



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ Θ. ΠΑΠΑΒΑΣΙΛΕΙΟΥ

ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ: ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΝΑΟΥΣΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2022





ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ Θ.ΠΑΠΑΒΑΣΙΛΕΙΟΥ

Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5796

ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ: ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΝΑΟΥΣΑΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας

Επιβλέποντες

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ
ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΣ ΚΑΚΛΗΣ



© Παπαβασιλείου Σταυρούλα, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

© Παπαβασιλείου Σταυρούλα, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας,

Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Νερό και Ενέργεια: Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα στην περιοχή της Νάουσας-
Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

© Papavasileiou Stavroula, School of Geology, Department of Tectonic, Historic and Applied Geology, 2022

Laboratory of Engineering Geology and Hydrogeology, 2022

All rights reserved.

WATER AND ENERGY: SMALL HYDROELECTRIC WORKS IN NAOUSA AREA
– *Bachelor Thesis*

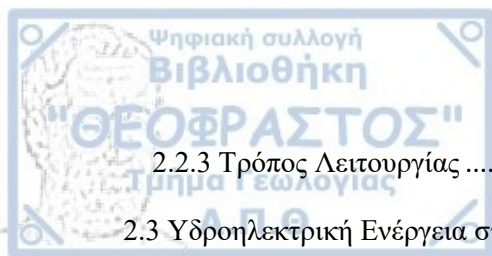
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

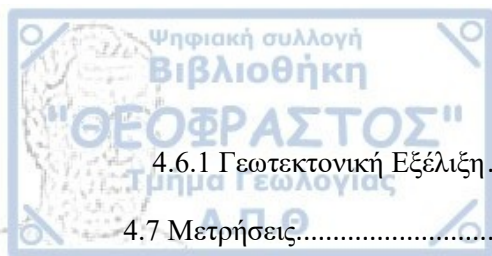


Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Abstract	2
Εισαγωγή.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΝΕΡΓΕΙΑ-ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	4
1.1 ΜΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ-ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	5
1.1.1 Γαιάνθρακες	5
1.1.2 Πετρέλαιο	6
1.1.3 Φυσικό Αέριο	7
1.1.4 Πυρηνική Ενέργεια.....	8
1.2 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	9
1.2.1 Ηλιακή Ενέργεια	10
1.2.2 Αιολική Ενέργεια	11
1.2.3 Βιομάζα	11
1.2.4 Γεωθερμική Ενέργεια	12
1.2.5 Κυματική Ενέργεια.....	13
1.2.6 Παλιρροϊκή Ενέργεια	14
1.2.7 Υδροηλεκτρική Ενέργεια	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Υδροηλεκτρική Ενέργεια	16
2.1 Υδρολογικός Κύκλος	16
2.1.1 Υδροδυναμική Ενέργεια.....	18
2.1.2 Το Υδροδυναμικό της Ελλάδας.....	19
2.2 Εισαγωγή στην Υδροηλεκτρική Ενέργεια.....	23
2.2.1 Ορισμός Υδροηλεκτρικής Ενέργειας	27
2.2.2 Ιστορική Αναδρομή.....	28



2.2.3 Τρόπος Λειτουργίας	29
2.3 Υδροηλεκτρική Ενέργεια στην Ελλάδα	30
2.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....	36
2.4.1 Πλεονεκτήματα χρήσης υδροηλεκτρικής ενέργειας.....	36
2.4.2 Μειονεκτήματα χρήσης υδροηλεκτρικής ενέργειας.....	37
2.5 Εφαρμογές-Παραδείγματα	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα (Μ.ΥΗ.Ε).....	40
3.1 Εισαγωγή.....	40
3.1.1 Ιστορική Διαδρομή Μ.ΥΗ.Ε	41
3.1.2 Ορισμός των Μ.ΥΗ.Ε	42
3.2 Κατηγοριοποίηση των Υδροηλεκτρικών Έργων.....	42
3.3 Υδροηλεκτρικά Έργα στην Ελλάδα	48
3.3.1 Μεγάλα Υδροηλεκτρικά Έργα	48
3.3.2 Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα	51
3.4 Νομοθεσία Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων.....	60
3.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....	62
3.5.1 Πλεονεκτήματα Μ.ΥΗ.Ε.....	62
3.5.2 Μειονεκτήματα Μ.ΥΗ.Ε	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Διερεύνηση Περιοχή Μελέτης	64
4.1 Γεωγραφικά-Μορφολογικά Στοιχεία	64
4.2 Πληθυσμιακά Στοιχεία	69
4.3 Κάλυψη Γής.....	70
4.4 Κλίμα.....	71
4.5 Υδρογραφικό Δίκτυο.....	78
4.6 Γεωλογική Δομή Περιοχή Μελέτης	82



4.6.1 Γεωτεκτονική Εξέλιξη.....	86
4.7 Μετρήσεις.....	90
4.8 Ενεργειακή Προσέγγιση.....	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα	100
Βιβλιογραφία.....	103
Παράρτημα	106

Ο σύγχρονος τρόπος και οι γρήγοροι ρυθμοί ζωής, φέρουν ως αποτέλεσμα την συνεχή αύξηση της ενεργειακής ζήτησης, καθώς και την εξάντληση των μη ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων. Συνδυαστικά με την χρήση αυτών, επακόλουθο αποτελεί η επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος. Συνεπώς, η σύνδεση αυτών των γεγονότων οδήγησε τις κοινωνίες να στραφούν στις πιο καθαρές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

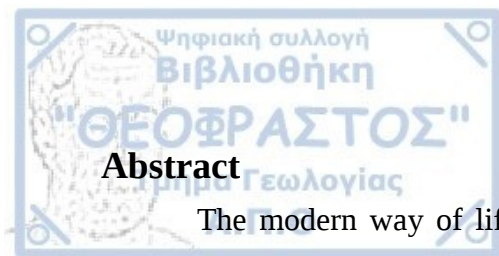
Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας διακρίνονται σε κατηγορίες, παρόλα αυτά, η παρούσα διπλωματική εργασία εγείρει το ενδιαφέρον της στην υδροηλεκτρική ενέργεια. Αρχικά, αναφέρεται κάθε μια ανανεώσιμη πηγή και εν συνεχεία γίνεται περαιτέρω εμβάθυνση στην υδροηλεκτρική ενέργεια, την ιστορική αναδρομή της, τα αντίστοιχα έργα αυτής και την διάκριση τους σε μικρά και μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα.

Επιπρόσθετα, αναλύεται η κατάσταση της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα σε σύγκριση με άλλες χώρες της Ευρώπης και εκτός αυτής. Κύρια αναφορά γίνεται στα μικρά υδροηλεκτρικά έργα και στα επιμέρους συνοδευτικά έργα τους, καθώς και στα σημαντικά πλεονεκτήματά τους.

Όσον αφορά την περιοχή έρευνας, η εν λόγω εργασία αφορά την μελέτη ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου στην Νάουσα του νομού Ημαθίας. Στην περιοχή πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις παροχής με την βοήθεια του μυλίσκου σε τέσσερις θέσεις. Με τις μετρούμενες παροχές υπολογίζονται και τα ποσά της ενέργειας που παράγονται από τον υδροηλεκτρικό σταθμό.

Τέλος, συνοψίζονται τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της παρούσας εργασίας και προτείνονται θέματα που χρήζουν επιπλέον διερεύνησης.

Λέξεις Κλειδιά: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Υδροηλεκτρική Ενέργεια, Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα, Νάουσα



Abstract

The modern way of life and the fast pace of it have as a result the continuous increase of energy demand as well as the exhaustion of the non-renewable resources. In combination with the use of these two, the consequence is the surcharge of the natural environment. Therefore, the connection of these two facts has driven communities to turn not only to cleaner but also renewable energy resources.

The renewable energy resources are distinguished in categories, but this diplomatic work is interested in and dealt with the hydroelectric power. At first it is referred each one of the renewable resources and then it is attained a thorough examination of the hydroelectric power, its historical background, its equivalent works and their distinction in small and big hydroelectric works.

Moreover, it is analyzed the condition of the hydroelectric power in Greece in comparison with other European countries and countries out of Europe. A main report is about the small hydroelectric projects and the distributive works that follow them, as well as their important advantages.

As to the research area, this piece of work has to do with the study of a small hydroelectric station in Naousa, in the prefecture of Imathia. In this area measuring of supply have been carried out with the help of a watermill, in four places. With, the measuring of the supply are also estimated the amounts of energy that are produced by the hydroelectric station.

In the end, here are summarized the most important conclusions that arise from the working out of the present project and are suggested subjects that need additional investigation.

Key Words: Renewable energy resources, hydroelectric power, small hydroelectric works, Naousa



Εδώ και αρκετά χρόνια, μείζων ζήτημα της κοινωνίας και του ανθρώπου είναι η ενέργεια. Ο λόγος είναι, ότι η πρόσβαση του σε πηγές ενέργειας, επιφέρει την εξέλιξη και την ευημερία. Επομένως, για να μπορέσει ο άνθρωπος να επιτύχει τον στόχο του, στρέφει το ενδιαφέρον του στην εκμετάλλευση των ορυκτών πόρων.

Οι ορυκτοί ενεργειακοί πόροι είναι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το οποίο σημαίνει πως από την υπερεκμετάλλευση τους θα επέλθει εξάντληση σε κάποιο χρονικό διάστημα. Εκτός από αυτή την βασική παράμετρο, το σημαντικότερο στοιχείο είναι το φυσικό περιβάλλον, καθώς η αλόγιστη χρήση των ορυκτών πόρων το επιβαρύνει σημαντικά.

Για τους παραπάνω λόγους, πλέον, οι κοινωνίες στρέφονται προς τις πιο ήπιες μορφές ενέργειας για την παραγωγή, και πιο συγκεκριμένα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε). Με την προτροπή των κοινωνιών προς αυτές, εκτός από το ότι βρίσκονται σε αφθονία, προστατεύεται το φυσικό περιβάλλον.

Μια από τις πολλές συνιστώσες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η υδροηλεκτρική ενέργεια, η οποία παράγεται με την βοήθεια των υδροηλεκτρικών έργων. Τα έργα αξιοποίησης του νερού για την παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιούνται από αρχαιοτάτων χρόνων με τους νερόμυλους, τα υδροτριβεία και άλλους μηχανισμούς. Φυσικά, από εκείνα τα χρόνια μέχρι σήμερα υπάρχει μεγάλη εξέλιξη των υδροηλεκτρικών έργων με την συνεισφορά τους στον εκσυγχρονισμό των κοινωνιών να είναι μεγάλη.

Λόγω του χαμηλού κόστους λειτουργίας και συντήρησης, επικρατεί μια αναθέρμανση του ενδιαφέροντος προς τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος αλλά και στην κάλυψη άλλων αναγκών. Ο σύντομος χρόνος σχεδιασμού τους και η υψηλή τους απόδοση αποτελούν δύο ακόμα επιχειρήματα για την αξιοποίηση αυτών.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αποτροπή της εκμετάλλευσης των ορυκτών πόρων και η προτροπή σε ανανεώσιμες πηγές, με έμφαση στην υδροηλεκτρική ενέργεια. Επίσης, σκοπός της είναι η σημασία των μικρών υδροηλεκτρικών έργων και η αύξηση της χρήσης τους στην διάρκεια των ετών. Δείγμα για την επίτευξη του σκοπού της διπλωματικής εργασίας είναι η επίσκεψη και η ανάκτηση δεδομένων από ένα μικρό υδροηλεκτρικό έργο.

Συνεπώς, οι εργασίες που εκπονήθηκαν είναι η βιβλιογραφική επισκόπηση, η αναζήτηση θεωρητικών εννοιών και η επεξεργασία και αξιολόγηση των δεδομένων από τον υδροηλεκτρικό σταθμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΝΕΡΓΕΙΑ-ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η καθημερινότητα και οι δραστηριότητες του ανθρώπου εξαρτώνται εξ ολοκλήρου από την ενέργεια. Χάρη στην αφθονία της, τα ποσοστά ευημερίας των ανθρώπων σε κάθε κοινωνία είναι αρκετά υψηλά, καθώς εξασφαλίζει τη ζέστη, το φως και τη μετακίνησή τους. Έτσι, η καθημερινή ζωή του ανθρώπου είναι σε μεγάλο επίπεδο συνδεδεμένη με την ενέργεια και μόνο η έλλειψή της θα επιφέρει τη σημασία της αναγκαιότητάς της.

Παρόλο που η ενέργεια αποτελεί μια απροσδιόριστη έννοια, μπορούμε να την αντιληφθούμε και να αποδώσουμε τον ορισμό της. Επομένως, ως ενέργεια ορίζουμε την ικανότητα παραγωγής έργου από ένα σύστημα σε ένα άλλο (Ανδρίτσος, 2015). Για να καταλήξουμε να χρησιμοποιούμε την τελική ενέργεια (ή αλλιώς χρήσιμη ενέργεια) πρέπει η πρωτογενής να περάσει από κάποια στάδια εξέλιξης, που αποτελούν το ενεργειακό σύστημα. Η τελική ενέργεια είναι αυτή που οι κοινωνίες έχουν την δυνατότητα να καταναλώσουν.

Για να υφίσταται η ενέργεια και η χρήση της, πρέπει να υπάρχουν πηγές που να την παράγουν, οι οποίες ονομάζονται ενεργειακές πηγές ή πηγές ενέργειας (Ανδρίτσος, 2015). Μπορεί να παραχθεί ενέργεια για θέρμανση, φωτισμό, ηλεκτρικό ρεύμα και για κίνηση.

