα



Σχήμα 5.24 Εκσκαφή δίπλα από τον εξαμμοτή για την εγκατάσταση των εκκενωτών πυθμένα



Σχήμα 5.25 Λεπτομέρεια εξαμωτή (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)



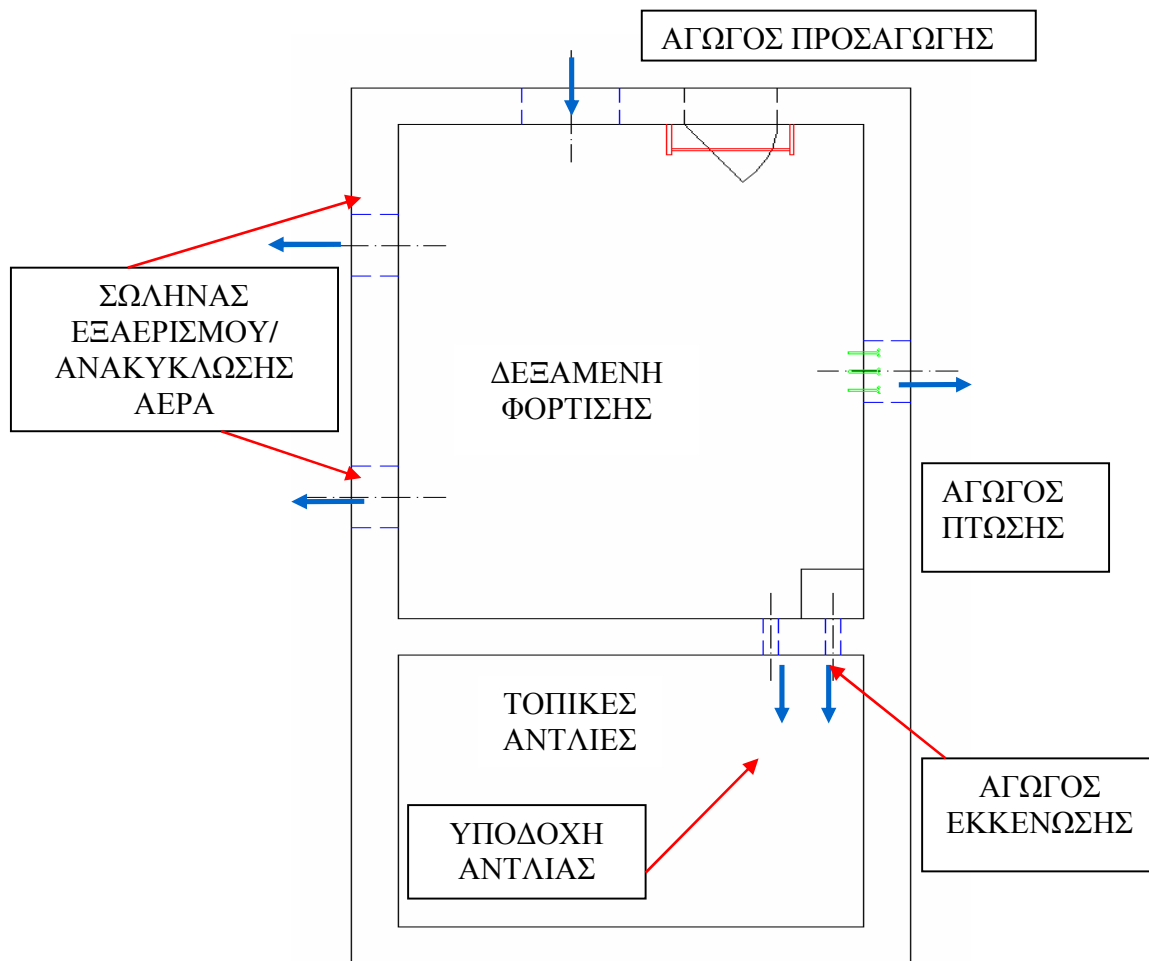
Σχήμα 5.26 Λεπτομέρεια είσοδου του αγωγού τροφοδοσίας (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)

(γ) Αγωγός Τροφοδοσίας

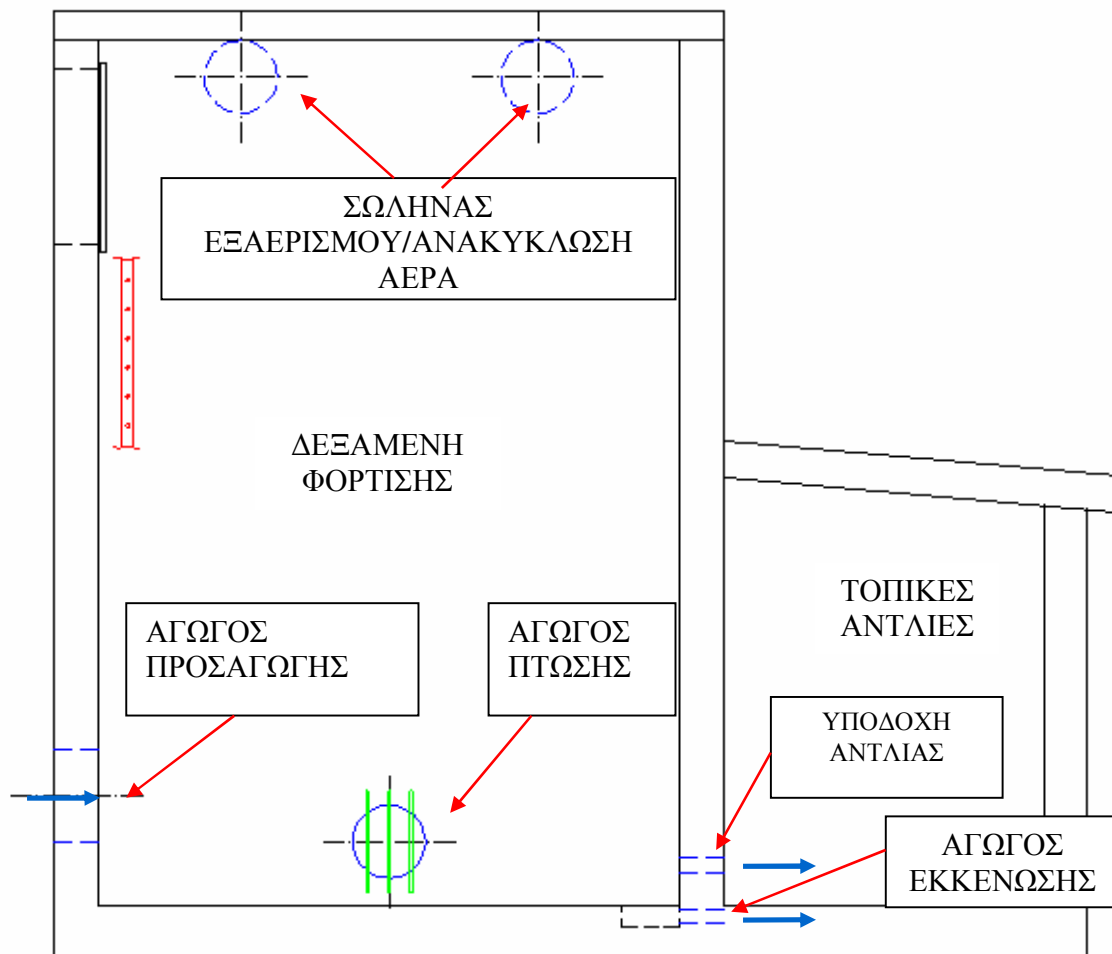
Αποτελείται από τρία διαφορετικά τμήματα από PVC: το πρώτο σκέλος με ονομαστική διάμετρο OD = 630 mm, πάχος $e = 15,4$ χιλιοστά, μήκος = 31,5 m, ονομαστικής πίεσης PN 6 atm, ευθύγραμμου αγωγού, το δεύτερο σκέλος με ονομαστική διάμετρο OD = 500 mm, πάχος $e = 12,3$ χιλιοστά, μήκος = 66,5m, ονομαστικής πίεσης PN 6 atm, αναπτυσσόμενου αγωγού σε 3 επιπεδομετρικές καμπύλες, 80° , 30° και 30° , και ένα τρίτο σκέλος με ονομαστική διάμετρο DE = 630 mm, πάχος $e = 15,4$ χιλιοστά, μήκος = 73,5 m, ονομαστικής πίεση PN 6, επίσης χωρίς καμπύλες, ευθύγραμμου αγωγού.

(δ) Δεξαμενή Φόρτισης και Αντλίες Ύδρευσης

Η δεξαμενή φόρτισης συνδέεται με τη δεξαμενή των αντλιών πίεσης. Αποτελείται από ένα μόνο ρεζερβουάρ με εσωτερικές διαστάσεις 4 m · 3 m · 6 m, τοποθετημένο στο ύψος που είναι προσεγγιστικά και το αντλιοστάσιο. Η δεξαμενή νερού του νερού φαίνεται στα Σχήματα 5.27 και 5.28 (βλ. Παράρτημα 2). Στα Σχήματα 5.29 και 5.30 διακρίνεται το αντλιοστάσιο και η δεξαμενή νερού.



Σχήμα 5.27 Κάτοψη δεξαμενή φόρτισης και αντλιοστάσιο (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)



Σχήμα 5.28 Όψη της δεξαμενής φόρτισης και αντλιοστάσιο (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)



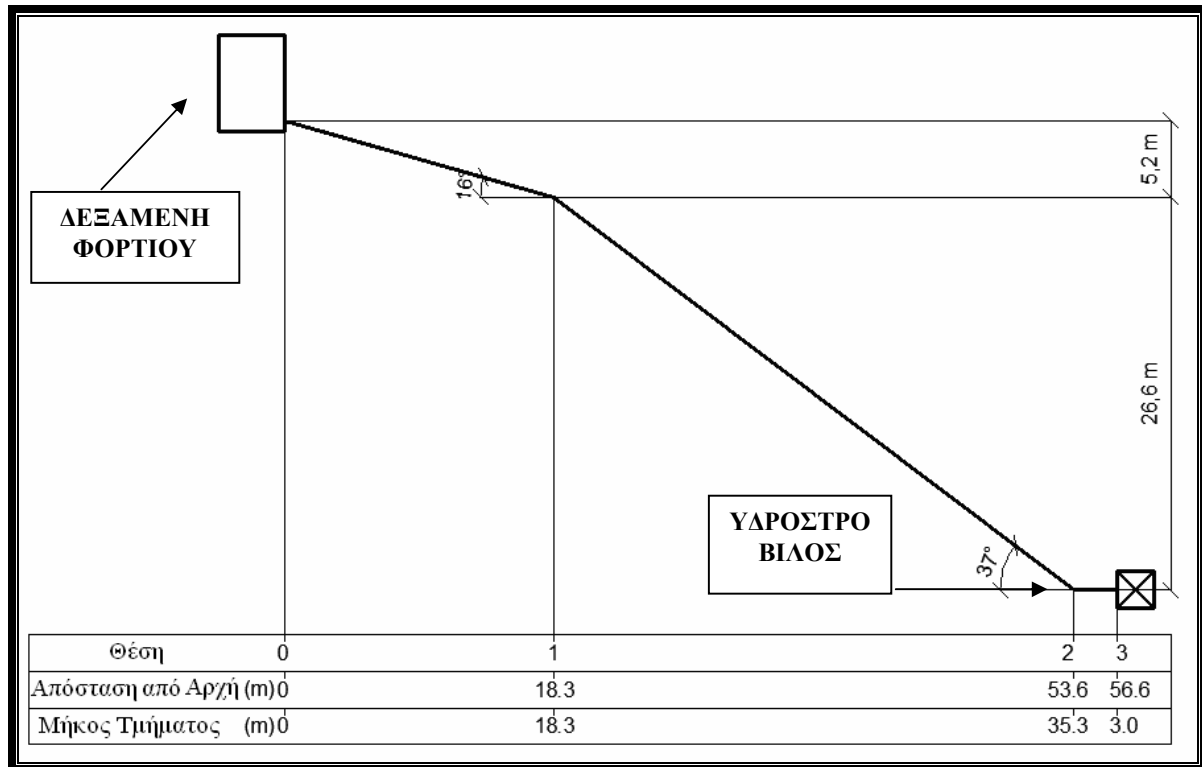
Σχήμα 5.29 Δεξαμενής φόρτισης



Σχήμα 5.30 Αντλιοστάσιο

(ε) Αγωγός Πτώσης

Αρχικά είχε προγραμματιστεί να πρόκειται για ένα χαλύβδινο σωλήνα με διάμετρο 50 cm, πάχους 6 mm, επικαλυμμένο εξωτερικά με ασφαλτική στεγνωτική επίστρωση. Είχε επίσης προβλεφθεί η διάταξη του έργου να βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, προκειμένου να φορτίζεται ομοιόμορφα το έδαφος, κατά βάση λόγω της δυσκολίας της δημιουργίας θεμελίωσης του αγωγού σε ένα έδαφος με υψηλή κλίση και χαμηλή αντοχή. Το τι έχει επιτευχθεί είναι πολύ διαφορετικό από το αρχικό σχέδιο. Αποτελείται από ένα μόνο αγωγό PVC με εξωτερική διάμετρο (DE) 50 cm, με συνολικό μήκος 65 μέτρα, η ονομαστική πίεση (PN) είναι ίση προς 6. Παρουσιάζει, επίσης, δύο προφίλ όδευσης: το πρώτο έχει 21 ° κλίση με το οριζόντιο επίπεδο (θέση 1) και το δεύτερο έχει 37 ° κλίση (θέση 2). Στις θέσεις 1 και 2 αντιστοιχεί μπλοκ αγκύρωσης από σκυρόδεμα (βλ. Σχήματα 5.31, 5.32 και 5.33).



Σχήμα 5.31 Μηκοτομή του αγωγού πτώσης



Σχήμα 5.32 Θέση αγκύρωσης 1 (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)



Σχήμα 5.33 Θέση αγκύρωσης 2

(ζ) Γεννήτρια και Κεντρικός Οικίσκος

Είναι μια κατασκευή από τοίχους με τούβλα, με διαστάσεις 10,50 m · 6,50 m, που καλύπτονται με χαλύβδινο σκελετό που στερεώνεται κατάλληλα με ελάσματα. Είναι επίσης εξοπλισμένος με μεταλλικά πλαίσια ειδικών πλεγμάτων, για την αποτροπή ανεπιθύμητων εισβολών από πουλιά, μικρά ζώα κλπ. Εντός του σταθμού βρίσκονται η τουρμπίνα και η γεννήτρια, οι ηλεκτρικοί πίνακες, ο μετασχηματιστής και ο εξοπλισμός που απαιτείται. Από τον υδροηλεκτρικό σταθμό ξεκινάει η αρχή της γραμμής τροφοδοσίας στο νοσοκομείο. Το δάπεδο του κτιρίου αποτελείται από μια πλατφόρμα από σκυρόδεμα, η οποία κατασκευάστηκε για να περιέχει τις βάσεις του στροβίλου και της γεννήτριας, και το κανάλι που φέρει τα ηλεκτρικά καλώδια στα διάφορα σημεία αξιοποίησης (βλέπε Σχήμα 5.34).



Σχήμα 5.34 Κεντρικός οικίσκος στη φάση κατασκευής (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)

Ο στρόβιλος που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι του τύπου Francis ZECO n.OF938B (βλέπε Παράρτημα 3, Σχήματα 5.35, 5.36) με κάθετο άξονα, και η γεννήτρια είναι σύγχρονη. Τα εκμεταλλεύσιμα υδραυλικά χαρακτηριστικά από τον στρόβιλο είναι τα ακόλουθα, όπως τα δίνει ο κατασκευαστής:

- (i) καθαρό ύψος υδατόπτωσης (net head) 30 m
- (ii) μέγιστη παροχή ροής 900 l / s.

Τα κύρια χαρακτηριστικά που αφορούν τον δρομέα έχουν ως εξής:

- (i) ταχύτητα περιστροφής 750 RPM
- (ii) ισχύς δρομέα ίση με 233 kW



Σχήμα 5.35 Υδροστρόβιλος Francis ZECO n.OF938B (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)



Σχήμα 5.36 Υδροστρόβιλος Francis ZECO n.OF938B (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)

Ο στρόβιλος αποτελείται ουσιαστικά από:

(i) ελικοειδή θάλαμο περωτής τύπου FRANCIS από ανοξείδωτο ατσάλι ASTM A b 743-82 τύπου CA6NM, με σχηματισμό λαβυρίνθων ανάμεσα στην στρεφόμενη περωτή και του σταθερού κελύφους, με κατάλληλο πάχος, ώστε να καταστεί δυνατή μια κατάλληλη απόσβεση οποιασδήποτε μελλοντικής φθοράς

(ii) δρομέα πλήρως κατασκευασμένο μηχανουργικά στις εξωτερικές επιφάνειες, ενώ οι επιφάνειες των καθοδηγητικών πτερυγίων είναι τροχισμένες με ακρίβεια, με λείανση και στίλβωση σε σχήματα, όπως απαιτούνται από τις ακμές εκφυγής και εισόδου των λεπίδων

(iii) μετά από μηχανική κατεργασία ο στρόβιλος είναι στατικά τοποθετημένος σύμφωνα με τις διατάξεις του UNI ISO 1940 G6.3

(iv) υδραυλική στεγανοποίηση μέσω λαβυρίνθων αναμεταξύ πτερωτής και καλύμματος καλύπτοντας και τις δύο πλευρές εναλλακτικής απαγωγής του νερού

(v) στυπιοθλίπτη

(vi) δίοδο σπειροειδούς σώματος αντλίας ηλεκτροσυγκολλημένη από χάλυβα Fe430 B, με στεφάνη σταθερών οδηγητικών πτερυγίων, έχοντας ως σώματα υποστήριξης και ευστάθειας, ένα βάθρο στήριξης και βίδες σύσφιξης

(vii) διαχυτή με πτερύγια του στρόβιλου για τη ρύθμιση του ρυθμού ροής αποτελούμενο από μια σειρά στρεφόμενων πτερυγίων χάλυβα με έμβολα για τη ρύθμιση τους και ράβδους για χειρισμό, τον έλεγχο μαζί με άλλα αξεσουάρ. Οι άξονες περιστροφής των πτερυγίων ολισθαίνουν επί εσοχών που σχηματίζονται άμεσα στο σώμα της πτερωτής με παρεμβαλλόμενα αυτολιπαντικά κουζινέτα

(viii) σερβομηχανισμό μετακίνησης ρυθμιστικών πτερυγίων για τους χειρισμούς του ανοίγματος και κλεισίματος

(ix) ρυθμιστικό δακτύλιο ροής

(x) σφόνδυλο από χάλυβα συναρμολογημένος επί της ατράκτου της γεννήτριας

(xi) αγωγό απαγωγής συγκολλημένος σε χαλυβοελάσματα εξοπλισμένα με ντίζες.

Οι τιμές του βαθμού απόδοσης του υδροστρόβιλου Francis αναφέρονται στον Πίνακα 5.5 (Politecnico di Bari, 2009).

Πίνακας 5.5 Απόδοση υδροστρόβιλου Francis ZECO n.OF938B

(Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)

Κλάσμα της ροής	%	100	75	50	25
Βαθμός απόδοσης του άξονα του υδροστρόβιλου	η	0,88	0,87	0,77	0,71

Ανάτη του στροβίλου τοποθετείται μια βαλβίδα πεταλούδα ασφαλείας (βλέπε Σχήμα 5.37) κατασκευάζεται με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά όπως φαίνονται στον Πίνακα 5.6:

Πίνακας 5.6 Χαρακτηριστικά βαλβίδας πεταλούδας (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)

ονομαστική διάμετρος	DN500
ονομαστική πίεση	PN10
τύπος ελέγχου	υδραυλικός
υδραυλικός ενεργοποιητής	με απλή ενεργοποίηση
Αντίβαρο	Κλείσιμο

Η βαλβίδα θα σχεδιαστεί έτσι ώστε να εξασφαλιστεί το κλείσιμο υπό ροή με τη μέγιστη ταχύτητα ροής. Η σφράγιση θα αποτελείται από δύο διαφράγματα εκ των οποίων το πρώτο στη βάση θα είναι PTFE και το δεύτερο ελαστομερικού τύπου.

Τα κουζινέτα που φέρουν τους κοχλίες θα είναι αυτολιπαινόμενα με ενεργό μέρος PTFE και ανοξείδωτο χάλυβα κέλυφος AISI316Ti. Όλες οι σύνδεσμοι που βρίσκονται σε επαφή με το νερό θα είναι από ανοξείδωτο χάλυβα AISI304 (A2). Το άνοιγμα θα γίνει μέσω σερβομηχανικού ενεργοποιητή που δρα επί ενός βραχίονα χειρισμού εφοδιασμένο με ένα αντίβαρο στην κανονική λειτουργία κλεισίματος αλλά και έκτακτης ανάγκης, επαρκώς διαστασιολογημένα, με τέτοιον τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται με απόλυτη ασφάλεια το σταμάτημα της ροής στην περίπτωση των αποτυχίας του κλείσιμου της βαλβίδας της τουρμπίνας.



Σχήμα 5.37 Πεταλούδα βαλβίδα ασφαλείας του στροβίλου (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)

Κατά τη διάρκεια του κλεισίματος, ο σερβοκινητήρας ενεργεί σε ρυθμιζόμενη διάρκεια που μπορεί να βαθμονομηθεί με τη βοήθεια μιας ειδικής διατάξεως. Ο χρονισμός του ανοίγματος και κλεισίματος βαθμονομείται στην φάση εκκίνησης του συστήματος σε τιμές συμβατές με την μέγιστη ασφάλεια υπερπίεσης

Η υδραυλική μονάδα ισχύος προσαρμοσμένη να παρέχει το πεπιεσμένο έλαιο που απαιτείται για ρύθμιση του διανομέα και την κίνηση της βαλβίδας πεταλούδας ασφαλείας αποτελείται από:

(i) ένα μεταλλικό δοχείο για το πετρέλαιο

(ii) την αντλητική ομάδα που απαρτίζεται από έναν τριφασικό ασύγχρονο 380/220V 50Hz κινητήρα εντελώς περικλειστο, διαθέτοντας εξωτερικό αερισμό, μια αντλία με γρανάζια συνεχούς τύπου με σταθερό ονομαστικό φορτίο και μια χειροκίνητη αντλία εκκίνησης “black start”

(iii) το σύστημα ελέγχου που απαρτίζεται από τα τη σειρά μανομετρικών λήψεων της εγκατάστασης για τα κύρια σημεία του κυκλώματος, τον μετρητή πίεσης για την μέτρηση της πίεσης στην κύρια διακλάδωση, την οπτική ένδειξη της στάθμης λαδιού στη δεξαμενή και τον θερμοστάτη για το σήμα συναγερμού θερμοκρασίας.

(iv) τον εξοπλισμό ελέγχου που απαρτίζεται από την ρυθμιστική ανακουφιστική βαλβίδα, την βαλβίδα διακοπής ηλεκτρομαγνητικού ελέγχου και το διάφραγμα για τη ρύθμιση της ταχύτητας κλεισίματος του διανομέα, σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης

Η σύγχρονη γεννήτρια έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά όπως δείχνει ο Πίνακας 5.7:

Πίνακας 5.7 Χαρακτηριστικά σύγχρονης γεννήτριας (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)

τάση	400 V
ονομαστική ταχύτητα (Vn)	750 r / min
ταχύτητα διαφυγής (Vf)	2,2 Vn
αριθμός θέσεων	8
βέλτιστη ισχύς για να 100% περιστροφής	280 kVA;
κλάση μόνωσης	F
βαθμός ισχύος	IP23
κατασκευαστική φόρμα σύμφωνα με το πρότυπο	IEC 34-7
Στάτης	N 3 PT100
Έδρανα	N.2 PT100

Η γεννήτρια έχει σχεδιαστεί ειδικά για εκτεταμένη άτρακτο και διαθέτει κατάλληλα στηρίγματα για να αντέχουν τα φορτία που οφείλονται στην άμεση σφήνωση του στροφείου. Η γεννήτρια είναι εφοδιασμένη με προεξοχή στον άξονα απέναντι από την πλευρά της ζεύξης για την τοποθέτηση του σφονδύλου του

Οι τιμές της απόδοσης της αναφέρονται στον Πίνακα 5.8.

Πίνακας 5.8 Απόδοση γεννήτριας (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)

Κλάσμα της ροής	%	100	75	50	25
Βαθμός απόδοσης της γεννήτριας	η	0,92	0,93	0,88	0,75

Ο ρυθμιστής στροφών έχει κατασκευαστεί σύμφωνα με το CEI 17-13/1. Το σύστημα περιέχεται μέσα σε μια δομή κατασκευασμένη από μεταλλικό προφίλ από φύλλα χάλυβα sp.15/10 και αποτελείται από μία εσωτερική πλάκα από χαλυβδόφυλλα sp.25/10, εσωτερικής πόρτας επίσης από χαλυβδόφυλλα sp. 20/10 με έναν άκαμπτο σωληνωτό σκελετό και

παραθυράκι με διαφανές πλεξιγκλάς πάχους 4 χιλιοστών σε θέση να παρέχει ένα βαθμό προστασίας IP55.

Η λογική επεξεργασία στοιχείων πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ένα προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή με μια τμηματική δομή (PLC) και μια διεπαφή συστήματος (interface) τύπου ψηφιακό-αναλογικού. Όλες οι ηλεκτρονικές συσκευές προστατεύονται από παρεμβολές από το εξωτερικό μέσω των μετατροπέων και ρελέ interface. Το σύστημα ελέγχου είναι σε θέση να διαχειριστεί το μηχάνημα λαμβάνοντας ως σημείο αναφοράς την ταχύτητα, το επίπεδο ή την ένταση που καθορίζεται από τον χειριστή. Ο διάλογος μεταξύ του φορέα και του ρυθμιστή είναι μέσω ενός πίνακα ελέγχου το οποίο περιέχει όλα τα απαραίτητα μέτρα για τη διάγνωση των συνθηκών λειτουργίας της μηχανής με την οποία μπορεί κανείς να αλλάξει τον υπολογισμό σταθερών, τα όρια του λογισμικού και να εμφανίσει όλες τις αιτίες των προειδοποιήσεων συναγερμού και των διακοπών.

(η) Ηλεκτρικός Πίνακας και Μετασχηματιστής

Ο ηλεκτρικός πίνακας αποτελείται από τρία τμήματα, το πρώτο για την ρύθμιση του στροβίλου, η δεύτερη για την χαμηλή τάση και η τρίτη για τη μέση τάση; παρουσιάζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

(i) ντουλαπάκι σχεδιασμένο και κατασκευαζόμενο σύμφωνα με CEI 17 - 13/1 κατασκευασμένο πλαίσιο με προφίλ από φύλλο χάλυβα sp. 15/10 λαμαρίνα εσωτερικής πλάκας επίσης από λαμαρίνα χάλυβα sp. 25/10. Πόρτα κατασκευασμένη από λαμαρίνα χάλυβα 20/10 με ένα άκαμπτο σωληνωτό σκελετό, οπίσθιο αφαιρετό τοίχωμα, οροφή και πάτωμα από χαλύβδινη λαμαρίνα. 15/10

(ii) βερνίκωση RAL 7032;

(iii) ανοίγματος πόρτας αριστερά / δεξιά;

(iv) βαθμός προστασίας IP42;

(v) είσοδος καλωδίων από κάτω;

Μαζί με τον ακόλουθο εξοπλισμό έχουν εγκατασταθεί όργανα για την τροφοδοσία των παρελκόμενων εξαρτημάτων (περίπου 20 kW), όργανα για την αντλία εντός στη δεξαμενή φορτίσεως, εργαλεία για την οπτικοποίηση των δεδομένων του συστήματος (δηλαδή βολτόμετρο, αμπερόμετρο και συχνόμετρο με διακόπτες κομιτατέρ) χειροκίνητο τριπολικό διακόπτη πλήρους θερμικής και μαγνητικής προστασίας, προστατευτικός διακόπτης του

κυκλώματος, ασφάλεια προστασίας με βοηθητικό κύκλωμα, μπαταρία φόρτισης για ένταση ισχύος 24 VDC και ρυθμιστής του στροβίλου.

Η αντλία της υδραγωγείου θα συνδέεται άμεσα με το δίκτυο χαμηλής τάσης. Η ενέργεια που παράγεται στα 400 V, θα πρέπει να μετασχηματιστεί σε 10 kV και μεταφέρεται στο νοσοκομείο μέσω ειδικής γραμμής. Ο μετασχηματιστής είναι, προς το παρόν, μονός.

(θ) Αγωγός Απαγωγής

Η εκκένωση του νερού από την τουρμπίνα γίνεται διαμέσω ειδικού αγωγού απαγωγής, ο οποίος βρίσκεται κατά μήκος του τοιχώματος της περιμέτρου του κτιρίου, από το οποίο μέρος του αγωγού σχηματίζεται ενός συγκεκριμένο κανάλι που φέρνει το νερό ξανά πίσω στον ποταμό Nzasi (Βλ. Παράρτημα 4)

Το έργο επίσης συνοδεύεται από ένα εξωτερικό υδραγωγείο με τη μορφή υδατόπυργου δίπλα από νοσοκομείο, που έχει σχεδιαστεί παλαιότερα όταν οι αντλίες λειτουργούσαν. Τα Σχήματα 5.38 και 5.39 απεικονίζεται το έργο αυτό, για το οποίο γνωρίζουμε για την χωρητικότητα του πως ανέρχεται στα 15 m². Στο Σχήμα 5.40 διακρίνεται το νοσοκομείο του Κιμπάου



Σχήμα 5.38 Υδατόπυργος (Πηγή: www.kimbau.org)



Σχήμα 5.39 Χωρητικότητα Υδατόπυργου (15m²) (Πηγή: www.kimbau.org)



Σχήμα 5.40 Νοσοκομείο Κιμπάου (Πηγή: www.kimbau.org)

5.3 Περιγραφή των τεχνικών προβλημάτων του έργου

Το έργο αυτή τη στιγμή βρίσκεται ανενεργό καθώς αντιμετωπίστηκαν πολλά τεχνικά προβλήματα που η συσσώρευση τους οδήγησε το έργο σε τεχνική αστοχία. Αυτή τη στιγμή, στο χωριό Κιμπάου δεν υπάρχει ούτε ηλεκτρικό ρεύμα κι έτσι ούτε στο νοσοκομείο υπάρχει φως, ούτε το αντλητικό σύστημα λειτουργεί με συνέπεια τη μη τροφοδότηση του εξωτερικού

υδραγωγείου με νερό. Τα παρακάτω που ακολουθούν είναι παρατηρήσεις που έχουν σημειώσει οι Ιταλοί συνάδελφοι, οι οποίοι έχουν συμβουλευτεί κάτοικους του Κιμπάου που διερεύνησαν τον λόγο της αστοχίας του έργου. Εντός του συνολικού υδραυλικού συγκροτήματος το πιο ευαίσθητο τμήμα βρέθηκε να είναι ο αγωγός πτώσης που συνδέει τη δεξαμενή φόρτισης με τον υδροστρόβιλο. Στην πραγματικότητα, ο εν λόγω αγωγός είναι σπασμένος σε δύο σημεία κατά τη διάρκεια της σύντομης ζωής της εγκατάστασης: την πρώτη φορά κατάντη (κατά μήκος) της χάραξης και μια δεύτερη, μετά την αντικατάσταση του πρώτου σωλήνα από PVC, περαιτέρω ανάντη, προς το ύψος του μπλοκ αγκύρωσης. Ο αγωγός δεν έχει εκραγεί, αλλά σχίστηκε επιτρέποντας την απελευθέρωση του νερού. Όπως αναφέρουν οι Ιταλοί συνάδελφοι, σε ένα βίντεο που τραβήχτηκε από τον Paolo Moro (ένας εθελοντής της AIFO και κύριος επιβλέπωντας αλλά και συντελεστής επιτυχίας του έργου το 2005), κινηματογραφημένο μετά την πρώτη επισκευή, είναι προφανές ότι η γραμμή ήταν συνεχώς υποβαλλόμενη σε πιέσεις που προκαλούνται από αλλαγές στη λειτουργία του στροβίλου. Στην πραγματικότητα, υποστηρίζουν, λόγω της χαμηλής ζήτησης ενέργειας ο διανομέας του στροβίλου ανοίγει και κλείνει συνεχώς (με μεταβολή του ρυθμού ροής) προκαλώντας κύματα μη μόνιμης ροής που ανέρχονται κατά μήκος του σωλήνα, ανακλώμενα στη δεξαμενή φόρτωσης. Το βίντεο κατ'αυτούς δεν αφήνει περιθώρια για αμφιβολίες: ο ρυθμός με τον οποίο ο σωλήνας ταλαντεύεται σαφώς από ρυθμικές κινήσεις για το άνοιγμα και το κλείσιμο της βαλβίδας οδηγεί στο συμπέρασμα πως ο αγωγός επιπονείται με σημαντικές υδροδυναμικές πιέσεις (Politecnico di Bari, 2009).

Μια άλλη σημαντική λεπτομέρεια είναι ότι η βλάβη είναι εντός της γειτονίας του μπλοκ αγκύρωσης (μιλώντας για την περίπτωση αστοχίας μετά την αντικατάσταση του αγωγού). Ακόμη και η υλοποίηση της θεμελίωσης είναι αμφισβητήσιμη. Το αρχικό σχέδιο ήταν ότι ο σωλήνας κατασκευασμένος από χάλυβα θα ήταν υπογειοποιημένος δεδομένης της προφανούς δυσκολίας επίγειας υποστήριξης σε πολύ απότομο έδαφος. Ο αγωγός που χρησιμοποιήθηκε είναι αντιθέτως από PVC. Λόγω της φύσης του συγκεκριμένου υλικού του αγωγού που έχει τεθεί, είναι απαραίτητη η υπογειοποίηση έτσι ώστε να μην προκύψουν τμήματα του δοκιμαζόμενα σε πλαστικές παραμορφώσεις. Ωστόσο, από τα Σχήματα 5.41 και 5.42 που δείχνουν τον αγωγό πτώσης μετά την αντικατάσταση, παρατηρούμε ότι η απαίτηση αυτή δεν ικανοποιείται, όπως υπήρχε ένα μεγάλο μέρος του αγωγού πτώσης εκτός οποιασδήποτε επικάλυψης. Οι πιθανότεροι λόγοι που εκτιμούμε πως αυτό συμβαίνει θα αναλυθούν παρακάτω. Στην εικόνα 5.43 φαίνεται ο αγωγός που αρχικά ήταν τοποθετημένος και διερρήχθη.