Πέρα από την γρήγορη εξέλιξη της ανθρωπότητας, από την παραγωγή ενέργειας, μέγιστο πλήγμα από αυτή είναι η υποβίβαση του φυσικού περιβάλλοντος και η έξαρση επικίνδυνων φαινομένων (φαινόμενο του θερμοκηπίου). Λόγω των επιπτώσεων, πλέον, η κοινωνία στρέφεται σε πηγές ενέργειας φιλικές προς το περιβάλλον.

Όπως προαναφέρθηκε, για την δυνατότητα παραγωγής ενέργειας χρήσης χρειαζόμαστε τις ενεργειακές πηγές. Αυτές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τις μη ανανεώσιμες συμβατικές πηγές ενέργειας και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Ανδρίτσος, 2015).

1.1 ΜΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ-ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ως μη ανανεώσιμες συμβατικές πηγές ενέργειας θεωρούνται οι πηγές που δεν αντικαθίστανται ή αντικαθίσταται σε αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα. Τέτοιες ενεργειακές πηγές είναι οι ορυκτοί ενεργειακοί πόροι (ορυκτά καύσιμα) και η πυρηνική ενέργεια. Τα ορυκτά καύσιμα, εκ των οποίων είναι οι γαιάνθρακες, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό των συμβατικών πηγών ενέργειας και των ανθρώπινων αναγκών. Επομένως, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση σε αυτά.

Οι αναφερθείσες μορφές ενέργειας δημιουργήθηκαν από οργανισμούς, ζωικούς αλλά και φυτικούς, οι οποίοι έζησαν στο γεωλογικό χρόνο πριν αρκετά εκατομμύρια χρόνια. Οι οργανισμοί έζησαν και εξελίχθηκαν σε θαλάσσιο ή σε ηπειρωτικό περιβάλλον, στο οποίο και πέθαναν. Στη συνέχεια, κατά την γεωλογική εξέλιξη, πραγματοποιήθηκε ο ενταφιασμός της οργανικής ύλης στο εσωτερικό της γης και υπό την επίδραση αναερόβιων βακτηριδίων, υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας δημιουργήθηκαν χημικές ενώσεις. Αυτές ονομάζονται **ορυκτά καύσιμα** (Διγκόγλου, 2017).

1.1.1 Γαιάνθρακες

Οι γαιάνθρακες αποτελούν ιζηματογενή κοιτάσματα με βιογενή προέλευση και είναι πλούσια σε άνθρακα που αναφέρεται ως ορυκτός άνθρακας και εξορύσσεται από τη Γη. Το συγκεκριμένο ορυκτό καύσιμο, δημιουργήθηκε από φυτικά λείψανα, τους φυτοκλάστες, όπου συγκεντρώθηκαν σε μία λεκάνη. Κατά τις γεωλογικές διεργασίες της Γης, τα λείψανα ενταφιάστηκαν στο εσωτερικό της και παγιδεύτηκαν σε στρώματα του υπεδάφους. Λόγω των συνθηκών υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν στο εσωτερικό της Γης και σε συνδυασμό με το αναερόβιο βακτήριο του άνθρακα, οι φυτικοί οργανισμοί ενανθρακώθηκαν.

Εξ αιτίας της πορείας ενανθράκωσης, σχηματίστηκαν διάφοροι τύποι γαιανθράκων με μεταβαλλόμενη περιεκτικότητα στο στοιχείο του άνθρακα. Επίσης ποικίλουν και σε χρώμα, από μαύρο έως καφέ. Οι γαιάνθρακες εμπεριέχουν ενώσεις του άνθρακα, του αζώτου, του οξυγόνου και του υδρογόνου. Για παράδειγμα, διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, αμμωνία και ίχνη υγρασίας.

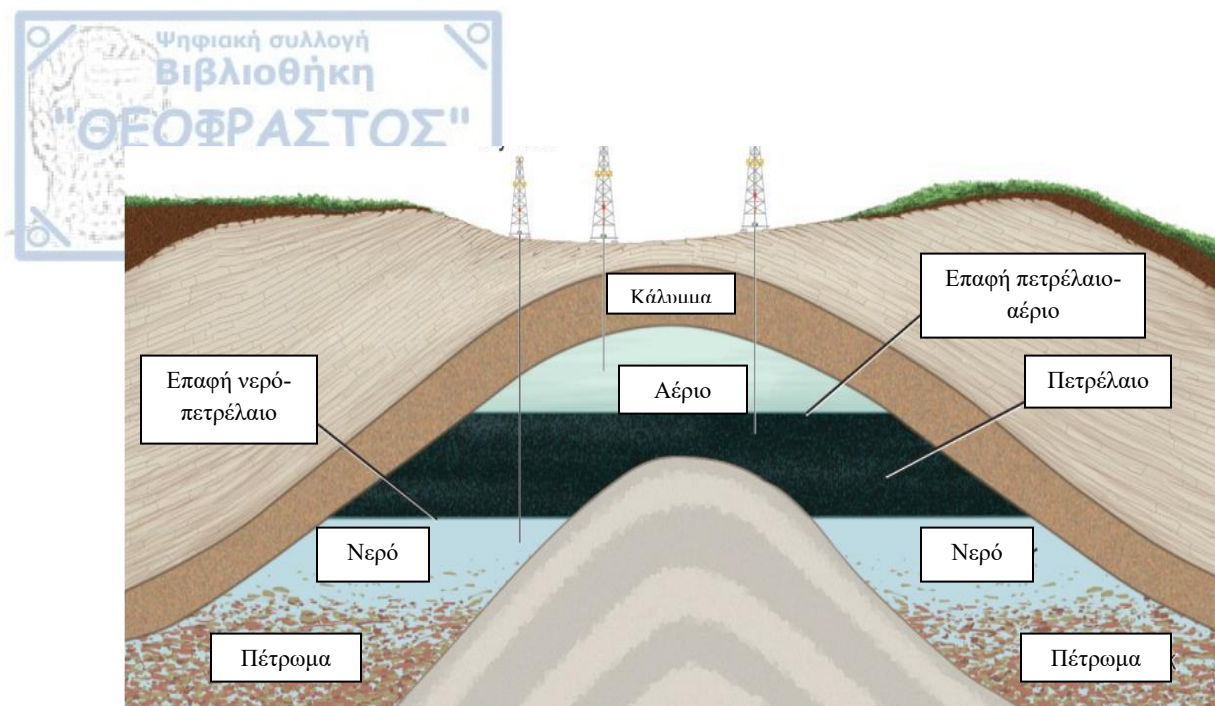
Ταξινομούνται με βάση την περιεκτικότητα σε άνθρακα, σε υγρασία και πτητικά συστατικά (CO_2 , NH_3 , CH_4): σε τύρφη, λιγνίτη, ανθρακίτη και γραφίτη. Επίσης, διαχωρίζονται και για την χρήση τους ως καύσιμη ύλη ή όχι. Η τύρφη και ο γραφίτης δεν χρησιμοποιούνται ως καύσιμη ύλη, σε αντίθεση με τον λιγνίτη και τον ανθρακίτη που χρησιμοποιούνται (Γάττας, 2013).

1.1.2 Πετρέλαιο

Στον σύγχρονο κόσμο, η σπουδαιότερη πηγή ενέργειας αλλά και παραγωγής φαρμακευτικών προϊόντων αποτελεί το πετρέλαιο. Θεωρείται υγρό ορυκτό καύσιμο, το οποίο εμπεριέχει ένα μίγμα υδρογονανθράκων, κυρίως υγρούς. Μέσα σε αυτούς ενέχονται στερεοί και αέριοι υδρογονάνθρακες, με μικρές ποσότητες ενώσεων του αζώτου, του θείου και του οξυγόνου. Το πετρέλαιο βρίσκεται σε πετρελαιοφόρα κοιτάσματα.

Ο τρόπος δημιουργίας του δεν έχει αποσαφηνιστεί πλήρως, όμως έχει επικρατήσει ότι είναι οργανικής προέλευσης. Κατά τις παλαιότερες γεωλογικές περιόδους, θαλάσσιοι μονοκύτταροι ζωικοί και φυτικοί οργανισμοί(φυτοπλαγκτόν και ζωοπλαγκτόν), ζούσαν σε υδάτινους ταμιευτήρες. Μετά τον θάνατο τους, αποτέθηκαν στον πυθμένα, συσσωρεύτηκαν και εγκλωβίστηκαν στον υδάτινο ταμιευτήρα. Έτσι με την πάροδο του γεωλογικού χρόνου, ενταφιάστηκαν στο εσωτερικό της γης και με τις αναερόβιες συνθήκες, τις υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες, σχηματίζοντας επάλληλά στρώματα μαύρης λάσπης, τα οποία με το χρόνο αυξάνονταν (Ανδρίτσος, 2011; Σπήλιος, 2021).

Η σύσταση του ορυκτού ή αργού πετρελαίου είναι ρευστή, επομένως έχει την τάση να μεταναστεύει. Επομένως, είναι αναγκαίο η παρουσία συγκεκριμένων γεωλογικών σχηματισμών, του ταμιευτήρα του πετρελαίου και το κάλυμμα του πετρελαίου που θα λειτουργεί ως παγίδα. Η ανομοιογένεια της σύστασης του οφείλεται στην μίξη των υδρογονανθράκων και εξ αιτίας αυτής παρουσιάζει μεγάλες διαφορές στις φυσικές ιδιότητες του. Η πυκνότητα, το ιξώδες ποικίλουν αρκετά, όπως και το χρώμα, που μπορεί να είναι μαύρο, πράσινο ή φαιοκίτρινο.



Σχήμα 1.1.2.1: Στρώμα παγίδας πετρελαίου(Μαραβέλης,2020)

Η ανάκτηση του πετρελαίου πραγματοποιείται με την βοήθεια μίας γεώτρησης, η οποία θα συμβεί σε θέση που έχει υποδείξει ο εκάστοτε γεωλόγος. Μπορεί να γίνει με διαφορετικούς τρόπους, όμως ο κάθε ένας έχει και το ανάλογο κόστος (Ανδρίτσος, 2011).

1.1.3 Φυσικό Αέριο

Το φυσικό αέριο είναι ένα αέριο καύσιμο. Για να δοθεί ένας ορισμός για το φυσικό αέριο αρκεί να αναλύσουμε καλύτερα την ονομασία του. Επομένως, εξ ορισμού είναι ένα αέριο μίγμα υδρογονανθράκων, που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο, και βρίσκεται σε αέρια κατάσταση (Ανδρίτσος, 2015). Η θέση στην οποία βρίσκουμε φυσικό αέριο δεν διαφέρει από αυτή του πετρελαίου, αφού μπορεί να είναι διαλυμένο μέσα σε αυτό, αλλά βρίσκεται και σε κοιλότητες του υπεδάφους. Έτσι, ο τρόπος σχηματισμού του είναι παρόμοιος με αυτόν του πετρελαίου.

Το κυριότερο συστατικό του είναι το μεθάνιο (85-95%), όμως περιέχει και άλλους βαρύτερους υδρογονάνθρακες. Όταν η σύσταση του είναι απαλλαγμένη από τα βαριά κλάσματα υδρογονανθράκων και αποτελείται μόνο από καθαρό μεθάνιο, αποκαλείται ξηρό φυσικό αέριο. Αντιθέτως, ορίζεται ως υγρό φυσικό αέριο (Ντούρλιας, 2017).

Οι ιδιότητες του είναι απολύτως συγκεκριμένες, άχρωμο, αόρατο και άοσμο. Παρόλα αυτά, για λόγους ασφάλειας, του δίνεται τεχνητά μια χαρακτηριστική οσμή για να μπορεί να γίνεται αντιληπτή μια τυχόν διαρροή. Η συγκεκριμένη πηγή ενέργειας εμφανίζει, συγκριτικά με τους γαιάνθρακες και το πετρέλαιο, τα περισσότερα πλεονεκτήματα. Για το λόγο αυτόν, αξιοποιείται για περισσότερες και σημαντικότερες εφαρμογές.

Αποτελεί ένα άριστο καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, άρα ο βασικότερος τομέας που δραστηριοποιείται είναι η ηλεκτροπαραγωγή. Αντιθέτως, μπορεί να υπάρξει και συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, που δύναται να συνδυαστεί και με τον οικιακό αλλά και με τον εμπορικό τομέα. Σημαντικό ρόλο, επίσης, έχει και στον βιομηχανικό τομέα, καθώς έχει μειωμένο λειτουργικό κόστος και εκπομπές ρύπων σε συνδυασμό με την αυξημένη ενεργειακή του απόδοση.

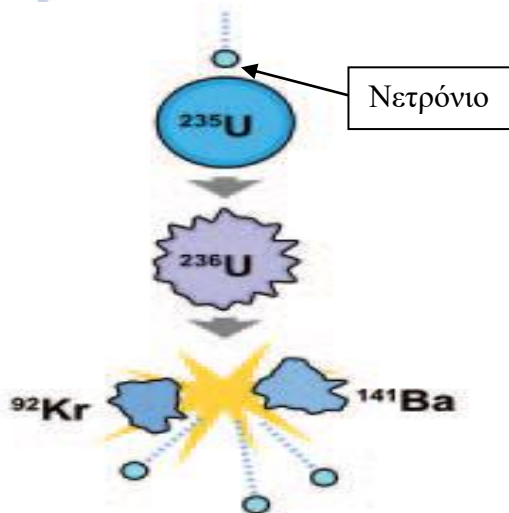
Συνολικά, εκτός ότι αποτελεί μια πηγή ενέργειας φιλική προς το περιβάλλον, λόγω τις ελαττωμένες εκπομπές ρύπων, όμως δεν είναι ανανεώσιμη.

1.1.4 Πυρηνική Ενέργεια

Η πυρηνική ενέργεια ή ατομική ενέργεια ορίζεται ως η ενέργεια που εκλύεται κατά την αντίδραση ατομικών πυρήνων, δηλαδή από πυρηνικές αντιδράσεις. Ο λόγος που απελευθερώνεται ενέργεια είναι ο μετασχηματισμός ή η διάσπαση αυτών των πυρήνων.

Υπάρχουν δύο τρόποι παραγωγής πυρηνικής ενέργειας. Ο ένας πραγματοποιείται μέσω μιας σειράς σχάσεων των ατομικών πυρήνων, την λεγόμενη πυρηνική σχάση, δηλαδή την διάσπαση των πυρήνων σε ελαφρύτερους. Ο δεύτερος τρόπος συντελείται μέσω της σύντηξης, την αναφερόμενη ως πυρηνική σύντηξη, δηλαδή την ένωση των ατομικών πυρήνων ως σκοπό την ανάπτυξη βαρύτερων (Σάκκουλα, 2013).

Αυτή η πηγή ενέργειας, εμφανίζει και υποστηρικτές αλλά και κατακριτές της. Για τον λόγο αυτό εμφανίζει ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ως σημαντικότερο πλεονέκτημα της ορίζεται η «καθαρή» της μορφή προς το περιβάλλον και προς τον άνθρωπο, δίχως οι ρύποι της να οδηγούνται στην ατμόσφαιρα. Εξαίρεση αποτελούν τα δύο πυρηνικά ατυχήματα (Τσερνομπίλ 1986, Φουκουσίμα 2011), που στοίχισε την ζωή και τις καλλιέργειες πολλών ανθρώπων.



Σχήμα 1.1.4.1: Διαδικασία σχάσης (Σάκκουλα,2013).

1.2 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή ήπιες μορφές ενέργειας αναφέρονται σε εκείνες τις πηγές που παράγονται από φυσικές διεργασίες και φαινόμενα. Αυτές οι μορφές ενέργειας δεν εξαντλούνται στο απώτερο μέλλον της ανθρωπότητας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξανά (Ανδρίτσος, 2015). Τέτοιες πηγές είναι η ηλιακή ακτινοβολία, το νερό, ο άνεμος και άλλες.

Τα τελευταία χρόνια, η διάδοση των αναφερόμενων πηγών έχει ακολουθήσει μεγάλους ρυθμούς ανάπτυξης τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Ελλάδα. Αρκετοί ήταν οι λόγοι που οι κοινωνίες στράφηκαν στις ήπιες μορφές ενέργειας, όμως τρεις ήταν που επικράτησαν. Η ενεργειακή χρήση, η υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος και η αναβάθμιση της ποιότητας ζωής κινητοποίησαν τις κοινωνίες.

Στην έναρξη της χρήσης των πηγών, η δαπάνη ήταν μεγάλη και η απόδοση τους αρκετά μικρή. Παρόλα αυτά, σήμερα και με το πέρασμα των χρόνων, το κόστος θα μειώνεται διαρκώς και θα γίνονται όλο και περισσότερο ανταγωνιστικές απέναντι στις άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας.

Πέρα από τα πολυάριθμα πλεονεκτήματα των ήπιων μορφών ενέργειας, κατά την πρακτική τους εφαρμογή εμφανίζονται δυσκολίες. Πρωτίστως, η χαμηλή απόδοση τους

οφείλεται στο μεγάλο αρχικό κόστος και έκταση γης για την εγκατάσταση μονάδων μεγαλύτερης ισχύος. Επιπρόσθετα, πολλοί είναι οι κατακριτές τους με αιτιολογία τον φόβο για την αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος, του θορύβου και της κομψότητας της εκάστοτε περιοχής (Θεοφανόπουλος, 2019).

Συνολικά, δύο είναι τα βασικότερα χαρακτηριστικά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αρχικά, κατά την εκμετάλλευσή τους δεν χρειάζεται να υπάρξει ενεργειακή παρέμβαση. Και κατά δεύτερον, είναι ιδιαίτερα «καθαρές» μορφές ενέργειας, άρα φιλικές προς το περιβάλλον.

1.2.1 Ηλιακή Ενέργεια

Ως ηλιακή ενέργεια ορίζουμε το σύνολο της ενέργειας που προέρχεται από τον Ήλιο, δηλαδή την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί με διαφορετικούς τρόπους, τόσο για θέρμανση (άμεσα ή έμμεσα) όσο και για ηλεκτροπαραγωγή (Σουβατζή, 2021).

Με βάση την σημερινή τεχνολογία, το ποσό της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης και αξιοποιείται είναι αμελητέο. Η άμεση εκμετάλλευσή αυτής γίνεται με την βοήθεια τριών συστημάτων:

- **Ενεργητικά ή θερμικά ηλιακά συστήματα**, τα οποία είναι οι κοινοί ηλιακοί θερμοσίφωνες. Κατά την λειτουργία τους απορροφάται η ηλιακή ενέργεια από τους ηλιακούς συλλέκτες που πρέπει να έχουν στραμμένη την σκοτεινή τους πλευρά προς τον Ήλιο. Η απορροφημένη ηλιακή ενέργεια μεταφέρεται με την μορφή θερμότητας σε κάποιο ρευστό κυρίως στο νερό. Αυτό χρησιμοποιείται για οικιακή ή βιομηχανική χρήση.
- **Παθητικά ηλιακά συστήματα**, τα οποία συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν ως μια μορφή θερμικής ενέργειας και την χρησιμοποιούν για να επιτευχθεί η ομοιόμορφη θέρμανση του χώρου.
- **Φωτοβολταϊκά συστήματα**, τα οποία μετατρέπουν απευθείας την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, χρησιμοποιώντας ηλιακούς αγωγούς.

1.2.2 Αιολική Ενέργεια

Με την αιολική ενέργεια ορίζουμε την ενέργεια που προέρχεται από την εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου και την παραγωγή ηλεκτρικής. Πριν την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, πραγματοποιείται η μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική μέσω των πτερυγίων των ανεμογεννητριών (Καραβανάς, 2020).

Το κύριο στοιχείο της αιολικής ενέργειας είναι ότι δημιουργείται από την κίνηση της ατμόσφαιρας, λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας, της ανομοιογένειας του εδάφους και την περιστροφική κίνηση της γης. Η συγκεκριμένη μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας είναι φιλική προς το περιβάλλον με ελάχιστες επιπτώσεις, αλλά και ιδανική για μεγάλης κλίμακας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω των ανεμογεννητριών που κινούνται από τον άνεμο.

1.2.3 Βιομάζα

Ως βιομάζα προσδιορίζονται τα κατάλοιπα διάφορων διεργασιών, όπως γεωργία, κτηνοτροφία, τα οποία εκμεταλλεύονται για θέρμανση, κίνηση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Σουβατζή, 2021). Τέτοια υλικά μπορεί να αποτελούν τα φυτικά υλικά από οικοσυστήματα, είναι φυτά που καλλιεργούνται για την παραγωγή βιομάζας. Επίσης είναι υποπροϊόντα και υπολείμματα από ζώα και δάση, αλλά και υποπροϊόντα από την μεταποίηση των αναφερθέντων.

Σύμφωνα με τις κατάλληλες πρώτες ύλες που είναι διαθέσιμες εκείνη την στιγμή, επιλέγονται οι σωστές διεργασίες καύσης της βιομάζας (θερμοχημική, βιοχημική και χημική) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά την διεργασία αυτή δημιουργείται ένα καύσιμο αέριο, το οποίο με την δική του καύση παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια.

Με αυτή την διαδικασία καύσης και παραγωγής, έχουμε μεγάλη απόδοση αλλά και ελάχιστες επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Παρόλα αυτά, ένα μικρό ποσοστό κατά το στάδιο της καύσης εγείρει ορισμένες σκέψεις για την προστασία του περιβάλλοντος.



Σχήμα 1.2.2.1: Τύποι βιομάζας(Ανδρίτσος,2011)

1.2.4 Γεωθερμική Ενέργεια

Από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται με διάφορες μεθόδους. Αποτελεί την ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της Γής με την μορφή θερμού νερού ή ατμού σε ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες και εμφανίζεται στην επιφάνεια.

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μία ήπια και «καθαρή» πηγή ενέργειας αλλά και φιλική προς το φυσικό περιβάλλον. Επίσης, με τα σημερινά δεδομένα έχει την δυνατότητα να καλύψει πολλές καθημερινές ενεργειακές ανάγκες. Εκτός από την προσφορά της στην θέρμανση και στην ψύξη, υπάρχει και η ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλού κόστους, κάτι που εξυπηρετεί διάφορους τομείς όπως βιομηχανία, τουρισμό, γεωργία και άλλα.

Ο γεωλογικός χώρος στον οποίο βρίσκεται η ενέργεια μέσα ονομάζεται γεωθερμικό πεδίο ή περιοχή. Η παρουσία γεωθερμικών πεδίων συνδέεται με την ηφαιστειακή, τεκτονική δραστηριότητα αλλά και γεωλογική δομή του ελληνικού χώρου. Τα βασικά συστατικά ενός γεωθερμικού συστήματος είναι τρία:

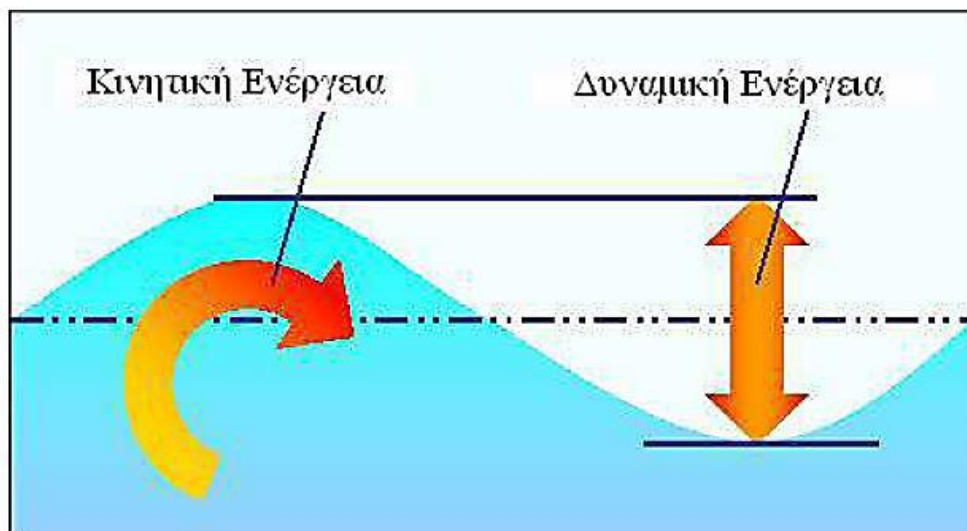
- **Πηγή θερμότητας**, η οποία μπορεί να είναι μια μαγματική διείσδυση ή η κανονική αύξηση της θερμοκρασίας με το βάθος
- **Ταμιευτήρας**, ο οποίος αποτελείται από ένα σύστημα διαπερατών πετρωμάτων που κυκλοφορούν ρευστά
- **Γεωθερμικό ρευστό**, το οποίο είναι νερό κυρίως μετεωρικής προέλευσης που μπορεί να έχει διαλυμένες στερεές και αέριες ουσίες

Μολονότι η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί μια φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η εκμετάλλευσή της δύναται να επιφέρει ελάχιστες έως αμελητέες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Παρόλα αυτά, δεν μπορούν να συγκριθούν με αυτές που προκαλούνται από την αξιοποίηση των ορυκτών καυσίμων.

Συνολικά, σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι η γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη συνεχώς όλο το χρόνο ανεξαρτήτως καιρού, με μεγάλα περιβαλλοντικά οφέλη και πλεονεκτήματα (Παπαχρήστου, Ανδρίτσος, Βουδούρης, Φυτίκας, 2009).

1.2.5 Κυματική Ενέργεια

Ως κυματική ενέργεια θεωρούμε το άθροισμα της δυναμικής ενέργειας του νερού λόγω κατακόρυφης ταλάντωσης των μορίων και της κινητικής ενέργειας του νερού εξαιτίας της περιστροφικής κίνησης των μορίων.



Σχήμα 1.2.5.1: Κυματική Ενέργεια (Ντάβαλης, 2016).

Επομένως είναι η μορφή της ενέργειας που παράγεται μέσω της κινητικής ενέργειας των κυμάτων. Ο λόγος που δημιουργούνται τα κύματα είναι η συμβολή του ανέμου. Επομένως, η αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας πραγματοποιείται σε περιοχές με ισχυρό αιολικό δυναμικό, δηλαδή με υψηλό δείκτη ανέμων (Θεοφανόπουλος, 2019).

Αξιοποιώντας το ύψος του κύματος υπάρχει η δυνατότητα περιστροφής ενός υδροστρόβιλου, ο οποίος βρίσκεται μέσα σε μία συγκεκριμένη διάταξη. Λόγω αυτής της περιστροφής, παράγεται και η ηλεκτρική ενέργεια.

1.2.6 Παλιρροϊκή Ενέργεια

Ο υδάτινος όγκος του πλανήτη, λόγω της βαρυτικής έλξης της Σελήνης και Γης, υπόκεινται σε δυο καθημερινές κινήσεις, την άμπωτη και την πλημμυρίδα. Οι δύο κινήσεις αυτές αποτελούν το φαινόμενο της παλίρροιας, που είναι μια μορφή ενέργειας.

Το στοιχείο που δύναται να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας είναι η διαφορά στάθμης της θάλασσας. Η αξιοποίηση της παλιρροϊκής ενέργειας γίνεται μέσω θυροφραγμάτων και ενός υδροστρόβιλου, τα οποία τοποθετούνται στην θέση όπου το φαινόμενο της παλίρροιας εμφανίζεται οξυμένο.