Σχήμα 5.41 Αγωγός πτώσης χωρίς εδαφική επικάλυψη (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)



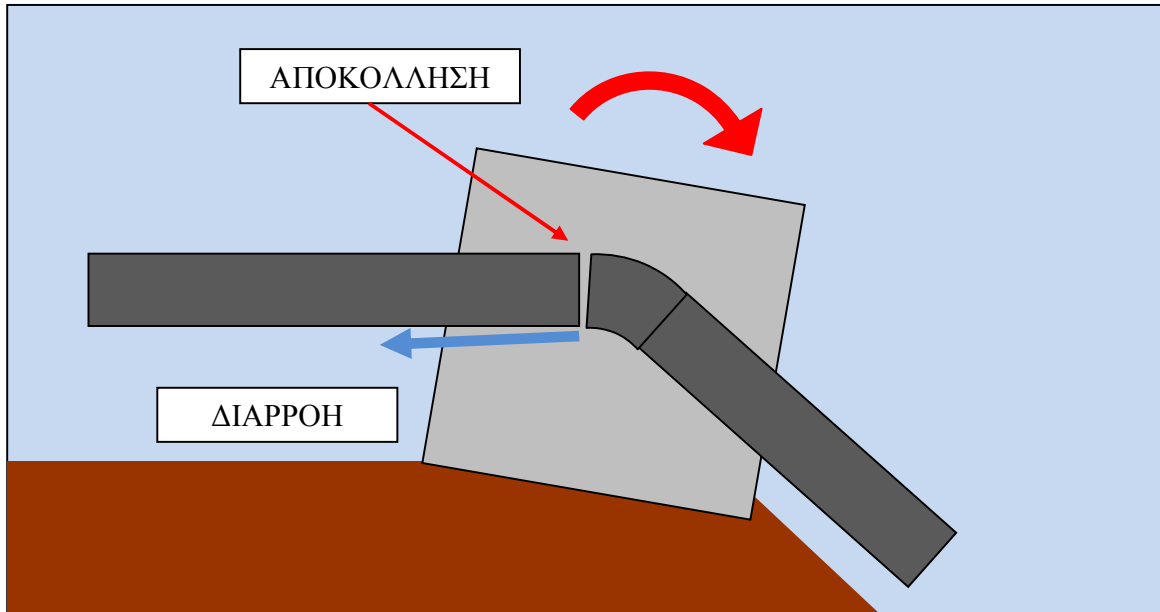
Σχήμα 5.42 Αγωγός πτώσης χωρίς εδαφική επικάλυψη (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)



Σχήμα 5.43 Αρχικός αγωγός που διερρήχθη (Πηγή: <http://ocdpafrika.wordpress.com/>)

Μια εγκατάσταση κατασκευασμένη έτσι, δεν κάνει τίποτα άλλο παρά να επιδεινώσει τα φαινόμενα της δόνησης που προκαλείται από συχνές αλλαγές στην ταχύτητα του στροβίλου. Θα πρέπει επίσης να τονιστεί η αβεβαιότητα της επιφάνειας επαφής μεταξύ του μπλοκ αγκυρώσεως

και της εδάφους: είναι προφανές (Σχήματα 5.44 και 5.45). Το αρχικό μπλοκ έχει υποστεί βλάβη σε ότι αφορά το ένα από τα δύο άκρα του αγωγού πτώσης και εμφανίζεται βυθισμένο στο ανάντη μέρος του. Αυτή η αστοχία μπορεί να είναι ένα επιπλέον αίτιο της δεύτερης ρήξης που συνέβη ακριβώς δίπλα του σημείου αγκύρωσης. Στην πραγματικότητα, η άκαμπτη περιστροφή του μπλοκ αγκύρωσης συνδεδεμένη με την παραπάνω αστοχία μπορεί να οδηγήσει στην αποκόλληση της καμπύλης του αγωγού, έτσι όπως φαίνεται στα Σχήματα 5.46 και 5.47.



Σχήμα 5.44 Πιθανός μηχανισμός ρήξης στη θέση 1 (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)



Σχήμα 5.45 Διαρροή στη θέση 1 (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)

Η αποτυχία αυτή περιορίστηκε κάπως μέσω της εμφύτευσης ενός στύλου από μεταλλικό υλικό (λειτουργεί ως αντηρίδα) κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται μια ελάχιστη σταθερότητα στο εικονιζόμενο μπλοκ σκυροδέματος όπως δείχνουν τα Σχήματα 5.46 και 5.47. Παράλληλα από ότι φαίνεται στα δύο παραπάνω σχήματα έγιναν πρόχειρες προσπάθειες υποστήριξης του αγωγού πτώσης ώστε να μεταφέρει τις κατακόρυφες πιέσεις στο έδαφος και να μειωθούν οι δονισμοί.

Τούτου λεχθέντος, φαίνεται σαφές ότι η αιτία της διακοπής δεν μπορεί να χρεωθεί μόνο στο φαινόμενο του υδραυλικού πλήγματος χωρίς την συνδρομή κανενός άλλου παράγοντα (όπως θα προσπαθήσουμε παρακάτω να επιβεβαιώσουμε από τους υδραυλικούς ελέγχους που θα κάνουμε αλλά και από τα αποδεικτικά στοιχεία των ζημιών που παρατηρήθηκαν στον αγωγό), αλλά σε έναν συνδυασμό παραγόντων που έχουν οδηγήσει σε αστοχία μέσω κόπωσης του αγωγού πτώσης που έχει άμεση σχέση με την κακή εγκατάσταση του όλου συστήματος.



Σχήμα 5.46 Αντηρίδα κάτω από το μπλοκ αγκύρωσης: θέση 1 (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)



Σχήμα 5.47 Αντηρίδα κάτω από το μπλοκ αγκύρωσης: θέση 1 (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)

5.4 Διερεύνηση της υδραυλικής λειτουργίας του έργου

Παρακάτω θα προχωρήσουμε με τους ελέγχους λειτουργίας των συστατικών του υδροηλεκτρικού σταθμού. Ειδικότερα, θα διενεργηθούν οι παρακάτω έλεγχοι: (α) υδραυλική επαλήθευσή της λειτουργίας σε μόνιμη ροή του αγωγού προσαγωγής και του αγωγού πτώσης, (β) έλεγχος υδραυλικής λειτουργίας υπό διακοπή της ροής λειτουργίας του αγωγού πτώσης και τη συμπεριφορά του συστήματος που περιλαμβάνει τα στοιχεία του αγωγού προσαγωγής και της δεξαμενής φορτίου, (γ) τον έλεγχο της υδραυλικής λειτουργίας του υδροστροβίλου. Οι παραπάνω έλεγχοι είναι οι εκείνοι και στους οποίους προέβησαν και οι Ιταλοί συνάδελφοι (Politecnico di Bari, 2009). Εμείς εδώ θα επεκτείνουμε τη συλλογιστική μας παραπέρα συμπεριλαμβάνοντας και άλλα στοιχεία, δηλαδή θα εξετάσουμε: (δ) την λειτουργία του εξαμωτή αλλά και το ρόλο της εισροής άμμου εντός του υδροστροβίλου, (ε) τον ρόλο του μπλοκ αγκύρωσης του αγωγού.

5.4.1 Υδραυλική λειτουργία σε μόνιμη ροή των αγωγού προσαγωγής και πτώσης

Για τον σκοπό αυτό θα πρέπει να μελετήσουμε τις πιέσεις που αναπτύσσονται στους αγωγούς κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας του έργου, μήπως εμφανίζεται σε κάποιο

σημείο πίεσης, πέραν του ανεκτού. Για τον προσδιορισμό των γραμμικών απώλειων της πίεσης (ΔH) χρησιμοποιείται είναι η εξίσωση των Darcy-Weisbach του τύπου (4.11) και ο τύπος (4.12) του προηγούμενου κεφαλαίου. Για να προσδιοριστεί ο συντελεστής τριβής του Darcy χρησιμοποιείται το διάγραμμα Moody για γνωστή παροχή Q , μήκος αγωγού L , διάμετρο αγωγού D , κινηματική συνεκτικότητα του υγρού ν και μέση απόλυτη τραχύτητα των τοιχωμάτων του αγωγού ε (Δημητρίου, 2005) ή η σχέση (4.13). Υπολογίζοντας τον αριθμό Reynolds Re και τη σχετική τραχύτητα ε/D βρίσκω τον συντελεστή τριβής f . Οι εντοπισμένες απώλειες πίεσης έχουν προσδιορισθεί, με την υπόθεση της απόλυτα τυρβώδους ροής, με την ακόλουθη σχέση (Δημητρίου, 2005):

$$\Delta H = k \frac{v^2}{2g} \quad (5.11)$$

όπου:

k = συντελεστής που λαμβάνεται υπόψη στην παραπάνω εξίσωση. Για τους δυο αγωγούς έχουμε συγκεκριμένα:

(α) Αγωγός προσαγωγής. Με βάση τα στοιχεία που παρουσιάζονται στην Παράγραφο 5.2 ήταν δυνατό να προσδιοριστούν οι γραμμικές απώλειες που αφορούν τον αγωγό προσαγωγής. Θα πρέπει να σημειωθεί, όπως μας τονίζουν οι Ιταλοί συνάδελφοι, πως το αρχικό σχέδιο (που καταρτίζεται από τον μηχανικό Cavion) έγινε λαμβάνοντας υπόψη μια ροή των 600 l/s ωστόσο, η διατομή αναφοράς όπως υποδεικνύεται στη γεωλογική έκθεση παρουσιάζει ένα ρυθμό ροής 480 l/s (Politecnico di Bari, 2009). Με πρόταση του Paulo Moro, ακολουθήθηκε το δεύτερο σχήμα, που θεωρείται πιο αξιόπιστο. Θα πρέπει λοιπόν αργότερα να εξετάσουμε εάν αυτή η υπερεκτίμηση της παροχής οδήγησε σε εσφαλμένη αντίληψη του καθεστώτος υπερπίεσεων για τον αγωγό τελικά ή αν αυτό το σφάλμα δεν ήταν καθοριστικό. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 5.9. Η τάση της πιεζομετρικής παρατίθεται στο Παράρτημα 5.

(β) Αγωγός πτώσης. Με βάση τα στοιχεία που παρουσιάζονται στην Παράγραφο 5.2 ήταν δυνατό να προσδιοριστούν οι γραμμικές απώλειες που αφορούν τον αγωγό πτώσης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, ακόμη και εάν η δεξαμενή φόρτισης δουλεύει μαζί με την δεξαμενή των αντλιών πίεσης παραμελούμε τον πρόσθετο ρυθμό ροής που από στις μέγιστες συνθήκες λειτουργίας δίνει μέγιστη ταχύτητα έως (4.5 l/s) (Politecnico di Bari, 2009). Για το λόγο αυτό πραγματοποιούν συμβαίνει πάντα με μια παροχή των 480 l/s. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 5.10. Η τάση της πιεζομετρικής περιλαμβάνεται στο Παράρτημα 6.

Πίνακας 5.9 Πιεζομετρική γραμμή για τον αγωγό προσαγωγής

Στοιχεία Αγωγού					
Εξωτερική Διάμετρος DN	0,5	m	Πάχος S	0,0123	m
Εξωτερική Διάμετρος DN	0,63	m	Πάχος S	0,0154	m
Εσωτερική διάμετρος	0,4754	m	Μήκος Αγωγού L	66,5	m
Εσωτερική διάμετρος	0,5992	m	Μήκος Αγωγού L	105	m
Q σχεδιασμού	0,48	m ³ / s			
Εντοπισμένες Απώλειες Ενέργειας					
Ταχύτητα 500	2,71	m / s			
Ταχύτητα 630	1,70	m / s			
		N °	Διάμετρος Τμήματος (DN)	Συντελεστής Απωλειών k	Εντοπισμένες Απώλειες (m)
Καμπύλη 1	80 °	1	500	0,39	0,15
Καμπύλη 2	30 °	1	500	0,19	0,07
Καμπύλη 3	30 °	1	500	0,19	0,07
Είσοδος από εξαμμοτή στον αγωγό		1	630	0,5	0,07
Εξοδος από τον αγωγό στη δεξαμενή φόρτισης		1	630	1	0,15
Αλλαγή σε διάμετρο		2	500/630	0,05	0,02
				Σύνολο	0,53
Γραμμικές Απώλειες Ενέργειας					
Re 500	1286212				
Re 630	1020469				
E	0,00002	m			
ε/D500	0,0000421				
ε/D630	0,00003,31				
F 500	0,0117				
f 630	0,0121				
Darcy – Weisbach					
Δh 500	0,612	m			
Δh 630	0,314	m			
Σύνολο Απωλειών Ενέργειας					
Δh tot	1,46	m			

Πίνακας 5.10 Πιεζομετρική γραμμή για τον αγωγό πτώσης

Στοιχεία Αγωγού					
Εξωτερική Διάμετρος DN	0,5	m	Πάχος s	0,0123	m
Εσωτερική Διάμετρος	0,4754	m	Μήκος Αγωγού L	65	m
Q (αναζητούμενος στόχος)	0,48	m^3 / s			
Διαφορά γεωδαιτικού ύψους	2,38	m			
Εντοπισμένες Απώλειες Ενέργειας					
Ταχύτητα 500	2,70	m / s			
		N °	Διάμετρος Τμήματος DN	Συντελεστής Απωλειών	Εντοπισμένες Απώλειες (m)
Καμπύλη 1	18 °	1	500	0,142	0,052978
Καμπύλη 2	35 °	1	500	0,21	0,078348
Είσοδος		1		0,5	0,186542
Έξοδος		1		0,7	0,261159
				Σύνολο	0,579027
Κατανεμημένες Απώλειες					
Re 500	1286212				
E	0,001	m			
$\epsilon/D500$	0,002103				
F 500	0,023791				
Darcy – Weisbach					
Δh 500	1,213587	m			
Σύνολο Απωλειών Ενέργειας					
Δh tot	1,792615				

5.4.2 Έλεγχος υδραυλικής λειτουργίας υπό διακοπή της ροής στον αγωγό πτώσης

Εδώ θα πρέπει να δούμε ποιος είναι ο πιθανός λόγος και ο κίνδυνος της διακοπής της ροής. Η απλούστερη περίπτωση είναι αυτή του ανοιγοκλεισίματος του διανομέα. Η προσαρμογή της ισχύος που παράγεται από το στρόβιλο λαμβάνει χώρα μέσω του διανομέα. Η μεταβολή της ροής στον αγωγό δημιουργεί μια μεταβαλλόμενη κατάσταση, μεταβατική που ρυθμίζει το πέρασμα από τη μία φάση της διαρκούς κίνησης στην επόμενη. Ως εκ τούτου, είναι αναγκαίο να βεβαιωθούμε ότι τα αποτελέσματα από τις αστάθειες δεν δημιουργούν προβλήματα στον αγωγού πτώσης από την άποψη της υπερπίεσης και της υποπίεσης (Politecnico di Bari, 2009). Οι υπολογισμοί έγιναν για τις δύο πιο επικίνδυνες περιπτώσεις: πλήρες κλείσιμο του κλείστρου και πλήρες άνοιγμα του κλείστρου. Πριν μελετήσαμε την δεύτερη περίπτωση, εδώ θα μελετήσουμε την πρώτη.

Για κανονικές συνθήκες λειτουργίας των συστημάτων του αγωγού πτώσεως- κλείστρου των υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων, η κρίσιμη υπερπίεση για το διάφραγμα δίδεται από τη φόρμουλα του Michaud. Ο Michaud στα τέλη του 19^{ου} αιώνα μελέτησε τις περιπτώσεις του υδραυλικού πλήγματος και πρότεινε τον εξής τύπο για τον υπολογισμό του (UCLM, 2008):

$$\Delta H_{\max} = \pm \frac{2 \cdot L \cdot V_o}{g \cdot T_c} = \pm \frac{c \cdot V_o \cdot \tau_o}{g \cdot T_c} \Rightarrow \frac{\Delta p_{\max}}{\gamma} = \frac{\Delta p_{\max}}{\rho \cdot g} = \pm \frac{c \cdot V_o \cdot \tau_o}{g \cdot T_c} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta p_{\max} = \pm \rho \cdot c \cdot V_o \cdot \frac{\tau_o}{T_c} \quad (5.12)$$

όπου εδώ φαίνονται η πυκνότητα του νερού ρ , η επιτάχυνση της βαρύτητας g , η ταχύτητα διάδοσης του κύματος της διαταραχής μετά το υδραυλικό πλήγμα c , η ταχύτητα σταθερής ροής πριν το πλήγμα V_o , ο χρόνος μετάδοσης του κύματος τ_o , ο χρόνος κλεισίματος της βαλβίδας T_c , το μήκος του αγωγού πτώσης L , το επιπρόσθετο μέγιστο (ή ελάχιστο) ύψος της πιεζομετρικής γραμμής ΔH_{\max} και η συνακόλουθη επιπρόσθετη υπερπίεση ή υποπίεση Δp_{\max} . Όλα τα παραπάνω ισχύουν μόνο για την προϋπόθεση μη ακαριαίου κλεισίματος της βάνας ή πιο σωστά, για χρόνο μετάδοσης μικρότερο από το χρόνο κλεισίματος της βάνας, δηλαδή για $\tau_o \leq T_c$. Για να φτάσει σε αυτό το συμπέρασμα ο Michaud πήρε ως παραδοχή την αγνόηση της

συμπιεστικότητα του νερού αλλά και της ελαστικότητας του υλικού του σωλήνα, οπότε μιλάμε για προσεγγιστική εκτίμηση.

Ο χρόνος κλεισίματος της βαλβίδας T_c . Για να προσδιορίσουμε τον χρόνο μετάδοσης του κύματος τ_o , θα χρησιμοποιήσουμε τον τύπο (5.13) (Τόλικας, 2000):

$$\tau_o = \frac{2 \cdot L}{c} \quad (5.13)$$

όπου εδώ φαίνεται ο χρόνος εξάπλωσης μιας διαταραχής του υδραυλικού πλήγματος, που είναι εξ' ορισμού ο αναγκαίος χρόνος που απαιτείται για τη μετάβαση στην αρχή του αγωγού (στην δεξαμενή φόρτισης) και επιστροφή στη θέση του κλείστρου του κύματος υπερπίεσεως. Σημειώνεται πως οι υπερπίεσεις και οι υποπίεσεις εναλλάσσονται περιοδικά ανά χρονικά διαστήματα. Η ταχύτητα της διάδοσης των ελαστικών διαταραχών εξαρτάται από ελαστικές ιδιότητες του υγρού και του σωλήνα. Υποθέτοντας ελαστική συμπεριφορά του, η ταχύτητα είναι (Citrini et Nosedá, 1975):

$$c = \frac{\sqrt{\frac{\varepsilon}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{\varepsilon}{A} \frac{dA}{dp}}} \quad (5.14)$$

όπου φαίνεται ο συντελεστής όγκου του νερού ε , το εμβαδόν διατομής του αγωγού A , πυκνότητα του νερού ρ και η πίεση εντός του σωλήνα p . Υποθέτοντας αγωγό πτώσεως κυκλικής διατομής διαμέτρου D , το πάχος s , ότι αποτελείται από ένα ελαστικό υλικό που αντιστοιχεί στο νόμο του Hooke, με μέτρο ελαστικότητας E γραμμικό, και ότι το πάχος είναι μικρό σε σχέση με τη διάμετρο (έτσι ώστε η κατάσταση των τάσεων του σωλήνα να μπορεί να αντιπροσωπεύεται από τον τύπο του Mariotte) έχουμε ότι η διαφορική μορφή που εμφανίζεται στον τύπο για την ταχύτητα είναι (Citrini et Nosedá, 1975):

$$\frac{dA}{dp} = A \frac{D}{Ee} \quad (5.15)$$

και τότε η ταχύτητα δίνεται από τη σχέση (Citrini et Nosedá, 1975):

$$c = \frac{\sqrt{\frac{\varepsilon}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{\varepsilon D}{e s}}} \quad (5.16)$$

Η ταχύτητα της μόνιμης κίνησης υποτίθεται ότι είναι ίση με τη μόνιμη κατάσταση μέγιστου ανοίγματος του κλείστρου. Συνεπώς θα είναι η σχετική ταχύτητα για το τυπικό φορτίο του project (0,48 m³ / s).

Οι εκτιμήσεις που γίνονται μέχρι σήμερα για το κλείστρο, είναι εύκολα επεκτάσιμες σε γενικές τμήμα του αγωγού που θα κυμαίνεται σε απόσταση x (x = 0m για το κλείστρο, x = 65 για την είσοδο), για τις οποίες η κρίσιμη υπερπίεση δίνεται από τη σχέση (Politecnico di Bari, 2009):

$$\Delta p_{\max} = \pm \frac{\rho \cdot c \cdot (L - x) \cdot V_o}{T_c} \quad (5.17)$$

που επιτρέπει την παρακολούθηση της λεγόμενου υδραυλικού πλήγματος: γραμμή, σημείο προς σημείο, προσθέτει (ή αφαιρεί) επί των οριζόντιων στατικών φορτίων το αντίστοιχο ποσό $\Delta p_{\max} / \gamma$. Η πιεζομετρική αυτή γραμμή επιτρέπει να γίνει αναφορά τόσο για τον υπολογισμό του πάχους του σωλήνα όσο και για δοκιμή σπηλαιώσης. Ως μέρος αυτής της μελέτης, αποφασίστηκε να παραμεληθεί η πτώση των φορτίων της κινητικής ενέργειας ($V^2 / 2g$) ως ιδιαίτερα μικρά.

Ο εν λόγω αγωγός πτώσης σε λειτουργία έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: (α) Υλικό: PVC, (β) ονομαστική πίεση: PN 6 atm, (γ) διάμετρος $D = 500$ mm, (δ) πάχος $s = 12,3$ mm, (ε) μέτρο της γραμμικής ελαστικότητας $E = 3000$ Mpa. Σημειώνονται τα ελαστικά χαρακτηριστικά του ρευστού σε συνθήκες της μόνιμης ροής (που δείχνονται στον Πίνακα 5.11) που δίνουν τα παρακάτω αποτελέσματα

Προσδιορίζοντας την υπερπίεση από υδραυλικό πλήγμα είμαστε σε θέση να εξακριβώσουμε αν ο εν λόγω σωλήνας σε λειτουργία είναι σε θέση να αντισταθεί στις πιέσεις που προκαλούνται από το φαινόμενο της μεταβαλλόμενης ροής. Για το σκοπό αυτό προσδιορίζεται η μέγιστη πίεση που παράγεται αμέσως ανάντη του στροβίλου (θέση 3) Γνωρίζοντας ότι σε κατάσταση μόνιμης ροής το ενεργειακό επίπεδο για τη δεξαμενή φόρτισης μπορεί να φτάσει μια ελάχιστη υψομετρική διαφορά μέχρι 1,46 m στήλης ύδατος σε σύγκριση με την ίδια την ανώτατη στάθμη του εξαμωτή, θα έχουμε ότι αγνοώντας τις απώλειες φορτίου κατά μήκους του αγωγού πτώσης, η πίεση στην θέση 3 θα είναι ίση με 3,5 ατμόσφαιρες (βλέπε παραρτήματα 2 και 7). Ως εκ τούτου, έχουμε ότι η μέγιστη διαθέσιμη πίεση είναι ίση με:

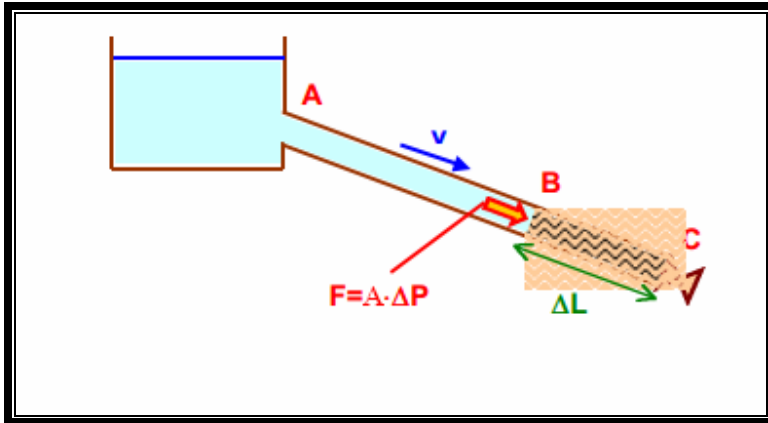
$$P_{\max} = (3,5 + 1,8)atm = 5,3 atm \quad (5.18)$$

Πίνακας 5.11 Αποτελέσματα ανάλυσης υδραυλικού πλήγματος

ε	συντελεστής συμπιεστότητας του νερού	$2 * 10^9$ Pa
ρ	πυκνότητα του νερού	1000 kg/m ³
c	ταχύτητα διάδοσης	273.3 m / s
L	Μήκος αγωγού πτώσης	65 m.
τ_o	χρόνος άμεσου κλεισίματος	0,48 s
T_c	χρόνος κλείσιμο βάνας	2 s
V_o	ταχύτητα της μόνιμης κίνησης	2,7 m / s
$\Delta p_{\text{Michaud}}$	υπερπίεση / υποπίεση (κλείστρο)	175,5 kPa
$\Delta H_{\text{Michaud}}$	υπερπίεση / υποπίεση (κλείστρο)	18 m

Η εγκατάσταση σωλήνων με PVC έχει μια ονομαστική πίεση αντοχής ίση με 6 (PN). Συνεπώς μπορούν να αντέξουν από τις υπερπίεσεις που προκαλούνται από το υδραυλικό πλήγμα. Κατά τον ίδιο τρόπο επιβεβαιώνεται πως μια αιφνίδια έναρξη δεν προκαλεί υποπίεση στο εσωτερικό των αγωγών εφόσον ανιχνεύσαμε την υπόθεση υδραυλικού πλήγματος από απότομο άνοιγμα αιφνίδιας έναρξης, όπου αντίστοιχα θεωρούμε τη δεξαμενή φόρτισης σε μηδενική στάθμη. (βλέπε Παραρτήματα 2 και 7). Σημειώνεται εδώ ότι η πιεζομετρική γραμμή του νερού έχει χαραχθεί σε σύγκριση με την δεξαμενή φόρτωσης υπό υδροστατικές συνθήκες. Λαμβάνοντας υπόψιν πως το επίπεδο της στάθμης του εξαμμωτή έχει εύρος από το υψόμετρο των 0 μέτρων (το επίπεδο αναφοράς είναι ίσο με το μέγιστο επίπεδο της στάθμης της δεξαμενής φόρτισης) μέχρι -0,40 μέτρα, η πιεζομετρική γραμμή έχει χαραχθεί με βάση αυτή την κατώτατη στάθμη. Το Παράρτημα 7 υποδηλώνει πως δεν υπάρχουν τμήματα σε κατάθλιψη.

Θα πρέπει να εξεταστεί και η περίπτωση στιγμιαίου κλεισίματος, όταν ο χρόνος μετάδοσης του κύματος είναι μεγαλύτερος του χρόνου κλεισίματος της βαλβίδας, δηλαδή για $\tau_o \geq T_c$. Εδώ έρχεται η μελέτη του Allievi το 1904 για να καλύψει αυτήν την ανάγκη που θα δούμε αμέσως παρακάτω. Στο Σχήμα 5.48 φαίνεται μια τυπική διάταξη ενός υδραγωγείου το οποίο φορτίζει έναν αγωγό, στην άκρη του οποίου βρίσκεται μια βαλβίδα, η οποία θεωρούμε πως κλείνει αιφνίδια.



Σχήμα 5.48 Σχηματική αναπαράσταση δεξαμενής φόρτισης και αγωγού πτώσης που διακόπηκε η ροή του ακαριαία (Πηγή: UCLM, 2008)

Εάν θεωρήσουμε A τη διατομή του αγωγού και Δp την αναπτυσσόμενη πίεση στον αγωγό από το νερό, τότε εύκολα καταλήγουμε στην δύναμη του σχήματος, πως $F = A \cdot \Delta p$. Η ορμή I μιας τέτοια δύναμης η οποία επιδρά κατά τον χρόνο T που χρειάζεται για να σταματήσει το υγρό που περιέχεται στο τμήμα BC του αγωγού είναι (UCLM, 2008):

$$I = F \cdot T = A \cdot \Delta p \cdot \frac{\Delta L}{c} \quad (5.19)$$

όπου εδώ το c είναι το ίδιο μέγεθος όπως και πάνω. Η ορμή θα πρέπει να ισούται με τη μεταβολή της παροχής οπότε:

$$I = \Delta Q = m \cdot \Delta V = \rho \cdot Vol \cdot \Delta V = \rho \cdot A \cdot \Delta L \cdot \Delta V \Rightarrow A \cdot \Delta p \cdot \frac{\Delta L}{c} = \rho \cdot A \cdot \Delta L \cdot \Delta V \Rightarrow \frac{\Delta p}{c} = \rho \cdot \Delta V \quad (5.20)$$

όπου Q η παροχή, V η ταχύτητα και Vol είναι ο όγκος. Η δυσμενέστερη περίπτωση εδώ περιλαμβάνει το στιγμιαίο κλείσιμο βαλβίδας, άρα μπορούμε να υποθέσουμε $\Delta V = V_o$. Άρα:

$$\frac{\Delta p}{c} = \rho \cdot V_o \Rightarrow \Delta p = c \cdot \rho \cdot V_o \Rightarrow \Delta H = \frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{c \cdot V_o}{g} \quad (5.21)$$

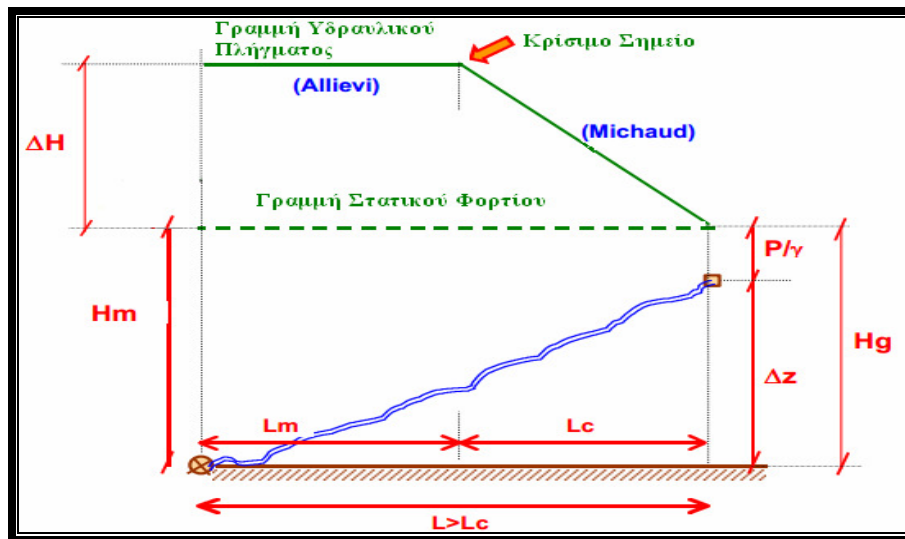
που πλησιάζει τον τύπο του Michaud. Για την ακρίβεια υπάρχει ένα σημείο οι τύποι Michaud – Allievi ταυτίζονται για το οποίο ισχύει:

$$\frac{2 \cdot L_c \cdot V_o}{g \cdot T} = \frac{c \cdot V_o}{g} \Rightarrow L_c = \frac{c \cdot T}{2} \quad (5.22)$$

Η σχέση (5.22) δείχνει το κρίσιμο μήκος το οποίο υπολογίζεται από τον κατασκευαστικό χρόνο κλεισίματος της βάνας και οδηγεί είτε στην επαλήθευση των προδιαγραφών του Michaud, δηλαδή του αργού κλεισίματος της βαλβίδας για μήκος αγωγού μικρότερο του κρισίμου, είτε αντίθετα στην επαλήθευση των προδιαγραφών του Allievi, δηλαδή για αιφνίδιο κλείσιμο της βαλβίδας και μήκος μεγαλύτερο του κρισίμου. Τα παραπάνω φαίνονται στον Πίνακα 5.12 και στο Σχήμα 5.50.

Πίνακας 5.12 Στοιχεία διάκρισης περιπτώσεων υδραυλικού πλήγματος (Πηγή: UCLM, 2008)

$L < L_c$	Αγωγός μικρού μήκους	$T > \frac{2 \cdot L}{c}$	Αργό Κλείσιμο	Michaud	$\Delta H = \frac{2 \cdot L \cdot V_o}{g \cdot T}$
$L > L_c$	Αγωγός μεγάλου μήκους	$T < \frac{2 \cdot L}{c}$	Αιφνίδιο Κλείσιμο	Allievi	$\Delta H = \frac{c \cdot V_o}{g}$



Σχήμα 5.49 Γραμμή υδραυλικού πλήγματος και κρίσιμο σημείο (Πηγή: UCLM, 2008)

Στην περίπτωση μας λοιπόν, για τον τύπο του Allievi, στην περίπτωση του στιγμιαίου κλεισίματος έχουμε υπερπίεση:

$$\Delta p_{\max} = \pm \rho \cdot c \cdot V_o = 7,5 \text{ atm} \quad (5.23)$$

Θα έχουμε ως εκ τούτου θα έχουμε μέγιστη εφικτή πίεση ίση με:

$$p_{\max} = 3,5 + 7,5 = 11 \text{ atm} \quad (5.24)$$

Ο αγωγός πτώσης δεν είναι κατάλληλος ώστε να αντιστέκεται στις πιέσεις αυτές. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε στην Παράγραφο 5.7 είναι γνωστό ότι η πεταλούδα ασφαλείας για την προστασία του στροβίλου παρουσιάζει τη δυνατότητα διασφάλισης ενός χρόνου κλεισίματος 2 δευτερολέπτων μέσω ενός υδραυλικού συστήματος. Έτσι, η μη εκπλήρωση της συνθήκης αυτής δεν θα πρέπει να προκαλεί ανησυχία, αν τα μέλη του ελέγχου υπόκεινται σε ελάχιστη συντήρηση.

Από την άλλη μεριά, το Σχήμα 5.43 δείχνει πως ο κίνδυνος του υδραυλικού πλήγματος είναι υπαρκτός και άρα το σενάριο για μεταβολές στο καθεστώς της ροής εντός του αγωγού σε χρόνο μικρότερο από τον ενδεδειγμένο, πιθανώς να πρέπει να μας απασχολήσει. Υπάρχουν άλλωστε διάφορες ενδείξεις που δείχνουν περαιτέρω την ακαταλληλότητα του υφιστάμενου αγωγού πτώσης. Συγκεκριμένα ένας τυπικός έλεγχος που αφορά τους αγωγούς είναι ο συντελεστής ασφαλείας τους SF ο οποίος δείχνει τον βαθμό ασφαλείας του έναντι επικίνδυνων πιέσεων που φαίνεται στη σχέση (5.25). Συγκεκριμένα είναι (Harvey et al, 1993):

$$SF = \frac{s \cdot St}{5 \cdot h_{total} \cdot 10^3 \cdot D} = \frac{0,0123 \cdot 28 \cdot 10^6}{5 \cdot 52,07 \cdot 10^3 \cdot 0,4754} \approx 2,8 \quad (5.25)$$

όπου εδώ s (m) είναι το πάχος του αγωγού, St (N/m^2) η μέγιστη τάση εφελκυσμού του αγωγού (όπου για αγωγό από PVC είναι $28 \cdot 10^6 N/m^2$), h_{total} (m) η συνολική εσωτερική πίεση του αγωγού και D (m) η διάμετρος του. Για το παράδειγμα μας, έχουμε $h_{total} = 52,07 m$ και έτσι προκύπτει το παραπάνω αποτέλεσμα, το οποίο είναι κάτω από το προτεινόμενο όριο του $SF = 3,5$, και το πάχος είναι μικρό για τις ανάγκες του έργου. Αντιθέτως ο αγωγός από χάλυβα που είχε αρχικά σχεδιαστεί θα ήταν πέραν του δέοντος επαρκής διότι έχει κατά πολύ μεγαλύτερη μέγιστη τάση εφελκυσμού. Συνεπώς τα φαινόμενα υδραυλικού πλήγματος είναι πιθανόν να εμφανιστεί για έναν τέτοιο αγωγό, ασχέτως εάν δεν συνέβαλε από μόνο του στην αστοχία.