Κατά το στάδιο της πλημμυρίδας, τα νερά εισέρχονται στα θυροφράγματα και όταν φτάσουν στην υψηλότερη στάθμη, τότε αυτά κλείνουν και παγιδεύουν ποσότητες νερού. Στη συνέχεια, κατά την άμπωτη, τα παγιδευμένα νερά εξέρχονται από τα θυροφράγματα και κινούν έναν υδροστρόβιλο. Με αυτό τον τρόπο, λοιπόν, παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια (Γάττας, 2013).

Συνολικά, οι βασικές προϋποθέσεις για την αξιοποίηση της παλιρροϊκής ενέργειας είναι η σημαντική διαφορά στάθμης και η παρουσία των δυο σταδίων της παλίρροιας.

1.2.7 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Όπως πολλές άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έτσι και η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί έμμεση ηλιακή ενέργεια. Παρόλα αυτά, ορίζουμε ως υδροηλεκτρική ενέργεια ή υδροϊσχύς, την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από την εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργεια του νερού των ποταμών ή των λιμνών. Η μετατροπή αυτή γίνεται με την βοήθεια υδροστρόβιλων (Καββάλου, Κοσμάδακη, 2013).

Αρχικά, η ενέργεια που περιέχει το νερό είναι δυναμική, και καθώς ρέει από υψηλότερες προς χαμηλότερες υψομετρικές θέσεις, μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια. Όσο μεγαλύτερη είναι η υψομετρική διαφορά των δύο θέσεων που ρέει το νερό, τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το ποσό της παραγόμενης ενέργειας.

Για να επιτευχθεί η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας του νερού σε ηλεκτρική, απαιτείται ένα σύνολο έργων και εξοπλισμού. Το σύνολο αυτό ονομάζεται υδροηλεκτρικό έργο και διαχωρίζεται σε μικρής και μεγάλης κλίμακας. Οι διαφορές μεταξύ των υδροηλεκτρικών μονάδων είναι στο κόστος αλλά και στην φιλικότητα προς το περιβάλλον.

Οι μεγάλες υδροηλεκτρικές μονάδες χρειάζονται την κατασκευή μεγάλων φραγμάτων και δεξαμενών, κάτι που έχει σημαντικές επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Αντιθέτως, τα μικρής κλίμακας έργα δύναται να εγκατασταθούν δίπλα σε ποτάμια ή κανάλια, με χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας και περιορισμένες επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον (Καββάλου, Κοσμάδακη, 2013).

Συνολικά, η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενέργεια αφού παράγεται από το νερό των ποταμών που χρησιμοποιείται ξανά και είναι σήμερα η μεγαλύτερη πηγή ηλεκτροπαραγωγής.

2.1 Υδρολογικός Κύκλος

Ο κύκλος του νερού ή υδρολογικός κύκλος αποτελεί μια σειρά διεργασιών, μέσω των οποίων το νερό κυκλοφορεί μεταξύ υδρόσφαιρας, ατμόσφαιρας και ξηράς (Σχήμα 4). Σε αυτή την αλυσίδα κίνησης το νερό αλλάζει συνεχώς μορφή, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται σε όλες τις μορφές του: στερεή (χιόνι, χαλάζι), υγρή και αέρια (υδρατμοί). Η αιτία που οφείλεται για την κατεύθυνση του κύκλου του νερού είναι η δράση του ήλιου (Βουδούρης, 2017).



Σχήμα 2.1:Γραφική απεικόνιση του Υδρολογικού κύκλου (USGS)

Η συνεισφορά του ήλιου στον κύκλο του νερού είναι σημαντική, καθώς θερμαίνει το αποθηκευμένο νερό των θαλάσσιων (ωκεανοί) και ηπειρωτικών (λίμνες, ποτάμια, κ.α.) υδάτινων σωμάτων. Εν μέρει, το ποσοστό, το οποίο εξατμίζεται ανυψώνεται με τη

μορφή υδρατμών στον αέρα. Επίσης, ένα μικρό ποσοστό των υδρατμών στην ατμόσφαιρα προέρχεται από την διεργασία της εξάχνωσης, μέσω της οποίας μόρια νερού από την στερεή μορφή του πάγου ή του χιονιού μετατρέπονται σε υδρατμούς χωρίς να μεσολαβήσει η υγρή μορφή του νερού.

Μια ακόμη λειτουργία που επιφέρει υδρατμούς στην ατμόσφαιρα είναι η διαπνοή, η οποία πραγματοποιείται με την βοήθεια των φύλλων των φυτών. Για τον λόγο ότι δεν μπορούμε να διακρίνουμε τις διεργασίες της εξάτμισης και της διαπνοής, ορίζουμε ως μια διαδικασία την εξατμισοδιαπνοή.

Λόγω των ανοδικών ρευμάτων αέρα, οι υδρατμοί ανεβαίνουν στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου επικρατούν χαμηλές πιέσεις και θερμοκρασίες. Εξαιτίας της χαμηλής θερμοκρασίας, ο αέρας δεν έχει την ικανότητα να συγκρατήσει ολόκληρη τη μάζα των υδρατμών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ένα μέρος αυτών να συμπυκνωθεί και έτσι να δημιουργηθούν τα σύννεφα, τα οποία με την βοήθεια των ρευμάτων αέρα μετακινούνται. Επομένως, μια επιπλέον διεργασία του υδρολογικού κύκλου αποτελεί η συμπύκνωση.

Παράλληλα με την δημιουργία των σύννεφων, έχουμε και την σύγκρουση των σταγονιδίων του νερό, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του μεγέθους τους. Η διαδικασία αυτή σε παράλληλο συνδυασμό με την ψύξη τους, έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό των κατακρημνισμάτων. Η συνηθέστερη μορφή τους είναι η βροχόπτωση, παρόλα αυτά δεν εξαιρούνται η χιονόπτωση (σχηματίζει τους πάγους και τους παγετώνες) και η χαλαζόπτωση. Στην περίπτωση της χιονόπτωσης, σε θερμότερα κλίματα, το χιόνι λιώνει και το νερό που δημιουργείται ρέει σχηματίζοντας, έτσι, την απορροή από το λιώσιμο του χιονιού.

Η μεγαλύτερη ποσότητα των κατακρημνισμάτων πέφτει στους ωκεανούς. Όμως, ποσοστό αυτών πέφτει στις ηπειρωτικές περιοχές και εν συνεχεία, μέρος αυτού καταλήγει πάλι στους ωκεανούς υπό την επίδραση της βαρύτητας, ως επιφανειακή απορροή. Η μεγαλύτερη ποσότητα αυτής μεταβιβάζεται στους ωκεανούς μέσω των ποταμιών, με τη μορφή ροής σε υδατορεύματα, αλλά τμήμα της μπορεί να καταλήξει στις λίμνες που μαζί με τα ποτάμια αποτελούν τις κυριότερες αποθήκες γλυκού νερού.

Ποσότητες του νερού των κατακρημνισμάτων, διαπερνούν το έδαφος μέσω της διεργασίας της διήθησης και αποθηκεύονται σε υπόγειους υδροφορείς και σχηματίζεται το υπόγειο νερό. Υπάρχει η δυνατότητα μέρος του υπόγειου νερού να εκφορτιστεί σε επιφανειακά υδάτινα σώματα (ωκεανούς) μέσω υπόγειων διαδρομών. Εκτός αυτού, εάν βρίσκεται διόδους προς την επιφάνεια της γης τότε εμφανίζεται με τη μορφή πηγών, διαφορετικά τμήμα του διηθείται βαθύτερα και εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς και αποθηκεύονται μεγάλες ποσότητες νερού για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Συνολικά, η Γεωλογική Υπηρεσία των ΗΠΑ (USGS) διακρίνει 16 μέρη του υδρολογικού κύκλου: αποθήκευση νερού στη θάλασσα, εξάτμιση, εξατμισοδιαπνοή, εξάχνωση, συμπύκνωση, αποθήκευση νερού στην ατμόσφαιρα, κατακρημνίσματα, αποθήκευση νερού σε πάγους και χιόνια, απορροή από λιώσιμο χιονιού, επιφανειακή απορροή, ροή σε υδατορεύματα, αποθήκευση γλυκού νερού, διήθηση, αποθήκευση και εκφόρτιση υπόγειου νερού και πηγές.

2.1.1 Υδροδυναμική Ενέργεια

Η λέξη υδροδυναμική είναι μια σύνθετη λέξη, η οποία αποτελείται από δύο συνθετικά, το ύδωρ που είναι το νερό και η λέξη δυναμική ως δεύτερο συνθετικό. Επομένως, η υδροδυναμική ενέργεια είναι η δυναμική ενέργεια του νερού.

Πιο αναλυτικά, λοιπόν, ως δυναμική ενέργεια ορίζουμε ένα φυσικό μέγεθος, το οποίο αποτελεί την ενέργεια που περιέχει ένα σώμα ή ένα σύστημα λόγω της θέσης ή της κατάστασης στην οποία βρίσκεται. Σε κάθε περίπτωση, η δυναμική ενέργεια ενός σώματος σε μία θέση ισούται με το έργο της εξωτερικής δύναμης που έφερε το σώμα στην συγκεκριμένη θέση. Διακρίνουμε τη βαρυτική και την ελαστική δυναμική ενέργεια (Παλόγος, 2017). Συγκεκριμένα, η βαρυτική ή ενέργεια θέσεως αναφέρεται σε ένα σώμα το οποίο είναι μέσα στο πεδίο βαρύτητας και έχει την δυνατότητα να κινηθεί σε χαμηλότερη θέση. Αντιθέτως, η ελαστική ή αλλιώς ενέργεια μορφής εμφανίζεται όταν παραμορφωθεί το σχήμα του υλικού. Σε αυτή την περίπτωση, παράγεται έργο κατά την διάρκεια επαναφοράς του υλικού στη φυσική του μορφή.

Σύμφωνα με τα αναφερθέντα, μια μορφή βαρυτικής ενέργειας είναι η υδροδυναμική, την οποία το νερό αποκτά κατά την εξέλιξη του υδρολογικού κύκλου, κινούμενο από τα υψηλότερα προς τα χαμηλότερα υψόμετρα. Αυτό επιτυγχάνεται έπειτα

από την διεργασία της συμπίκνωσης και των κατακρημνισμάτων, που αναπτύσσεται ροή λόγω της βαρύτητας μέχρι να καταλήξει στη θάλασσα. Κατά την διάρκεια της ροής του προς χαμηλότερα υψόμετρα (τη θάλασσα), χάνει συνεχώς δυναμική ενέργεια, μέρος της οποίας μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια (Γάττας, 2013).

Δύο έννοιες συνδεδεμένες με την υδροηλεκτρική ενέργεια είναι το υδροδυναμικό μιας περιοχής και η υδροδυναμική θέση ενός υδάτινου σώματος. Αναλυτικά, ως υδροδυναμικό μια ορισμένης περιοχής ορίζεται η δυνατότητα παραγωγής έργου από τα υδατορεύματα της εν λόγω περιοχής. Ως υδροδυναμική θέση ονομάζεται η θέση ενός υδατορεύματος που δύναται να αξιοποιηθεί το υδροδυναμικό του.

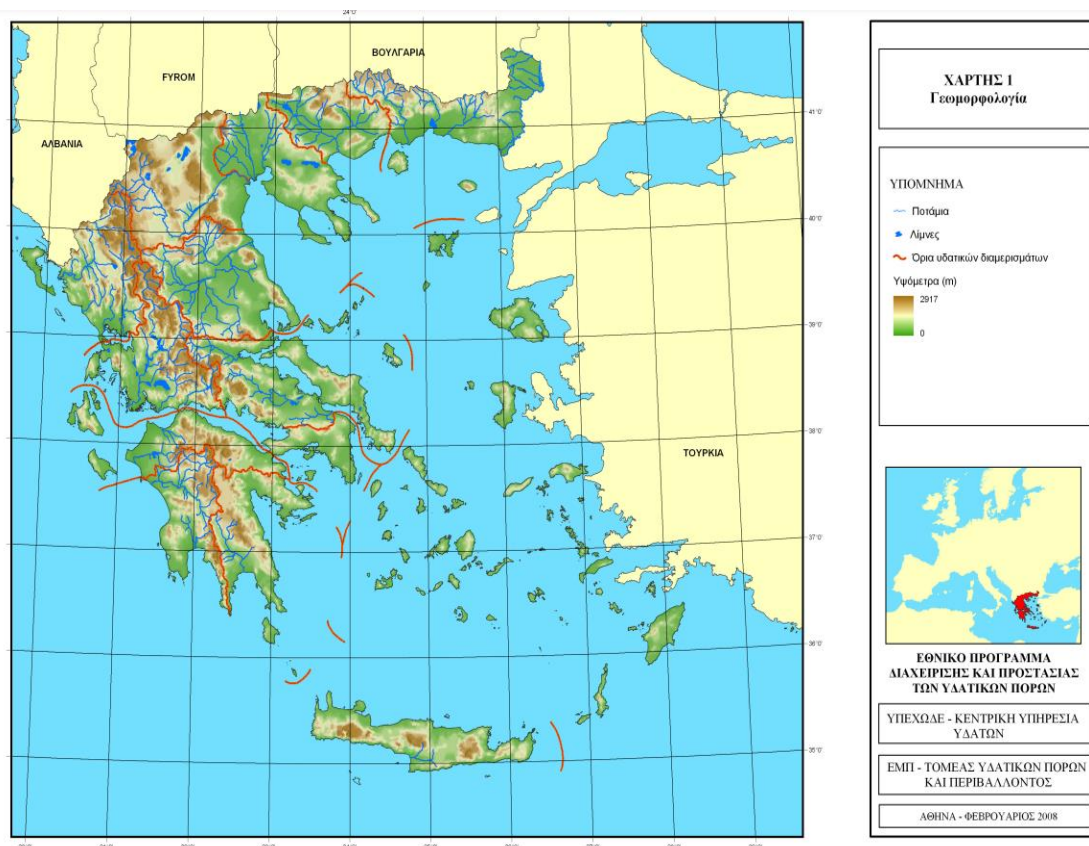
2.1.2 Το Υδροδυναμικό της Ελλάδας

Το υδατικό δυναμικό της Ελλάδας συνδέεται άμεσα με την κατανομή του ανάγλυφου της. Ως υδατικό δυναμικό ορίζεται το άθροισμα των επιφανειακών και υπόγειων νερών που προκύπτουν από τον υδρολογικό κύκλο (Χαριζόπουλος, 2017). Δύο είναι οι παράγοντες που διαμορφώνουν το δυναμικό της: οι βροχοπτώσεις (δηλαδή οι υδατικοί πόροι) και το γεωγραφικό ανάγλυφο.