Πέρα από αυτόν τον έλεγχο όμως, μπορούμε να δούμε πως εκτός από την ακραία περίπτωση Allievi, όπου οι χρόνοι διακοπής της ροής, είναι κατά πολύ μικρότεροι από τους αντίστοιχους χρόνους $\tau_o = 0,48 sec$ για τον αγωγό PVC και αντίστοιχα $\tau_o = 0,09 sec$ για αγωγό χάλυβα, μπορούμε να υποθέσουμε την περίπτωση που η ροή δεν διακόπτεται με την ενδεδειγμένη χρονική διάρκεια $T_c = 2 sec$, αλλά σε λιγότερο χρόνο, μπορεί εύκολα να αποδειχτεί πως για $T_c \leq 1,5 sec$ η τελική ολική πίεση, τόσο για τον αγωγό PVC, όσο και για τον αγωγό από χάλυβα, είναι ίση ή μεγαλύτερη από την ονομαστική πίεση αντοχής κοντά στον υδροστρόβιλο. Δηλαδή

βρισκόμενοι ακόμα στην περίπτωση Michaud επί της ουσίας, αλλά υπό συνθήκες γρηγορότερου κλεισίματος του στροφείου ή της βάνας, έχουμε αστοχία από υδραυλικό πλήγμα. Συνεπώς θα πρέπει να προσεχθεί και αυτή η παράμετρος.

Επίσης, να προστεθεί πως από στοιχεία που έχουμε συλλέξει, το έργο μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του, δεν δέχονταν καμία επίσκεψη από κάποιον ειδικευμένο τεχνικό, ούτε είχε κάποιο υπεύθυνο συντήρησης (<http://ocdpafrika.wordpress.com/>). Εδώ τονίζουμε πως στην πραγματικότητα υπάρχουν διάφορες εξηγήσεις που μπορούν να δοθούν για το τι προκάλεσε υδραυλικά πλήγματα στο έργο. Μια πρώτη εξήγηση, πέραν εκείνης που δίνουν οι Ιταλοί συνάδελφοι, είναι η περίπτωση εκβιαστικού στιγμιαίου κλεισίματος της βάνας δια χειρός για λόγους απόρριψης φορτίου, ή το στιγμιαίο κλείσιμο της βάνας λόγω μηχανικού σφάλματος, ώστε οι υπερπίεσεις στον αγωγό να μεγεθύνθηκαν και να προκάλεσαν αστοχία, τουλάχιστον στον πρώτο αγωγό πτώσης. Η συνεχής απουσία φυσικού προσώπου κοντά στο έργο τις ώρες καθημερινής λειτουργίας του, δεν αποκλείει ανθρώπινες επεμβάσεις σε περιόδους έντονων φορτίσεων του έργου, όπως σε πλημμυρικά επεισόδια στα οποία οι παροχές και οι υπερπίεσεις μεγεθύνονται. Το δε πάχος του σωλήνα και το υλικό του φαίνονται να «βοηθούν» σε αυτό. Πέραν αυτής της περίπτωσης χειρισμού της βάνας, η υπόθεση της περιστροφής του κλείστρου του στροβίλου μέσω της ρυθμιστικής στεφάνης, στην οποία αναφέρονται και οι Ιταλοί συνάδελφοι, και θα μελετήσουμε παρακάτω. Κρατάμε λοιπόν μια υποσημείωση εδώ και συνεχίζουμε την έρευνα μας, διερευνώντας την υπόθεση σφαιρικά, πέραν της γνωμάτευσης των Ιταλών συναδέλφων.

Παρακάτω εξετάζουμε τη λειτουργία της δεξαμενής φόρτισης για να ελέγξουμε την συμπεριφορά της σε συνθήκες προσβολής του αγωγού πτώσης από υδραυλικό πλήγμα. Η δεξαμενή φόρτισης δρα ως ένα δοχείο υπερχείλισης, έτσι ώστε σε συνθήκες ασταθούς ροής, πρέπει να βεβαιωθεί ότι οι διακυμάνσεις στο επίπεδο της στάθμης του νερού στο εσωτερικό του δεν προκαλούν τις ροές του νερού ή του αέρα που εισέρχονται μέσω του σωλήνα τροφοδοσίας.

Υπό τις συνθήκες της μόνιμης ροής, κατά τον ελιγμό από τον αγωγό τροφοδοσίας στον αγωγό πτώσης προκύπτει ουσιαστικά η ίδια παροχή, διότι στην πραγματικότητα, είναι αμελητέο, το ποσοστό του νερού που προέρχεται από το αντλητικό σύστημα. Στην δεξαμενή φόρτισης από την άλλη, το νερό της δεξαμενής έχει ένα επίπεδο που αντιστοιχεί στην πιεζομετρική γραμμή προς στην διακύμανση της παροχής.

Όταν επεμβαίνουμε με περιστροφή του κλείστρου, την οποίο μπορούμε να υποθέσουμε στιγμιαία¹ (κρίσιμη κατάσταση), η κίνηση του υγρού εντός του αγωγού προσαγωγής δεν έχει καμία μεταβολή, αλλά η εισερχόμενη ροή, αντί να συνεχίσει στον αγωγό πτώσης, παραμένει στη δεξαμενή φορτίου, αυξάνοντας σταδιακά το επίπεδο της στάθμης και αυξάνοντας αντίστοιχα την κλίση της πιεζομετρικής γραμμής. Αυτό προκαλεί μια συνεχή μείωση παροχής στον αγωγό τροφοδοσίας. Όταν η στάθμη της δεξαμενής φόρτισης έχει φτάσει ίση με την ελεύθερη επιφάνεια του εξαμμωτή, η παροχή του αγωγού προσαγωγής δεν είναι ακόμη μηδενική, λόγω των δυνάμεων αδράνειας της μάζας του υγρού που περιέχεται σε αυτό. Επομένως το επίπεδο στο φρεάτιο συνεχίζει να αυξάνεται μέχρι να φτάσει κατ' ανώτατο όριο, μέχρις ότου παρουσιαστεί μηδενισμός της παροχής εντός του αγωγού τροφοδοσίας. Κατά τη στιγμή αυτή, η κινητική ενέργεια της μάζας του υγρού που περιέχεται εντός του αγωγού τροφοδοσίας στα σημεία των καμπύλων προσαρμογής έχει μετασχηματιστεί, μικρότερη από αυτή που έχασε να υπερνικήσει την αντίσταση της ανάντη μάζας του νερού, σε δυναμική ενέργεια του υγρού μάζας συσσωρευτεί στην δεξαμενή φόρτωσης (Politecnico di Bari, 2009).

Η νέα συνθήκη ηρεμίας δεν είναι προφανώς ισορροπίας. Και ως εκ τούτου, από αυτή τη στιγμή αρχίζει μια φάση της εκκένωσης της δεξαμενής φόρτισης και αναστροφής κίνησης κατά τον αγωγό τροφοδοσίας κατευθείαν αμέσως από την δεξαμενή φόρτισης στον εξαμμωτή. Σε αυτή τη φάση, η συνεχής μείωση της στάθμης του νερού στη δεξαμενή φόρτισης αντιστοιχεί πρώτα σε αύξηση της ταχύτητας στον αγωγό προσαγωγής και στη συνέχεια, περνώντας ένα μέγιστο σημείο, έρχεται η μείωση, η οποία συνεχίζεται μέχρι τον μηδενισμό της ίδια ταχύτητας; Αυτό συμβαίνει όταν η στάθμη στη δεξαμενή είναι κάτω από το επίπεδο του εξαμμωτή, σε μία θέση όπου είναι ελάχιστη. Έχοντας φτάσει πάλι την κατάσταση ηρεμίας, το σύστημα δεν είναι ακόμη σε ισορροπία καθώς συμβαίνει και μία δεύτερη φάση της κίνησης από τον εξαμμωτή πίσω στην δεξαμενή φόρτισης που οδηγεί σε μία ανύψωση του επιπέδου του νερού. Το επίπεδο αυτό είναι πάντως χαμηλότερο από εκείνο που σημειώθηκε στο παρελθόν, λόγω της απώλειας ενέργειας που έχει προκύψει ως αποτέλεσμα των αντιστάσεων. Η διαδικασία συνεχίζεται αποσβεννύμενη μέχρις ότου επιτευχθεί η τελική κατάσταση ισορροπίας. Για όσο χρόνο το φαινόμενο συμβαίνει επομένως, είναι εύκολο να δούμε ότι η μέγιστη πιεζομετρική κλίση επιτυγχάνεται στην πρώτη ταλάντωση.

¹ Η υπόθεση ισχύει διότι η διάρκεια των ελιγμών για διαφοροποίηση της παροχής εντός της καμπύλης είναι, κατά κανόνα, μικρότερη από τη διάρκεια των ταλαντώσεων. Η υπόθεση αυτή είναι πολύ συντηρητική

Μελετάμε το πρόβλημα, ζητώντας από τις ακόλουθες παραδοχές: (α) παραμελούμε την συμπίεστικότητα του ρευστού και (β) ο αγωγός τροφοδοσίας είναι απαραμόρφωτος, έχουμε δηλαδή ένα ανελαστικό σώμα (γ) ο εξαμμοτής από τον οποίον αρχίζει ο αγωγός προσαγωγής είναι αρκετά μεγάλος για να διατηρεί ένα σταθερό επίπεδο στάθμης καθ' όλη τη μετάβαση, (δ) το μήκος του αγωγού τροφοδοσίας είναι πολύ μεγάλο σε σύγκριση με το ύψος της δεξαμενής φόρτισης, έτσι ώστε η αδράνεια του περιεχόμενης μάζας νερού της δεξαμενής μπορεί να παραμεληθεί σε σχέση με εκείνη που καταλαμβάνει τον αγωγό προσαγωγής, (ε) η ταχύτητα του νερού στο δεξαμενή φόρτισης είναι περιορισμένη και επομένως μπορούν να θεωρηθούν αμελητέα τόσο τα αντίστοιχα κινητικά ύψη, όσο η αντοχή από τα τοιχώματα της δεξαμενής, πράγμα που σημαίνει ότι η πίεση στην δεξαμενή φόρτισης είναι υδροστατική αντίστοιχη με τη στάθμη του νερού και (ζ) η κίνηση εντός του αγωγού προσαγωγής είναι, σε κάθε σημείο μετάβασης, πλήρως τυρβώδης: οι γραμμικές απώλειες, όπως και όλες οι εντοπισμένες απώλειες κατά μήκος της σήραγγας, είναι αναλογικά μεγέθη με το τετράγωνο της ταχύτητας (V) και του συστήματος της πιεζομετρικής πτώσης μεταξύ του εξαμμοτή και δεξαμενής φόρτισης, και μπορούν να εκφραστούν από την ακόλουθη σχέση (Politecnico di Bari, 2009):

$$Y = aV^2 \quad (5.25)$$

όπου το a εξαρτάται από τις γεωμετρικές διαστάσεις του συστήματος και από την τραχύτητα των τοιχωμάτων. Η παράμετρος a δίνεται από την ακόλουθη σχέση (Politecnico di Bari, 2009):

$$a = \sum_i \frac{f_i L_i}{2gD_i} + \sum_i \frac{r_i}{2g} \quad (5.25)$$

όπου L_i το μήκος του κλάδου i , D_i η διάμετρος του κλάδου i , f_i ο συντελεστής τριβής του κλάδου i , και r_i ο συντελεστής απωλειών της i εντοπισμένης απώλειας

Η μετάβαση κίνηση διέπεται από τις δύο παρακάτω εξισώσεις (Defina, 2010):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial \rho A}{\partial x} = \frac{\partial(VA)}{\partial x} = 0 \quad (5.26)$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} - J = 0 \quad (5.27)$$

όπου η πρώτη των οποίων είναι η εξίσωση της συνέχειας για μια ροή ασυμπίεστου ρευστού, ενώ η δεύτερη είναι η εξίσωση της κίνησης και είναι πάντα για ένα ασυμπίεστο ρευστό. Στην (5.26) ο δεύτερος όρος είναι μηδενικός λόγω της υπόθεσης πως το ρευστό είναι ανελαστικό και ο

αγωγός απαραμόρφωτος. Σε αντίθετη περίπτωση, το ρευστό θα ήταν βαροτροπικό, δηλαδή η πυκνότητα είναι συνάρτηση μόνο της πίεσης του ρευστού $\rho = \rho(p)$, ενώ το ίδιο θα ίσχυε για τον παραμορφώσιμο αγωγό, δηλαδή $A = A(p)$, και θα περνούσαμε στην «ελαστική ανάλυση» (Defina, 2010).

Από την πρώτη εξίσωση τα δεδομένα δείχνουν ότι, σε κάθε στιγμή, η μέση ταχύτητα (V) είναι σταθερή σε κάθε κλάδο του αγωγού προσαγωγής, με την ενσωμάτωση της δεύτερης παίρνουμε την ακόλουθη σχέση (Defina, 2010):

$$\frac{L}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + Z \pm aV^2 = 0 \quad (5.28)$$

όπου Z το γεωδαιτικό υψόμετρο της δεξαμενής φόρτισης με βάση αναφοράς την επιφάνεια του εξαμωτή. Συμβολίζοντας τώρα με το Σ την περιοχή οριζόντιας κάλυψης (σταθερή ανεξάρτητα από το Z), μπορούμε να γράψουμε την εξίσωση συνέχειας για την δεξαμενή (Politecnico di Bari, 2009):

$$\Sigma \cdot dZ = (Q - Q_c) dt \quad (5.29)$$

όπου Q η παροχή του αγωγού τροφοδοσίας και Q_c η παροχή του αγωγού πτώσης, εδώ μηδενική λόγω πλήρους κλεισίματος της βάνας.

Το σύστημα αποτελούμενο από τις τελευταίες δύο διαφορικές εξισώσεις καθορίζει αναλυτικά τις διαδικασίες της μη μόνιμης ροής, αλλά αυτό δεν ολοκληρώνεται εύκολα σε πεπερασμένους όρους, έτσι ώστε για την συνέχιση της ανάλυσης είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθεί η ολοκλήρωση μέσω πεπερασμένων διαφορών.

Τα αρχικά δεδομένα που αναφέρονται στον Πίνακα 5.13

Πίνακας 5.13 Στοιχεία εισόδου του μοντέλου επίλυσης πεπερασμένων διαφορών

L	Μήκος αγωγού προσαγωγής	170	m
Z_o	Αρχική υψομετρική διαφορά	1,46	m
V_o	Αρχική ταχύτητα	1,7	m / s
a	Παράμετρος ενεργειακών απωλειών	0,505	s ² / m
D	Διάμετρος εξόδου	0,5992	M
Σ	Περιοχή της δεξαμενής φόρτισης	12	m ²

Η ανάλυση του συστήματος των διαφορικών εξισώσεων δίνεται στον Πίνακα 5.14 και Σχήμα 5.50.

Πίνακας 5.14 Ανάλυση πεπερασμένων διαφορών

ΔT	T	Z	ΔV	V	ΔV
(S)	(S)	(M)	(M/s)	(M/s)	(M)
///	0	-1,46	///	1,7	///
1	1	-1,42	0,00	1,70	0,04
1	2	-1,38	0,00	1,70	0,04
1	3	-1,34	0,00	1,69	0,04
1	4	-1,30	-0,01	1,69	0,04
1	5	-1,26	-0,01	1,68	0,04
1	6	-1,22	-0,01	1,67	0,04
1	7	-1,18	-0,01	1,66	0,04
1	8	-1,14	-0,01	1,65	0,04
1	9	-1,11	-0,01	1,63	0,04
1	10	-1,07	-0,01	1,62	0,04
1	11	-1,03	-0,01	1,61	0,04
1	12	-0,99	-0,02	1,59	0,04
1	13	-0,96	-0,02	1,57	0,04
1	14	-0,92	-0,02	1,56	0,04
1	15	-0,88	-0,02	1,54	0,04
1	16	-0,85	-0,02	1,52	0,04
1	17	-0,81	-0,02	1,50	0,04
1	18	-0,78	-0,02	1,48	0,03
1	19	-0,74	-0,02	1,46	0,03
1	20	-0,71	-0,02	1,44	0,03
1	21	-0,68	-0,02	1,42	0,03
1	22	-0,64	-0,02	1,40	0,03

1	23	-0,61	-0,02	1,38	0,03
1	24	-0,58	-0,02	1,36	0,03
1	25	-0,55	-0,02	1,34	0,03
1	26	-0,52	-0,02	1,32	0,03
1	27	-0,49	-0,02	1,30	0,03
1	28	-0,46	-0,02	1,28	0,03
1	29	-0,43	-0,02	1,26	0,03
1	30	-0,40	-0,02	1,24	0,03
1	31	-0,37	-0,02	1,21	0,03
1	32	-0,34	-0,02	1,19	0,03
1	33	-0,31	-0,02	1,17	0,03
1	34	-0,29	-0,02	1,15	0,03
1	35	-0,26	-0,02	1,13	0,03
1	36	-0,23	-0,02	1,10	0,03
1	37	-0,21	-0,02	1,08	0,03
1	38	-0,18	-0,02	1,06	0,02
1	39	-0,16	-0,02	1,04	0,02
1	40	-0,13	-0,02	1,02	0,02
1	41	-0,11	-0,02	0,99	0,02
1	42	-0,09	-0,02	0,97	0,02
1	43	-0,07	-0,02	0,95	0,02
1	44	-0,04	-0,02	0,93	0,02
1	45	-0,02	-0,02	0,90	0,02
1	46	0,00	-0,02	0,88	0,02
1	47	0,02	-0,02	0,86	0,02
1	48	0,04	-0,02	0,84	0,02
1	49	0,06	-0,02	0,81	0,02
1	50	0,08	-0,02	0,79	0,02
1	51	0,09	-0,02	0,77	0,02
1	52	0,11	-0,02	0,75	0,02

1	53	0,13	-0,02	0,72	0,02
1	54	0,14	-0,02	0,70	0,02
1	55	0,16	-0,02	0,68	0,02
1	56	0,18	-0,02	0,66	0,02
1	57	0,19	-0,02	0,63	0,01
1	58	0,20	-0,02	0,61	0,01
1	59	0,22	-0,02	0,59	0,01
1	60	0,23	-0,02	0,56	0,01
1	61	0,24	-0,02	0,54	0,01
1	62	0,26	-0,02	0,52	0,01
1	63	0,27	-0,02	0,50	0,01
1	64	0,28	-0,02	0,47	0,01
1	65	0,29	-0,02	0,45	0,01
1	66	0,30	-0,02	0,43	0,01
1	67	0,31	-0,02	0,41	0,01
1	68	0,32	-0,02	0,38	0,01
1	69	0,33	-0,02	0,36	0,01
1	70	0,34	-0,02	0,34	0,01
1	71	0,34	-0,02	0,32	0,01
1	72	0,35	-0,02	0,29	0,01
1	73	0,36	-0,02	0,27	0,01
1	74	0,36	-0,02	0,25	0,01
1	75	0,37	-0,02	0,22	0,01
1	76	0,37	-0,02	0,20	0,00
1	77	0,38	-0,02	0,18	0,00
1	78	0,38	-0,02	0,16	0,00
1	79	0,38	-0,02	0,13	0,00
1	80	0,39	-0,02	0,11	0,00
1	81	0,39	-0,02	0,09	0,00
1	82	0,39	-0,02	0,07	0,00

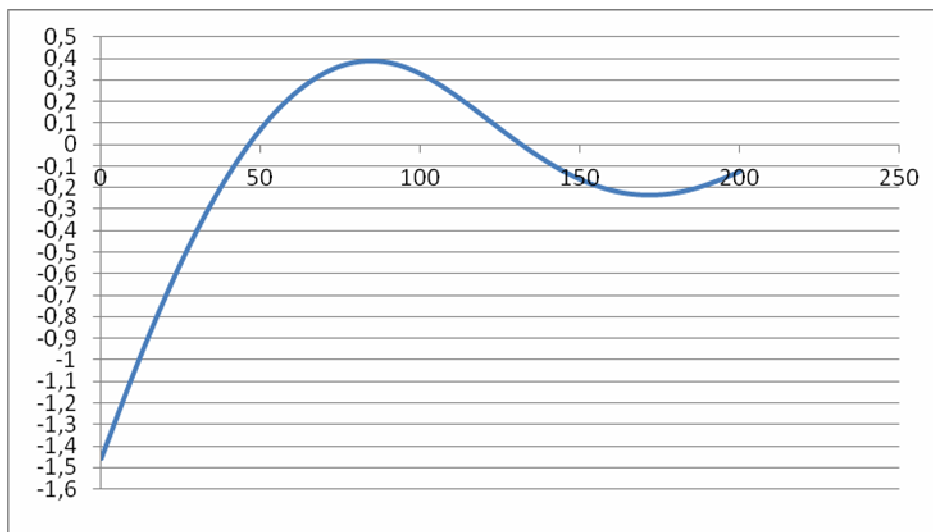
1	83	0,39	-0,02	0,04	0,00
1	84	0,39	-0,02	0,02	0,00
1	85	0,39	-0,02	0,00	0,00
1	86	0,39	-0,02	-0,02	0,00
1	87	0,39	-0,02	-0,05	0,00
1	88	0,39	-0,02	-0,07	0,00
1	89	0,39	-0,02	-0,09	0,00
1	90	0,38	-0,02	-0,11	0,00
1	91	0,38	-0,02	-0,13	0,00
1	92	0,38	-0,02	-0,16	0,00
1	93	0,37	-0,02	-0,18	0,00
1	94	0,37	-0,02	-0,20	0,00
1	95	0,36	-0,02	-0,22	-0,01
1	96	0,36	-0,02	-0,24	-0,01
1	97	0,35	-0,02	-0,26	-0,01
1	98	0,34	-0,02	-0,27	-0,01
1	99	0,34	-0,02	-0,29	-0,01
1	100	0,33	-0,02	-0,31	-0,01
1	101	0,32	-0,02	-0,32	-0,01
1	102	0,31	-0,02	-0,34	-0,01
1	103	0,31	-0,01	-0,36	-0,01
1	104	0,30	-0,01	-0,37	-0,01
1	105	0,29	-0,01	-0,38	-0,01
1	106	0,28	-0,01	-0,39	-0,01
1	107	0,27	-0,01	-0,41	-0,01
1	108	0,26	-0,01	-0,42	-0,01
1	109	0,25	-0,01	-0,43	-0,01
1	110	0,24	-0,01	-0,44	-0,01
1	111	0,23	-0,01	-0,44	-0,01
1	112	0,22	-0,01	-0,45	-0,01

1	113	0,21	-0,01	-0,46	-0,01
1	114	0,20	-0,01	-0,46	-0,01
1	115	0,19	-0,01	-0,47	-0,01
1	116	0,17	0,00	-0,47	-0,01
1	117	0,16	0,00	-0,48	-0,01
1	118	0,15	0,00	-0,48	-0,01
1	119	0,14	0,00	-0,48	-0,01
1	120	0,13	0,00	-0,48	-0,01
1	121	0,12	0,00	-0,48	-0,01
1	122	0,11	0,00	-0,48	-0,01
1	123	0,10	0,00	-0,48	-0,01
1	124	0,08	0,00	-0,48	-0,01
1	125	0,07	0,00	-0,48	-0,01
1	126	0,06	0,00	-0,48	-0,01
1	127	0,05	0,00	-0,47	-0,01
1	128	0,04	0,00	-0,47	-0,01
1	129	0,03	0,00	-0,47	-0,01
1	130	0,02	0,00	-0,46	-0,01
1	131	0,01	0,01	-0,46	-0,01
1	132	0,00	0,01	-0,45	-0,01
1	133	-0,01	0,01	-0,44	-0,01
1	134	-0,02	0,01	-0,44	-0,01
1	135	-0,03	0,01	-0,43	-0,01
1	136	-0,04	0,01	-0,42	-0,01
1	137	-0,05	0,01	-0,42	-0,01
1	138	-0,06	0,01	-0,41	-0,01
1	139	-0,07	0,01	-0,40	-0,01
1	140	-0,08	0,01	-0,39	-0,01
1	141	-0,09	0,01	-0,38	-0,01
1	142	-0,10	0,01	-0,37	-0,01

1	143	-0,11	0,01	-0,36	-0,01
1	144	-0,12	0,01	-0,35	-0,01
1	145	-0,13	0,01	-0,34	-0,01
1	146	-0,13	0,01	-0,33	-0,01
1	147	-0,14	0,01	-0,32	-0,01
1	148	-0,15	0,01	-0,31	-0,01
1	149	-0,15	0,01	-0,30	-0,01
1	150	-0,16	0,01	-0,29	-0,01
1	151	-0,17	0,01	-0,27	-0,01
1	152	-0,17	0,01	-0,26	-0,01
1	153	-0,18	0,01	-0,25	-0,01
1	154	-0,19	0,01	-0,24	-0,01
1	155	-0,19	0,01	-0,23	-0,01
1	156	-0,20	0,01	-0,21	-0,01
1	157	-0,20	0,01	-0,20	0,00
1	158	-0,20	0,01	-0,19	0,00
1	159	-0,21	0,01	-0,17	0,00
1	160	-0,21	0,01	-0,16	0,00
1	161	-0,22	0,01	-0,15	0,00
1	162	-0,22	0,01	-0,14	0,00
1	163	-0,22	0,01	-0,12	0,00
1	164	-0,22	0,01	-0,11	0,00
1	165	-0,23	0,01	-0,10	0,00
1	166	-0,23	0,01	-0,08	0,00
1	167	-0,23	0,01	-0,07	0,00
1	168	-0,23	0,01	-0,06	0,00
1	169	-0,23	0,01	-0,04	0,00
1	170	-0,23	0,01	-0,03	0,00
1	171	-0,23	0,01	-0,02	0,00
1	172	-0,23	0,01	0,00	0,00

1	173	-0,23	0,01	0,01	0,00
1	174	-0,23	0,01	0,03	0,00
1	175	-0,23	0,01	0,04	0,00
1	176	-0,23	0,01	0,05	0,00
1	177	-0,23	0,01	0,07	0,00
1	178	-0,23	0,01	0,08	0,00
1	179	-0,23	0,01	0,09	0,00
1	180	-0,22	0,01	0,10	0,00
1	181	-0,22	0,01	0,12	0,00
1	182	-0,22	0,01	0,13	0,00
1	183	-0,21	0,01	0,14	0,00
1	184	-0,21	0,01	0,15	0,00
1	185	-0,21	0,01	0,16	0,00
1	186	-0,20	0,01	0,18	0,00
1	187	-0,20	0,01	0,19	0,00
1	188	-0,19	0,01	0,20	0,00
1	189	-0,19	0,01	0,21	0,00
1	190	-0,18	0,01	0,22	0,01
1	191	-0,18	0,01	0,23	0,01
1	192	-0,17	0,01	0,23	0,01
1	193	-0,17	0,01	0,24	0,01
1	194	-0,16	0,01	0,25	0,01
1	195	-0,16	0,01	0,26	0,01
1	196	-0,15	0,01	0,27	0,01
1	197	-0,14	0,01	0,27	0,01
1	198	-0,14	0,01	0,28	0,01
1	199	-0,13	0,01	0,28	0,01
1	200	-0,12	0,01	0,29	0,01

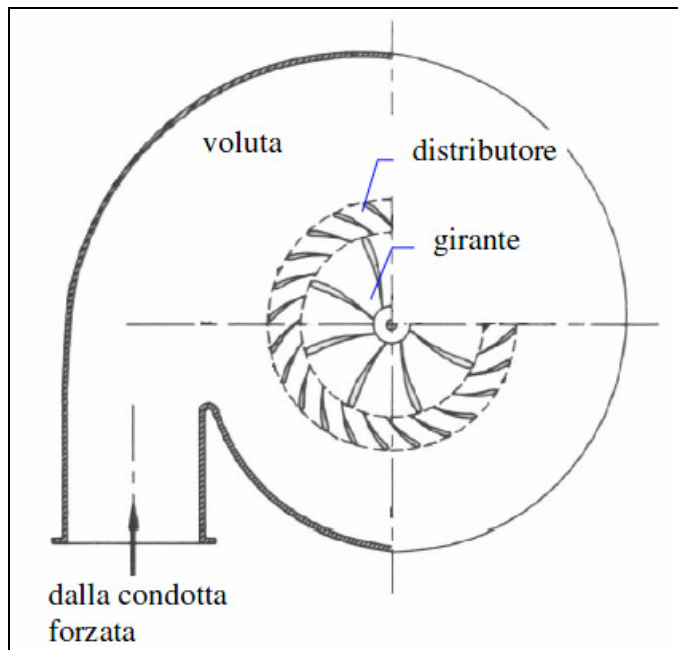
Από την επίλυση του συστήματος των διαφορικών εξισώσεων για 200 βήματα χρόνου φαίνεται πως το μέγιστο ύψος που επιτεύχθηκε στο δεξαμενή είναι 40 εκατοστά μεγαλύτερο από την υδροστατική στάθμη της λεκάνης. Επομένως δεν θα πρέπει να υπάρχει υπερχειλίση της δεξαμενής φόρτισης, και άρα ο αγωγός προσαγωγής λειτουργεί ικανοποιητικά χωρίς προβλήματα στην υδραυλική του απόδοση. (Βλ. Παράρτημα 2)



Σχήμα 5.50 Γραφική επίλυση του συστήματος των διαφορικών εξισώσεων

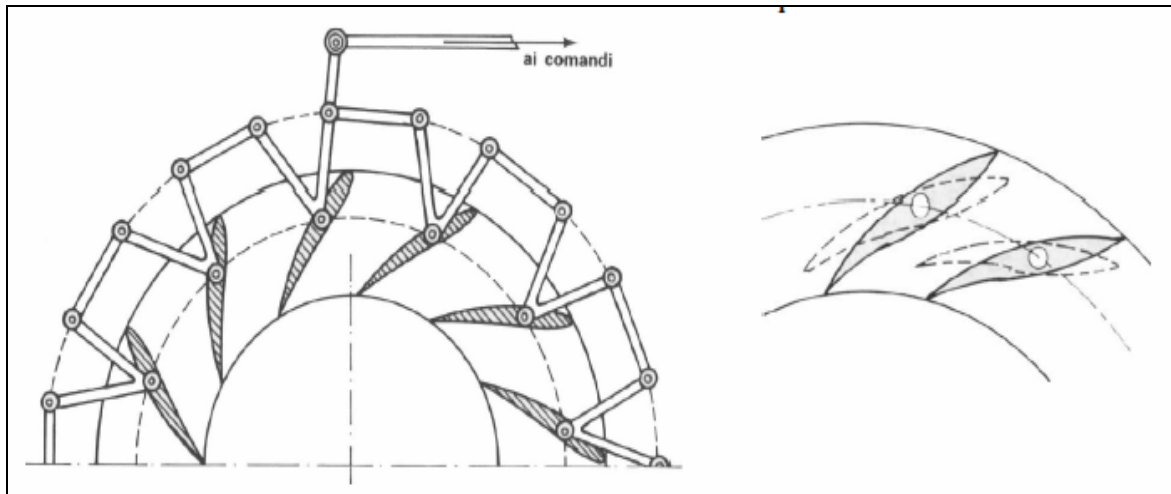
5.4.3 Έλεγχος υδραυλικής λειτουργίας του υδροστροβίλου και της γεννήτριας

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4, ο στρόβιλος Francis είναι ένας στρόβιλος αντίδρασης στον οποίον η μετατροπή της δυναμικής ενέργειας σε κινητική ενέργεια δεν λαμβάνει χώρα σε ολόκληρο το διανομέα αλλά εν μέρει στην περωτή της ανεμογεννήτριας. Γενικά σε συστήματα με τουρμπίνα Francis υπάρχει ένας αγωγός πτώσης που συνδέει τη δεξαμενή με το ανάντη μηχάνημα. Στο τέλος του αγωγού βρίσκεται ένα σπειροειδές κέλυφος που έχει το καθήκον της οδήγησης του νερού μεταξύ των οδηγητικών περυγίων (βλέπε Σχήμα 5.51).



Σχήμα 5.51 Εσωτερικά τμήματα του υδροστρόβιλου Francis (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.51, το τμήμα του ελικοειδούς τμήματος μειώνεται επειδή η ταχύτητα ροής μειώνεται καθώς το νερό ρέει μέσα από τα περύγια της ρυθμιστικής στεφάνης, ή αλλιώς του διανομέα). Ο διανομέας αποτελείται από ένα σύνολο ρυθμιζόμενα περύγια για να επιτρέπεται η ρύθμιση της παροχής, όπως φαίνεται σε τομή στο Σχήμα 5.52 στην οποία απεικονίζεται επίσης ο μηχανισμός κίνησης του διανομέα. Διαμορφώνεται έτσι ώστε να σχηματίσουν συγκλίνοντα περύγια. Στην πραγματικότητα, το καθήκον του διανομέα είναι να επιταχύνει το νερό, το οποίο ρέει ακτινικά προς τον άξονα περιστροφής (στρόβιλος αντίδρασης), μετατρέποντας το πιεζομετρικό ύψος σε ύψος κινητικής ενέργειας. Μέσω του διανομέα το νερό κατευθύνεται προς τη σωστή διεύθυνση, προς την περωτή (υπό συνθήκες μελέτης η κατεύθυνση της ταχύτητας εισόδου είναι εφαπτομένη στην μεσαία γραμμή της κατατομής του περυγίου του στροφείου). Εντός της περωτής λαμβάνει χώρα η ανταλλαγή ορμής ανάμεσα στο υγρό και τα κινούμενα περύγια οπότε υπάρχει παραγωγή μηχανικής ενέργειας. Ταυτόχρονα η περωτή επιτυγχάνει το μετασχηματισμό της πιεζομετρικού ύψους σε ύψος κινητικής ενέργειας κι αυτό γιατί τα τμήματα διόδου στην πραγματικότητα περιορίζουν τη διατομή από την οποία διέρχεται το νερό (Politecnico di Bari, 2009).



Σχήμα 5.52 Μηχανισμός προσανατολισμού των πτερυγίων του διανομέα ενός στροβίλου Francis (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)

Υπάρχουν τρεις τύποι του Francis τουρμπίνες: αργή, μεσαία, γρήγορη (Napolitano et al, 2011). Η επιλογή του πιο κατάλληλου στροβίλου γίνεται σε συνάρτηση με τα ακόλουθα δεδομένα εισόδου: (α) το ωφέλιμο ύψος πτώσης H_u , (β) η ωφέλιμη ισχύς N_u , (γ) η ταχύτητα περιστροφής του στροφείου η οποία σχετίζεται με τη συχνότητα ενεργειακής παραγωγής που όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4, πρέπει να εισαχθεί στο δίκτυο n . Από αυτά τα τρία δεδομένα καθορίζουμε τον ειδικό αριθμό στροφών ως προς ισχύ ο οποίος δόθηκε στον τύπο (4.30) δηλαδή (Παπαντώνης, 2008):

$$n_s = \frac{n\sqrt{N_u}}{H_u^{\frac{5}{4}}} \quad (5.30)$$

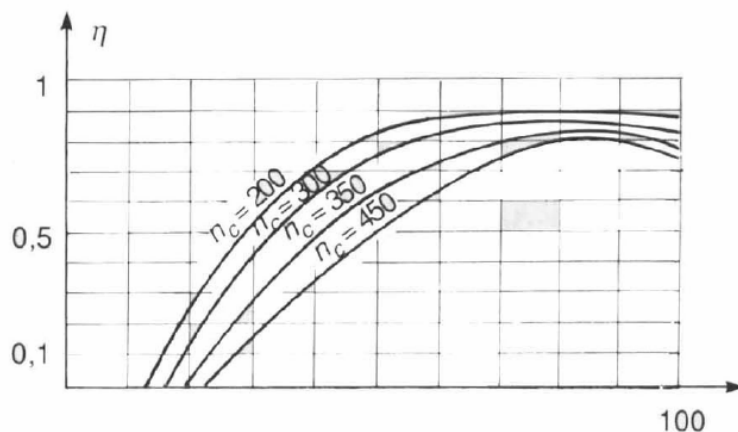
Δεδομένης μια οικογένεια των στροβίλων γεωμετρικά όμοιων, ο ειδικός αριθμός στροφών ως προς ισχύ είναι μία συνάρτηση των συνθηκών λειτουργίας (H_u, N_u, n) , επομένως, χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τους στροβίλους με βάση την τιμή του ειδικού αριθμού στροφών σε συνθήκες μέγιστης απόδοσης. Με βάση την τιμή αυτής της παραμέτρου είναι επίσης δυνατόν, κατά το σχεδιασμό, να εντοπίσουμε εύκολα τη βέλτιστη γεωμετρία του στροβίλου, και έτσι η διαδικασία της τυποποίησης γίνεται πιο εφικτή. Πρέπει να σημειώσουμε ότι το n_s δεν είναι ένας αδιάστατος αριθμός, συνήθως εκφράζεται σε RPM και ότι η ωφέλιμη ισχύς N_u διαθέτει επίσης μονάδες ισχύος, ιστορικά εκφραζόμενες σε ιπποδύναμη (hp). Στον

Πίνακα 5.15 φαίνονται οι κλάσεις για τους υδροστρόβιλους Francis με βάση την παραπάνω παράμετρο.