Η άποψη που επικρατεί για την Ελλάδα είναι πως υστερεί σε υδατικούς πόρους, δηλαδή σε διαθέσιμη ποσότητα επιφανειακών και υπόγειων νερών. Η παρούσα άποψη προήλθε λόγω της μη ορθής διαχείρισης των διαθέσιμων υδατικών πόρων της χώρας και την απουσία οργανωμένης υδατικής πολιτικής, έτσι ώστε να αποφευχθεί η ασύμμετρη ανάπτυξη αυτών. Παρόλα αυτά, η εν λόγω άποψη διαψεύδεται, αφού το διαθέσιμο υδατικό της χώρας είναι υπερεπαρκές, μόνο που είναι άνισα κατανεμημένο χωρικά και χρονικά. Το γεγονός αυτό είναι συμβατό, αφού πριν από 200 και περισσότερα χρόνια ξεκίνησαν να κατασκευάζονται και να χρησιμοποιούνται οι νερόμυλοι για το άλεσμα του σιταριού. Εκτός αυτού, από την δεκαετία του 20', ξεκίνησε η λειτουργία των πρώτων υδροηλεκτρικών έργων στην Ελλάδα (Μουλατζίκου, 2017).

Η δεύτερη παράμετρος μέσω της οποίας διαμορφώνεται το υδατικό δυναμικό της Ελλάδας είναι η γεωμορφολογία της. Ερμηνεύοντας τον ακόλουθο χάρτη (Σχήμα 2.1.2.1), παρατηρούμε πως η διάταξη των ορεινών όγκων στο γεωγραφικό ανάγλυφο της Ελλάδας, την χωρίζει σε τρεις περιοχές με τα υψηλότερα υψόμετρα:

- 1) Τη Δυτική περιοχή, που εκτείνεται στα δυτικά του ορεινού όγκου της Πίνδου, την δυτική Πελοπόννησο και ένα κομμάτι της Κρήτης
- 2) Την Ανατολική ηπειρωτική Ελλάδα, την Θάσο, τις Σποράδες και την Εύβοια
- 3) Τα νησιά του Αιγαίου πελάγους και την Κρήτη (Βουβαλίδης, 2011).



Σχήμα 2.1.2.1: Γεωμορφολογικός χάρτης της Ελλάδας (<https://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/782/>)

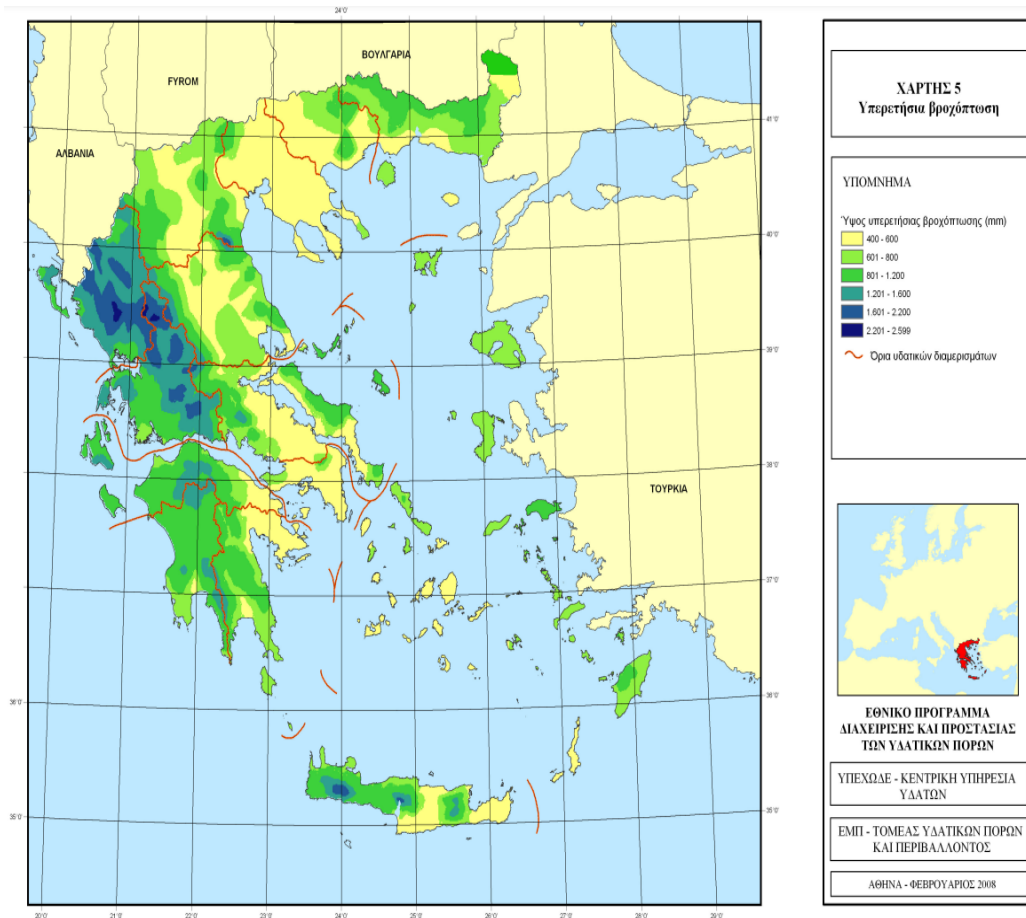
Επομένως, συμπεραίνεται ότι η Ελλάδα διαθέτει ένα ιδιαίτερα ορεινό τοπογραφικό ανάγλυφο, μέσω του οποίου σχηματίζονται λεκάνες απορροής. Αυτές, σε συνδυασμό με το ύψος των κατακρημνισμάτων δημιουργούν ένα αξιόλογο υδατικό δυναμικό για την Ελλάδα. Παρόλα αυτά, η Ελλάδα δεν δύναται να συγκριθεί με άλλες Βόρειες Ευρωπαϊκές χώρες (Αγγλία, Γερμανία), καθώς παρουσιάζει μειωμένες βροχοπτώσεις σε σχέση με αυτές και κατ'επέκταση δεν εμφανίζει σημαντική επιφανειακή απορροή. Ο λόγος που συμβάλλει σε αυτό είναι η γεωγραφική της θέση, καθώς η διεργασία της εξάτμισης υπερέχει της συμπύκνωσης (Μουλατζίκου, 2017).

Στη διαθεσιμότητα του υδατικού δυναμικού συμβάλλει και ο ικανοποιητικός αριθμός των ποταμών της Ελλάδας, με τους μεγαλύτερους και κυριότερους, τον Αλιάκμονα, τον Αχελώο, τον Πηνειό, τον Έβρο και τον Νέστο ποταμό. Το διαθέσιμο υδατικό δυναμικό στην Ελλάδα ανέρχεται σε $57 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{έτος}$, το οποίο περιλαμβάνει και τα νερά που εισρέουν από γειτονικές χώρες (Βουδούρης, 2017). Το ποσό αυτό κατανέμεται στα 14 υδατικά διαμερίσματα, στα οποία χωρίστηκε η χώρα (Σχήμα 2.1.2.2). Ο λόγος που έγινε αυτός ο διαχωρισμός είναι για την καλύτερη διαχείριση των υδατικών πόρων της Ελλάδας.



Σχήμα 2.1.2.2:Χάρτης με τα υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας(<http://www.geo.auth.gr/763/ch9.htm>)

Ο εν λόγω χάρτης των υδατικών διαμερισμάτων της Ελλάδας, σε συνδυασμό με την ετήσια βροχόπτωση στο σύνολο άρα και δυνητικά σε κάθε υδατικό διαμέρισμα, παρουσιάζει τη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων. Εκτός αυτού, αναδεικνύονται ποια υδατικά διαμερίσματα είναι ελλειμματικά σε νερό και αντίστοιχα ποια είναι πλεονασματικά.



Σχήμα 2.1.2.3: Χάρτης με την υπερετήσια βροχόπτωση

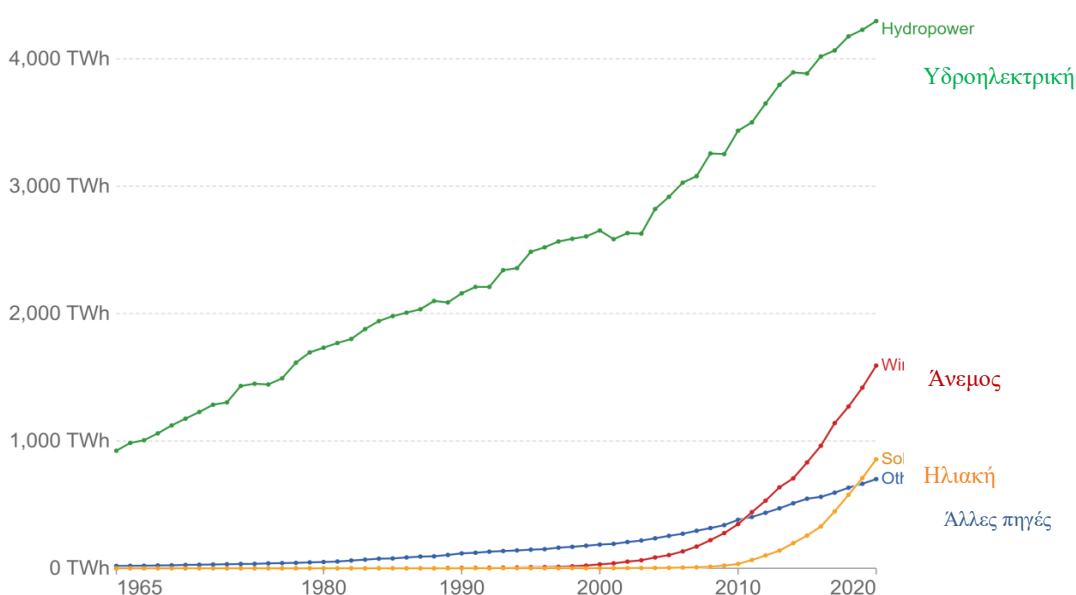
(https://www.itia.ntua.gr/el/getfile/782/123/documents/2007-map-05_rainfall-v2.pdf)

Σύμφωνα με τον παραπάνω χάρτη (Σχήμα 2.1.2.3), βλέπουμε πως η Δυτική Ελλάδα, λόγω των υψηλών βροχοπτώσεων και της ύπαρξης πολλών ποταμών, εμφανίζει το μεγαλύτερο διαθέσιμο υδατικό δυναμικό. Το αντίθετο άκρο από τα χαρακτηριστικά της Δυτικής Ελλάδας, είναι τα νησιά του Αιγαίου Πελάγους, τα οποία διαθέτουν το μικρότερο δυναμικό. Επιπρόσθετα, αρκετά από τα 14 υδατικά διαμερίσματα εμφανίζονται ελλειμματικά σε νερό και κυρίως τους μήνες Ιούλιος και Αύγουστος.

Αντιθέτως, τα πλεονασματικά υδατικά διαμερίσματα είναι αυτά της Δυτικής Πελοποννήσου, Ηπείρου, Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, εξαιτίας των περισσότερων βροχοπτώσεων και του έντονου τοπογραφικού ανάγλυφου.