Πίνακας 5.15 Κατηγορίες υδροστρόβιλων Προέλευση (Napolitano et al, 2011).

Κλάση υδροστρόβιλου	n_s (RPM)
Francis αργός	60 - 100
Francis μεσαίος	100 - 200
Francis γρήγορος	200 - 450

Όπως αναφέρθηκε στο 4^ο Κεφάλαιο, η προσαρμογή του στρόβιλου Francis γίνεται δυνατή μεταβάλλοντας την γωνία των πτερυγίων του διανομέα: με αυτό τον τρόπο μεταβάλλουμε τη διατομή ροής και συνεπώς του ρυθμού ροής διαμέσου της μηχανής διατηρώντας σταθερό τον αριθμό των περιστροφών. Όπως μπορεί να φανεί και στο Σχήμα 4.33 του 4^{ου} Κεφαλαίου αλλά και στο Σχήμα 5.53 παρακάτω, η απόδοση διατηρείται σε υψηλές τιμές μέσα σε ένα περιορισμένο εύρος διακύμανσης του βαθμού ανοίγματος των πτερυγίων (δηλαδή λειτουργίας) του διανομέα, με μέγιστες τιμές της απόδοσης περίπου στο 70 - 80% του βαθμού ανοίγματος του διανομέα. Αυτό το πεδίο της διακύμανσης γίνεται στενότερο με την αύξηση του ειδικού αριθμού στροφών ως προς ισχύ. Αυτό συνεπάγεται μια μικρή δυνατότητα προσαρμογής για τον στρόβιλο, δηλαδή στην πραγματικότητα, κινούμενοι μακριά από αυτές τις τιμές, ή αποτυγχάνοντας τη σύγκλιση με αυτές τις τιμές, έχουμε υποστεί μεγάλες πτώσεις απόδοσης.



Σχήμα 5.53 Απόδοση των διαφόρων υδροστρόβιλων Francis (Πηγή: Politecnico di Bari, 2009)

Τα δεδομένα εισόδου στην περίπτωση αυτή είναι τα εξής:

(α) το ωφέλιμο ύψος πτώσης: $u H_u = 35 m$,

(β) η εκτιμώμενη ωφέλιμη ισχύς στον αρχικό σχεδιασμό λαμβάνεται υπόψη τις ακόλουθες απαιτήσεις:

(i) ένα ελάχιστο επίπεδο λειτουργίας της άντλησης εκτιμάται σε 15 kW,

(ii) οι ανάγκες του νοσοκομείου υπολογίζεται σε 10 kW για τις μηχανές και 5 kW για τις υπηρεσίες

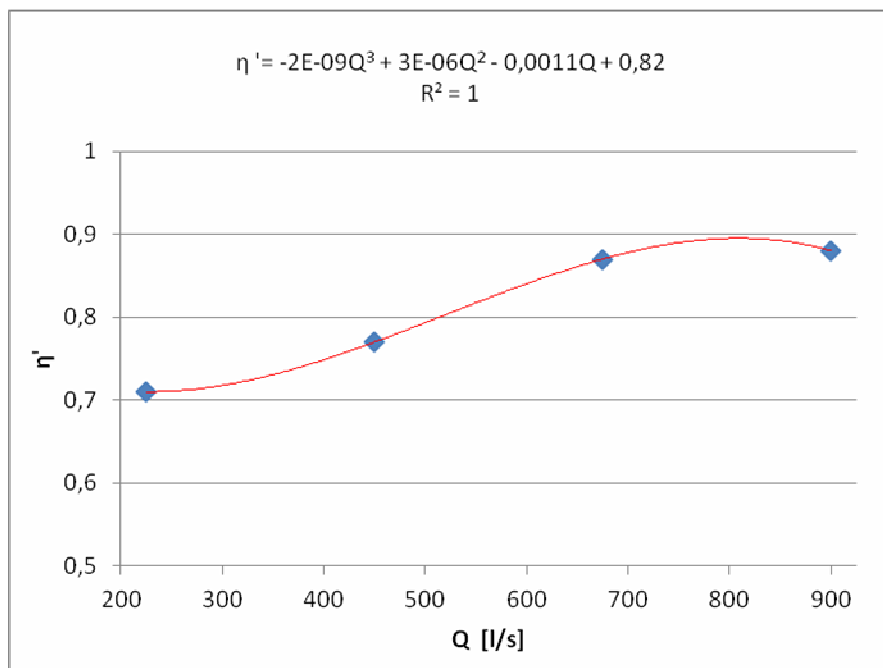
(iii) οι λάμπες φωτισμού και οι πρίζες για κάθε χωριό εκτιμάται σε 5 kW, δηλαδή $6 \cdot 5 = 30 kW$

Η συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι ως εκ τούτου των 60 kW, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι μειώσεις των συντελεστών ταυτοχρονισμού, στην οποία θα πρέπει να προστεθεί κάποιο πιθανό απόθεμα ενέργειας για το φωτισμό των σχολείων και ένα απόθεμα ενέργειας για μικρά έργα ανάπτυξης, εκτιμώμενο σήμερα τουλάχιστον 20 kW (αποφλοίωση του καφέ, άλεση της μανιόκας κ.λ.π.). Σε αυτό πρέπει να προστεθεί ένα τμήμα των απωλειών μεταφοράς και μετασχηματισμού, εκτιμώμενο της τάξης του 5%.

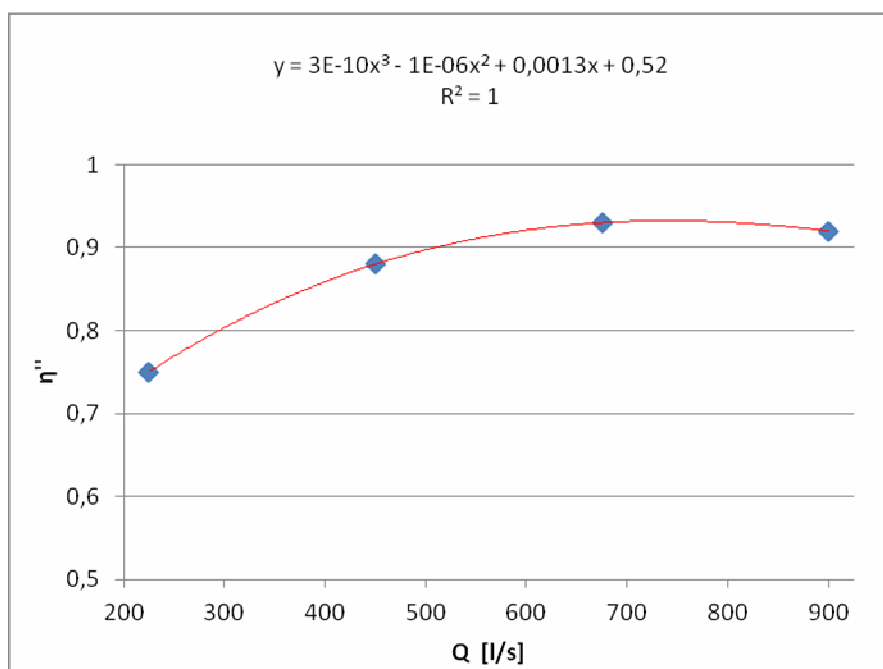
Η συνολική ισχύς εξόδου είναι τότε: $N_u = 85 kW = 114 hp$

(γ) η ταχύτητα περιστροφής του στροφείου είναι $n = 750 RPM$

Συνεπώς, ο ειδικός αριθμός στροφών ως προς ισχύ είναι: $n_s = 94 RPM \rightarrow$ FRANCIS SLOW. Ξεκινώντας από τα δεδομένα του Πίνακα 5.5 καθορίζουμε την καμπύλη που αντιπροσωπεύει τις τιμές της απόδοσης στροβίλου άξονα (η') σαν μία συνάρτηση του ρυθμού ροής (Q) (βλέπε Σχήμα 5.54). Τα ίδια ακριβώς πράττουμε και για την γεννήτρια από τα στοιχεία του Πίνακα 5.8 και προκύπτει το Σχήμα 5.55



Σχήμα 5.54 Καμπύλη αποδόσεων στην περρωτή του στροβίλου



Σχήμα 5.55 Καμπύλη αποδόσεων της γεννήτριας

Επίσης, καθορίζεται η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα στροβίλου - γεννήτριας σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Με δεδομένη την παροχή λειτουργίας και

γνωστό το καθεστώς μόνιμης ροής μπορεί να προσδιοριστεί: η διαθέσιμη πτώση (H_d) και ο βαθμός απόδοσης του στροβίλου (η') και της γεννήτριας (η''). Επομένως, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η υδραυλική ισχύς (N_i), η ισχύς στροβίλου (N_t) και της ηλεκτρικής γεννήτριας (N_e) από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$N_i = \gamma Q H_d \quad (5.31)$$

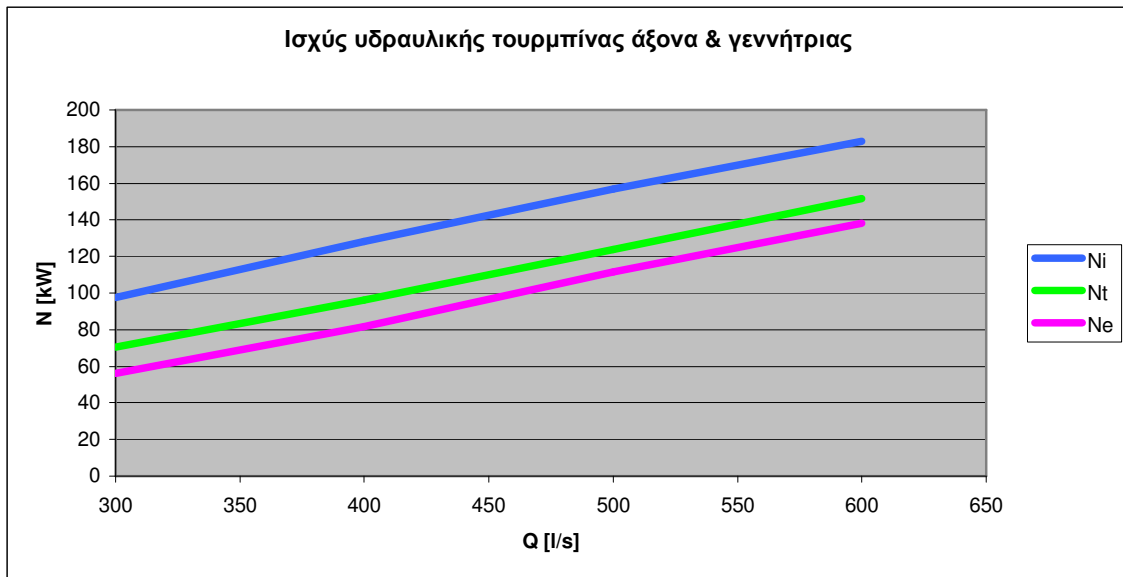
$$N_t = \eta' N_i = \eta' \gamma Q H_d \quad (5.32)$$

$$N_e = \eta'' N_t = \eta' \eta'' \gamma Q H_d \quad (5.33)$$

Τα αποτελέσματα αναφέρονται στον Πίνακα 5.16 και στο Σχήμα 5.56.

Πίνακας 5.16 Χαρακτηριστικές υδροστροβίλου και γεννήτριας

Q [l / s]	600	500	400	300
H_d [m]	31,1	31,96	32,66	33,2
N_i [kW]	182,9	156,7	128,1	97,6
η'	83	79	75	72
N_t [kW]	151,8	123,8	96,1	70,3
η''	91	90	85	80
N_e [kW]	138,2	111,4	81,7	56,2



Σχήμα 5.56 Ισχύς υδραυλικής τουρμπίνας άξονα και γεννήτριας

Η μέγιστη παραγόμενη ισχύς από την τουρμπίνα είναι 105 kW, τότε η μονάδα είναι σε θέση να ικανοποιήσει τις ενεργειακές ανάγκες ίσες με 85 kW.

5.5 Διερεύνηση της υποστηρικτικής λειτουργίας των τμημάτων του έργου

Εδώ θα επιχειρήσουμε να δούμε την αποδοτικότητα και την λειτουργία κάποιων επιμέρους τμημάτων του έργου που μπορούν δυνητικά να βλάψουν τη λειτουργία του έργου. Εν πρώτοις θα δούμε τη λειτουργία του εξαμμοτή, για να μπορούμε να κρίνουμε για τα επίπεδα στερεομεταφοράς που δέχεται το έργο και πιθανώς και ο υδροστρόβιλος, καθώς και η υποστηρικτική ικανότητα που διαθέτει το μπλοκ αγκύρωσης το οποίο βρίσκεται ακριβώς ανάντη της αλλαγής κλίσης του αγωγού πτώσης επάνω στο πρανές.

(α) Ανάλυση λειτουργίας εξαμμοτή. Εδώ μπορούμε να διερευνήσουμε εάν η στερεομεταφορά του υδατορεύματος και η διαστασιολόγηση του ποταμού δημιουργούν προβλήματα στο έργο. Δεχόμαστε προσεγγιστικά για τους υπολογισμούς διάμετρο μέσου κόκκου του Nzasi $d = 0,3 \text{ mm}$. Για την σχεδιαστική απαίτηση της κατακάθισης των αιωρούμενων σωματιδίων της άμμου παίρνουμε υπόψιν μας τα εξής δεδομένα:

(i) ένας κόκκος στερεού υλικού που αιωρείται σε ακίνητο υγρό κατακαθίζει με μια ταχύτητα w_{κ} η οποία οφείλεται στην επίδραση των δυνάμεων βαρύτητας, υδροδυναμικών δυνάμεων αντίστασης και δυνάμεων επιφανειακής τάσης. Ενδεικτικές τιμές της ταχύτητας καθίζησης κόκκων άμμου σε ακίνητο νερό θερμοκρασίας 25 °C (πολύ κοντά στην ετήσια θερμοκρασία της περιοχής του Kimbau) δίνονται στον Πίνακα 5.17 συναρτήσει της διαμέτρου του κόκκου. Η ταχύτητα κατακάθισης μειώνεται όσο μειώνεται η θερμοκρασία του νερού (Παπαντώνης, 2008).

Πίνακας 5.17 Συσχέτιση μέσης διαμέτρου κόκκου και ταχύτητας καθίζησης σε ακίνητο νερό (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

d (mm)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
w_{κ} (cm/sec)	0,70	2,0	3,5	5,0	6,0	7,0	8,0	8,5	9,0	10,0

(ii) εάν το νερό είναι σε κίνηση τότε λόγω της τριβής και των μικροστροβιλισμών που αναπτύσσονται στη ροή, ο κόκκος του στερεού υφίσταται τυχαίες ωθήσεις που τον διατηρούν περισσότερο διάστημα σε αιώρηση, ενώ εάν το επίπεδο της τύρβης αυξηθεί σημαντικά, τότε οι στερεοί κόκκοι δεν κατακαθίζουν και διατηρούνται σε αιώρηση. Δεδομένου ότι το επίπεδο τύρβης εξαρτάται άμεσα από τη μέση ταχύτητα ροής προκύπτει πως η μέση ταχύτητα ροής c πρέπει να είναι μικρότερη από μια κρίσιμη τιμή, την c_{cr} , για τη διασφάλιση σίγουρης κατακάθισης των αιωρούμενων σωματιδίων. Ο υπολογισμός της c_{cr} γίνεται ως εξής (Παπαντώνης, 2008):

$$c_{cr} \approx 10 \cdot w_{\kappa} \cdot R_H^{1/6} \quad (5.4)$$

στην οποία R_H συμβολίζεται η υδραυλική ακτίνα της διατομής της ροής. Συνεπώς στο έργο μας, υπολογίζοντας από το Παράρτημα 1 τις διαστάσεις του πλάτους και εκτιμώντας διαστάσεις μέσου ύψους περίπου ίσο με 2,5 m (από το Σχήμα 5.22), έχουμε:

$$R_H \approx (2,5 \cdot 3) / (2 \cdot 2,5 + 3) = 0.9375 \text{ m} \quad (5.5)$$

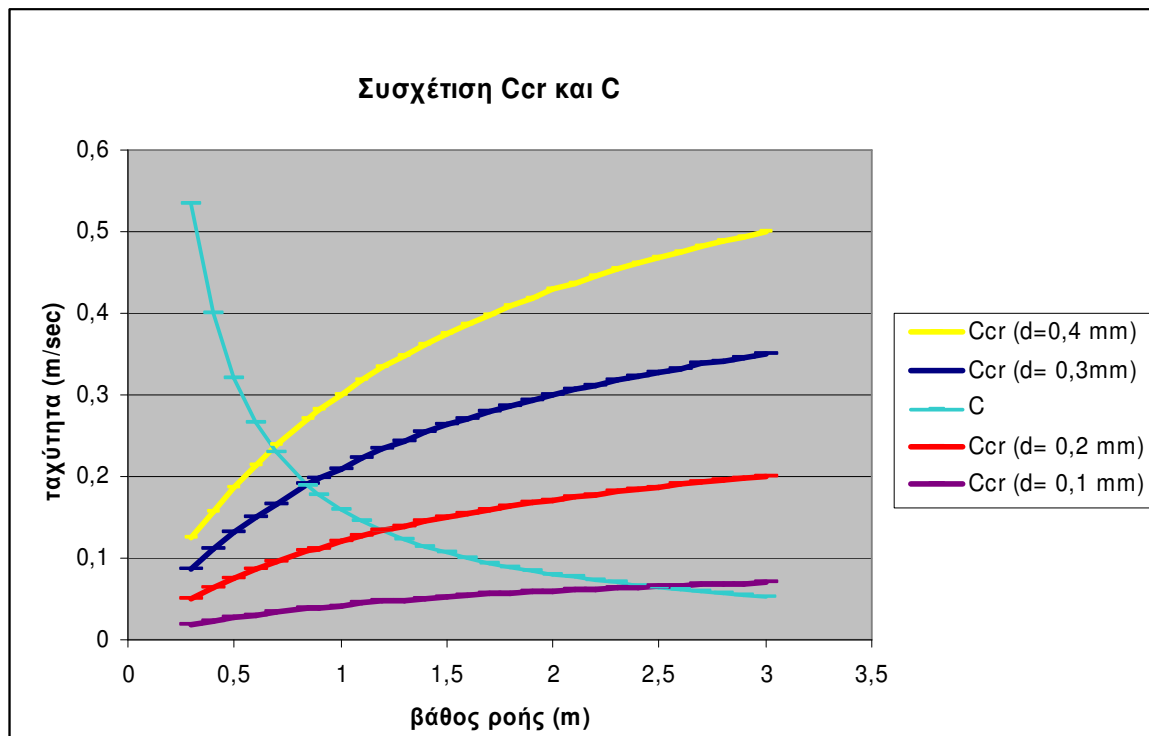
Συνεπώς από την σχέση (5.4) για $d = 0,3 \text{ mm}$ προκύπτει $c_{cr} = 0,346 \text{ m/sec}$ ενώ για τις ίδιες διαστάσεις έχουμε $c = Q_{Nzasi} / (2,5 \cdot 3) = 0.064 \text{ m/sec}$, κι έτσι καταλαβαίνουμε πως έλεγχος

ικανοποιείται για μια πλήρως βρεχόμενη διατομή. Ελέγχοντας πάλι την ακραία περίπτωση όπου $c > c_{cr}$ αυτό που προκύπτει με αντίστροφους υπολογισμούς είναι:

$$c_{cr} = 0,346 = Q_{Nzasi} / 3 \cdot y_{cr} = 0,48 / 3 \cdot y_{cr} \Rightarrow y_{cr} = 0,4624m \approx y_{αναβ} \quad (5.6)$$

όπου y_{cr} είναι το βάθος ροής $y_{αναβ} = 0,4m$ το ύψος του αναβαθμού από τον πυθμένα.

Συνεπώς όλοι οι κόκκοι άμμου κατακάθονται και δεν υπάρχει πρόβλημα αιώρησης. Στα παραπάνω μπορούσαμε να είχαμε φτάσει και με χρήση του τύπου (4.17). Εδώ θα σημειώσουμε πως παρά το γεγονός πως στην πραγματικότητα δεν έχουμε ακριβή γνώση του ύψους των τοιχείων του εξαμμωτή, φάνηκε παραπάνω πως αναλογικά όλες οι τιμές του ύψους του εξαμμωτή πάνω από 0,85 m είναι αποδεκτές για διάμετρο κόκκου $d = 0,3mm$ και για τόσο μικρή ταχύτητα καθίζησης. Το παραπάνω συμπέρασμα φαίνεται στον Σχήμα 5.57. Εδώ, για διάφορες διαμέτρους σωματιδίων, φαίνεται πως ακόμα και για κόκκους 0,1 mm, πάνω από 2,5 m βάθος ροής, είναι ικανό ύψος για να μην υπάρχει καμία εισχώρηση κόκκου στα ανάντη έργα. Συνεπώς οι παραπάνω υπολογισμοί είναι ορθοί.



Σχήμα 5.57 Διάγραμμα συσχέτισης βάθους ροής με την ταχύτητα καθίζησης σε κινούμενο υγρό

Από την υπολογισμένη στερεομεταφορά μπορούμε να εκτιμήσουμε την επάρκεια του εξαμμωτή στην διαδικασία της έκπλυσης. Για 13 m μήκος εξαμμωτή (εδώ υπολογίζουμε το μήκος που είναι κεκλιμένο, όπως φαίνεται στο Παράρτημα 1 και το οποίο αποτελεί την απόσταση των 2 αγωγών - εκκενωτών πυθμένα) θα έχουμε απαιτούμενη παροχή έκπλυσης για κάθε αγωγό:

$$q_{απ} \geq TS_{Nzasi} / 2 = 0,0008m^3 / m / sec \quad (5.7)$$

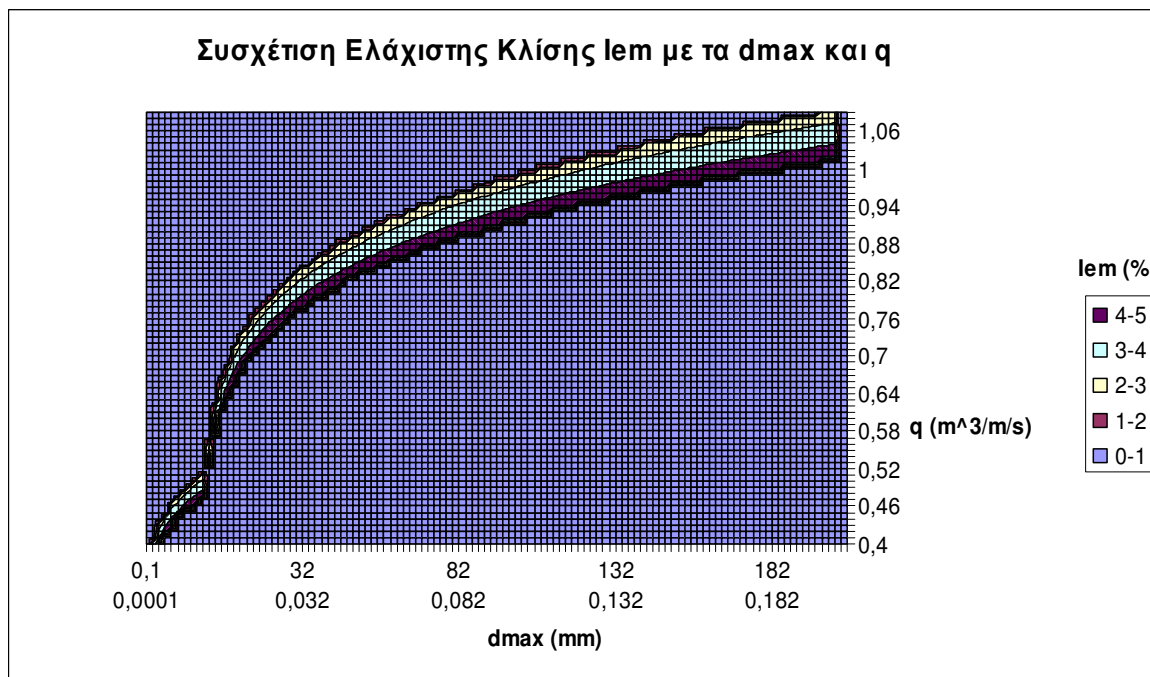
όπου $q_{απ}$ η παροχή έκπλυσης. Παροχή η οποία σε κάθε περίπτωση ικανοποιείται καθώς κατασκευαστικά είναι υπερβολικά μικρή ακόμα και για την ελάχιστη διάμετρο των δύο αγωγών – εκκενωτών πυθμένα, αλλά και γιατί οι πρότυποι κανόνες για την έκπλυση πυθμένα προκρίνουν η παροχή έκπλυσης να είναι της τάξεως του 100% έως 250% της παροχής λειτουργίας. Για απαιτούμενη κλίση του πυθμένα της τάξεως του 2,5 – 5 % υπολογίζεται πως η ελάχιστη απαιτούμενη κλίση I_{EM} του πυθμένα ώστε να επιτευχθεί η έκπλυση των συσσωρευμένων σε αυτόν στερεών μέχρι διαμέτρου d_{max} συνδέονται μέσω του ακόλουθου τύπου (Παπαντώνης, 2008):

$$I_{EM} = 0,44 \frac{d_{max}^{9/7}}{q^9} \quad (5.8)$$

Όπου q είναι η παροχή έκπλυσης σχεδιασμού ανά πλάτος της δεξαμενής. Για παροχή έκπλυσης σχεδιασμού ίση με το 100% της παροχής λειτουργίας (έστω πως αυτή η συνθήκη ισχύει και για τους δυο αγωγούς ταυτόχρονα) θα είναι για κάθε αγωγό:

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{0,48m^3 / sec}{3m} = 0,16m^3 / m / sec \Rightarrow q = 1m^3 / m / sec \quad (5.9)$$

όπου στρογγυλοποιήσαμε προς τα πάνω για κατασκευαστικούς λόγους. Άλλωστε μπορεί να αποδειχτεί πολύ εύκολα υπολογιστικά πως για κόκκους διαμέτρων μεταξύ 0,1 mm και 202 mm (όπως δείχνει το Σχήμα 5.58) η παροχή έκπλυσης απαιτεί περίπου 1,2 m³/m/sec. Όπως βλέπουμε η παροχή έκπλυσης σχεδιασμού υπερκαλύπτει την απαιτούμενη. Τέλος με παράμετρο την μικρότερη δυνατή εκσκαφή εδάφους, δηλαδή για κλίση ίση με 2,5% ο τύπος και για παροχή έκπλυσης $q = 1m^3 / m / sec$ η σχέση (5.8) δίνει $d_{max} = 0,1 m$, αποτέλεσμα το οποίο είναι ικανοποιητικό για τα δεδομένα της περιοχής. Σε κάθε περίπτωση η επιλογή μεγαλύτερης κλίσης από την ελάχιστη για την ίδια παροχή έκπλυσης βελτιώνει την συμπεριφορά της έκπλυσης για ακόμα μεγαλύτερα σωματίδια άμμου (όπως δείχνει η σχέση 5.8).



Σχήμα 5.58 Συσχέτισης Ελάχιστης κλίσης με τη μέγιστη διάμετρο κόκκου και την παροχή έκπλυσης σε έναν εξαμμοτή

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε πως το έργο δεν αντιμετωπίζει προβλήματα εξάμμοσης και άρα προσβολή του υδροστροβίλου. Τα αποτελέσματα της επίλυσης αυτής αλλάζουν ελάχιστα ακόμα και για αποδοχή μεγαλύτερης στερεοπαροχής ίση με το ανώτατο όριο των $3 \text{ m}^3/\text{m}/\text{sec}$.

(β) Λειτουργία του μπλόκ αγκύρωσης αμέσως ανάντη της αλλαγής κλίσης του αγωγού πτώσης επάνω στο πρανές. Το παραπάνω μπλοκ φαίνεται πως είναι παράγοντας αστάθειας για όλο το έργο, και αυτός ο ισχυρισμός στηρίζεται τόσο στο φωτογραφικό υλικό και στην επιτόπια διαπίστωση, αλλά και στη γνώση πως η γεωτεχνική κατάσταση του εδάφους στο Κιμπάου δεν είναι η καλύτερη: συγκεκριμένα, όπως δείχνουν τα Σχήματα 5.59 και 5.60 καθώς και η αναφορά στην ιστοσελίδα του «Κιμπάου πρότζεκτ» (<http://www.kimbau.org/kimbau/a/24044.html>) υπάρχει σημαντικό πρόβλημα με τη διάβρωση του εδάφους η οποία έχει επιφέρει μεγάλες ζημιές σε όλο το μήκος του ποταμού, τόσο σε χωράφια, σε φυτείες, αλλά και στο οδικό δίκτυο. Είναι πολύ πιθανό αυτό να συμβαίνει και στην περιοχή του μπλοκ αγκύρωσης αφού το φαινόμενο πρέπει να είναι καλά εδραιωμένο τόσο στη γενική περιοχή του ποταμιού, όσο και στα τριγύρω χωριά της περιφέρειας του Bandudu.



Σχήμα 5.59 Φωτογραφία των πρानών

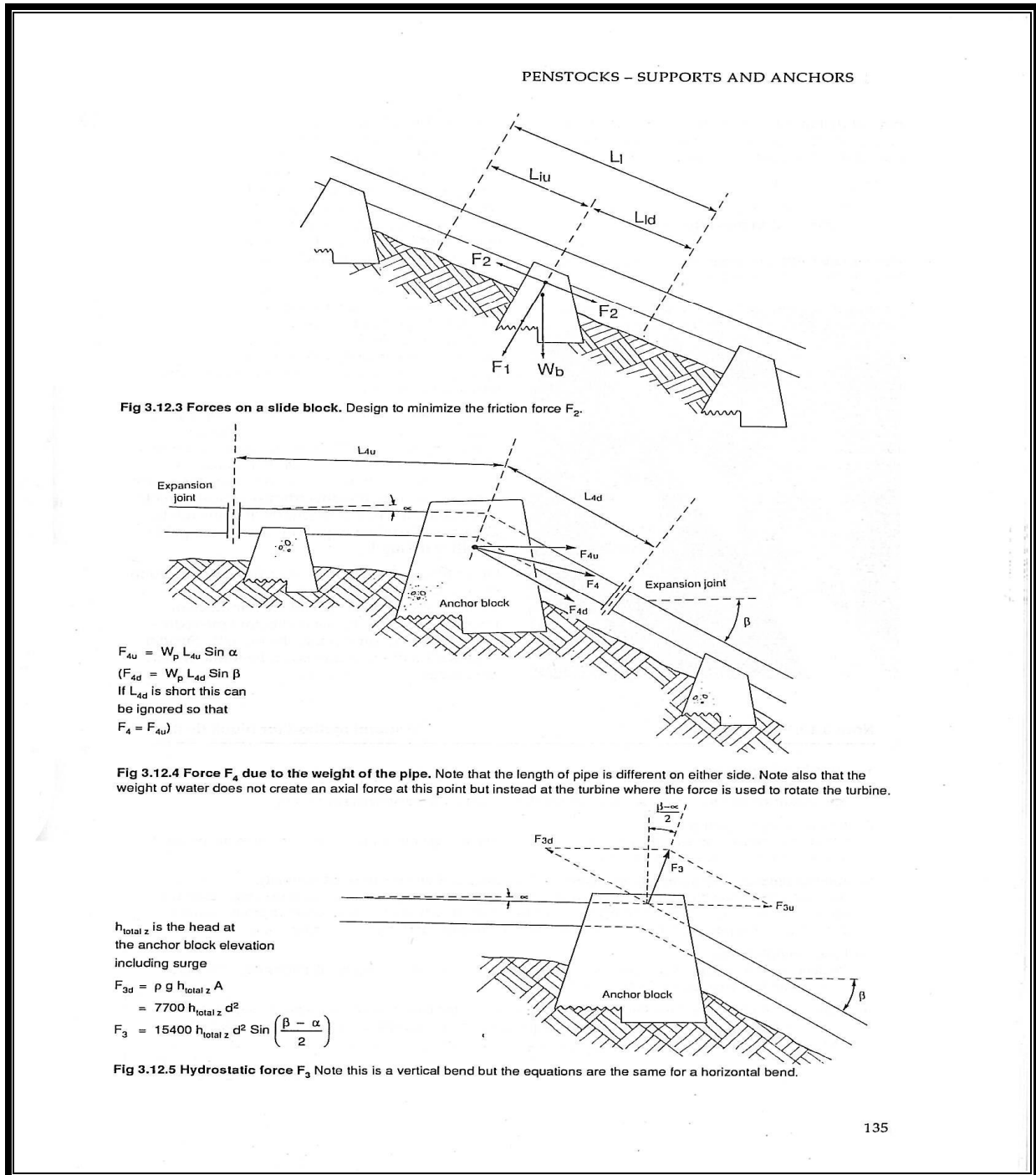


Σχήμα 5.60 Δρόμος δίπλα από το Κιμπάου

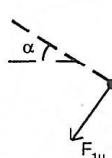
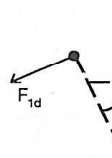
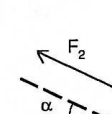
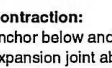
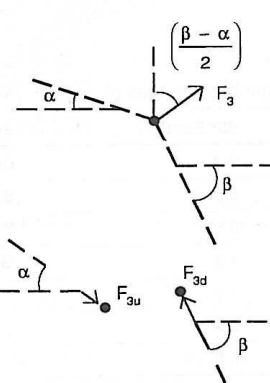
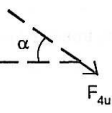
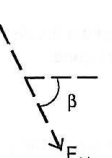
Ανασχεδιάζοντας και εκτιμώντας τα γεωμετρικά στοιχεία του μπλοκ αγκύρωσης και τα σημεία τοποθέτησης του αγωγού πτώσης εντός του, για τα οποία δεν έχουμε στοιχεία παρά μόνο κάποιες περιορισμένες γωνίες θέασης από τα Σχήματα 5.42 και 5.44, ακολουθούμε την θεωρία για την αγκύρωση των αγωγών, όπου φαίνονται όλες οι δυνάμεις που αναπτύσσονται σε αυτόν και μεταφέρονται στο σώμα θεμελίωσης. Αυτές είναι εν συντομία το ίδιο βάρος του αγωγού, το βάρος του περιεχόμενου σε αυτού υγρού, το βάρος του μπλοκ αγκύρωσης, καθώς και η φόρτιση στον αγωγό που οφείλεται στις εσωτερικές πιέσεις και στις θερμοκρασιακές διαφορές (Παπαντώνης, 2008). Εδώ ακολουθούμε τους υπολογισμούς για τις δυνάμεις που αναπτύσσονται, που φαίνονται στα Σχήματα 5.61, 5.62 και 5.63.