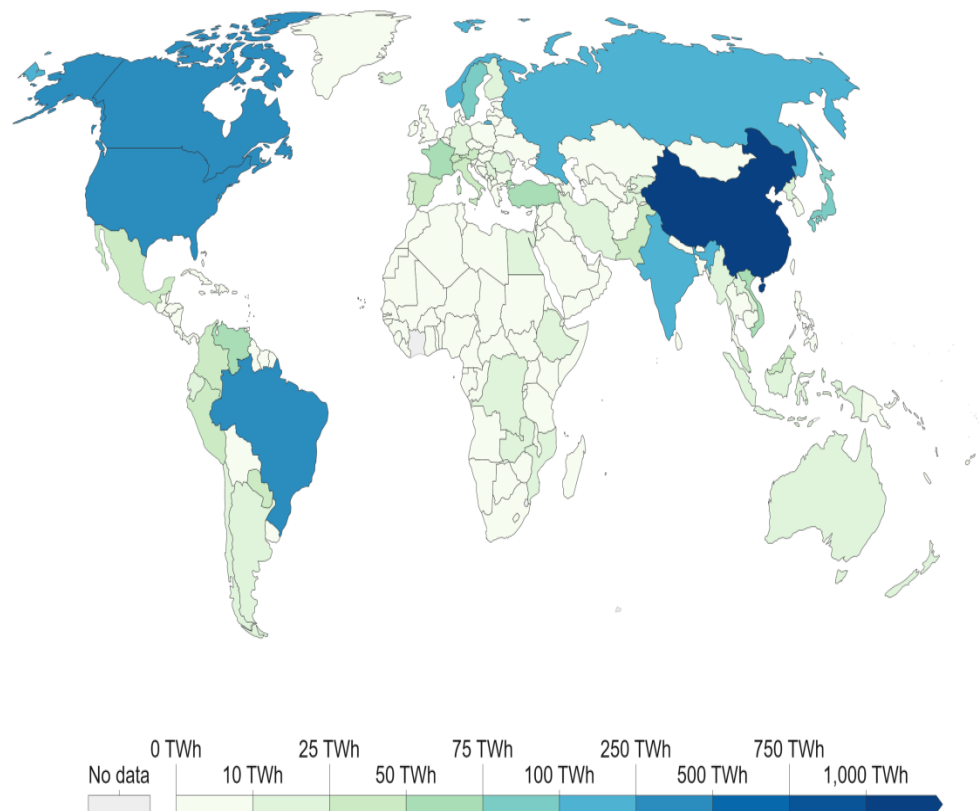
2.2 Εισαγωγή στην Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Ο συνδυασμός της ραγδαίας αύξησης στην ζήτηση ενέργειας και η παγκόσμια περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση, έχει συνεισφέρει την βαθμιαία απομάκρυνση από τα συμβατικά καύσιμα. Ως αποτέλεσμα αυτής, αποτελεί η στροφή κάθε κοινωνίας προς τις ανανεώσιμες πηγές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



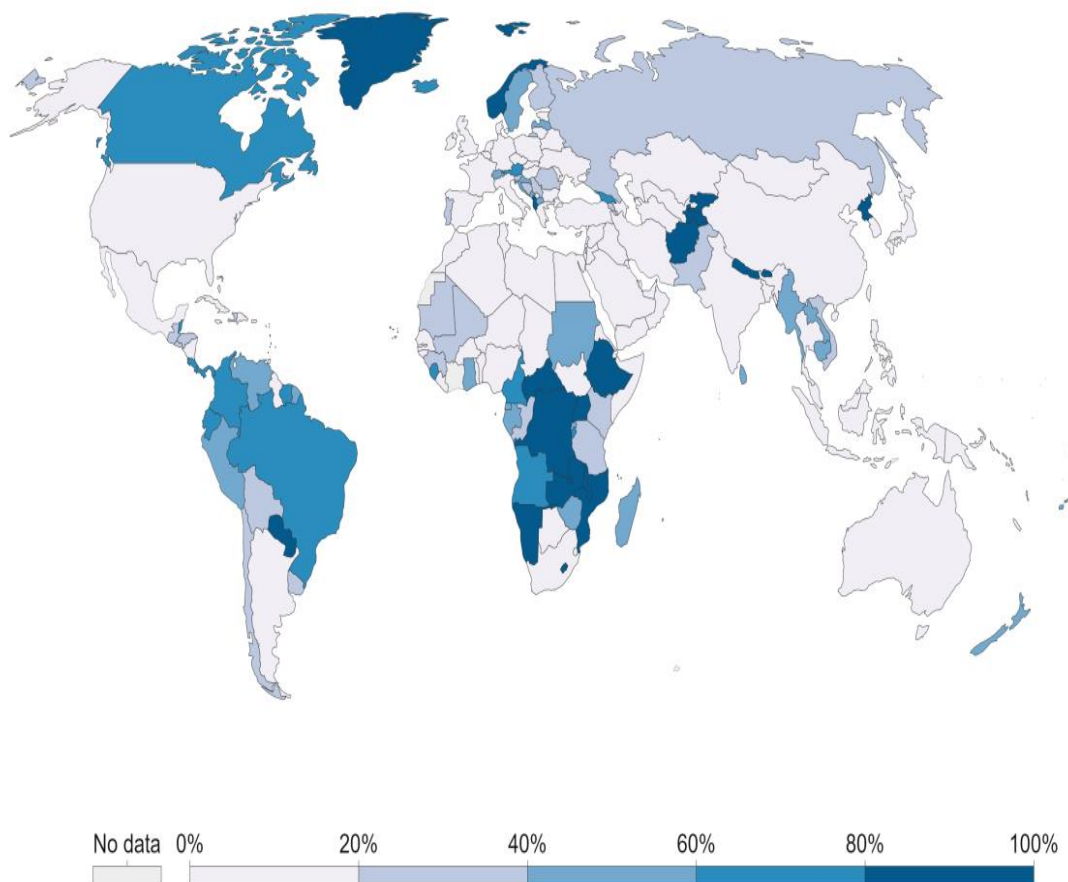
Σχήμα 2.2.1: Διάγραμμα με την πηγή ανανεώσιμης ενέργειας παγκοσμίως (Our World in Data, 2021).

Σύμφωνα με το διάγραμμα (Σχήμα 2.2.1), η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί τον πυλώνα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παγκοσμίως. Το γεγονός αυτό συμβαίνει διότι το νερό είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενέργεια σε συνδυασμό με την ορθή διαχείριση. Επίσης, κατά την εκμετάλλευση επιτυγχάνεται συνδυαστικά η προστασία του περιβάλλοντος με μηδαμινές επιπτώσεις. Η πρωτογενής ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές διαφέρει από αυτή που προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα. Επομένως, θεωρούμε ως πρωτογενή ενέργεια ανανεώσιμων πηγών το ποσοστό της (πρωτογενούς) ενέργειας που θα απαιτούνταν για να παραχθεί η ενέργεια από τα ορυκτά καύσιμα (Παπαλάμπρου, 2020).



Σχήμα 2.2.2: Χάρτης με το ποσό παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας(Our World in Data,2021)

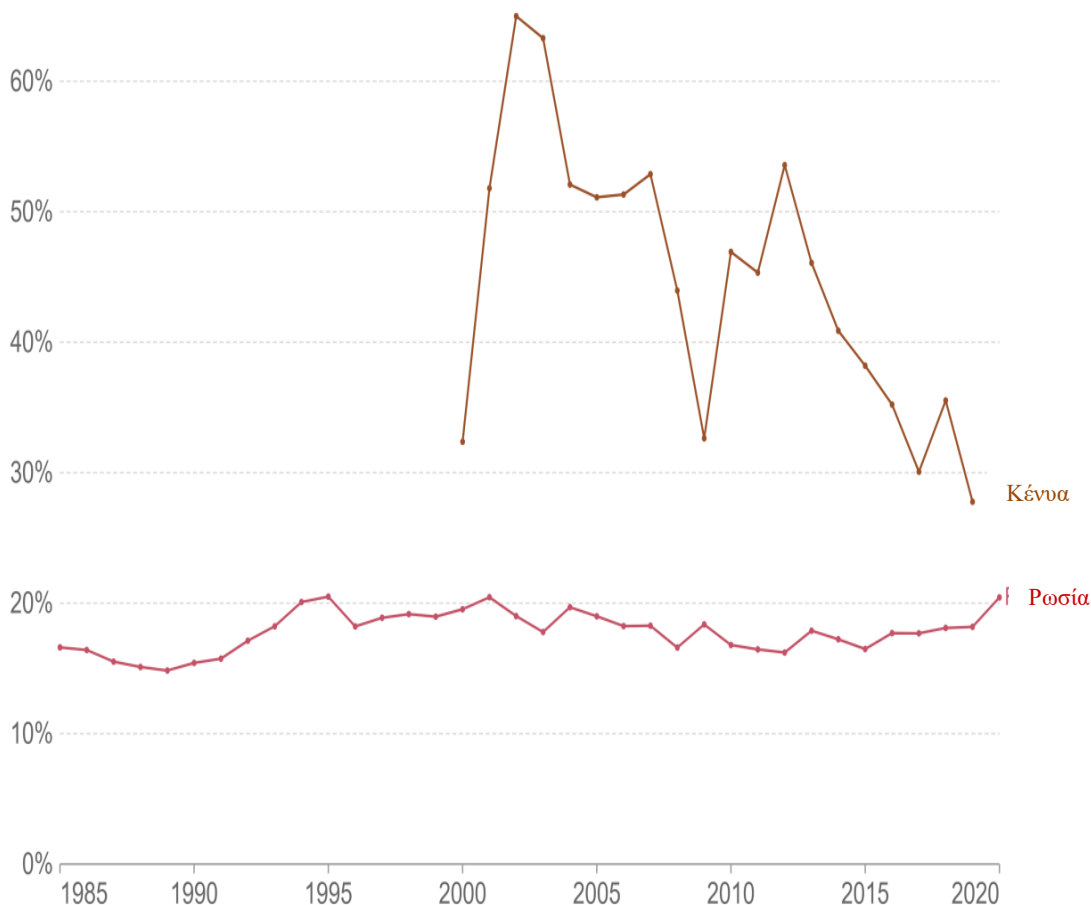
Στον παραπάνω χάρτη (Σχήμα 2.2.2), παρατηρούμε ότι το ποσοστό που εκμεταλλεύεται το υδατικό δυναμικό παγκοσμίως για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται στο 60%. Παρόλα αυτά, η κατανομή της παραγόμενης ενέργειας είναι άνισα κατανεμημένη παγκοσμίως, με την Κίνα να πρωτοστατεί με 1.355 TWh (Terawatt-hours) και χώρες της Ευρώπης όπως η Πολωνία, η Ουγγαρία, Τσεχία και η Ελλάδα ανήκουν στις χώρες με τις μικρότερες τιμές TWh (Our World in Data, 2021).



Σχήμα 2.2.3: Χάρτης με το ποσοστό παραγωγής ηλεκτρισμού από τον υδροηλεκτρική ενέργεια(Our World in Data,2021)

Γεγονός αποτελεί πως η υδροηλεκτρική ενέργεια καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε μεγάλη κλίμακα, δηλαδή παγκοσμίως, παρατηρούμε από το χάρτη (Σχήμα 2.2.3), ότι το ποσοστό ηλεκτρισμού που παράγεται μέσω της υδροηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται για το 2021 στο 18% (Our World in Data, 2021). Οι περισσότερες χώρες αντιπροσωπεύονται πλήρως από το εν λόγω ποσοστό, παρόλα αυτά, χώρες της Αφρικής, Κονγκό, Ζάμπια, αλλά και Γροιλανδία και η Νορβηγία χαρακτηρίζονται από πολύ μεγαλύτερα ποσοστά ηλεκτρισμού (80% και 99% αντίστοιχα).

Δύο παραδείγματα χωρών που διαφοροποιείται το ποσό της παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας και το ποσοστό παραγωγής ηλεκτρισμού από αυτή, είναι η Ρωσία και η Κένυα.



Σχήμα 2.2.4: Διάγραμμα με το ποσοστό παραγωγής ηλεκτρισμού από υδροηλεκτρική ενέργεια, Ρωσία και Κένυα(Our World in Data,2021)

Στο διάγραμμα (Σχήμα 2.2.4), παρατηρούμε πως η Ρωσία εμφανώς παράγει πολύ μικρότερο ποσοστό ηλεκτρισμού, το οποίο το 2019 φτάνει στο 18%, παρόλο που είναι μια χώρα που το 2019 έφτασε να παράγει 192,43 TWh υδροηλεκτρικής ενέργειας. Αντιθέτως, η Κένυα ως μια χώρα με μικρό ποσό υδροηλεκτρικής ενέργειας (3,17 TWh), το ποσοστό παραγωγής ηλεκτρισμού ανέρχεται σε 27% (Our World in Data, 2021). Συνολικά, ο υδροηλεκτρισμός έχει συμμετάσχει σημαντικά στην παγκόσμια εξάπλωση της ηλεκτρικής ενέργειας, και σύμφωνα με τα στοιχεία του 2019, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς από υδροηλεκτρικές μονάδες ανέρχεται 3.170 MW (ΑΔΜΗΕ, 2019).

2.2.1 Ορισμός της Υδροηλεκτρικής Ενέργειας

Η υδροηλεκτρική ενέργεια ταυτίζεται με την υδροηλεκτρική ισχύ ή αλλιώς υδροϊσχύ. Επομένως, ως υδροηλεκτρική ενέργεια θεωρούμε την ενέργεια η οποία βασίζεται εξολοκλήρου την εκμετάλλευση του νερού. Πιο αναλυτικά, εκμεταλλεύεται η κινητική ενέργεια των ποταμών και η δυναμική ενέργεια των λιμνών, και με την βοήθεια των στροβίλων μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια. Στην συνέχεια, μέσω ηλεκτρογεννητριών γίνεται η μετατροπή της μηχανικής σε ηλεκτρική ενέργεια (Καρσανίδης, 2017). Η ενέργεια των υδάτινων σωμάτων εκμεταλλεύεται μέσω της αξιοποίησης της διαφοράς στάθμης μεταξύ του αποθηκευμένου νερού και της θέσης της παραγόμενης ενέργειας. Αποτέλεσμα της διαφοράς στάθμης είναι η δημιουργία του υδραυλικού φορτίο, το οποίο οφείλεται για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας (Σιόντη, 2018).

Η ενέργεια που θα παραχθεί μέσω των διαδοχικών μετατροπών ενέργειας, εξαρτάται από δυο παραμέτρους, τον όγκο του αποταμιευμένου ύδατος και την υψομετρική διαφορά αυτού και της θέσης παραγωγής. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος και η υψομετρική διαφορά τόσο περισσότερη είναι η ενέργεια του νερού και αντίστοιχα τόσο μεγαλύτερη και η ενέργεια που θα παραχθεί. Με βάση, λοιπόν, τον ορισμό της υδροηλεκτρικής ενέργειας, καταλαβαίνουμε πως είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, αφού αξιοποιείται το νερό των ποταμών με την βοήθεια φραγμάτων, φυσικών ή τεχνητών.