Συγκεκριμένα στο μπλοκ μας βλέπουμε τις εξής δυνάμεις: την F_{1u} του ανάντη τμήματος, την F_{1d} του κατάντη τμήματος, την F_3 η οποία είναι η συνισταμένη των υδροστατικών δυνάμεων, και το βάρος W_b το οποίο είναι το ίδιο βάρος του σώματος αγκύρωσης (από σκυρόδεμα). Τα μόνα στοιχεία που έχουμε για τους υπολογισμούς είναι η κλίση του ανάντη και του κατάντη τμήματος: τόσο το μήκος αναφοράς για τους αγωγούς, όσο οι διαστάσεις του μπλοκ, όσο το σημείο εφαρμογής του αγωγού, αλλά και η κλίση του πρानούς στο ανάντη τμήμα και στο κατάντη μας είναι άγνωστα. Επίσης δεν ξέρουμε τίποτα για το σημείο επίχωσης του αγωγού στο κατάντη τμήμα του πρανούς κάτι που δεν διευκολύνει τους υπολογισμούς για το μήκος αναφοράς του αγωγού. Για αυτούς τους λόγους, ξεκινήσαμε την ανάλυση μας με κάποιες προϋποθέσεις με σημαντικότερη όλων πως το μπλοκ αγκύρωσης εδράζεται στο επάνω στρώμα της χαλαζιακής άμμου, δηλαδή στην νεότερη απόθεση παρά το γεγονός ότι το μπλοκ μπορούσε

να υποθεθεί ότι βρίσκεται στην παραρεμάτια ζώνη και πως το ζητούμενο είναι να αποδειχθεί είτε αστοχία θεμελίου μέσω θραύση εδάφους, είτε αστοχία θεμελίου ολίσθησης, είτε αστοχία θεμελίου μέσω ανατροπής του.



Σχήμα 5.61 Δυνάμεις επί των σωμάτων αγκυρώσεως (Πηγή: Harvey et al, 1993)

Note 3.12.3			Forces on anchor and slide blocks	
Force (Newtons)	Direction of potential movement of anchor block		Comment	
<p>F1</p> <p>F_1 = combination of F_{1u} and F_{1d} $F_{1u} = (W_p + W_w) L_{1u} \cos \alpha$ $F_{1d} = (W_p + W_w) L_{1d} \cos \beta$ If pipe is straight, $F_1 = (W_p + W_w) L_1 \cos \alpha$ Always calculate F_1</p>	<p>Uphill portion</p> 	<p>Downhill portion</p> 	<p>F1</p> <p>Weight of pipe and water Fig 3.12.3</p> <p>Applies to slide blocks and anchor blocks</p>	
<p>F2</p> <p>F_2 = between 0.25 and $0.5 \times F_1$ depending on quality and deterioration of friction reduction arrangement. Always calculate F_2</p>	<p>Expansion: anchor below and expansion joint above</p>  <p>Contraction: anchor below and expansion joint above</p> 		<p>F2</p> <p>Sliding friction Fig 3.12.3</p> <p>Applies to slide blocks only</p>	
<p>F3</p> <p>F_3 = combination of F_{3u} and F_{3d}</p> <p>$F_3 = 15400 h_{total z} d^2 \sin \left(\frac{\beta - \alpha}{2} \right)$</p> <p>For right angle bends, $F_3 = 1.414 \times F_{3u}$ (diff directions) For 45° bends, $F_3 = 0.76 \times F_{3u}$ (diff directions) Always calculate F_3</p>			<p>F3</p> <p>Hydrostatic pressure. Only applies to horizontal and vertical bends. Do not use F_3 if already using F_{3d} and F_{3u}. Fig 3.12.5</p> <p>Note that '$h_{total z}$' is the head or pressure at the anchor block (elevation Z) including surge head</p> <p>Applies to anchor blocks only</p>	
<p>F4</p> <p>F_4 = combination of F_{4u} and F_{4d} $F_{4u} = W_p L_{4u} \sin \alpha$ $F_{4d} = W_p L_{4d} \sin \beta$</p>			<p>F4</p> <p>Component of pipe weight acting down length of pipe. Ignore unless the pipe is heavy and both angles more than 20°. Fig 3.12.4</p> <p>Applies to anchor blocks only</p>	

Σχήμα 5.62 Υπολογισμός δυνάμεων επί των σωμάτων αγκυρώσεως (Πηγή: Harvey et al, 1993)

Forces on anchor and slide blocks		Note 3.12.3 continued
Force (Newtons)	Direction of potential movement of anchor block	Comment
<p>F5</p> $F_5 = E a (T_{hot} - T_{cold}) \pi d t_{wall}$ <p>(As usual all units SI so t_{wall} is in metres).</p> <p>See Table 3.8.2 for values of E and a</p>	<p>Uphill portion Downhill portion</p>	<p>F5</p> <p>When no expansion joints included F_5 is the thermally induced stress restrained by the anchor block.</p> <p>Applies to anchor blocks only</p>
<p>F6</p> $F_6 = d \times 10^4$ <p>Usually insignificant</p>	<p>F_6 directions as F_5</p>	<p>F6</p> <p>Friction in expansion joint. The F_6 force is felt because the joint will resist sliding.</p> <p>Applies to slide blocks only</p>
<p>F7</p> $F_7 = 3 \times 10^4 h_{total} d t_{wall}$ <p>Usually insignificant</p>	<p>F_7 directions as F_9</p>	<p>F7</p> <p>Hydrostatic pressure on exposed ends of pipe within expansion joint</p> <p>Applies to anchor blocks only</p>
<p>F8</p> $F_8 = 2.5 \times 10^3 \left(\frac{Q^2}{d^2} \right) \sin \left(\frac{\beta - \alpha}{2} \right)$ <p>Usually insignificant</p>	<p>F_8 directions as F_3</p>	<p>F8</p> <p>Dynamic pressure at a bend due to change in direction of moving water. Velocities are usually low in penstocks so this force is small.</p> <p>Applies to anchor blocks only</p>
<p>F9</p> $F_9 = h_{total} \times (d_{big}^2 - d_{small}^2) \times 10^4$ <p>Usually insignificant</p>		<p>F9</p> <p>Reduction in pipe diameter from d_{big} to d_{small}</p> <p>Applies to anchor blocks only</p>
<p>W_b</p> $W_b = Vol_{block} \times \rho_{block} \times g$ <p>Note the density of concrete</p> $(\rho_{concrete}) = 2300 \text{ kg/m}^3$ <p>Always calculate W_b</p>		<p>W_b</p> <p>Weight of block.</p> <p>Note that the weight does not necessarily act in the middle</p> <p>Applies to anchor and slide blocks</p>

Σχήμα 5.63 Υπολογισμός δυνάμεων επί των σωμάτων αγκυρώσεως (Πηγή: Harvey et al, 1993)

Το σύνολο των παραδοχών φαίνονται παρακάτω:

(i) Το έδαφος που εδράζεται το μπλοκ αγκύρωσης έχει το εξής προφίλ: 16° προς το οριζόντιο επίπεδο το ανάντη τμήμα, υπό την έννοια πως δεν θα μπορούσε να είναι παραπάνω από 16° λόγω δεξαμενής φόρτισης και από το γεγονός πως ο αγωγός είναι πολύ κοντά στο δάπεδο της δεξαμενής φόρτισης, άρα λογικά και στο έδαφος. Στο κατάντη κομμάτι θεωρήσαμε κλίση ίση με 37° , όπως δηλαδή του αγωγού πτώσης, κλίση που ταιριάζει και με την γεωμετρία των πρανών της περιοχής.

(ii) Το μπλοκ αγκύρωσης όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.41 θεωρήσαμε πως πρέπει να είναι κυβικό με μέγεθος ακμής κύβου $1 - 1,5$ m. Το παραπάνω εκτιμήθηκε οπτικά σε σύγκριση με το μέγεθος ενός μέσου ανθρώπου, όπως εκείνος που φαίνεται στο ίδιο σχήμα.

(iii) Παρά το γεγονός πως δεν ξέρουμε τίποτα για το σημείο εφαρμογής εντός του αγωγού, παρατηρήσαμε πως ο αγωγός στο Σχήμα 5.45 τέμνει την επιφάνεια του μπλοκ ακριβώς στην επάνω οριζόντια ακμή, και από το Σχήμα 5.44 φαίνεται πως ο αγωγός εξέρχεται από το μπλοκ πολύ χαμηλά, λίγο πιο πάνω από το έδαφος. Το τελευταίο είναι και λογικό από το γεγονός πως η επιχωμάτωση κατάντη θα απαιτούσε περισσότερη ποσότητα χώματος. Ακόμα και με αυτά τα δεδομένα, ακόμα δεν ξέρουμε το σημείο αλλαγής της κλίσης για τον αγωγό εντός του μπλοκ. Για ένα πολύ μικρό σώμα αγκύρωσης, για δεδομένες κλίσεις του αγωγού, τα σημεία τοποθέτησης είναι περιορισμένα (πρακτικά για σώμα αγκύρωσης με ακμή κάτω από 90 cm, ο αγωγός δεν χωράει). Αντίθετα για μήκη ακμής πάνω από 1,50 cm οι δυνατότητες μετακίνησης του αγωγού εντός του σώματος αυξάνονται σημαντικά, όποτε για τη συγκεκριμένη διάσταση θα αναλυθούν δύο τύποι. Το σημείο που εξέρχεται ο αγωγός και η γενικότερη γεωμετρία των δυο τύπων προσδιορίζονται γραφικά όπως δείχνει το Σχήμα 5.64 για τον πρώτο τύπο και στο Σχήμα 5.65 για τον δεύτερο τύπο.

(iv) Επειδή ακριβώς δεν γνωρίζουμε τίποτα για μήκη αναφοράς που υπεισέρχονται στον υπολογισμό των δυνάμεων, οφείλουμε να κάνουμε την παραδοχή πως το μπλοκ αγκύρωσης αναλαμβάνει μέχρι και το μισό τμήμα του αγωγού σε κάθε πλευρά, ενώ το υπόλοιπο το αναλαμβάνει είτε η δεξαμενή φόρτισης, είτε το κατάντη μπλοκ. Βεβαίως μια τέτοια παραδοχή φαίνεται παράδοξη (για το λόγο πως ο συνήθης σχεδιασμός των σωμάτων υποστήριξης ενός υπέργειου αγωγού αποτελείται από πυκνή υποστήριξη και όχι μόνο δύο μπλοκ αγκύρωσης, και για το γεγονός πως ένα τμήμα του αγωγού είναι υπογειοποιημένο), παρόλα αυτά στην ιδιόμορφη περίπτωση μας, μπορεί να είναι η σωστή παραδοχή που αποδίδει την πραγματική εντατική

κατάσταση. Εμείς εδώ κάναμε υπολογισμούς για πολλαπλούς πιθανούς συνδυασμούς των μηκών αναφοράς για μια συνολική εκτίμηση της ακραίας θέσης, δηλαδή ακόμα και για διατάξεις υποστήριξης που περιλαμβάνουν πολλά σώματα υποστήριξης, όπου το ανάντη μέρος κυμαίνεται από 5 m έως 9,15 m και το κατάντη μέρος από 5 m έως 19,15 m.

(v) Δεν συμπεριλήφθησαν δυνάμεις οι οποίες έχουν μικρή υπολογιστική συμβολή, ή αφορούν αγωγούς από βαρύτερο υλικό – το δικό μας είναι από PVC.

(vi) Το βάρος του μπλοκ αγκύρωσης υπολογίζεται ως εξής: υπολογίζουμε το βάρος ολόκληρου του όγκου του μπλοκ από σκυρόδεμα, και αφαιρούμε όγκο σκυροδέματος, ίσο με τον όγκο που καταλαμβάνει ο αγωγός εντός του σώματος. Το κέντρο βάρους του μπλοκ αγκύρωσης υπολογίζεται γραφικά

(vii) Το σημείο εφαρμογής των δυνάμεων F_{1u} και F_{1d} δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων αλλά «είναι κάπου κοντά στην μέση του τμήματος του διερχόμενου αγωγού» (Harvey et al, 1993). Ακριβώς πάνω σε αυτήν την ασάφεια, η οποία παίζει μεγάλο ρόλο στον προσδιορισμό της εκκεντρότητας, προσπαθούμε να υπολογίσουμε όλα τα δυνατά σημεία. Για το λόγο αυτό δημιουργήσαμε έναν μικρό σταθερό κάρναβο από πιθανά σημεία, ο οποίος είναι στη μια διάσταση του παράλληλος με τον αγωγό και στην άλλη κάθετος σε αυτόν. Για κάθε σημείο οι δυνάμεις F_{1u} και F_{1d} έχουν διαφορετικούς μοχλοβραχίονες και έτσι αναπτύσσουν διαφορετική εκκεντρότητα στο σώμα αγκύρωσης. Ο κάρναβος φαίνεται στα σχήμα 91.

Οι δυνάμεις υπολογίζονται ως εξής:

$$F_{1u} = (W_p + W_w) \cdot L_{1u} \cdot \cos \alpha \quad (6.21)$$

$$F_{1d} = (W_p + W_w) \cdot L_{1d} \cdot \cos \beta \quad (6.22)$$

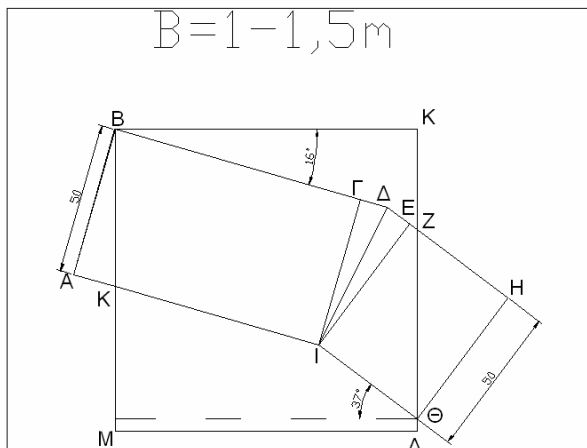
$$F_3 = 15400 \cdot h_{totalz} \cdot d^2 \cdot \sin\left(\frac{\beta - \alpha}{2}\right) \quad (6.23)$$

$$W_p = \pi \cdot d \cdot t_{wall} \cdot \rho_{PVC} \cdot g \quad (6.24)$$

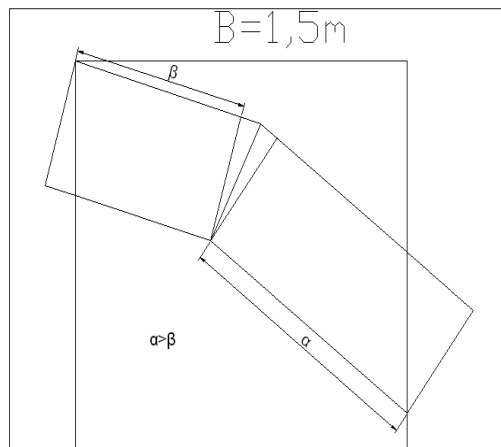
$$W_w = \pi \cdot \left(\frac{d^2}{4}\right) \cdot \rho_{water} \cdot g \quad (6.25)$$

όπου εδώ W_p το βάρος του αγωγού, W_w το βάρος του νερού, L_{1u} το ανάντη μήκος αναφοράς, L_{1d} το κατάντη μήκος αναφοράς, $\alpha = 16^\circ$ η γωνία κλίσης του ανάντη τμήματος, $\beta = 37^\circ$ η γωνία κλίσης του κατάντη τμήματος, $h_{totalz} = 13,31m$ το συνολικό ύψος πίεσης (περιλαμβάνει και τη μεταβολή λόγω υδραυλικού πλήγματος), $d = 0,5m$ η διάμετρος του

αγωγού πτώσης, t_{wall} το πάχος των τοιχωμάτων του αγωγού, $\rho_{PVC} = 1,4 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ και $\rho_{water} = 1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ η πυκνότητα του PVC και του νερού αντίστοιχα.



Σχήμα 5.64 Γεωμετρία μπλοκ 1^{ου} τύπου
(Διαστάσεις ακμής 1 έως 1,5 m)



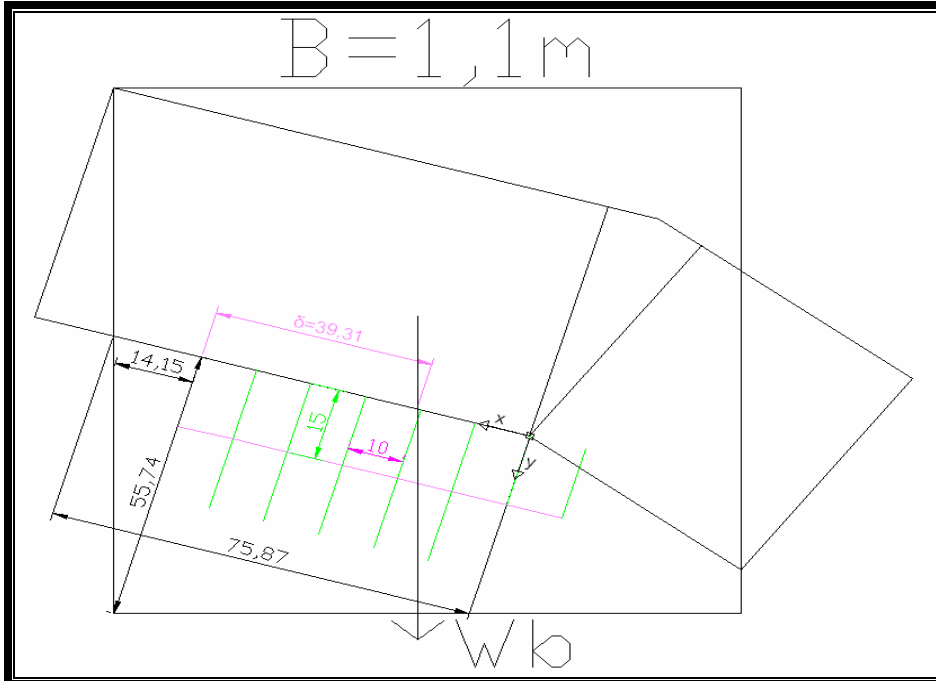
Σχήμα 5.65 Γεωμετρία μπλοκ 2^{ου} τύπου
(Διαστάσεις ακμής 1,5 m)

Από το Σχήμα 5.66 φαίνεται πως μπορούμε να υπολογίσουμε το βάρος W_b . Είναι:

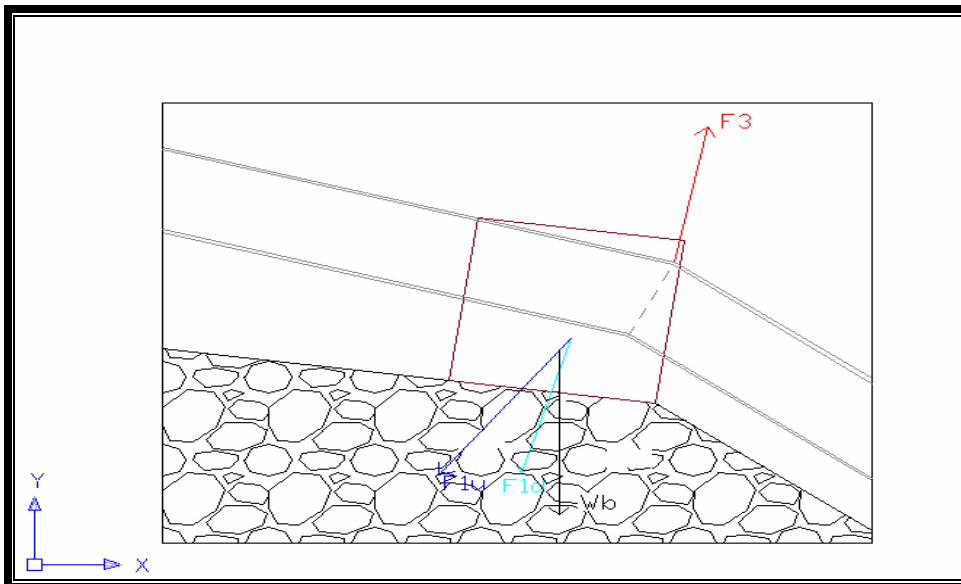
$$W_b = \rho_{concrete} \left[B^3 - \pi \cdot \frac{0,5^2}{4} \cdot \left(\frac{(AI)}{2} + (\Theta I) + \frac{(\Gamma \Delta)}{2} + \frac{(\Delta E)}{2} + (EZ) + \frac{(ZH)}{2} \right) \right] \quad (6.45)$$

όπου εδώ B είναι η διάσταση της ακμής και $\rho_{concrete} = 2,3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ η πυκνότητα του σκυροδέματος. Για όλες τις τιμές της ακμής για τον πρώτο τύπο του μπλοκ τηρήθηκε συμβατικά μικρή προσάυξη του μεγέθους $(\Theta \Lambda)$ κατά 5 cm κάθε φορά. Στα Σχήματα 5.66 και 5.67 φαίνονται ο κάρναβος, οι δρώσες δυνάμεις και οι μογλοβραχίονες τους. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.67, ο κάρναβος είναι λοξός, έχει σύστημα συντεταγμένων που ξεκινάει από την κάτω μεριά της γωνίας του αγωγού και οι οριζόντιες αποστάσεις είναι 10 cm, ενώ οι κατακόρυφες αποστάσεις είναι 15 cm. Η απόσταση δ σε κάθε σώμα αγκύρωσης οποιουδήποτε τύπου, απεικονίζει την απόσταση από το σημείο M (Σχήμα 5.64) που θα είχε το βάρος εάν είχε προσανατολισμό στραμμένο κατά 16° ωρολογιακά από τη θέση που βρίσκεται. Το μέγεθος αυτό βοηθάει για την χοντρική εκτίμηση της «περιοχής του βάρους» όπου υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να ασκούνται οι δυνάμεις F_{1u} και F_{1d} . Από τον κάρναβο υπολογίζονται οι μογλοβραχίονες των παραπάνω δυνάμεων, αναλύοντας την F_{1d} σε δύο συνιστώσες (αλλά όχι

την F_{1u} καθώς είναι παράλληλη στον ένα άξονα). Οι μοχλοβραχίονες του βάρους W_b και της δύναμης της πίεσης F_3 υπολογίζονται γραφικά.



Σχήμα 5.66 Ενδεικτικός Κάνναβος και Βάρος για το σώμα αγκύρωσης με ακμή $1,1\text{ m}$



Σχήμα 5.67 Μπλοκ αγκύρωσης, διερχόμενος αγωγός πτώσης και ασκούμενες δυνάμεις

Παρακάτω δίνονται οι ενδεικτικοί πίνακες υπολογισμών 5.18 και 5.19, και όλα τα αποτελέσματα φαίνονται στο Παράρτημα 8. Οι πίνακες για κάθε σημείο εφαρμογής των δυνάμεων F_{lu} και F_{ld} , για κάθε σώμα αγκύρωσης και για κάθε ζεύγος μήκους αναφοράς καταλήγουν σε ένα αποτέλεσμα το οποίο αναδεικνύει επτά πιθανές εκδοχές: μη αστοχία της αγκύρωσης (ΔA), αστοχία θεμελίου μέσω θραύση εδάφους (Θ), αστοχία μέσω ολίσθησης θεμελίου (T), αστοχία θεμελίου μέσω ανατροπής του (A), είτε αστοχία ως συνδυασμένος παράγοντας εμφάνισης μερικών ή όλων των παραπάνω, δηλαδή ($A\Theta$), (ΘT), (AT) και ($A\Theta T$).

Πίνακας 5.18 Παράδειγμα υπολογισμού για $B = 1,5\beta$ και συγκεκριμένα μήκη αγωγού

Δυνάμεις (N)			ΣF_x	ΣF_y	B (m)		
Wp	252,29	F1u	4833,272	16855	Wb	69712,6	1,5β
Ww	1741,31	F1d	18349,35	24350	Warm	72,87	
Wtot	1993,61	F3	1538,449	8300			
Lu	9,15	Μήκη Αγωγού (m)			ΣF_x	21644,2	
Ld	19,15				ΣF_y	32905,3	
F1u	17534,9	F1dx'	10926,649	μ	0,6577		
F1d	30490,03	F1dy'	28464,894	q_u	42740,46		
F3	8442,094						
x/y	0	0,15	0,3	x/y	0	0,15	0,3
0,1	40340,1	41979,1	43618,14	0,1	0,3568	0,340	0,324
0,2	44940,1	46579,1	48218,12	0,2	0,31206332	0,296091467	0,280
0,3	49540,1	51179,1	52818,1	0,3	0,267	0,251	0,235
0,4	54140,1	55779,1	57418,08	0,4	0,222	0,206	0,190
0,4662	57185,27	58824,27	60463,2	0,4662	0,1921	0,17671	0,16079
0,5	58740,1	60379,1	62018,1	0,5	0,17	0,161	0,14
0,6	63340	64979	66618,04	0,6	0,133	0,116	0,101
0,7	67940	69579	71218	0,7	0,0879	0,0719	0,0559
Συνολικές Ροπές ΣΜ (N·m)				Εκκεντρότητα e (m)			
x/y	0	0,15	0,3	x/y	0	0,15	0,3
0,1	110715,9	107802,2	104888,4	0,1	ΔA	ΔA	ΔA
0,2	102538,2	99624,43	96710,65	0,2	ΔA	ΔA	ΔA
0,3	94360,46	91446,69	88532,91	0,3	ΔA	ΔA	ΔA
0,4	86182,72	83268,95	80355,17	0,4	ΔA	ΔA	ΔA
0,4662	80769,05	77855,28	74941,51	0,4662	ΔA	ΔA	ΔA
0,5	78004,98	75091,21	72177,43	0,5	ΔA	ΔA	ΔA
0,6	69827,24	66913,46	63999,69	0,6	ΔA	ΔA	ΔA
0,7	61649,5	58735,72	55821,95	0,7	ΔA	ΔA	ΔA
Συνολική Κατακόρυφη Δύναμη P (N)				Αποτελέσματα για κάθε σημείο			

Τέλος παρουσιάζεται και η περίπτωση (ΔO) που οι δυνάμεις του αγωγού δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα σημείο του κάρναβου, όταν είναι εκτός σώματος.

Πίνακας 5.19 Στοιχεία υπολογισμών δυνάμεων W_b και F_3

Ακμή B (cm)	100	110	120	130	140	150α	150β
Wb (N)	17754,8	24720,8	33174,2	42841,8	54639,3	66760,2	69712,6
Κέντρο Βάρους	51,88	56,84	61,80	66,77	71,86	76,82	77,13
Warm	48,11	53,15	58,19	63,22	68,13	73,18	72,87
F3arm	0,754	0,786	0,799	0,856	0,865	0,897	0,564
δ	0,3891	0,3931	0,418	0,4427	0,4662	0,4912	0,4912

Εδώ θα δώσουμε τέλος κάποιους τελευταίους τύπους από τους υπολογισμούς μας:

(i) ο συντελεστής μ είναι ο συντελεστής της τριβής και είναι ίσος με $\mu = \Sigma F_x / \Sigma F_y$. Για την θεώρηση επικινδυνότητας αστοχίας από ολίσθηση θα πρέπει να ισχύει $\mu \geq 0,5$.

(ii) η εκκεντρότητα e υπολογίζεται ως προς το κέντρο βάρους και προκύπτει ως $e = (B/2) - (\Sigma M / \Sigma F_y)$ και μπορεί να αναπτυχθεί εκατέρωθεν του κέντρου βάρους. Για την θεώρηση επικινδυνότητας αστοχίας από ανατροπή του σώματος αγκύρωσης θα πρέπει να ισχύει $e \geq B/6$ (Harvey et al, 1993).

(iii) η συνολική κατακόρυφη δύναμη P δεν πρέπει να ξεπερνάει την φέρουσα ικανότητα του εδάφους P_{soil} ή με άλλους όρους, την πίεση αστοχίας για το σώμα αγκύρωσης q_u (που λειτουργεί σαν θεμέλιο). Για φορτία με εκκεντρότητα αυτό σημαίνει πως (Harvey et al, 1993):

$$P = \frac{\Sigma F_y}{B^2} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e}{B} \right), \text{ \acute{\alpha}\rho\alpha } P \leq P_{soil} \text{ \acute{\eta} } P \leq q_u \quad (6.55)$$

Εδώ δεν έχουμε ακριβή εικόνα για το μέγεθος της φέρουσας ικανότητας της επάνω εδαφικής στρώσης. Κατά κάποιους αναλυτές, το αμμώδες έδαφος μπορεί να θεωρηθεί πως έχει αντοχή από 200 000 μέχρι 320 000 N/m² (Harvey et al, 1993), κάτι που στην περίπτωση των εδαφών μας φαντάζει υπερβολικό. Για αυτόν το λόγο θεωρήσαμε το σώμα αγκύρωσης πως εμπίπτει στην κατηγορία του αβαθούς ορθογωνικού θεμελίου κοντά σε πρανές. Το μέγιστο φορτίο που μπορεί να αναλάβει ένα θεμέλιο πριν αστοχήσει ονομάζεται φορτίο αστοχίας ή οριακό φορτίο Q_u και η αντίστοιχη πίεση στη βάση του θεμελίου ονομάζεται πίεση αστοχίας ή οριακή πίεση q_u (Καββαδάς, 2007α). Πιο συγκεκριμένα η μελέτη μας πάνω στις θεμελιώσεις τεχνικών έργων

έχει ως απαρχή τις μεθόδους του Ευρωκώδικα EC – 7 και τις οδηγίες του κανονισμού DIN 4017, όπου στην περίπτωση έδρασης πεδίων κοντά σε πρανές εισάγεται επιπλέον στους υπολογισμούς μας η επιρροή (μείωση) του πρανούς στη φυσική ικανότητα του πεδίου εάν η απόσταση του πεδίου από το πρανές είναι μικρότερη από το εύρος της ζώνης αστοχίας L_f , όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.68.

Φέρουσα Ικανότητα Επιφανειακών Θεμελιώσεων (Πεδίων)

Επιρροή της γεινίασης με πρανές στην φέρουσα ικανότητα

$L = b + \frac{D}{\tan \beta}$

$L_f =$ εύρος της ζώνης αστοχίας
 $L =$ απόσταση του πεδίου από το πρανές

$$p_u = cN_c b_c s_c i_c g_c + (q + \gamma D)N_q b_q s_q i_q g_q + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma g_\gamma$$

Σχήμα 5.68 Φέρουσα ικανότητα επιφανειακών Θεμελιώσεων (Πηγή: Καββαδάς, 2007β)

Ο τύπος της οριακής πίεσης φαίνεται και στο σχήμα 007 (Καββαδάς, 2007β):

$$q_u = cN_c b_c s_c i_c g_c + (q + \gamma D)N_q b_q s_q i_q g_q + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma g_\gamma \quad (6.56)$$

όπου εμφανίζονται οι συντελεστές φέρουσας ικανότητας N_q , N_c και N_γ , οι συντελεστές λοξότητας βάσης πεδίου, b_q , b_c και b_γ , οι συντελεστές σχήματος πεδίου s_q , s_c και s_γ οι συντελεστές απόκλισης φορτίου από την κατακόρυφη i_q , i_c και i_γ καθώς και οι συντελεστές κλίσης πρανού g_q , g_c και g_γ . Στην περίπτωση μας οι δύο πρώτοι όροι είναι μηδενικοί εφόσον πρόκειται για αμμώδες έδαφος, δηλαδή χωρίς συνοχή ($c = 0$) και στην περίπτωση μας δεν

έχουμε επιφανειακή έδραση και έχουμε μηδενική επιφόρτιση πέραν του ίδιου του σώματος αγκύρωσης. Οι υπόλοιποι όροι υπολογίζονται ως εξής:

(i) $N_\gamma = 45,228$ για γωνία εσωτερικής τριβής του πρανούς 35° (Καββαδάς, 2007β)

(ii) $\gamma = 20 \text{ kN} / \text{m}^3$ όπως τονίστηκε στο κεφάλαιο 5.1

(iii) $b_\gamma = 1$ αφού το μπλοκ αγκύρωσης εν σχέση με το έδαφος δεν είναι λοξό

(iv) $i_\gamma = 1$ λόγω κατακόρυφων φορτίων

(v) $s_\gamma = 1$ ως συντηρητική προσέγγιση, χωρίς να προσμετράται η εκκεντρότητα

(vi) $g_\gamma = 0,09$ που υπολογίζεται ως $g_\gamma = \left(1 - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{L}{L_f}\right) \tan \beta\right)^5$ (ισχύει για $L > L_f$),

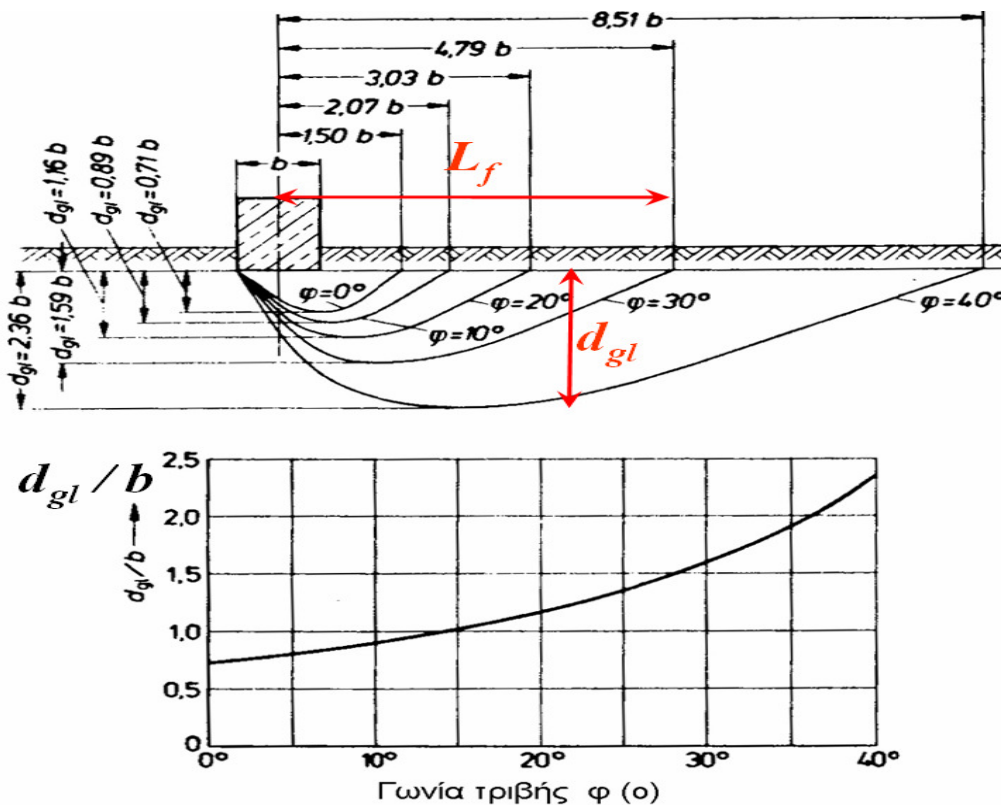
όπου εδώ για $\beta = 37^\circ$ θεωρήσαμε την γωνία του πρανούς στο κατάντη μέρος.