Η διαδικασία των διαδοχικών μετατροπών της ενέργειας του νερού, από κινητική σε μηχανική και σε ηλεκτρική μετά αντίστοιχα, αποτελεί ένα υδροηλεκτρικό έργο. Με αυτά, καθίσταται δυνατή η αξιοποίηση της μηχανικής ενέργειας του νερού για να παραχθεί η ηλεκτρική ενέργεια, μέσω των υδροστροβίλων. Η παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια κατηγοριοποιείται σε ενέργεια μικρής και μεγάλης κλίμακας και ακολούθως τα υδροηλεκτρικά έργα. Η βασική διαφορά των δύο είναι η φιλικότητα τους προς το περιβάλλον, δηλαδή οι επιπτώσεις τους.

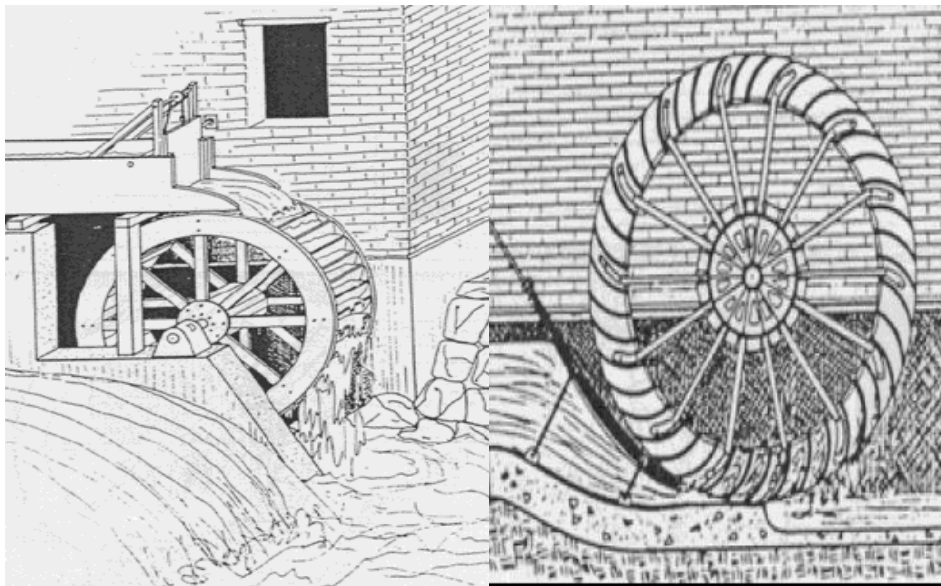
Οι μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες επιβάλλουν την κατασκευή φραγμάτων και μεγάλων δεξαμενών, με τα οποία συνεπάγονται σημαντικές επιπτώσεις

στο φυσικό περιβάλλον και μεγάλο κόστος σύνθεσης. Απεναντίας, τα μικρές κλίμακας υδροηλεκτρικά συστήματα τοποθετούνται δίπλα σε ποταμούς, χωρίς την επιτακτική δημιουργία φράγματος, με αποτέλεσμα να προκαλούνται λιγότερες επιπτώσεις στο οικοσύστημα και γενικά στο άμεσο φυσικό περιβάλλον.

Συμπερασματικά, για την εκμετάλλευση της ενέργειας του νερού επιλέγονται κατάλληλες περιοχές με σημαντικές υδατοπτώσεις, πηγές και φυσικά κατάλληλη γεωλογική διάπλαση.

2.2.2 Ιστορική Αναδρομή

Η υδραυλική ενέργεια των ρεόντων υδάτων ή αλλιώς ο «λευκός άνθραξ», αξιοποιήθηκε, αιώνες πριν, για την κίνηση των υδροτροχών με σκοπό την άλεση σιτηρών και καλαμποκιού. Στις αρχές του 19ου αιώνα, εμφανίστηκαν τα πρώτα υδραυλικά έργα, οι πρώτες μηχανές, οι οποίες χαρακτηρίστηκαν ως υδροστρόβιλοι. Κατά την διάρκεια του αιώνα, και συγκεκριμένα τις τελευταίες δεκαετίες του 19ου αιώνα, τα έργα εκμετάλλευσης της ενέργειας του νερού ήταν μικρής ισχύος, διότι αυτό διέθεταν τα μέσα της εποχής (Μουλατζίκου, 2017).



Σχήμα 2.2.2.1: Εικόνα από τον υδροτροχός με εισαγωγή νερού στο πάνω μέρος (αριστερά) και στο κάτω μέρος (δεξιά) του τροχού (Ανδρίτσος, 2011).

Σταδιακά, καθώς οι ενεργειακές ανάγκες αυξάνονταν και σε ανάλογη στιγμή ήταν η τεχνολογία και τα διαθέσιμα μέσα, επιτράπηκε η κατασκευή όλο και μεγαλύτερων έργων αξιοποίησης της ενέργειας του νερού. Σημαντική παράμετρος σε αυτή την αξιοποίηση ήταν η πρόοδος των εφαρμογών του ηλεκτρισμού. Αποτέλεσμα αυτού, ήταν η μετατροπή των υδραυλικών έργων σε υδροηλεκτρικών. Πιο συγκεκριμένα, μέσω του υδροστρόβιλου η υδραυλική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε μηχανική και αυτή με την βοήθεια ηλεκτρογεννήτριας, συνδεδεμένης στον στρόβιλο, μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Επομένως, τα υδραυλικά έργα μετατρέπονται με την σειρά τους σε υδροηλεκτρικά έργα.

Στον κόσμο, οι πρώτες υδροηλεκτρικές μονάδες τεχνάστηκαν το 1881 στο Surrey της Αγγλίας και το 1882 στο Wisconsin των Η.Π.Α. που αξιοποιούσαν τη ροή μικρών ποταμών. Ο υδροηλεκτρικός σταθμός του 1882 παρήγαγε 12,5 KW και παρείχε ηλεκτρικό ρεύμα σε δυο βιομηχανίες και σε ένα σπίτι.

Στην Ελλάδα, το πρώτο φράγμα χτίστηκε μεταξύ 1^{ου} και 5^{ου} αιώνα π.Χ. ενώ το πρώτο σύγχρονο κατασκευάστηκε στο Μαραθώνα το 1931 από την ΕΥΔΑΠ. Επίσης, φράγματα τεχνάστηκαν και από τη ΔΕΗ αλλά και από το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ).

2.2.3 Τρόπος Λειτουργίας

Η ποσότητα του νερού στον πλανήτη μας είναι περίπου σταθερή, έτσι ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Το φυσικό μέγεθος του νερού που αξιοποιείται είναι η υδραυλική ενέργεια του, που με κατάλληλους μηχανισμούς παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια την οποία εν τέλει χρησιμοποιούμε.

Αναλυτικότερα, λοιπόν, η κίνηση του νερού αποτελεί την αρχή λειτουργίας των υδροηλεκτρικών μονάδων, και οφείλεται στην διαφορά ύψους. Λόγο αυτού, κατασκευάζεται ένα φράγμα, σε ανώτερο ύψος από τον σταθμό παραγωγής των υδροηλεκτρικών μονάδων. Ο ρόλος του είναι η συγκράτηση της απαιτούμενης ποσότητας νερού, που με το γεγονός αυτό δημιουργείται ένας ταμιευτήρας αποθήκευσης νερού(δεξαμενή). Εν συνεχεία, το αποταμιευμένο νερό του ταμιευτήρα εισέρχεται σε έναν αγωγό, ο οποίος αναφέρεται ως αγωγός πτώσης ή κατάθλιψης, που με την σειρά του, κατά την έξοδο, προσκρούει με μεγάλη πίεση σε έναν στρόβιλο. Το αποτέλεσμα της

πρόσκρουσης είναι η περιστροφή του άξονα του υδροστρόβιλου, με τον οποίο είναι συνδεδεμένος και ο άξονας μιας γεννήτριας. Επομένως, λόγω της σύνδεσης, προκαλείται η κίνηση της γεννήτριας στα άκρα της οποίας παράγεται εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Το τελευταίο στάδιο είναι η διανομή, η οποία επιτυγχάνεται μέσω ενός μετασχηματιστή, που το μετατρέπει σε ρεύμα υψηλής τάσης, και μέσω γραμμών μεταφοράς (Δημιολίκα, 2018).

Ο καθορισμός της ποσότητας του παραγόμενου ηλεκτρισμού εξαρτάται από δύο παράγοντες, τον όγκο του νερού στον ταμιευτήρα και την διαφορά ύψους μεταξύ του ταμιευτήρα και του υδροστρόβιλου. Οι δύο παράγοντες είναι ανάλογοι με την παραγόμενη ποσότητα ηλεκτρισμού, επομένως οι περιοχές με σημαντικές βροχοπτώσεις και ανάλογη γεωλογική διαμόρφωση, είναι κατάλληλες για την κατασκευή υδροηλεκτρικών μονάδων. Τα υδροηλεκτρικά έργα, με βάση τις επιπτώσεις τους στο φυσικό περιβάλλον, διαχωρίζονται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας.

Οι μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες απαιτούν την κατασκευή φραγμάτων και ταμιευτήρων, κατασκευές που επηρεάζουν σημαντικά το οικοσύστημα με τον περιορισμό της μετακίνησης των ψαριών και γενικά το φυσικό περιβάλλον. Αντιθέτως, τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα τεχνάζονται δίπλα σε ποτάμια και έτσι δεν επηρεάζεται αρνητικά το περιβάλλον και τα οικοσυστήματα.

2.3 Υδροηλεκτρική Ενέργεια στην Ελλάδα

Η ισχύς του νερού εκμεταλλεύονταν, κιόλας, από του Αρχαίους Έλληνες πριν από 2000 και περισσότερα χρόνια. Τότε ξεκίνησαν να κατασκευάζουν τους νερόμυλους και να τους χρησιμοποιούν για το άλεσμα του σιταριού.

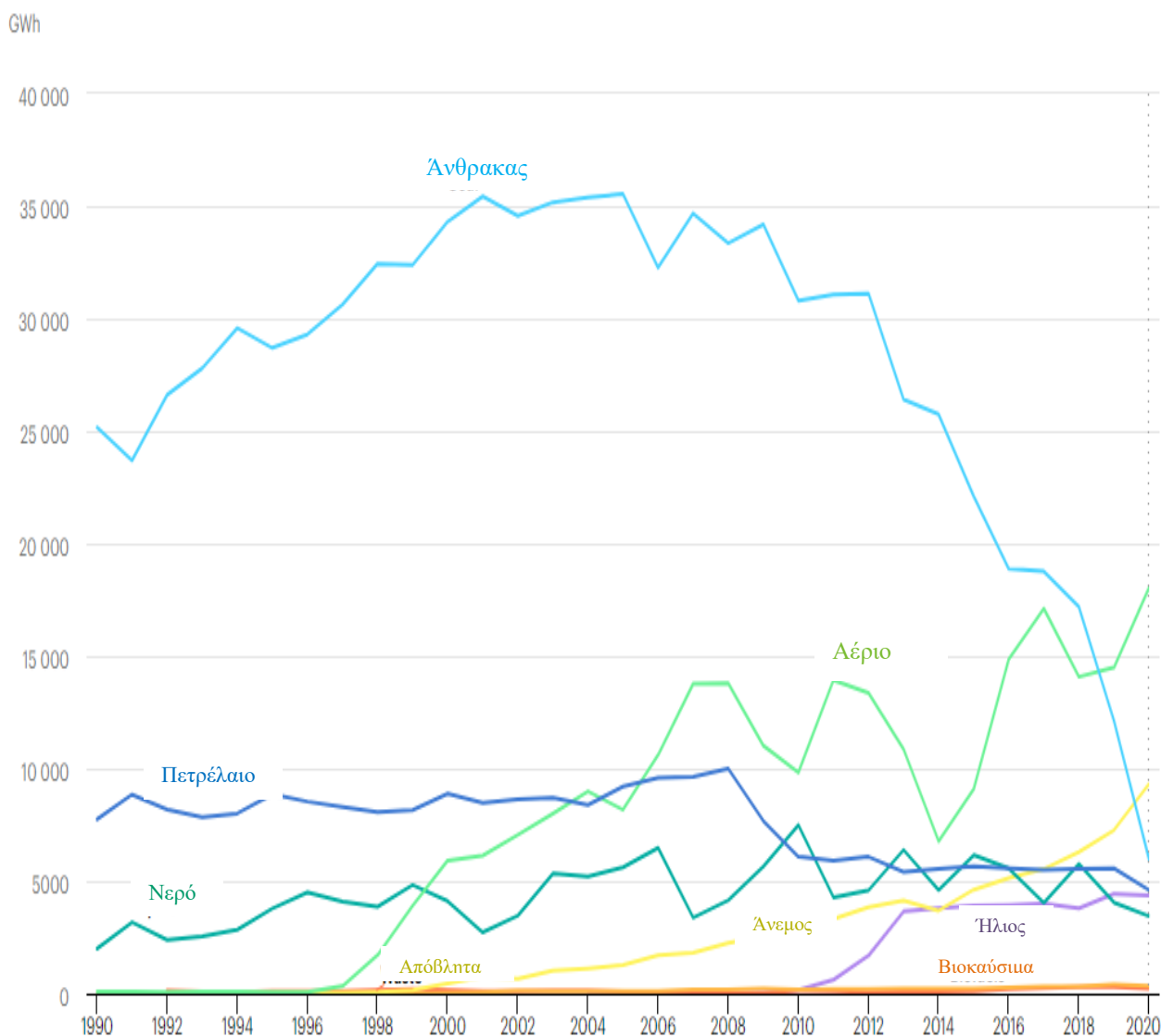
Το πρώτο υδροηλεκτρικό έργο στην Ελλάδα ξεκίνησε να λειτουργεί το 1927, στην περιοχή του Γλαύκου κοντά στην Πάτρα. Το επόμενο έτος, δηλαδή το 1928, άρχισε να λειτουργεί το φράγμα της Αγιάς στην Κρήτη και συγκριμένα στα Χανιά. Παρόλο που θεωρήθηκαν πολύ μικρά υδροηλεκτρικά εργοστάσια, παρήγαγαν 5,8 MW ηλεκτρική ενέργεια, κάτι που ήταν συμβατό με τα προϋπάρχοντα χρόνια.