Από τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανάλυση αυτή και φαίνονται στο Παράρτημα 8, προκύπτει πως για ένα δείγμα 15 120 διαφορετικών προφίλ του μπλοκ αγκύρωσης, του αγωγού πτώσης και των δυνάμεων του, μόνο το 1,25% αποφεύγει τον κίνδυνο αστοχίας. Για την ακρίβεια όλες οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρουσιάζουν θραύση και στα πιο ακραία σημεία του καννάβου, υπάρχει και το φαινόμενο της μεγάλης εκκεντρότητας και της ανατροπής. Η δε σύγκριση του πρώτου τύπου και του δεύτερου για το μπλοκ της ακμής του 1,5 m, δείχνει πως ο δεύτερος τύπος είναι πιο ευεπίφορος για προστασία της κατασκευής. Τέλος, εδώ φαίνεται πως ο συντελεστής g_γ παίζει καταλυτικό ρόλο: η συμβολή του χαμηλώνει υπερβολικά το όριο της φέρουσας ικανότητας του εδάφους, ώστε εάν το σώμα αφαιρεθεί από την ζώνη αστοχίας, να υπάρχουν ικανές διαστάσεις σώματος από σκυρόδεμα που δεν θα επιτρέπουν ούτε θραύση εδάφους, ούτε ανατροπή του μπλοκ. Συνεπώς ο αγωγός θα πρέπει να αποφύγει την υπεργειοποίηση του εντός της ζώνης αστοχίας και να εξεταστούν λύσεις όπου ο αγωγός υπογειοποιείται εντός αυτού του διαστήματος. Οι διάφοροι συνδυασμοί που υπολογίστηκαν για τα μήκη αναφοράς είναι χρήσιμοι σε διατάξεις με παρουσία πληθώρας μπλοκ αγκύρωσης. Συνεπώς πρέπει να προταθεί και αυτή η λύση.

Όλα τα παραπάνω συντείνουν πως το μπλοκ αγκύρωσης, η φτωχή ποιότητα του εδάφους σε συνδυασμό με την ακραία τοποθέτηση του μπλοκ αλλά και την μοναχικότητα της παρουσίας του προς την υποστήριξη του αγωγού πτώσης, επιδεινώνουν την κακή λειτουργία της όλης κατασκευής σε φάση υδραυλικού πλήγματος. Άρα πέρα από το υδραυλικό πρόβλημα, θα πρέπει

να λυθεί ξανά το πρόβλημα της χάραξης. Η ζώνη αστοχίας συσχετίζεται όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.69 με την εσωτερική γωνία τριβής του πρανούς. Εδώ έχουμε $\phi = 35^\circ$, άρα έχουμε $L_f \approx 5,77 \cdot B \approx 6 \cdot B = 9 \text{ m}$, όπου εδώ υποτέθηκε σώμα αγκύρωσης $B = 1,5 \text{ m}$.

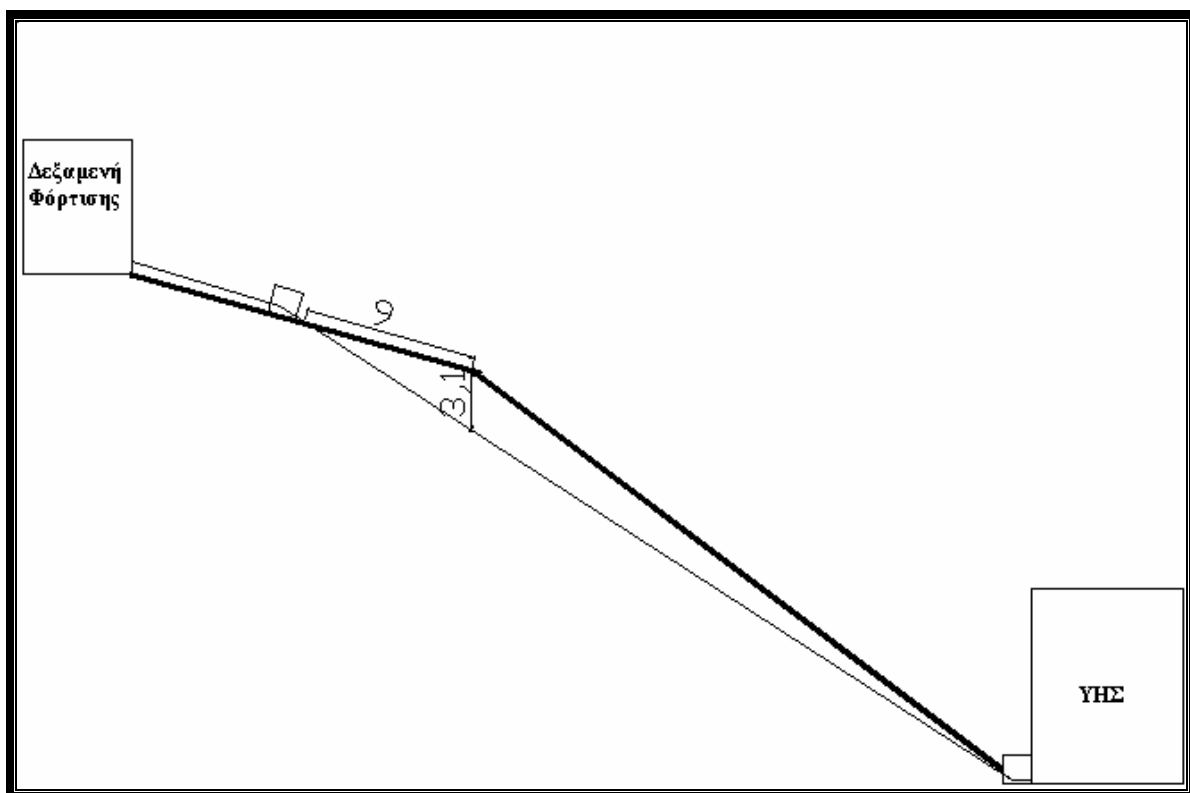
Εδώ πρέπει να προσθέσουμε πως για το έδαφος δεν πήραμε υπόψη μας στοιχεία για τα οποία δεν έχουμε δεδομένα, όπως το που μπορεί να φτάνει η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (που φαίνεται να είναι ψηλά αφού το πρανές του αγωγού είναι παραρεμάτιο), τις διαδικασίες διήθησης του νερού εντός του εδάφους, το πόσο το νερό είτε από τη βροχή, είτε από διαρροή του αγωγού πτώσης επηρεάζει την ευστάθεια της κατασκευής ή της ευστάθεια των ανώτερων στρώσεων του εδάφους κλπ.



Σχήμα 5.69 Συσχέτιση μεταξύ ζώνης αστοχίας L_f και γωνίας τριβής ϕ (Πηγή: Καββαδάς, 2007β)

Με γρήγορους υπολογισμούς αποδεικνύεται πολύ εύκολα να αποδειχθεί πως για $g_y = 1$, δηλαδή για περιοχές μακριά από τη ζώνη ευστάθειας, δεν υπάρχει κίνδυνος αστοχίας για μπλοκ διαστάσεων που μελετήσαμε. Αυτό σημαίνει πως ο αγωγός για μια εκσκαφή βάθους 3,1 m

μετρούμενο από την γωνία αλλαγής του πρανούς, αγνοεί τη ζώνη αστοχίας εκατέρωθεν όπως δείχνει το Σχήμα 5.70. Τα παρακάτω φαίνονται χωρίς περαιτέρω ιδιαίτερους υπολογισμούς για την διάσταση του μπλοκ αγκύρωσης, παρά το γεγονός πως θα πρέπει να επαναδιαστασιοποιηθεί το μπλοκ καθώς το έδαφος είναι γενικώς επίφοβο. Για τον σκοπό αυτό θα πρέπει να μελετηθεί η φέρουσα ικανότητα του εδάφους με την συνυπολόγιση των διαβρωτικών φαινομένων και του υδροφόρου ορίζοντα. Σημειωτέον πως η παρακάτω διάταξη αγνοεί παντελώς την επιχωμάτωση στα κατάντη του πρανούς κοντά στον ΥΗΣ.



Σχήμα 5.70 Ασφαλής τοποθέτηση αγωγού και μετακινημένο σώμα αγκύρωσης

5.6 Ερμηνεία αποτελεσμάτων και προβολή πιθανών λύσεων

Εξετάσαμε προηγουμένως την υδραυλική λειτουργία του αγωγού τροφοδοσίας, της δεξαμενής φόρτισης, του αγωγού πτώσης, εξετάσαμε την τεχνική λειτουργία του εξαμμοτή όσον αφορά τις διαδικασίες κατακάθισης των φερτών και έκπλυσης του, και αναλύσαμε τον ρόλο του σώματος αγκύρωσης στην επιδείνωση της συμπεριφοράς του αγωγού πτώσης. Όπως είδαμε ο

δεύτερος αγωγός δεν παρουσίασε φαινόμενα θραύσης αλλά είχε προοδευτική αποκόλληση από το σώμα αγκύρωσης και διαρροή φορτίου, συμπεριφορά υποκινούμενη από υψηλή υδροδυναμική πίεση. Αντιθέτως ο πρώτος αγωγός δείχνει εμφανή σημάδια αστοχίας λόγω υδραυλικού πλήγματος. Συνεπώς μπορούμε να πούμε τα παρακάτω:

α) το όλο σύστημα υδραυλικής λειτουργίας υπό συνήθεις και ομαλές συνθήκες σχεδιασμού δεν παρουσιάζει προβλήματα σε κανένα σημείο.

β) ο αγωγός τροφοδοσίας λειτουργεί αρμονικά μαζί με την δεξαμενή φόρτισης, η οποία δεν υπερχειλίζει σε καμία περίπτωση.

γ) ο αγωγός πτώσης υπόκειται σε υψηλές υδραυλικές πιέσεις, δονήσεις και αιφνίδιες κινήσεις λόγω ακαριαίων μεταβολών στη ροή και λόγω της μη επιχωμάτωσης του.

δ) ο εξαμωτής δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα στην διαδικασία της εξάμωσης

ε) το σώμα αγκύρωσης έχει σημαντικά προβλήματα ευστάθειας και υποστήριξης του αγωγού υπό την παρουσία υπερπιέσεων στον αγωγό.

Το υδραυλικό πλήγμα θα πρέπει να ειδοθεί τόσο από την πλευρά της στιγμιαίας απόρριψης φορτίου λόγω αντικανονικών λειτουργιών ή χειρισμών (ανθρώπινη επέμβαση, μηχανικό σφάλμα, ηλεκτρικό σφάλμα στο δίκτυο κλπ) ή οποιαδήποτε ενέργειας που προκαλεί εσπευσμένη διακοπή, αλλά και τόσο από την πλευρά των αυξομειώσεων της παροχής ή της ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος από το αυτόνομο ηλεκτρικό δίκτυο. Στην τελευταία κατηγορία πρέπει να καταλάβουμε πως ο ρυθμιστής στροφών επενεργεί παρακολουθώντας τόσο την παροχή του υδατορεύματος όσο και την κατανάλωση με τον ίδιο τρόπο, δηλαδή τείνει να κλείσει (ή κλείνει εντελώς) τα περύγια της ρυθμιστικής στεφάνης στις τέσσερις εξής περιπτώσεις:

α) και στην περίπτωση της υψηλότερης υπάρχουσας παροχής του υδατόρευματος για σταθεροποίηση της συχνότητας του ηλεκτρικού δικτύου (π.χ. λόγω μικρών αιφνίδιων πλημμυρικών επεισοδίων που μεγεθύνουν την παροχή από την παροχή σχεδιασμού),

β) και στην περίπτωση της χαμηλής ημερήσιας παροχής όπου ο βαθμός απόδοσης του υδροστρόβιλου Francis πέφτει κάτω από ένα ανεκτό όριο λειτουργίας (πρακτικά για η' κάτω από 40%), όπου και γίνεται απόρριψη ημερησίου φορτίου

γ) και στην περίπτωση της μελλοντικής χαμηλότερης ζήτησης (στο πλαίσιο μελέτης της ωριαίας διακύμανσης στη διάρκεια μιας ημέρας) έναντι της υπάρχουσας υψηλότερης προσφοράς της ηλεκτρικής ισχύος εν γένει (μην ξεχνάμε πως το έργο είναι υπερδιαστασιοποιημένο)

δ) και στην περίπτωση της μηδένισης της ζήτησης του ηλεκτρικού δικτύου – η περίπτωση αυτή είναι προφανώς ακραία υποπερίπτωση της παραπάνω περίπτωσης, αλλά την αναφέρουμε ξεχωριστά, καθώς περιγράφει το δίκτυο μιας αφρικάνικης απομονωμένης περιοχής με μηδαμινές ηλεκτρικές καταναλώσεις λόγω απλοϊκών ηλεκτρικών αναγκών.

Σύμφωνα με τα παραπάνω η πρώτη και η τρίτη περίπτωση είναι ενδιάμεσες καταστάσεις που τείνουν να κλείσουν τα πτερύγια, όχι όμως εντελώς, παρόλα αυτά είναι ικανές να προκαλέσουν μεταβατικά φαινόμενα. Πιο σίγουρα συμπεράσματα μπορούν να ειπωθούν για την δεύτερη και την τέταρτη περίπτωση όπου οι καταστάσεις είναι ακραίες και προκαλούν πλήρη κλείσιμο των πτερυγίων και έντονα μεταβατικά φαινόμενα. Παρατηρούμε επίσης πως για την παροχή του υδατορεύματος, δηλαδή στην πρώτη και στην δεύτερη περίπτωση, θεωρήσαμε μικρή έως μηδενική μεταβλητότητα εντός του πλαισίου μιας ημέρας, ενώ αντίθετα στην τρίτη ή στην τέταρτη περίπτωση, η ηλεκτρική ζήτηση μπορεί να μεταβληθεί έντονα εντός της ημέρας και παρακολουθείται από τον ρυθμιστή στροφών σε ωριαίο διάστημα.

Οι παραπάνω τέσσερις περιπτώσεις μαζί με τις ιδιαίτερες περιπτώσεις απόρριψης φορτίου με αντικανονική λειτουργία ή χειρισμό ή οποιαδήποτε ενέργεια που προκαλεί εσπευσμένη διακοπή περικλείουν όλο το φάσμα των δυνατοτήτων εμφάνισης υδραυλικού πλήγματος. Οι τέσσερις παραπάνω κατηγορίες έχουν ως κοινή αναφορά τον λάθος σχεδιασμό για το έργο (και του αγωγού πτώσης, του δικτύου, και του υδροστρόβιλου), την συστηματικότητα της εμφάνισης του φαινομένου και την προοδευτικότητα της επιδείνωσης της κατάστασης του αγωγού μέσω δονήσεων και ταλαντώσεων που μεταδίδονται στο σώμα αγκύρωσης, και για αυτόν το λόγο θα τις συσχετίσουμε με την αποτυχία του δεύτερου αγωγού πτώσης, μετά την αντικατάσταση του. Σημειώνεται πως σε αυτές τις περιπτώσεις υπονοούμε «ομαλές» συνθήκες κλεισίματος της βάνας και του κλείστρου, άρα αργή διακοπή της ροής. Αντίθετα οι αντικανονικές περιπτώσεις έχουν ως κοινή αναφορά τη στιγμιαία διακοπή της ροής άρα και το δυσμενέστερο τύπο υδραυλικού πλήγματος, την τυχαιότητα του συμβάντος, και συσχετίζονται με αιφνίδια θραύση του αγωγού, και για το λόγο αυτό θα τις συσχετίσουμε με την θραύση του πρώτου αγωγού πτώσης. Σημειώνεται πως σε αυτές τις περιπτώσεις υπονοούμε «ανώμαλες» συνθήκες κλεισίματος της βάνας και του κλείστρου, άρα όχι κανονική διακοπή της ροής.

Θεωρώντας ισχύουσες όλες τις προϋποθέσεις στις προηγούμενες ενότητες, και μελετώντας τον δεύτερο αγωγό πτώσης μετά την εγκατάσταση, τον εξετάζουμε όπως προαναφέρθηκε πως συνδέεται με τις τέσσερις περιπτώσεις υδραυλικού πλήγματος που δεν ισχύει η απόρριψη

φορτίου από την βάνα ή του κλείστρου και κάποια παρόμοια αντικανονική λειτουργία η χειρισμό. Έτσι μπορούμε να θεωρήσουμε ότι:

α) το πάχος του αγωγού είναι θεωρητικά κατάλληλο να αντέχει τις καταπονήσεις που προκαλούνται από φαινόμενα αργής μεταβολής της ροής,

β) οι συνεχείς αλλαγές στη λειτουργία του στροβίλου καταπονούν συνεχώς τον αγωγό με υπερπίεση,

γ) η δεξαμενή φόρτωσης είναι αρκετά μεγάλη ώστε να ενεργεί ως δεξαμενή ηρεμίας για το αμβλύνει την υπερπίεσης που προκαλείται χωρίς να επιτρέπει την είσοδο του αέρα μέσα στο σωλήνα,

δ) η αναρρόφηση των αντλιών δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την είσοδο του νερού εντός του αγωγού πτώσης που απαιτείται για την τουρμπίνα,

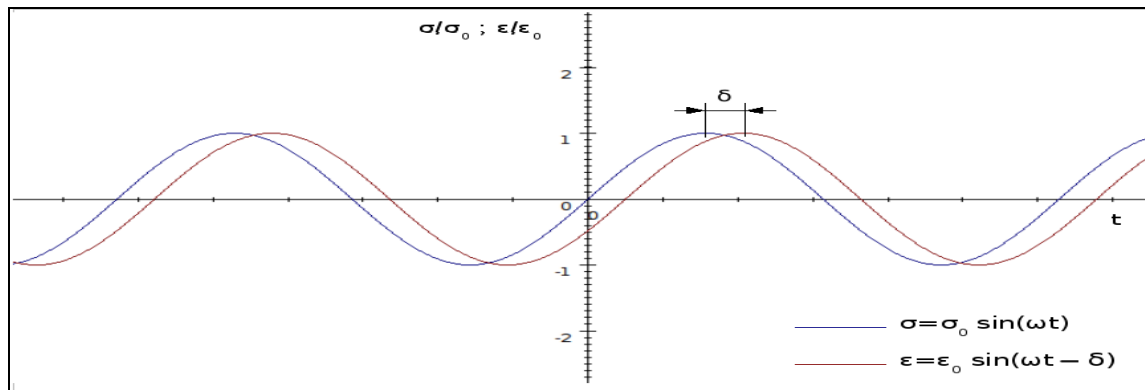
ε) η επιφάνεια επίχωσης του αγωγού δεν είναι πανταχού παρούσα κατά μήκος του,

ζ) η θέση του μπλοκ αγκυρώσεως δεν είναι κατάλληλη,

μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο σωλήνας ο οποίος δρα ως αγωγός πτώσης έχει υποστεί αστοχία από κόπωση.

Η κόπωση είναι ένα μηχανικό φαινόμενο, με την οποία ένα υλικό που υποβάλλεται σε μεταβαλλόμενης χρονικής διάρκειας φορτία (σε κανονικό ή τυχαίο "κυκλικό τεστ φορτίσεως") αστοχεί σε θραύση παρά το γεγονός ότι η μέγιστη ένταση των εν λόγω φορτίων είναι σημαντικά μικρότερη από εκείνη της δοκιμής ρήξης ή του δοκιμής θραύσης (static yield stress test) του ίδιου του υλικού.

Για πολυμερικά υλικά (τέτοια όπως χλωριούχο πολυβινύλιο), το φαινόμενο της κόπωσης περιπλέκεται από την ιξωδοελαστική τους φύση. Η εξάρτηση χρόνου της απόκρισης του υλικού από την άποψη της παραμόρφωσης σε μια εφαρμοζόμενη δύναμη έχει ως αποτέλεσμα, να υποβάλλεται το υλικό σε μια κυκλική ημιτονοειδής μεταβλητή φόρτιση, με μόνιμο τρόπο, που οδηγεί ένα πολυμερές υλικό να παρουσιάσει μία υστέρηση φάσης "δέλτα" μεταξύ της τάσης των εφαρμοζόμενων προσπαθειών και της παραμόρφωσης. Το μέγεθος αυτής της υστέρησης εξαρτάται από το αν η συμπεριφορά είναι μάλλον ελαστική παρά ιξώδη: σε ακραίες περιπτώσεις, η μετατόπιση φάσης είναι μηδέν (τέλεια ελαστική συμπεριφορά) ή ίση με ένα τέταρτο της περιόδου (απόλυτα ιξώδες συμπεριφορά). (Σχήμα 5.71)



Σχήμα 5.71 Χρονική διακύμανση της τάσης και της παραμόρφωσης σε ένα ιξωδοελαστικό υλικό που φορτίζεται κυκλικά (Politecnico di Bari, 2009)

Αυτή η διαφορά φάσης σημαίνει, για κάθε κύκλο καταπόνησης, το υλικό απελευθερώνει ενέργεια λόγω ιξωδοελαστικής υστέρησης: αυτή η ενέργεια διασκορπίζεται σαν θερμότητα, η οποία μπορεί ακόμη να είναι σημαντική και να φέρει το πολυμερές, τοπικά, σε σημείο να ξεπεράσει το σημείο της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης. Η έναρξη των θερμικών φαινομένων αυτής της οντότητας μετακινεί το όλο πρόβλημα από την σφαίρα της καθαρά μηχανικής κόπωσης σε εκείνη των θερμικών φαινομένων: το υλικό θερμαίνεται όλο και περισσότερο και διαρρέει από ερπυσμό, ή τοπική χαλάρωση, αντί κόπωσης. Στην περίπτωση αυτή μιλάμε για θερμική διάσπαση λόγω κόπωσης. Εάν, αντιθέτως, ο βρόχος υστερήσεως είναι επαρκώς μειωμένος ή το υλικό έχει θερμικές ιδιότητες όπως να μπορέσει να απαγάγει τη θερμότητα που παράγεται με σταθερό τρόπο (όπως στην περίπτωσή μας), φτάνοντας σε θερμοκρασία ισορροπίας που δεν είναι πολύ υψηλή, τότε πρόκειται να επικρατήσει είναι η μηχανική πτυχή του φαινομένου, και πρόκειται για μηχανική βλάβη λόγω κόπωσης.

Στην πράξη, οι συνεχείς δονήσεις που προκαλούνται από τις συνεχείς κύκλους ανοίγματος-κλεισίματος του διανομέα του στροβίλου, είτε λόγω χαμηλού φορτίου (ο ποταμός δίνει παροχή προς εκμετάλλευση κοντά στο 50% - 480 l/s - της μέγιστης εκμεταλλευτικής δυνατότητας του υδροστροβίλου που δίνει ο κατασκευαστής - 900 l/s - πολύ κοντά στο 40% που αναφέραμε παραπάνω) και ασυνεχούς ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια (μικρές καταναλώσεις και πιθανώς ασυνεχείς), καθώς και το γεγονός πως αυτές οι αρρυθμίες συστηματικά συμβαίνουν, σημαίνουν εξαναγκασμό σε μικρότερο χρόνο ανταπόκρισης του υδραυλικού συστήματος, έχουν εξασφαλίσει ότι η σωλήνωση ήταν συνεχώς καταπονούμενη. Εξάλλου, το γεγονός ότι ο αγωγός περιορίζεται μόνο σε λίγα σημεία, δηλαδή στα μπλοκ αγκύρωσης και στο μικρό τμήμα που είναι

καλυμμένο, σημαίνει ότι έχει ενεργοποιηθεί ένας μηχανισμός προσομοίωσης με πακτωμένο πρόβολο – όπου η πάκτωση επάγει πως η επακόλουθη συσσώρευση της έντασης είναι στα πιο άκαμπτο σημεία, για την ακρίβεια, κοντά στα μπλοκ που ο αγωγός έχει υποστεί ζημιά.

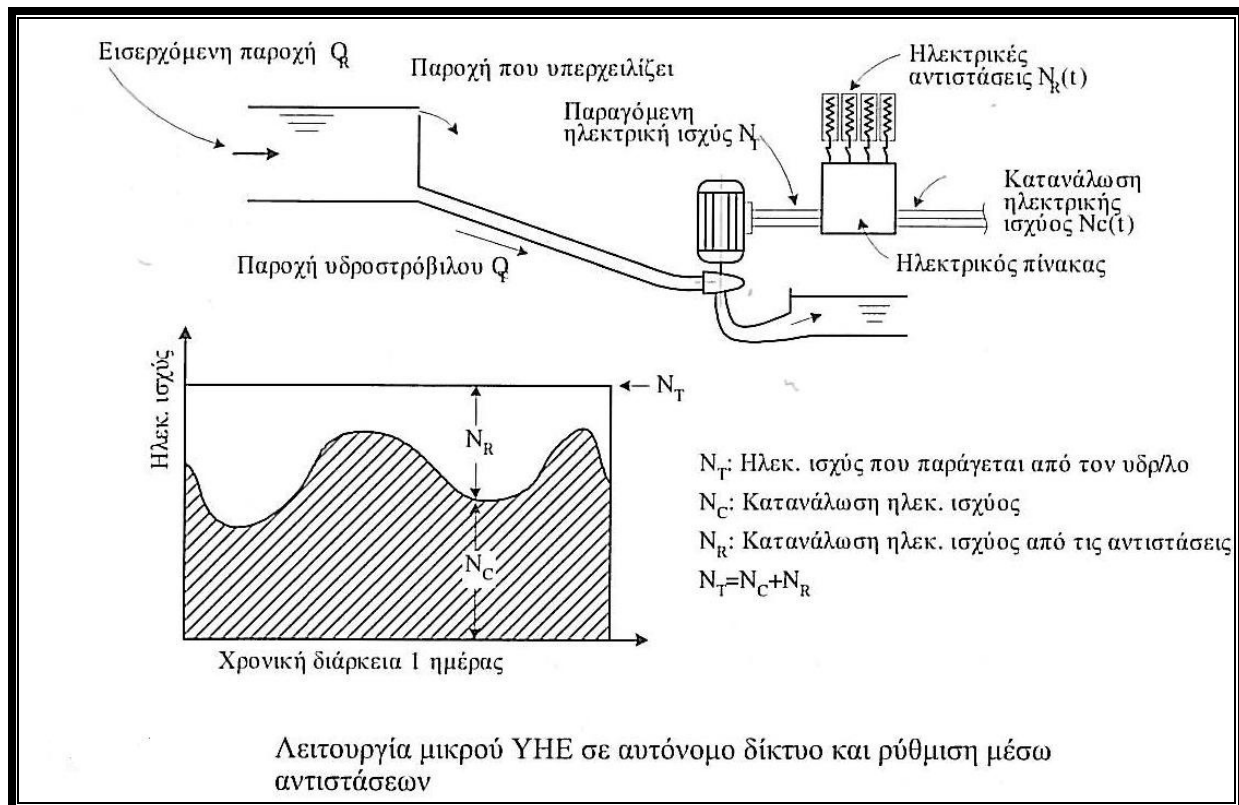
Έτσι, είναι σαφές πως για την περίπτωση αυτή, ο υδραυλικός σχεδιασμός θα πρέπει να διορθωθεί σε σχέση με την επιλογή της σωστής χάραξης, την διάταξη του μπλοκ αγκύρωσης, την κατασκευή της επιφάνειας επίχωσης του αγωγού και το μέγεθος του στροβίλου (υπερμεγέθης σε σχέση με τις ανάγκες του έργου).

Ως εκ τούτου είναι δυνατόν να δηλώσουμε ότι, προκειμένου να καταστεί δυνατή η σωστή λειτουργία της μονάδας πρέπει να κάνουμε τις ακόλουθες αλλαγές: (α) υιοθέτηση ελαστικών συνδέσμων, (β) εισαγωγή ηλεκτρικών αντιστάσεων ή αγωγού by – pass με βάνα, (γ) τροποποίηση υψομετρικής διαδρομής, (δ) αλλαγή μεγέθους στα μπλοκ αγκύρωσης για να αποφύγουμε την καθίζηση του εδάφους, (ε) φύτευση-αναδάσωση της πλαγιάς.

Πιο αναλυτικά βλέπουμε:

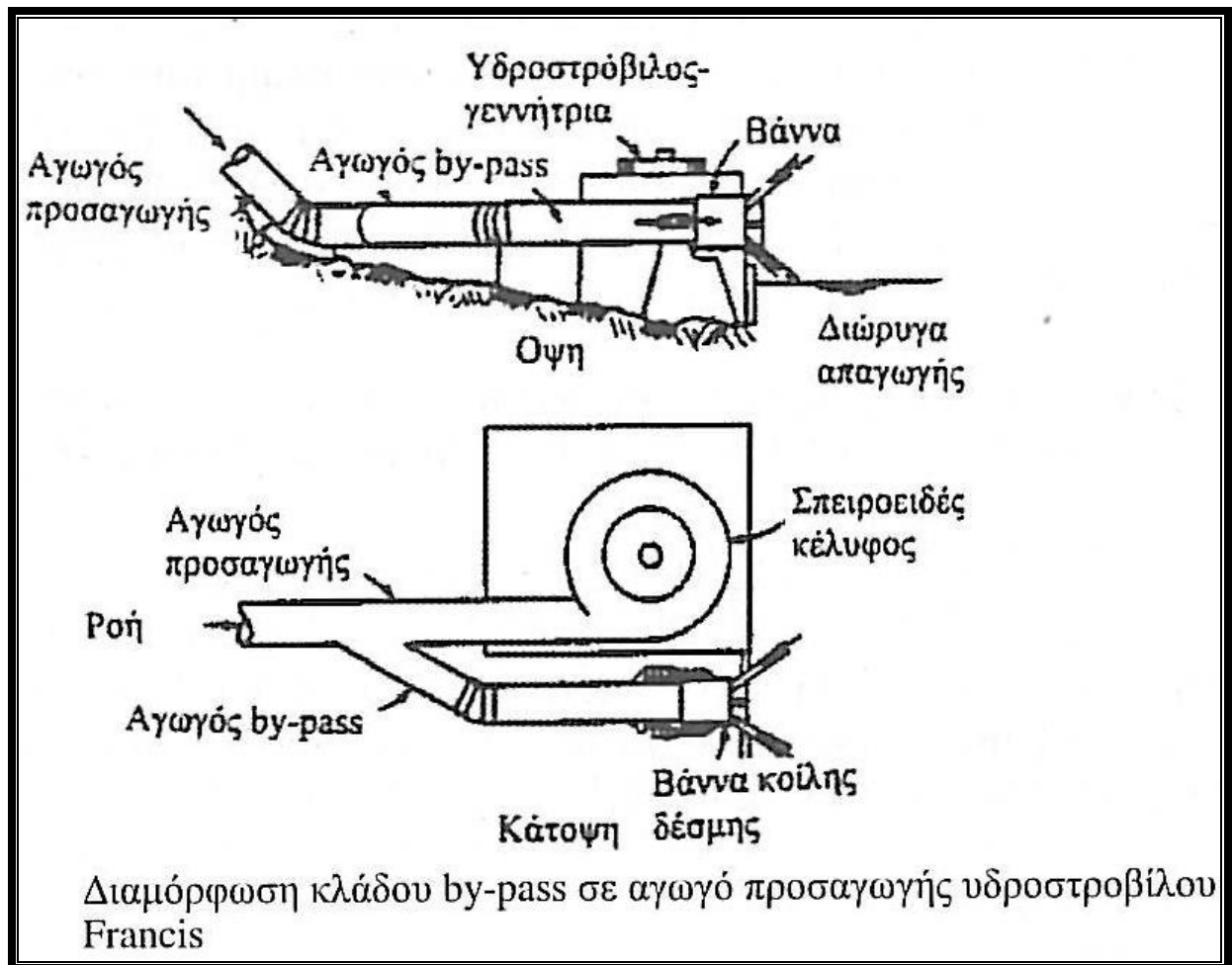
(α) υιοθέτηση ελαστικών συνδέσμων. Η υιοθέτηση ελαστικών συνδέσμων είναι απαραίτητη για να επιτρέψει στο σωλήνα να απελευθερώνει καλύτερα τους κραδασμούς που προκαλούνται από τις διακυμάνσεις της λειτουργίας του στροβίλου, έτσι ώστε να επιτρέπουν περιστροφές στρέψης και κάμψης που δεν επιφορτίζουν υπερβολικά τον αγωγό μειώνοντας τις τάσεις που προκαλούνται στο σύστημα.

(β) ηλεκτρικές αντιστάσεις ή αγωγός by – pass με βάνα. Στην περίπτωση ενός αυτόνομου δικτύου μικρής ισχύος η ευστάθεια του συστήματος μπορεί να βελτιωθεί εάν παράλληλα με το κύριο φορτίο συνδεθεί ένα ρυθμιζόμενο φορτίο το οποίο μπορεί να απορροφά τις διακυμάνσεις του φορτίου έτσι ώστε οι υδροστροβίλοι να λειτουργούν ουσιαστικά με σταθερή ισχύ, χωρίς απότομες μεταβολές, όπως σχηματικά φαίνεται στο Σχήμα 5.72. Το ρυθμιζόμενο αυτό φορτίο μπορεί να είναι μια συστοιχία ωμικών αντιστάσεων ή μια ηλεκτρομαγνητική πέδη δινορευμάτων και ελέγχεται από τον ρυθμιστή στροφών του υδροστροβίλου. Η λύση αυτή έχει ως βασικό πλεονέκτημα την αξιοπιστία με παράλληλη μείωση των υπερπιέσεων στον αγωγό πτώσης, όμως βασίζεται στην καταστροφή ενέργειας, δηλαδή την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμική, και για το λόγο αυτό δεν εφαρμόζεται παρά μόνο σε ΥΗΕ μικρής ισχύος (Παπαντώνης, 2008).



Σχήμα 5.72 Λειτουργία ΜΥΗΕ και ρύθμιση μέσω αντιστάσεων (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

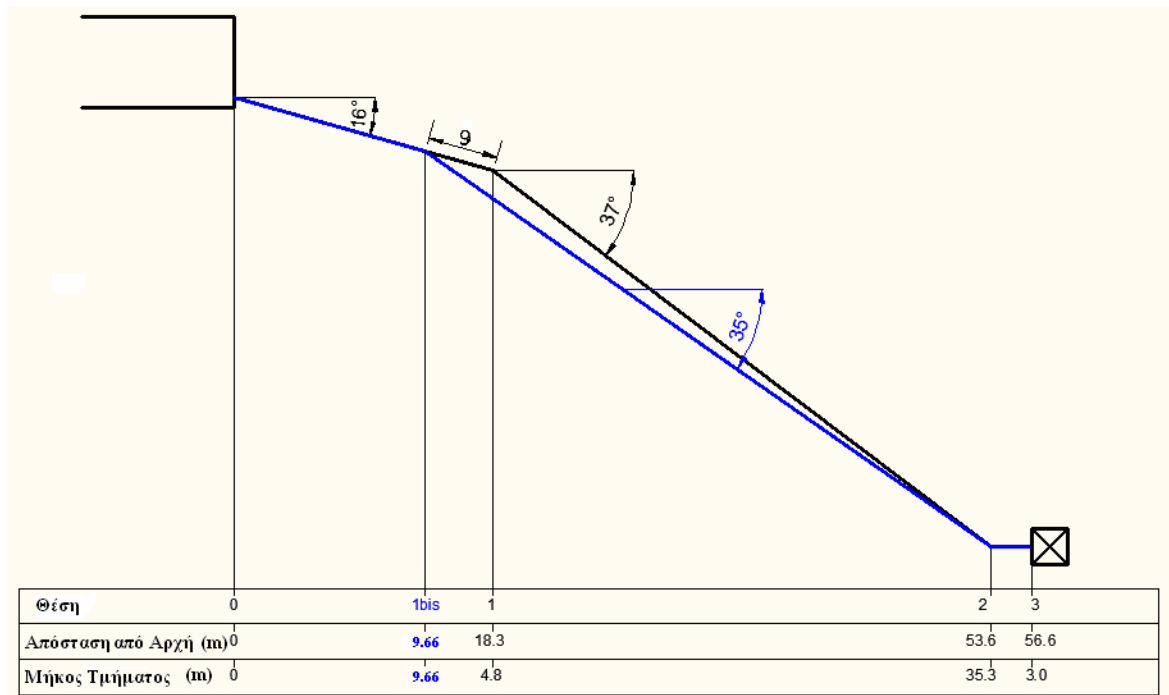
Μπορούμε επίσης να σκεφτούμε πιο σύνθετες λύσεις που περιλαμβάνουν βεβαίως και τη χρήση των αντιστάσεων. Για έκτακτες περιστάσεις απότομης μείωσης της παροχής στον αγωγό που θα έχει ως συνέπεια την ανάπτυξη σημαντικών υπερπίεσεων μπορεί να αποφευχθεί με την εγκατάσταση κλάδου by-pass με βάνο (Σχήμα 5.73) η οποία ανοίγει αυτόματα στην περίπτωση απόρριψης φορτίου και στη συνέχεια κλείνει με κατάλληλο ρυθμό, ενώ το κλείσιμο των ρυθμιστικών περυγίων του υδροστρόβιλου μπορεί πλέον να γίνει με πολύ υψηλό ρυθμό. Μια τέτοια λύση βεβαίως μπορεί να μην είναι αρκετά οικονομικά προσιτή, οπότε έρχεται σε δεύτερη μοίρα από τις ηλεκτρικές αντιστάσεις (Παπαντώνης, 2008).



Σχήμα 5.73 Διαμόρφωση κλάδου by – pass σε αγωγό πτώσης υδροστρόβιλου Francis (Πηγή: Παπαντώνης, 2008)

(γ) αλλαγή της υψομετρικής διαδρομής. Η τροποποίηση της διαδρομής συνίσταται στην ύπαρξη για την αποφυγή χρησιμοποίησης της θέσης 1, αλλά και εκτός της ζώνης αστοχίας, έτσι ώστε να έχουμε τα ακόλουθα πλεονεκτήματα: υπόγεια τοποθέτηση του αγωγού πτώσης, πραγματοποίηση του μπλοκ αγκύρωσης μακριά από την κλίση, ώστε να αποφευχθούν πιθανές κινήσεις άκαμπτης ανατροπής, μείωση της ώθησης της καμπύλης αλλαγής διεύθυνσης του αγωγού στη θέση 1, (δηλαδή της δύναμης F_3). Η αλλαγή στη χάραξη διαθέτει όλες τις τεχνικές δυσκολίες που χαρακτηρίζουν μια ανασκαφή στη γη πολύ απότομης κλίσης. Στο Σχήμα 5.75 δείχνει ένα παράδειγμα τροποποίησης της διαδρομής. Η τελική ανοδική κλίση μένει να αποφασιστεί κατά τη διάρκεια της εργασίας με βάση τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν στο έργο

της ανασκαφής. Θα πρέπει να προεπιλεγθεί για την εκσκαφή μια κατάλληλη επίστρωση αποτελούμενη από επιλεγμένη άμμο. Με τον τρόπο αυτό υπάρχει μία ομοιόμορφη κατανομή των φορτίων που αποφεύγει ταυτόχρονα τη λειτουργία διπλού προβόλου του αγωγού.



Σχήμα 5.75 Παράδειγμα μεταβολής της υψομετρικής χάραξης

(δ) επαναδιαστασιολόγηση του μπλοκ αγκύρωσης. Η κύρια αιτία της θραύσης του σωλήνα στη γειτονιά αμέσως ανάντη του μπλοκ αγκύρωσης ήταν πολύ πιθανόν η αποτυχία του τελευταίου έναντι καθίζησης στην ζώνη αστοχίας, η οποία έχει προκαλέσει μια περαιτέρω συσσώρευση των τάσεων στο σημείο αυτό. Για το λόγο αυτό φαίνεται να είναι κατάλληλη για μια πιο ακριβή διαστασιολόγηση του μπλοκ προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί αυτή τα αποτυχία κατά τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής του έργου, έξω από την ζώνη αστοχίας.

(ε) φύτευση – αναδάσωση της πλαγιάς. Ως τελική προφύλαξη, προτείνεται η φύτευση της πλαγιάς που υποδέχεται τον αγωγό πτώσης και διαχειρίζεται τις επιφανειακές υδάτινες απορροές. Αυτή η λειτουργία, στην πραγματικότητα, θα δώσει στα πρηνή μεγαλύτερη ευστάθεια και θα μειώσει σημαντικά την ικανότητα του ερπυσμού του έδαφους προς τα κατόντη από το νερό της βροχής το οποίο έχει ήδη θέσει σε δοκιμασία τη σταθερότητα του έργου, όπως είδαμε.

Τέλος όπως λένε οι Ιταλοί συνάδελφοι στην έκθεση τους (Politecnico di Bari, 2009) είναι γνωστό ότι έχει γίνει αντικατάσταση του αγωγού πτώσης PVC με ένα σωλήνα χάλυβα. Η έλλειψη πληροφοριών σχετικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τελευταίου θα εμφανίζεται μόνο με ποιοτικές εκτιμήσεις παρακάτω.

Η υιοθέτηση ευέλικτων συνδέσμων εξακολουθεί να είναι η κατάλληλη λύση γιατί το όφελος που φέρνουν είναι χρήσιμο, για τους ίδιους λόγους που εκφράζονται για τον αγωγό πτώσης του PVC.

Η αντικατάσταση δεν παρεμβαίνει στην απόφαση να υιοθετηθούν ηλεκτρικές αντιστάσεις και ο κλάδος by – pass με βάνα, καθώς και σε σχέση με τη συρρίκνωση του όγκου του μπλοκ αγκύρωσης και τη φύτευση της πλαγιάς.

Η αλλαγή της υψομετρικής χάραξης παραμένει να είναι η σωστή δράση που πρέπει να ληφθεί τη στιγμή της αντικατάστασης. Επίσης, κατά τη διάρκεια της αντικατάστασης μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε δύο τύπους εγκατάστασης, προκειμένου να αποφευχθεί (ή τουλάχιστον να μειωθεί) η συμπεριφορά κάμψης του αγωγού πτώσης ως πρόβλημα που περιγράφεται παραπάνω: διάστρωση από επιλεγμένη άμμο ή υπέργεια υποστήριξη σε επιλεγμένες θέσεις. Στην τελευταία περίπτωση θα πρέπει να προβλεφθούν οι δυσκολίες της κατασκευής σωμάτων αγκύρωσης σε μια έντονα απότομη πλαγιά.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή η αντικατάσταση συνεπάγεται προβλήματα διάβρωσης από αδέσποτα ρεύματα που απελευθερώνονται από όλα τα ηλεκτρικά συστήματα στην περιοχή. Για να αποτραπεί η πρόωγη διάβρωση του σωλήνα απαιτείται ανόδια γαλβανικής προστασίας από διάβρωση στο έδαφος κοντά στην σωλήνωση ή, εναλλακτικά, την επίστρωση του σωλήνα με μία μεμβράνη ασφαλικό που απομονώνει ηλεκτρικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

Τελικά Συμπεράσματα

Τα τελικά συμπεράσματα αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι τα εξής:

- Ο χώρος της υποσαχάριας Αφρικής (πλην Νότιας Αφρικής) παρουσιάζει μεγάλες ιδιομορφίες που τον κάνουν να διαφέρει από τον αντίστοιχο ευρωπαϊκό ή αμερικάνικο χώρο. Τα χρόνια προβλήματα της υποανάπτυξης, της απουσίας υποδομής και κανονιστικού πλαισίου, της αδυναμίας παρέμβασης του κράτους, της συγκέντρωσης των αναγκαίων πόρων σε ολιγοπώλια και εν γένει της δύσκολης ευρεσιμότητας τους, καθώς και το σημαντικό πρόβλημα της δυσκολίας οδικής επικοινωνίας, μεταφοράς πρώτων υλών και χρονοκαθυστέρησης στις προβλεπόμενες εργασίες συνθέτουν ένα ιδιαίτερα απωθητικό περιβάλλον για προσέλκυση επιχειρήσεων, για έναρξη εργασιών υψηλού κόστους και για επενδύσεις μακροχρόνιας απόδοσης.
- Ο τομέας της ενέργειας είναι μια σημαντική προωθητική δύναμη για την βελτίωση των αφρικανικών οικονομιών και του επιπέδου διαβίωσης των κατοίκων της. Οι ευκαιρίες που παρουσιάζονται στον τομέα της ενέργειας δεν μένουν μόνο στο επίπεδο των μη ορυκτών πηγών ενέργειας, αλλά ενισχύονται από ένα πλούσιο φάσμα δυνατοτήτων υποστήριξης και σε διάφορες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σε οποιαδήποτε κλίμακα μεγέθους επένδυσης.
- Η μεγαλύτερη ανισομετρία που παρουσιάζεται στον τομέα της ηλεκτρικής κάλυψης είναι μεταξύ των πρωτευουσών και των μεγάλων κέντρων από τη μία, και της επαρχίας από την άλλη. Αυτή η ανισομετρία ακολουθεί το μεγάλο χάσμα της κατανομής πλούτου σε κάθε περίπτωση, αλλά και το μεγάλο χάσμα των γενικών δυνατοτήτων ανάπτυξης όπου η ηλεκτρική ενέργεια έπεται στις άμεσες προτεραιότητες των περισσότερων κατοίκων, καθώς η δύσκολη ή ελλιπής πρόσβαση στο φαί, στο νερό αλλά και στο εισόδημα γενικότερα προηγούνται από την επίλυση του χάσμα της επέκτασης και ενίσχυσης της πρόσβασης στο ηλεκτρικό δίκτυο.
- Οι πολλές φορές λανθασμένες τιμολογιακές πολιτικές και τοποθετήσεις επιδοτήσεων, που αντανakλούν την αντίφαση του κρατικού μηχανισμού στην

επιβάρυνση των ενταγμένων στο δίκτυο χρηστών και στην απώλεια επιστροφών, καθώς και στην αντίφαση της αύξησης των συνδέσεων στο δίκτυο και της πρόσβασης στο ηλεκτρικό πλέγμα, καθηλώνουν τις επενδύσεις από τον ιδιωτικό τομέα, με ακυρώσεις και αλλαγές στα συναφθέντα συμβόλαια. Άλλα απαραίτητα συμπληρωματικά στοιχεία της απόφασης για έναρξη του έργου στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα ασφαλισμένα δικαιώματα γης, διαθεσιμότητα εισοδήματος των γεωργικών καλλιεργειών, πρόσβαση στην υγεία και στην εκπαίδευση, επαρκή αποθέματα ύδρευσης και κατάλληλοι οικισμοί.

- Το υδροδυναμικό στις περισσότερες χώρες της υποσαχάριας Αφρικής είναι αξιόλογος, αν όχι υπολογίσιμος παράγοντας παραγωγής ενέργειας. Τα περισσότερα έργα έχουν μορφή μεγάλων ΥΗΕ λόγω ευκολίας προσέλκυσης κεφαλαίως από δωρεές και συμπράξεις του ξένου ιδιωτικού κεφαλαίου, αλλά παρατηρείται στροφή για την επένδυση σε ΜΥΗΕ για τον εξηλεκτρισμό των επαρχιών και της δημιουργίας αυτόνομων ηλεκτρικών δικτύων. Εδώ το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η συγκέντρωση αρχικού κεφαλαίου και η μακρόχρονη οικονομική βιωσιμότητα του έργου, καθώς τα εισοδήματα των επωφελούμενων κατοίκων είναι ιδιαίτερα μικρά για την αποπληρωμή των τιμολογίων και οι αγροτικές ηλεκτροδοτικές υπηρεσίες σπανίως έχουν την ικανή τεχνογνωσία για την διαχείριση της επενδύσεις. Ιδιαίτερο στοιχείο είναι το σημείο της αντεκχώρησης υπηρεσιών προς το κράτος, το οποίο αναλαμβάνει όλο το κόστος των έργων και της συντήρησής τους, μέχρις ότου η κοινότητα να δημιουργήσει προϋποθέσεις παραγωγής πλούτου. Άλλοι περιορισμοί που πρέπει να εξεταστούν είναι τα τεχνολογικά, θεσμικά, επενδυτικά, φυσικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά εμπόδια που αναλύθηκαν παραπάνω στο Κεφάλαιο 2.
- Ο μηχανικός στην υποσαχάρια Αφρική αντιμετωπίζει περισσότερα προβλήματα του ενός, και ιδιαίτερα μη τεχνικού τύπου. Στην πραγματικότητα οφείλει να γνωρίζει και να επιφορτιστεί με την επίλυση όλων των παθογενειών της κρατικής δομής και της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας καθώς η έλλειψη κανονιστικού πλαισίου, η έλλειψη τεχνογνωσίας από τις κοινοτικές υπηρεσίες, η υποστελέχωση, η ελλιπής μηχανοργάνωση των δημοτικών υπηρεσιών και των κρατικών υποδομών, η απουσία ή η υπολειτουργία υπηρεσιών συλλογής κρίσιμων δεδομένων, η έλλειψη θεσμικού πλαισίου κινήσεων, η ελλιπής δικτύωση και πληροφόρηση των τεχνικών

επιμελητηρίων, η απουσία επαγγελματικών ομάδων ή άλλων κοινωνικών ενώσεων που αφορούν τον μηχανικό, συνθέτουν ένα περιβάλλον όπου ο μελετητής και ο κατασκευαστής μηχανικός θα πρέπει να επιβλέπουν ένα ευρύ φάσμα εργασιών και διαδικασιών. Σημαντικότερος τομέας ευθύνης όσον αφορά τα ΜΥΗΕ είναι η ίδρυση, η καθοδήγηση και η αगाστή συνεργασία με τις τοπικές αγροτικές ηλεκτροδοτικές υπηρεσίες (REAs)

- Ακριβώς επειδή το ΜΥΗΕ είναι επενδύσεις μεγάλου κόστους για τις απομονωμένες επαρχίες που μέχρι πρότινος δεν καλύπτονταν από το κρατικό ηλεκτρικό πλέγμα, θα πρέπει, πέραν όλων των άλλων διαχειριστικών και οικονομικών μεθοδολογιών, η στόχευση του έργου να μην απευθύνεται μόνο στην κάλυψη των υπαρχουσών αναγκών του δικτύου, και την εξυπηρέτηση λιγοστών και απλοϊκών ηλεκτρικών συνδέσεων, αλλά να αφήνει περιθώρια για εξάπλωση των οικονομικών δραστηριοτήτων της κοινότητας και άρα μεγαλύτερης ηλεκτρικής ζήτησης, καθώς και η πρόσκαιρη διευκόλυνση χρεώσεων προς τους χρήστες. Το όφελος αυτού του σχεδιασμού είναι πως επιτρέπει την απελευθέρωση πόρων της κοινότητας για την ανάπτυξη οικονομικών και εμπορικών δραστηριοτήτων, ή άλλων επενδύσεων, που μακροπρόθεσμα δημιουργούν παραγωγή πρόσθετου πλούτου, ώστε τα εισοδήματα των επωφελούμενων, να μπορούν να αποπληρώσουν ακόμα και υψηλές τιμολογιακές χρεώσεις.
- Η Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό είναι μια χώρα κατεστραμμένη από τις συρράξεις, τη διαφθορά και την παρεμβατικότητα ξένων δυνάμεων, παρόλα αυτά οι δυνατότητες ανάπτυξης είναι πολλές. Ειδικά το πλούσιο υδροδυναμικό και το πλούσιο υδρογραφικό δίκτυο της χώρας, προσφέρει μεγάλες δυνατότητες για την επίτευξη μικρών και μεγάλων ΥΗΕ.
- Το έργο στο Κιμπάου αποδεικνύει το ότι παρά τη μικρή απόσταση της περιοχής από την Κινσάσα, η προσβασιμότητα από το οδικό δίκτυο είναι ιδιαίτερα δύσκολη, κυρίως λόγω των καθιζήσεων του εδάφους που απαιτούν ειδικά οχήματα, ειδικά μεταξύ Kenge και Κιμπάου. Σε αυτό συγκλίνουν και τα στοιχεία (www.kimbau.org) πως η δεύτερη απόπειρα για συγκέντρωση και αποστολή χρημάτων και τεχνικού εξοπλισμού απέτυχε εντελώς καθώς το μεταφερόμενο όχημα των εθελοντών κατασχέθηκε από τον κλήρο και την κρατική γραφειοκρατία και στο δρόμο υπήρχε

μια συνεχή διακοπή πορείας λόγω οδοφραγμάτων από περιπολίες διάφορων ομάδων που κάνανε εμφανώς παραποίηση αρχής και απαιτούσαν κόμιστρα.

- Το ΜΥΗΕ στο Κιμπάου είναι μεγάλης σημασίας καθώς όχι μόνο προμηθεύει το χωριό με ηλεκτρική ενέργεια για το νοσοκομείο, αλλά και με καθαρό νερό, απαλλαγμένο από οργανική ύλη και από το φόβο ασθενειών που ενδημούν στα γειτονικά ποτάμια.
- Οι έλεγχοι που κάναμε για το έργο ήταν τριών ειδών: λειτουργία εξαμμωτή, λειτουργία αγωγού τροφοδοσίας και δεξαμενής φόρτισης, λειτουργία αγωγού πτώσης, λειτουργία υδροστροβίλου. Αφήσαμε εκτός ελέγχου τον υπερχειλιστή και τη διώρυγα τροφοδοσίας για το γεγονός πως οι λειτουργίες τους είναι τυπικές και οι ευθύνες διασφάλισης της ομαλότητας λειτουργίας επιβαρύνουν τα υπόλοιπα μέρη. Τα πιθανά προβλήματα που εξετάστηκαν ήταν η εξάμμωση, η έκπλυση άμμου, ή υπερχείλιση της δεξαμενής φόρτισης, η υδραυλική λειτουργία σε συνθήκες μόνιμης και διακοπτόμενης ροής, το υδραυλικό πλήγμα στον αγωγό πτώσης, ο βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου και της γεννήτριας, αλλά και η ευστάθεια του σώματος αγκύρωσης του αγωγού πτώσης.
- Η αστοχία του ΜΥΗΕ οφείλεται στον κακό σχεδιασμό τόσο σε επίπεδο υπερδιασιολόγησης για τις ανάγκες προσφοράς και ζήτησης ενέργειας, όσο σε επίπεδο υλικού και πάχους αγωγού έναντι υδραυλικών πληγμάτων, όσο και σε επίπεδο κακοτεχνίας, δηλαδή τοποθέτησης αγωγού και υπέργειας υποστήριξης του, σε έδαφος έντονα διαβρωμένο. Η τελική αστοχία είναι η συνδυασμένη δράση όλων των παραπάνω παραγόντων όπως δείξαμε στην Ενότητα 5.7, όπου προτείναμε και λύσεις για την αποκατάσταση του έργου.
- Προτείνεται η περαιτέρω διερεύνηση του καθεστώτος ωριαίας και ημερήσιας λειτουργίας του υδροστροβίλου, της ακριβής αντοχής του εδάφους και του καθεστώτος ωριαίας και ημερήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για τις ανάγκες της περιοχής του Kimbau για να υπάρχει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την ασφάλεια του έργου.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- 1) Al-Azawi Aziz, Water Supply for the Hilly Areas of Bandudu – Zaire, 2001
- 2) Arrighi Giovanni, The African Crisis, New Left Review no15, 2002
(http://newleftreview.org/II/15/giovanni-arrighi-the-african-crisis#_ednref36)
- 3) Barnes Douglas and Foley Gerald, Rural Electrification in the Developing World: a Summary of Lessons from Successful Programs, The World Bank, 2004
(http://iis-db.stanford.edu/evnts/3961/Doug_Barnes_paper.pdf)
- 4) Borri D., Colaluca N., Di Carlo M. e Lovreglio R., Relazione del impianto idroelettrico di Kimbau, σελίδες 68, Politecnico di Bari, 2009
- 5) Citrini D., Nosedà G., Idraulica, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1975
- 6) Collier Paul and Gunning Jan Willer, Explaining African Economic Performance, Journal of Economic Literature, 1998; (<http://www.csae.ox.ac.uk/workingpapers/pdfs/9702text.pdf>)
- 7) Commission for Africa, Our Common Interest: Report of the Commission for Africa, 2005; (http://www.commissionforafrica.info/wp-content/uploads/2005-report/11-03-05_cr_report.pdf)
- 8) Defina Andrea, Moto Varie Nelle Condotte: Alcuni Appunti, Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima, Ambientale e Geotecnica, Università degli Studi di Padova, 2010
(http://www.image.unipd.it/defina/idraulica_2/ComplementiDiIdraulica_bozza.pdf)
- 9) Eberhard Anton, Rosnes Ovrifa, Shkaratan Maria and Vennemo Haakon, Africa's Power Infrastructure – Investment, Integration, Efficiency, σελίδες 318, The World Bank, 2011
(<http://www.gsb.uct.ac.za/files/AfricasPowerInfrastructure.pdf>)

10) ESHA, European Small Hydropower Association, Layman's Guidebook on How to Develop a Small Hydro Site, Directorate General For Energy (DG XVII), 1998

11) Foster Vivien and Benitez Daniel Alberto, The Democratic Republic of Congo's Infrastructure: A Continental Perspective, The World Bank, 2011 (http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/2011/03/17/000158349_20110317160020/Rendered/PDF/WPS5602.pdf)

12) Foster Vivien and Briceño-Garmendia Cecilia, Africa's Infrastructure: A Time for Transformation, The World Bank, 2010 (http://siteresources.worldbank.org/INTAFRICA/Resources/aicd_overview_english_no-embargo.pdf)

13) Fox Louise and Liebenthal Robert, Attacking Africa's Poverty – Experience from the Ground, 340 σελίδες, International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, 2006, (<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/6954/355220Attacking0poverty01OFFICIAL0USE1.pdf?sequence=1>)

14) Fumunzaza, Συναρτήσεις Παραγωγής της Βιομηχανίας του Ζαΐρ, σελίδες 225, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 1989

15) Harvey Adam, Brown Andy, Hettiarachi Priyantha and Inversin Allen, Micro-Hydro Design Manual: A Guide to Small-Scale Water Power Schemes, Intermediate Technology Publication, London, 1993

16) Herderschee Johannes, Kaiser Kai-Alexander and Mukoko Samba Daniel, Resilience of an African Giant: Boosting Growth and Development in the Democratic Republic of Congo, σελίδες 120, The World Bank, 2012 (<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/2359/648210PUB0Resi0C0disclosed010050110.pdf?sequence=1>)

- 17) IEG Review, World Bank Assistance to Agriculture in Sub-Saharan Africa, 145 σελίδες, The World Bank, 2007, (<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/6907/417900AFR0WB0a18082137350701PUBLIC1.pdf?sequence=1>)
- 18) Jiandong Tong, Naibo Zheng, Xianhuan Wang, Jing Hai and Huishen Ding, Mini Hydropower, σελίδες 312, John Wiley & Sons, Chinchester, 1997
- 19) Kalitsi E.A.K., Problems and Prospects for Hydropower Development in Africa, United Nations, 2003, (<http://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/energy/op/nepadkalitsi.pdf>)
- 20) Lall Sanjaya, The Technological Structure and Performance of Developing Country Manufactured Exports 1985-1998, University of Oxford, (<http://www3.geh.ox.ac.uk/RePEc/geh/qehwps/qehwps44.pdf>)
- 21) Moyo Sam, Rutherford Blair and Amanor – Wilks Dede, Land Reform And Changing Social Relations for Farm Workers in Zimbabwe, 184-202, Review of African Political Economy No84, 2000, (<http://www.roape.org/pdf/8402.pdf>)
- 22) Muhiya Lukamba. Tshombe and Uken Ernst. The electricity supply industry in the Democratic Republic of Congo, Journal of Energy in Southern Africa Vol 17, 2006 (<http://www.erc.uct.ac.za/jesa/volume17/17-3jesa-lukamba.pdf>)
- 23) Bodis Katalin et al, Renewable Energy in Africa, σελίδες 60, JRC, 2011, (http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/23076/1/reqno_jrc67752_final%20report%20.pdf)
- 24) Napolitano M., De Palma P., Pascazio G., Appunti di turbine idrauliche, σελίδες 48, Politecnico di Bari, 2011 (http://climeg.poliba.it/file.php/65/app_turbine_idrauliche.pdf)

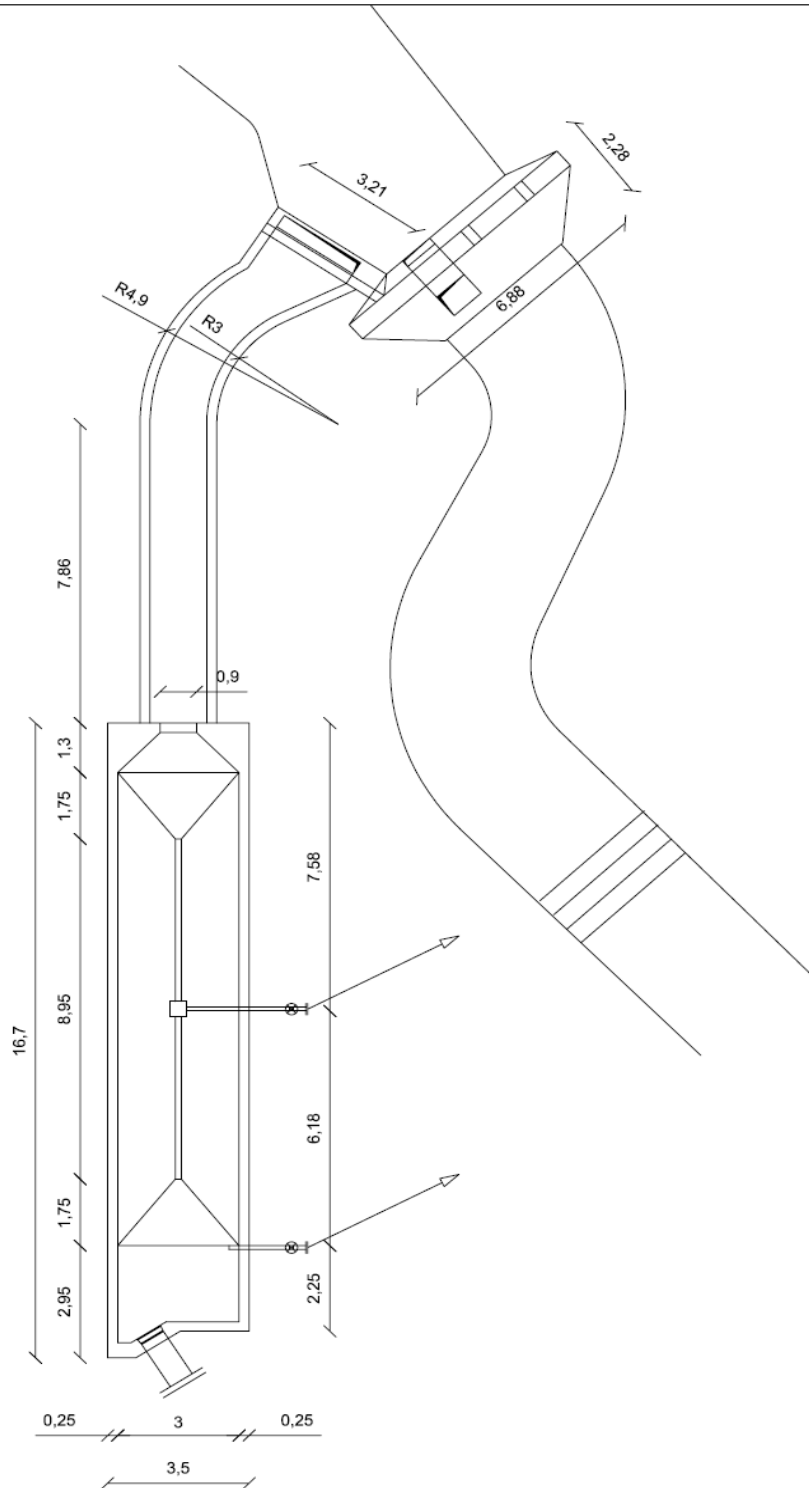
- 25) Ogbu Osita M., Technological Policy and Practice in Africa, 385 σελίδες, International Development Research Centre, 1995,
- 26) Petts Robert, Handbook of Intermediate Equipment for Road Works In Emerging Economies, Intech Associates, 2012
- 27) Ravn Jarle, Hydropower Development: Planning and Implementation of Hydropower Projects, σελίδες 181, Norwegian Institute of Technology, 1992
- 28) Rihani May et al, Small Enterprise Development in the Kwilu-Kwango Subregions of Bandundu - Zaire, σελίδες 114, USAID, 1983
(http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAP366.pdf)
- 29) The World Bank, Can Africa Claim The 21st Century?, 278 σελίδες, The World Bank, 2000,
(<http://siteresources.worldbank.org/INTAFRICA/Resources/complete.pdf>)
- 30) The World Economic Forum the Word Bank and the African Development Bank, The African Competitive Report, 198 σελίδες, The World Economic Forum, 2011,
(<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/2319/628730PUB0Afri00Box0361495B0PUBLIC0.pdf?sequence=1>)
- 31) Savat Jan, Some Morphological and Hydraulic Characteristics Of River Patterns In The Zaire Basin, Catena, Giessen, 1975 (http://ac.els-cdn.com/S0341816275800105/1-s2.0-S0341816275800105-main.pdf?_tid=230d311e-59a7-11e2-9e5a-00000aab0f6b&acdnat=1357658695_9ff588fbb113bb31fcff2902930689df)
- 32) UCLM, Temario de Ingenieria Rural I, Escuela del Ingenieros Agrónomos, 2008
(http://www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema10.PDF)

- 33) UNDP Project Document, African Microhydro Initiative: Regional Micro/Mini-Hydropower Capacity Development and Investment for Rural Electricity Access in Sub Saharan Africa, σελίδες 109, UNDP, 2011
- 34) United Nations, The Millenium Development Goals Report 2012, United Nations, 2012; ([http://www.undp.org/content/dam/undp/library/MDG/english/The MDG Report 2012.pdf](http://www.undp.org/content/dam/undp/library/MDG/english/The_MDG_Report_2012.pdf))
- 35) Ukety O.T., Maertens K., Henry M.C., Kikudi H. and Wery W., L'Onchocercose sur la Rive Gauche de la Haute Inzia: Aspects Ophthalmologiques et Parasitologiques, Annales de la Société Belge de Médecine Tropicale, 1985
- 36) Δημητρίου Ιωάννης, Εφαρμοσμένη Υδραυλική, σελίδες 633, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2005
- 37) Δημόπουλος Γ., Τεχνική Γεωλογία, σελίδες 256, Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, 1986
- 38) Καββαδάς Μιχάλης, Σημειώσεις Θεμελιώσεων Τεχνικών Έργων, σελίδες 260, Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2007
- 39) Καββαδάς Μιχάλης, Στοιχεία Εδαφομηχανικής, σελίδες 268, Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2007
- 40) Μαμάσης Νικόλαος, Σημειώσεις Ενεργειακής Υδρολογίας, Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2011 (<http://itia.ntua.gr/~nikos/energy/>)
- 41) Μαρίνος Παύλος, Κεφάλαια Τεχνικής Υδρολογίας, σελίδες 384, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2001
- 42) Μέγα Μαρίνα, Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα στις Ορεινές Περιοχές και οι Επιπτώσεις τους στο Περιβάλλον, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2009, (<http://itia.ntua.gr/getfile/967/1/documents/mega.pdf>)

- 43) Μιμίκου Μαρία, Ευάγγελος Μπαλτάς, Τεχνική Υδρολογία, σελίδες 300, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2006
- 44) Μπαλάρας Κωνσταντίνος, Αθανάσιος Αργυρίου, Φώτιος Καραγιάννης, Συμβατικές και Ύπιες Μορφές Ενέργειας, σελίδες 479, Εκδόσεις Τεκδοτική, Αθήνα 2006
- 45) Νουτσόπουλος Γ., Χριστοδούλου Γ. και Παπαθανασιάδης Τ., Υδραυλική Ανοιχτών Αγωγών, σελίδες 325, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2007
- 46) Παπαντώνης Δημήτρης, Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα, σελίδες 444, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 2008
- 47) Παπαντώνης Δημήτρης, Υδροδυναμικές Μηχανές: Αντλίες – Υδροστρόβιλοι, σελίδες 340, Εκδόσεις Συμεών, 2002
- 48) Τόλικας Δημήτρης, Υδραυλικό Πλήγμα, σελίδες 130, Εκδόσεις Παρατηρητής, Θεσσαλονίκη, 2000
- 49) Τερψιχόρη Τζουλιαδάκη, Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας Βασιζόμενα σε ΑΠΕ. Συνιστώσες και Συνεισφορά στον Εξηλεκτρισμό Απομονωμένων Περιοχών, ΤΕΙ Κρήτης, 2012 (<http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/hle/2012/TzouliadakiTerpsichori/attached-document-1348566163-435562-32565/Tzouliadaki2012.pdf>)

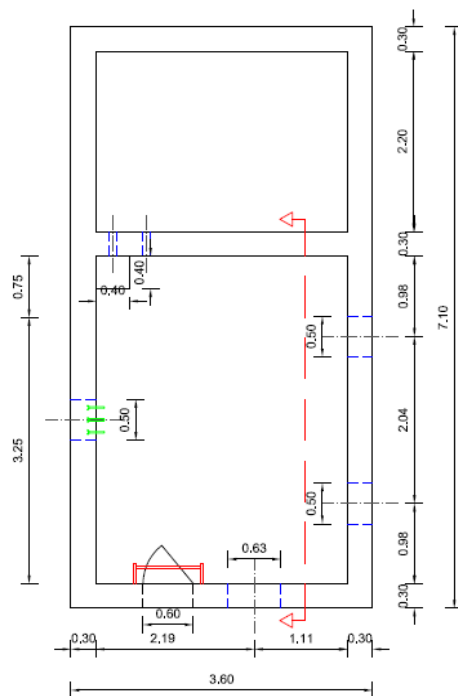
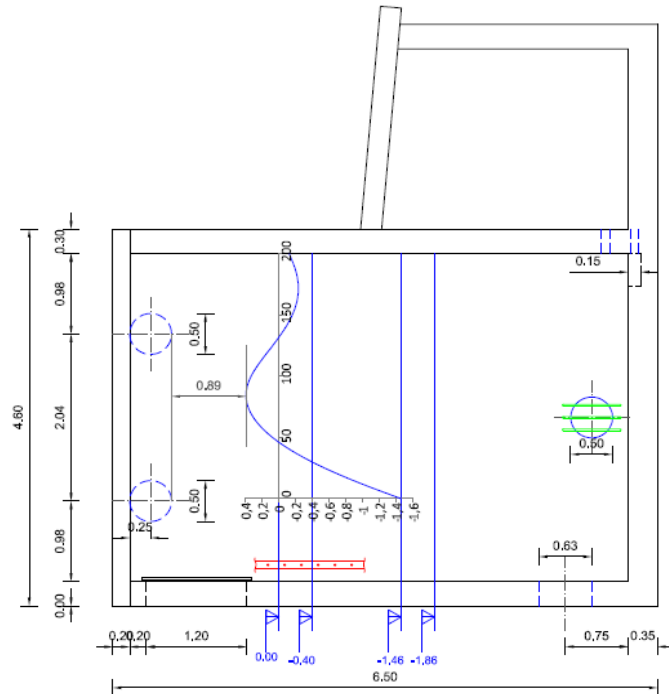
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

CORSO DI INGEGNERIA DEL TERRITORIO
PROGETTO KIMBAU
N. Colaluce R. Lovreglio M. Di Carlo
ALLEGATO 1
scala 1:100



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

CORSO DI INGEGNERIA DEL TERRITORIO
 PROGETTO KIMBAU
 N. Colaluca R. Lovreglio M. Di Carlo
 ALLEGATO 2
 scala 1:50



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3



ZECO di ZERBARO & COSTA & C. s.r.l.

via Ortigara, 22
36030 FARA VICENTINO (VI)
Tel. 0445/873456 Fax 0445/873988
E-mail: commerciale@zeco.it
WEB: www.zeco.it



A.I.F.O
Via Borselli, 4-6
40135 BOLOGNA BO

Impianto Idroelettrico

OSPEDALE DI KIMBAU **REPUBBLICA DEMOCRATICA DEL CONGO**

Fornitura di N° 1 Turbina Francis ad asse verticale
Completa di regolatore di velocità e quadro montante macchina

SPECIFICA TECNICO-ECONOMICA **n.OF938B**

REV.	DATA	MOTIVO	PAR.	PAG.
B	20.09.02	Modifiche come da osservazioni e-mail del 19/09/02		
A	19/09/02	Modificata portata della turbina		
01	26/07/00	Modifica copertina		
00	18/07/00	Prima emissione		

REV.	DATA	ELABORAZIONE	VERIF. AMM.	VALIDAZ. DIREZ.
B	20.09.02	V. Apolloni	P. Menegozzo	P. Zerbaro

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

Doc. n.0F938B
Rev. B - 20.09.02



INDICE

Par.	titolo	pag
0.	DESCRIZIONE DELLA FORNITURA	3
1.	TURBINA FRANCIS AD ASSE VERTICALE	3
1.1.	RENDIMENTI: (VALORI INDICATIVI)	4
2.	N.1 VALVOLA A FARFALLA DI GUARDIA DELLA TURBINA.....	5
3.	N.1 CENTRALINA OLEODINAMICA	7
4.	GENERATORE SINCRONO	8
5.	QUADRO ELETTRICO	9
6.	REGOLATORE DI VELOCITA.....	9
7.	TRASPORTI	10
8.	MONTAGGI	10
9.	CONSEGNA	10
10.	ESCLUSIONI	10
11.	GARANZIA	10

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3



Doc. n. OF938B
Rev. B - 20.09.02

0. DESCRIZIONE DELLA FORNITURA

La fornitura prevede la progettazione e la realizzazione di un gruppo turbina Francis-generatore sincrono per la produzione di energia elettrica in rete isolata. Le caratteristiche idrauliche sfruttabili dalla turbina sono le seguenti:

salto netto	30.0	m
portata max	0.9	m ³ /s

1. TURBINA FRANCIS AD ASSE VERTICALE

Le caratteristiche principali della macchina saranno le seguenti (valori indicativi):

tipo turbina	FRANCIS	
asse ruota	VERTICALE	
diametro ruota D2	460	mm
velocità di rotazione	750	rpm
potenza asse ruota	233	kW

La turbina si compone essenzialmente di:

- Girante tipo FRANCIS in acciaio inox ASTM A 743-82 b tipo CA6NM, con labirinti ricavati nelle corone della girante stessa ed aventi un adeguato spessore, in modo da consentire un'adeguata ripresa delle eventuali future usure.
- La girante sarà completamente lavorata di macchina sulle superfici esterne, mentre le superfici e condotti palari interni saranno accuratamente molati, con finitura a sagoma e lucidatura, in particolare sui bordi di entrata e uscita delle pale;
- Al termine di tutte le lavorazioni meccaniche la girante sarà bilanciata staticamente secondo UNI ISO 1940 G6.3;
- Tenuta idraulica a labirinto tra la girante e il coperchio sia lato scarico che lato alternatore;
- Tenuta d'albero;
- Cassone a spirale in camera di acciaio elettrosaldato Fe430 B con palette predistributrici fisse, piedi di appoggio, piastre di fondazione e viti di fissaggio;
- Distributore della turbina per la regolazione della portata costituito da una serie di palette mobili in acciaio con perni per il comando, bielle di comando ed accessori; i perni delle direttrici scorrono su supporti ricavati direttamente sul coperchio del distributore con interposte bussole autolubrificanti;
- Servomotore di comando del distributore per le manovre di apertura e chiusura;
- Anello di regolazione flottante;

Pag. 3

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3



Doc. n. OF938B
Rev. B - 20.09.02

- Servomotore di comando del distributore;
- Volano in acciaio montato sull'albero del generatore;
- Tubo di aspirazione in lamiera saldata corredato di ferri di ancoraggio.

1.1. RENDIMENTI: (VALORI INDICATIVI)

frazione della portata	%	100	75	50	25
rendimento all'asse turbina	η	0.88	0.87	0.77	0.71

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

Doc. n. OF938B
Rev. B - 20.09.02



2. N.1 VALVOLA A FARFALLA DI GUARDIA DELLA TURBINA

Costruita con le seguenti caratteristiche:

CARATTERISTICHE TECNICHE	
diametro nominale	DN500
pressione di costruzione	PN10
tipo di comando	Oleodinamico
attuatore oleodinamico	A semplice effetto
contrappeso	In chiusura

Caratteristiche costruttive e funzionali

La valvola sarà progettata in modo da garantire la chiusura sotto flusso con la massima portata. La tenuta sarà costituita da due elementi di cui il primo a base di PTFE ed il secondo del tipo elastomerico.

Le boccole di supporto dei perni saranno del tipo autolubrificanti con parte attiva in PTFE e guscio in acciaio inox AISI316Ti. Tutta la viteria a contatto con l'acqua sarà in acciaio inox AISI304 (A2).

L'apertura avverrà tramite servomotore oleodinamico che agisce su di una leva di manovra munita di contrappeso per la chiusura normale e di emergenza adeguatamente dimensionato in modo da garantire con assoluta sicurezza l'intercettazione del flusso in caso di mancata chiusura dell'organo di intercettazione della turbina.

Durante la chiusura il servomotore agirà da freno con tempi tarabili mediante un apposito dispositivo.

I tempi di apertura e chiusura saranno tarati in fase di avviamento dell'impianto a valori compatibili con le sovrappressioni massime di sicurezza ammesse per l'impianto in questione.

→ La valvola sarà inoltre completa di:

- Indicatore meccanico di Aperto - Chiuso.
- N.2 finecorsa con contatti 1 NO e 1 NC adatti e protetti per ambienti molto umidi.
- Tronchetto di smontaggio.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

Doc. n. OF938B
Rev. B - 20.09.02



Prove idrauliche

prova	condizioni	press.	normativa	accettabilità	note
corpo	valvola tappata alle estremità otturatore lievemente aperto	1.5 PN	BS6755-ISO5208	nessuna perdita sulle tenute laterali	
tenuta-prova diretta	valvola tappata ad una estremità otturatore chiuso	1.1 PN	BS6755-ISO5208	nessuna perdita sulla tenuta	pressione applicata da monte
tenuta-prova inversa	valvola tappata ad una estremità otturatore chiuso	1.1 PN	BS6755 non prevista su ISO5208	nessuna perdita sulla tenuta	pressione applicata da valle

Materiali

Corpo	ghisa sferoidale GS500 - 7
Disco	ghisa sferoidale GS500 - 7
Alberi	acciaio inox AISI 420 B
Anello di tenuta	acciaio inox AISI 304 L
Boccola	acciaio inox AISI 316 + PTFE
Guarnizione	NBR 70° SHORE
Lubroseal	PTFE
O - ring	NBR 70° SHORE

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

Doc. n. OF938B
Rev. B - 20.09.02



3. N.1 CENTRALINA OLEODINAMICA

Atta a fornire l'olio in pressione necessario per la regolazione del distributore e la movimentazione della valvola a farfalla di guardia turbina;
composta da:

- N.1 Cassone metallico per l'olio.
- N. 1 Gruppo di pompaggio composto da:
 - motore asincrono trifase 380/220V 50 Hz del tipo chiuso con ventilazione esterna.
 - pompa per servizio continuo del tipo ad ingranaggi con portata fissa.
 - Pompa manuale per la manovra in black start.
- N. 1 Apparecchiatura di comando composta da:
 - valvola regolatrice di massima pressione.
 - valvole di controllo direzione a comando elettromagnetico.
 - diaframmi per la taratura della velocità di chiusura del distributore in caso di emergenza.
- N. 1 Sistema di controllo costituito dalla seguente strumentazione:
 - serie di prese per manometro campione installate sui principali punti circuitati.
 - manometro per la misura della pressione sul ramo principale.
 - indicatore visivo di livello dell'olio nel serbatoio.
 - Termostato per la segnalazione di allarme temperatura.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

Doc. n.0F938B
Rev. B - 20.09.02



4. GENERATORE SINCRONO

di primaria marca costruttrice scelto in base alle seguenti caratteristiche:

tensione	400	V
velocità nominale	750	rpm
velocità di fuga	2.2 Vn	
numero poli	8	
potenza ottimizzata per inserzione 100%	280	kVA
classe di isolamento	F	
grado di protezione	IP23	
forma costruttiva in accordo alla IEC 34-7	V1	
N. 3 PT100 sullo statore		
N. 2 PT100 sui cuscinetti		

Il generatore sarà appositamente progettato con albero prolungato ed idonei supporti al fine di sopportare i carichi dovuti al calettamento diretto della girante.
Il generatore sarà dotato di sporgenza d'albero lato opposto al lato accoppiamento per il calettamento del volano.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3



Doc. n. OF938B
Rev. B - 20.09.02

5. QUADRO ELETTRICO

Previsto per il funzionamento della centrale in rete isolata.

- Armadio progettato e costruito secondo le norme CEI 17-13/1 realizzato con struttura con profilo in lamiera d'acciaio sp. 15/10, piastra interna in lamiera d'acciaio sp.25/10. Porta in lamiera d'acciaio sp. 20/10 con telaio tubolare di irrigidimento, pannello posteriore, tetto e fondo in lamiera di acciaio sp. 15/10.
- Verniciatura RAL 7032;
- Apertura porta destra/sinistra;
- Grado di protezione IP42;
- Ingresso cavi dal basso;
- Dimensioni B=1600x600xH=2000;

Nel quadro saranno installate le seguenti apparecchiature:

- Strumentazione per l'alimentazione degli ausiliari di centrale;
- Strumentazione per l'alimentazione della pompa alla vasca di carico (circa 20 kW)
- Strumentazione per visualizzare i dati di macchina:
 - voltmetro con commutatore;
 - amperometro con commutatore;
 - frequenziometro con commutatore;
- interruttore tripolare manuale completo di protezione magnetica e termica
- interruttori di protezione circuiti di potenza;
- fusibili di protezione circuiti aux;
- Carica batterie e batterie per l'alimentazione in 24 VCC;
- Il regolatore della turbina.

6. REGOLATORE DI VELOCITÀ

Il regolatore viene realizzato secondo le norme CEI 17-13/1. Il sistema è contenuto all'interno di una struttura realizzata con profilo metallico in lamiera d'acciaio sp.15/10 e composta da una piastra interna in lamiera d'acciaio sp.25/10, porta interna in lamiera d'acciaio sp. 20/10 con telaio tubolare d'irrigidimento e porta finestra con lastra trasparente in plexiglass spessore 4mm in grado di garantire un grado di protezione IP55.

La parte logica è realizzata utilizzando un controllore programmabile a struttura modulare (PLC) e un sistema di interfaccia di tipo analogico digitale. Tutte le apparecchiature elettroniche vengono protette da eventuali disturbi provenienti dall'esterno tramite convertitori e relè d'interfaccia. Il sistema di regolazione è in grado di gestire la macchina tenendo come riferimento la velocità, il livello o la potenza impostata dall'operatore. Il dialogo tra l'operatore e il regolatore avviene attraverso un pannello operatore nel quale sono contenute tutte le misure necessarie per diagnosticare le condizioni di funzionamento della macchina e con il quale sarà possibile modificare costanti di calcolo, soglie software e visualizzare tutte le cause di allarme e blocco.

Pag. 9

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

Doc. n.0F938B
Rev. B - 20.09.02



7. TRASPORTI

La fornitura è da ritenersi resa franco ns. officina di Fara Vicentino (VI) Italia.

8. MONTAGGI

Le attività di montaggio della fornitura sono da ritenersi escluse.

9. CONSEGNA

10 mesi dalla data d'ordine.

10. ESCLUSIONI

E' escluso dalla ns. eventuale fornitura quanto non specificatamente descritto nella presente.

11. GARANZIA

Noi garantiamo la buona costruzione e qualità dei materiali, nonché il sicuro e perfetto funzionamento di tutte le parti costituenti la fornitura, per un periodo di 12 mesi dalla messa in servizio, ma non oltre 18 mesi dalla data di approntamento in officina, qualora il ritardo della messa in servizio non dipendesse da cause a noi imputabili.

In tale periodo provvederemo a sostituire, o riparare nel più breve tempo possibile, e compatibilmente con le esigenze del cliente, quelle parti o complessi che si riscontrassero comunque difettosi. Le sostituzioni e le riparazioni avverranno presso le ns. officine di Fara Vicentino.

Dalla garanzia sono esclusi i danni causati da uso irrazionale delle macchine, incuria, inesperienza, manomissione, casi fortuiti, mancanza di manutenzione, modifiche non autorizzate.

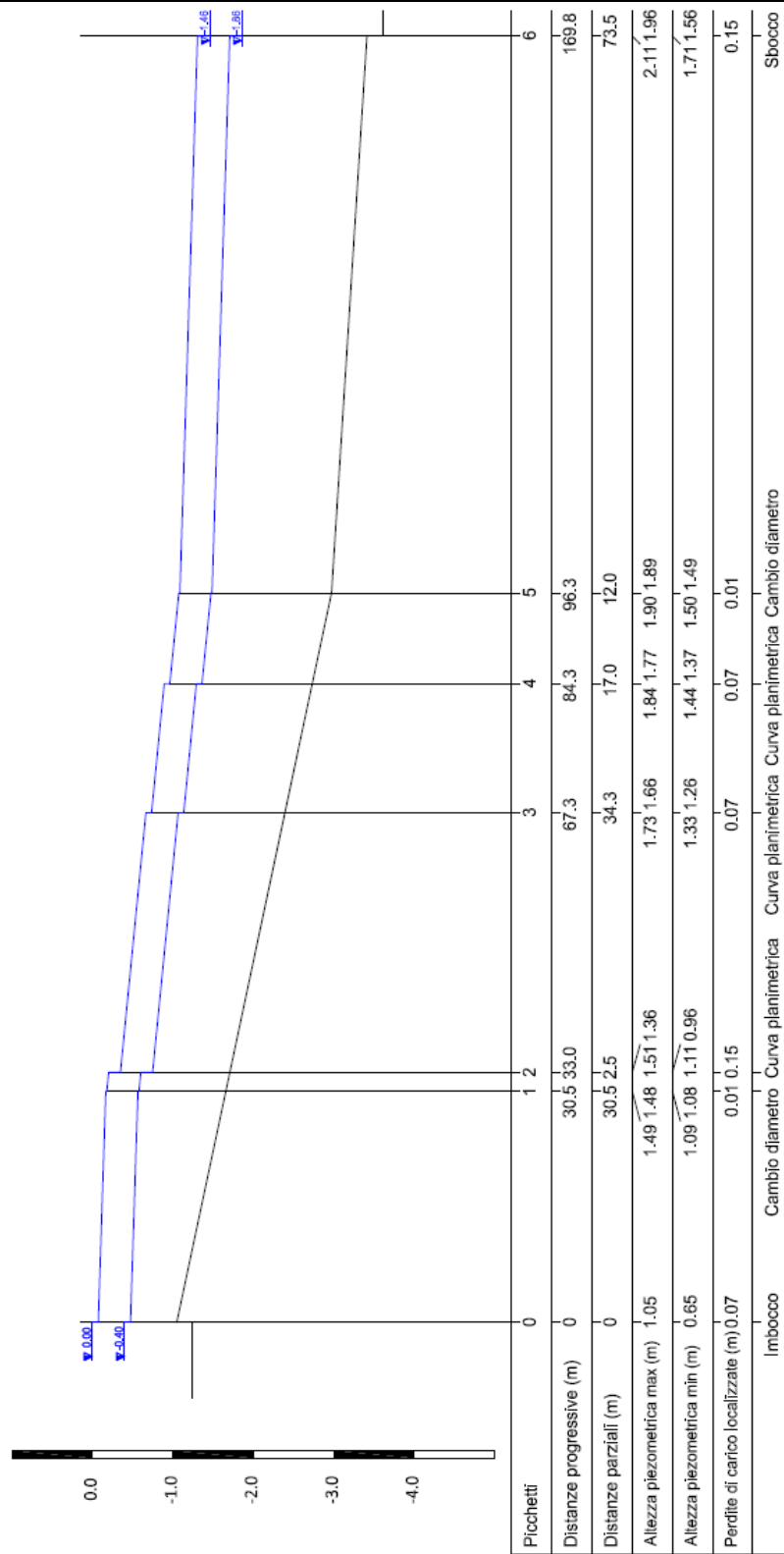
Con l'eventuale riparazione o sostituzione delle parti o complessi difettosi resta comunque escluso ogni altro nostro obbligo o responsabilità per danni diretti o indiretti.

Sui pezzi sostituiti in garanzia sarà rinnovata la garanzia di 12 mesi.

ZECO S.r.l.

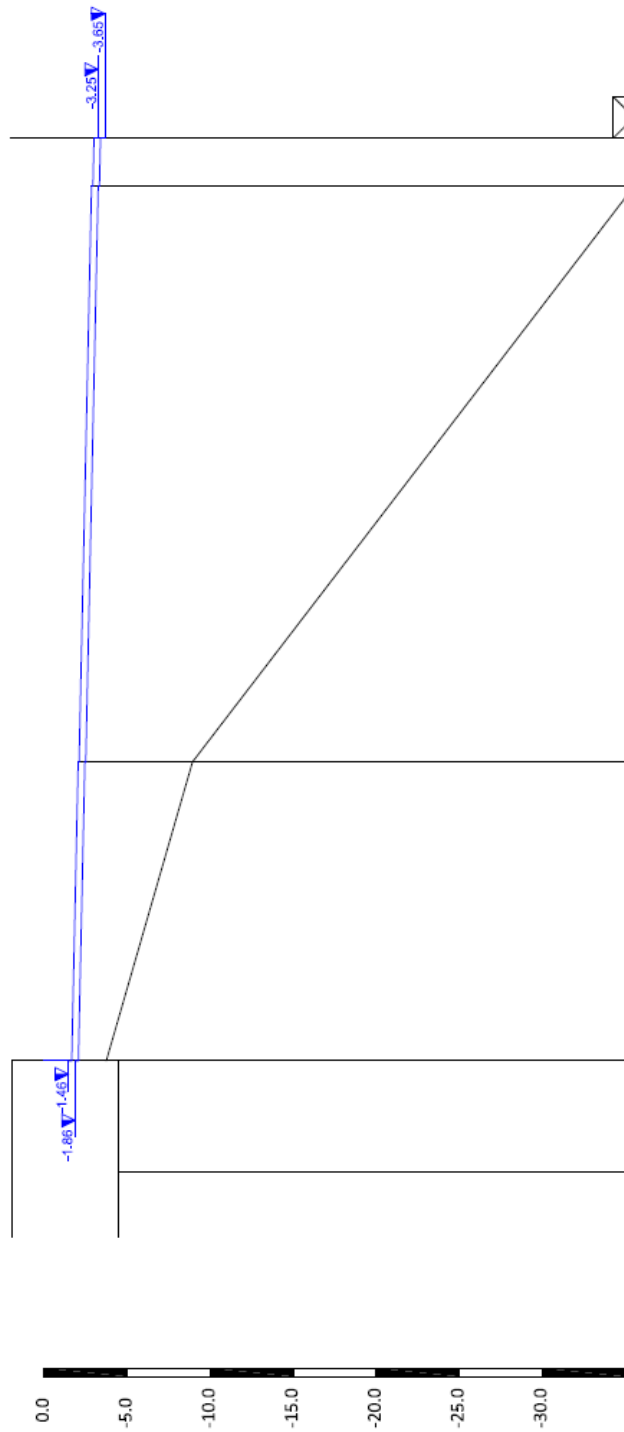
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4

CORSO DI INGEGNERIA DEL TERRITORIO
 PROGETTO KIMBAU
 N. Colaluca R. Lovregio M. Di Carlo
 ALLEGATO 4
 scala 1:500 asse x 1:50 asse y



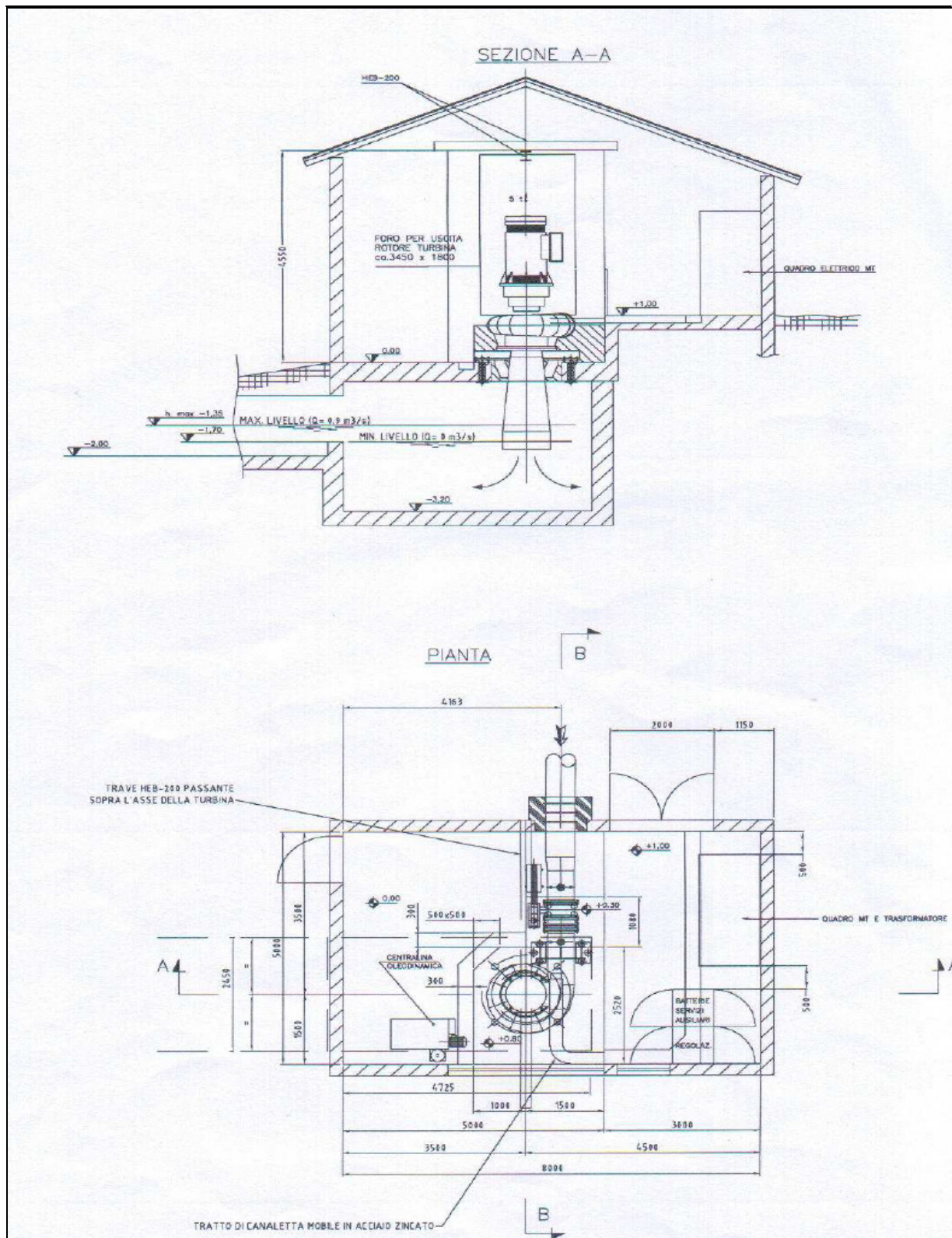
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5

CORSO DI INGEGNERIA DEL TERRITORIO
 PROGETTO KIMBAU
 N. Colaluce R. Lovreglio M. Di Carlo
 ALLEGATO 5
 scala 1:250

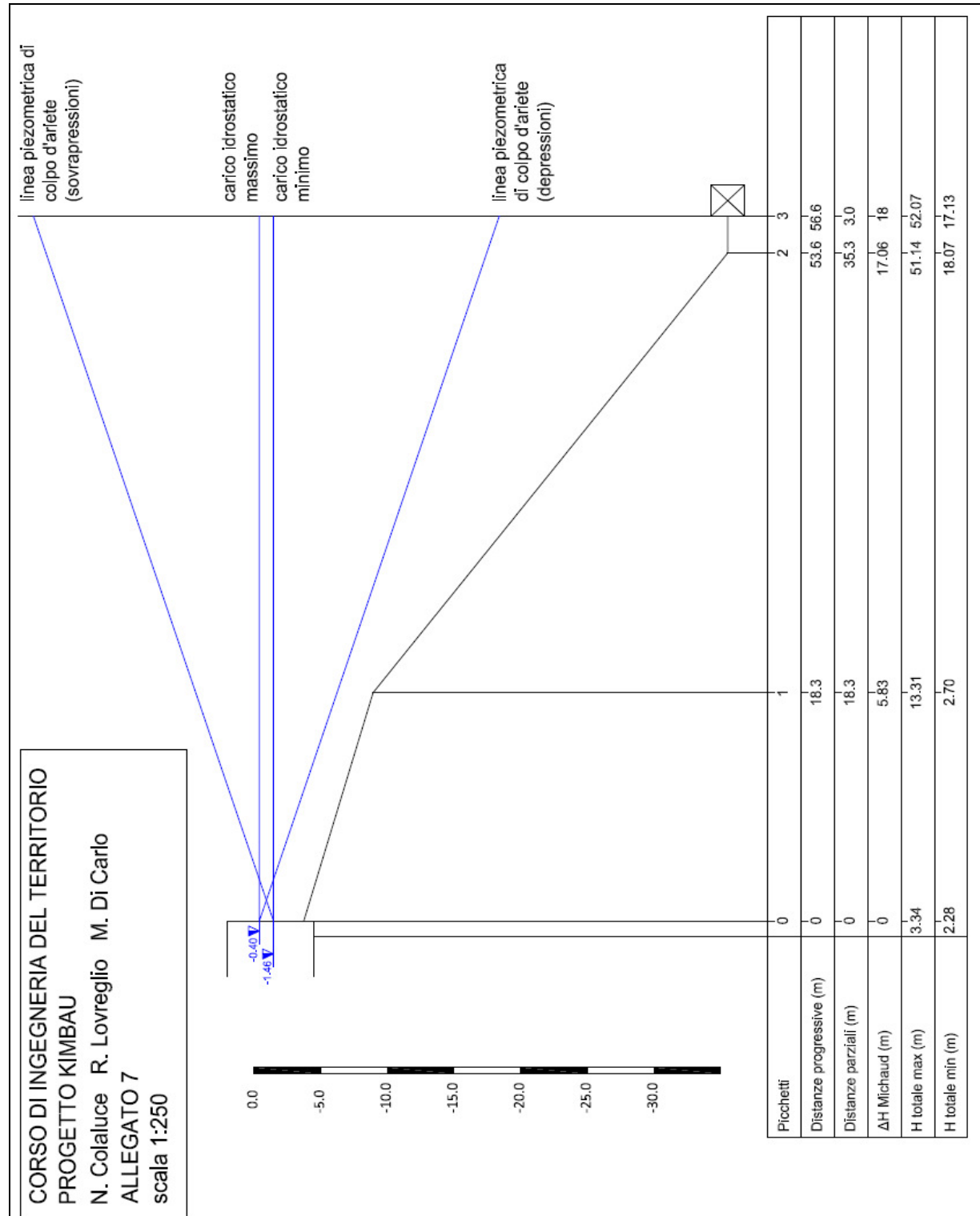


Picchetti	0	1	2	3
Distanze progressive (m)	0	18.3	53.6	56.6
Distanze parziali (m)	0	18.3	35.3	3.0
Altezza piezometrica max (m)	2.28 2.09	6.89 6.84	32.69 32.61	32.54 32.28
Altezza piezometrica min (m)	1.88 1.69	6.49 6.44	32.29 32.21	32.14 31.88
Perdite di carico localizzate (m)	0.19	0.05	0.08	0.26
	Imbocco	Curva allometrica	Curva allometrica	Sbocco

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7



	0,1	AΘ	AΘ	AΘ	0,1	AΘ	AΘ	AΘ	0,1	AΘ	AΘ	AΘ	0,1	AΘ	AΘ	AΘ	0,1	AΘ	AΘ	AΘ	0,1	AΘ	AΘ	AΘ
	0,2	AΘ	AΘ	AΘ	0,2	AΘ	AΘ	AΘ	0,2	AΘ	AΘ	AΘ	0,2	AΘ	AΘ	AΘ	0,2	AΘ	AΘ	AΘ	0,2	AΘ	AΘ	AΘ
	0,3	AΘ	AΘ	Θ	0,3	AΘ	AΘ	AΘ	0,3	AΘ	AΘ	AΘ	0,3	AΘ	AΘ	AΘ	0,3	AΘ	AΘ	AΘ	0,3	AΘ	AΘ	AΘ
	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	AΘ	Θ	Θ	0,4	AΘ	Θ	Θ	0,4	AΘ	Θ	Θ
	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ	δ	AΘ	Θ	Θ	δ	AΘ	Θ	Θ	δ	AΘ	Θ	Θ
	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ
	0,6	Θ	Θ	Θ	0,6	Θ	Θ	Θ	0,6	Θ	Θ	Θ	0,6	Θ	Θ	Θ	0,6	Θ	Θ	Θ	0,6	Θ	Θ	Θ
	0,7	Θ	Θ	Θ	0,7	Θ	Θ	Θ	0,7	Θ	Θ	Θ	0,7	Θ	Θ	Θ	0,7	Θ	Θ	Θ	0,7	Θ	Θ	Θ

B=1,5β m, δ=0,4912 m

Lu/Ld	4				5				6				7				8				9,15			
	y/x	0	0,15	0,3	y/x	0	0,15	0,3	y/x	0	0,15	0,3	y/x	0	0,15	0,3	y/x	0	0,15	0,3	y/x	0	0,15	0,3
5	0,1	Θ	Θ	Θ	0,1	Θ	Θ	Θ	0,1	Θ	Θ	Θ	0,1	Θ	Θ	Θ	0,1	Θ	Θ	Θ	0,1	Θ	Θ	Θ
	0,2	Θ	Θ	Θ	0,2	Θ	Θ	Θ	0,2	Θ	Θ	Θ	0,2	Θ	Θ	Θ	0,2	Θ	Θ	Θ	0,2	Θ	Θ	Θ
	0,3	Θ	Θ	Θ	0,3	Θ	Θ	Θ	0,3	Θ	Θ	Θ	0,3	Θ	Θ	Θ	0,3	Θ	Θ	Θ	0,3	Θ	Θ	Θ
	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ
	δ	Θ	Θ	ΔA	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ
	0,5	Θ	ΔA	ΔA	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ
	0,6	ΔA	ΔA	ΔA	0,6	ΔA	ΔA	ΔA	0,6	Θ	ΔA	ΔA	0,6	Θ	Θ	ΔA	0,6	Θ	Θ	Θ	0,6	Θ	Θ	Θ
0,7	ΔA	ΔA	ΔA	0,7	ΔA	ΔA	ΔA	0,7	ΔA	ΔA	ΔA	0,7	ΔA	ΔA	ΔA	0,7	ΔA	ΔA	ΔA	0,7	ΔA	ΔA	ΔA	
6	0,1	Θ	Θ	Θ	0,1	Θ	Θ	Θ	0,1	Θ	Θ	Θ	0,1	Θ	Θ	Θ	0,1	Θ	Θ	Θ	0,1	Θ	Θ	Θ
	0,2	Θ	Θ	Θ	0,2	Θ	Θ	Θ	0,2	Θ	Θ	Θ	0,2	Θ	Θ	Θ	0,2	Θ	Θ	Θ	0,2	Θ	Θ	Θ
	0,3	Θ	Θ	Θ	0,3	Θ	Θ	Θ	0,3	Θ	Θ	Θ	0,3	Θ	Θ	Θ	0,3	Θ	Θ	Θ	0,3	Θ	Θ	Θ
	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ
	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ
	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ
	0,6	ΔA	ΔA	ΔA	0,6	Θ	ΔA	ΔA	0,6	Θ	Θ	ΔA	0,6	Θ	Θ	Θ	0,6	Θ	Θ	Θ	0,6	Θ	Θ	Θ
0,7	ΔA	ΔA	ΔA	0,7	ΔA	ΔA	ΔA	0,7	ΔA	ΔA	ΔA	0,7	ΔA	ΔA	ΔA	0,7	ΔA	ΔA	ΔA	0,7	Θ	Θ	ΔA	

18	y/x	0	0,15	0,3	y/x	0	0,15	0,3	y/x	0	0,15	0,3	y/x	0	0,15	0,3	y/x	0	0,15	0,3	y/x	0	0,15	0,3
	0,1	AΘ	AΘ	AΘ	0,1	AΘ	AΘ	AΘ	0,1	AΘ	AΘ	AΘ	0,1	AΘ	AΘ	AΘ	0,1	AΘ	AΘ	AΘ	0,1	AΘ	AΘ	AΘ
	0,2	AΘ	AΘ	Θ	0,2	AΘ	AΘ	AΘ	0,2	AΘ	AΘ	AΘ	0,2	AΘ	AΘ	AΘ	0,2	AΘ	AΘ	AΘ	0,2	AΘ	AΘ	AΘ
	0,3	Θ	Θ	Θ	0,3	Θ	Θ	Θ	0,3	Θ	Θ	Θ	0,3	AΘ	Θ	Θ	0,3	AΘ	Θ	Θ	0,3	AΘ	Θ	Θ
	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ
	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ
	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ
	0,6	Θ	Θ	Θ	0,6	Θ	Θ	Θ	0,6	Θ	Θ	Θ	0,6	Θ	Θ	Θ	0,6	Θ	Θ	Θ	0,6	Θ	Θ	Θ
0,7	Θ	Θ	Θ	0,7	Θ	Θ	Θ	0,7	Θ	Θ	Θ	0,7	Θ	Θ	Θ	0,7	Θ	Θ	Θ	0,7	Θ	Θ	Θ	
19,15	y/x	0	0,15	0,3	y/x	0	0,15	0,3	y/x	0	0,15	0,3	y/x	0	0,15	0,3	y/x	0	0,15	0,3	y/x	0	0,15	0,3
	0,1	AΘ	AΘ	AΘ	0,1	AΘ	AΘ	AΘ	0,1	AΘ	AΘ	AΘ	0,1	AΘ	AΘ	AΘ	0,1	AΘ	AΘ	AΘ	0,1	AΘ	AΘ	AΘ
	0,2	AΘ	AΘ	AΘ	0,2	AΘ	AΘ	AΘ	0,2	AΘ	AΘ	AΘ	0,2	AΘ	AΘ	AΘ	0,2	AΘ	AΘ	AΘ	0,2	AΘ	AΘ	AΘ
	0,3	Θ	Θ	Θ	0,3	AΘ	Θ	Θ	0,3	AΘ	Θ	Θ	0,3	AΘ	Θ	Θ	0,3	AΘ	Θ	Θ	0,3	AΘ	AΘ	Θ
	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ	0,4	Θ	Θ	Θ
	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ	δ	Θ	Θ	Θ
	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ	0,5	Θ	Θ	Θ
	0,6	Θ	Θ	Θ	0,6	Θ	Θ	Θ	0,6	Θ	Θ	Θ	0,6	Θ	Θ	Θ	0,6	Θ	Θ	Θ	0,6	Θ	Θ	Θ
0,7	Θ	Θ	Θ	0,7	Θ	Θ	Θ	0,7	Θ	Θ	Θ	0,7	Θ	Θ	Θ	0,7	Θ	Θ	Θ	0,7	Θ	Θ	Θ	