Η Ελλάδα γνώρισε την μεγάλη άνθηση της στην υδροηλεκτρική ενέργεια, την περίοδο 1950-1975, μαζί με την ίδρυση της ΔΕΗ (1950), κατά την οποία κατασκευάστηκαν επτά μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί (Άγρας, Λάδωνας, Πλαστήρας,

Κρεμαστά, Καστράκι, Εδεσσαίος και Πολύφυτο). Εκτός από τους μεγάλους σταθμούς, κατασκευάστηκε και ένα μικρό υδροηλεκτρικό εργοστάσιο, αυτό του Λούρου στην Πρέβεζα. Μεταξύ αυτών, οι τρεις μεγαλύτεροι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι οι: Καστράκι, Πολύφυτο, και Κρεμαστά. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των οκτώ υδροηλεκτρικών σταθμών ανέρχονταν στα 1411,4MW (ΔΕΗ, 2021).

Από την περίοδο 1976 έως και σήμερα, τεχνάστηκαν ακόμα εννιά μεγάλοι και πέντε μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί, με την συνολική εγκατεστημένη ισχύς να είναι 1800,2 MW. Επίσης, μεταξύ αυτών συμπεριλαμβάνονται και οι αναστρέψιμοι αντλητικοί σταθμοί, αυτοί της Συκιάς και του Θησαυρού. Τα εν λόγω φράγματα λειτουργούν μέχρι σήμερα κανονικά, όμως δυο σταθμοί, αυτοί της Μεσοχώρας και του Μετσοβίτικου είναι υπό κατασκευή, δηλαδή δεν λειτουργούν. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με την ΔΕΗ, στόχος είναι η λειτουργία τους να ξεκινήσει τέλη του 2013 με αρχές του 2024, με συνολική ισχύς 200MW.

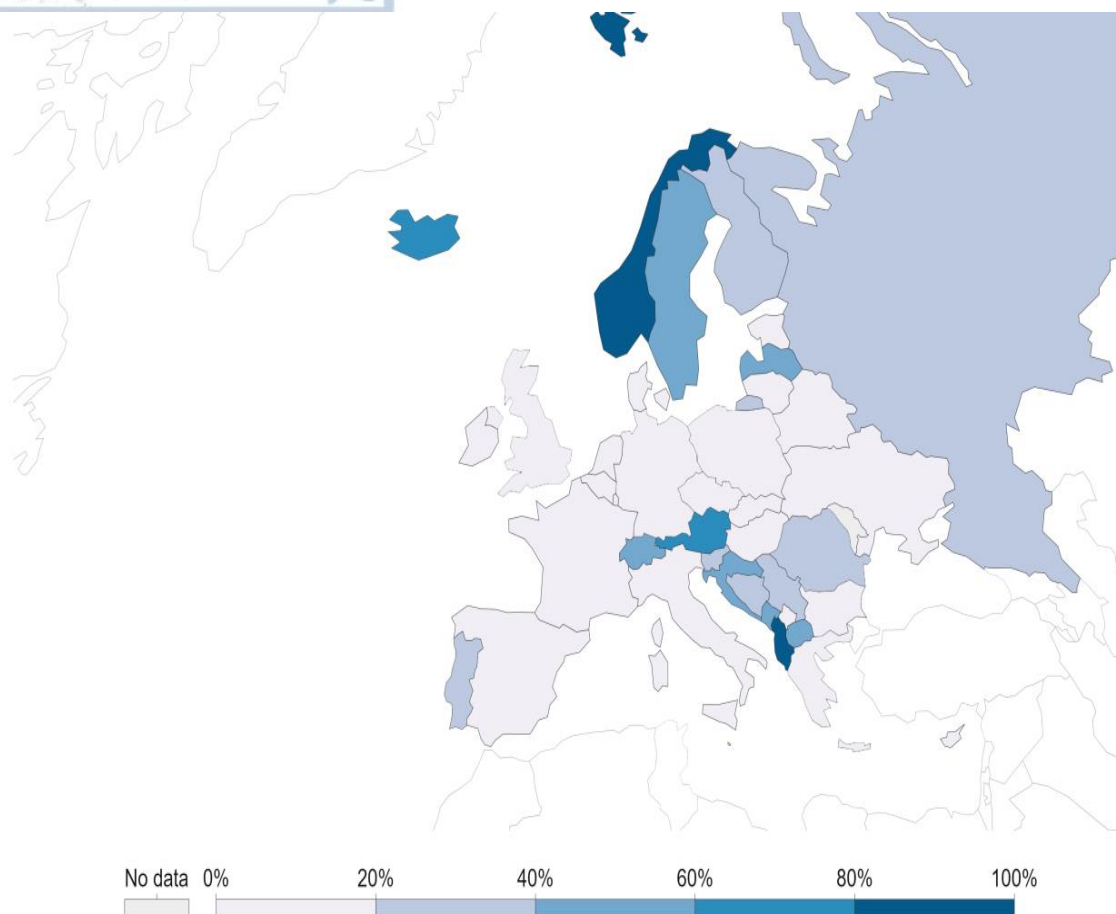
Ειδικότερα, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των υδροηλεκτρικών σταθμών, μεγάλων και μικρών, ανέρχεται στα 3217,4 MW, με την υδροηλεκτρική παραγωγή για το 2020 να είναι στα 3.010 Gwh. Η εν λόγω διαμοιράζεται ως εξής: 2.903 Gwh από τους μεγάλους υδροηλεκτρικού σταθμούς και 107 Gwh από τους μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς.



Σχήμα 2.3.1: Διάγραμμα με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά πηγή (ΙΗΑ, 2020).

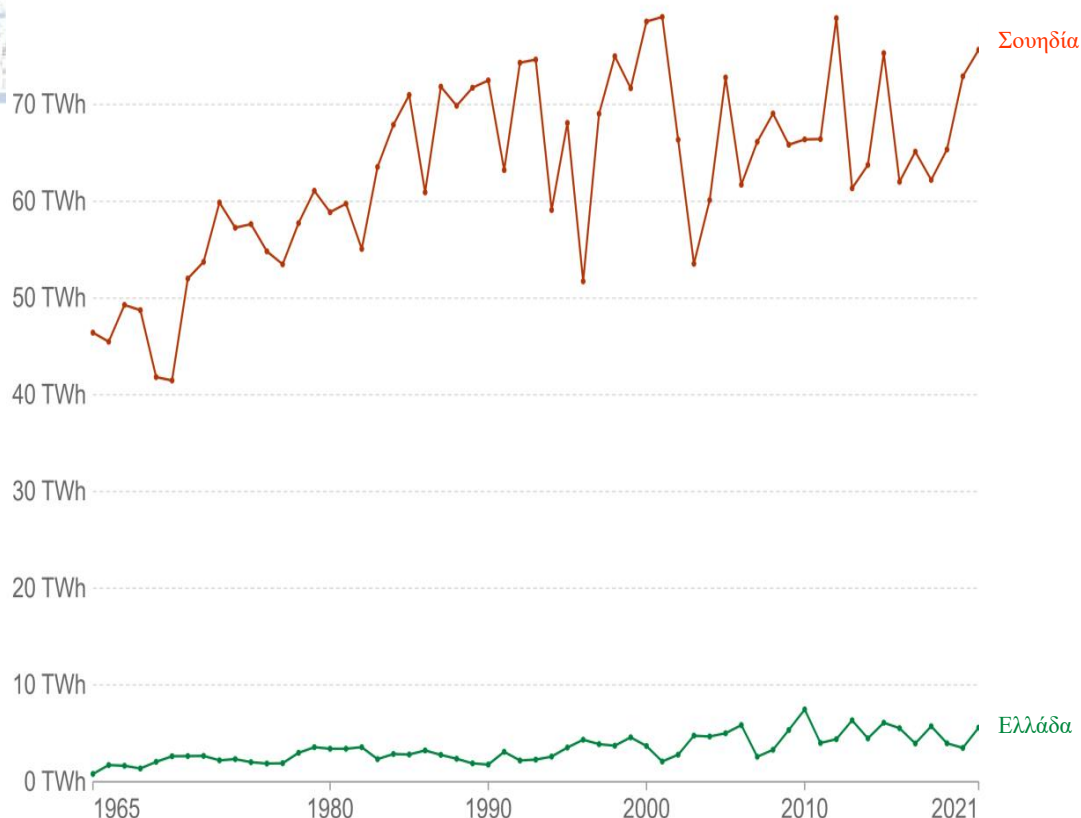
Παρόλο την πληθώρα των υδροηλεκτρικών σταθμών στην Ελλάδα, φαίνεται από το διάγραμμα (Σχήμα 2.3.1), πως το μεγαλύτερο ποσό παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται μέσω των ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο και φυσικό αέριο). Επομένως, καταλαβαίνουμε ότι η ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα στηρίζεται κυρίως στις συμβατικές πηγές ενέργειας και εν συνεχεία στις ανανεώσιμες πηγές. Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται πως το 2019, μια τυχαία χρονολογία, το ποσό ηλεκτρισμού από

την υδροηλεκτρική ενέργεια είναι 4.051 Gwh, ενώ από το φυσικό αέριο ανέρχεται στα 14.496 Gwh.



Σχήμα 2.3.2: Χάρτης με το ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την υδροηλεκτρική, Ευρώπη (Our World in Data, 2021).

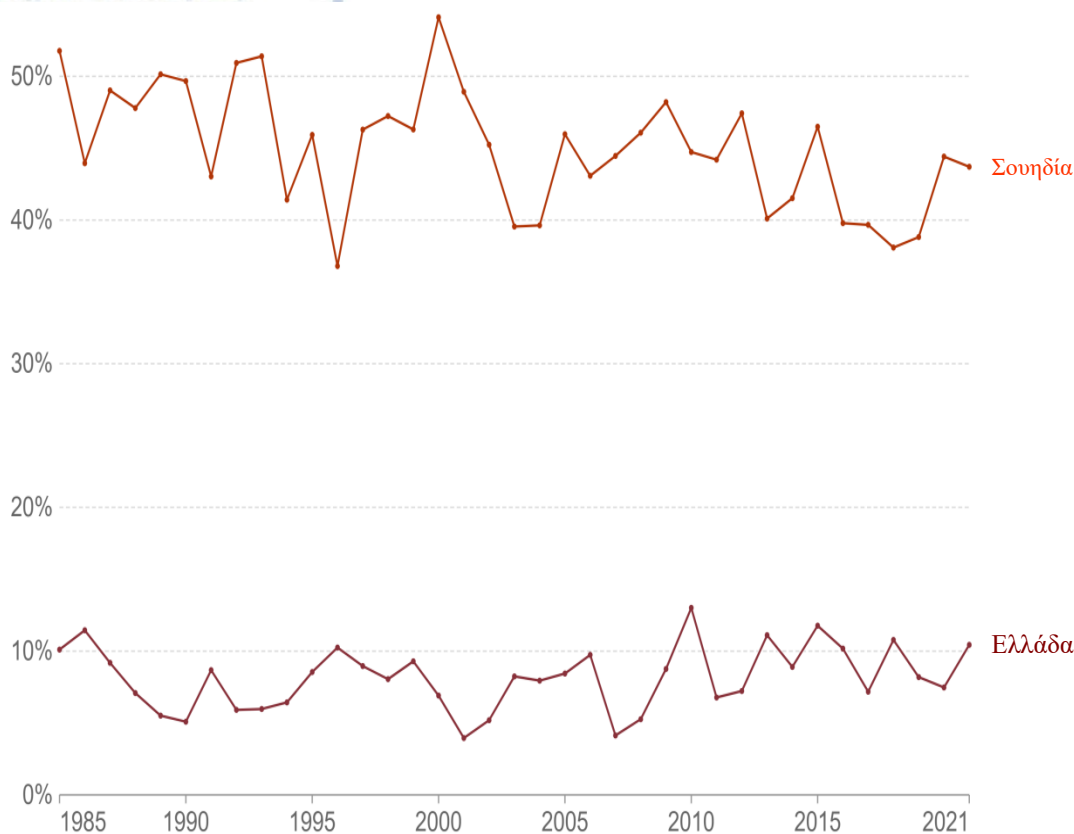
Παρατηρώντας τον χάρτη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την υδροηλεκτρική για την Ευρώπη, οι περισσότερες χώρες κυμαίνονται από 0% έως 20% παραγωγής με εξαίρεση την Νορβηγία (91%) και την Ισλανδία (69%). Επομένως, μπορεί τα ποσοστά να είναι χαμηλά, όμως είναι συμβατά για κάθε χώρα, σύμφωνα με την γεωγραφική της θέση. Ο λόγος που τα ποσοστά σε κάθε χώρα ποικίλουν είναι οι πλούσιες υδρολογικές λεκάνες με ιδιαίτερα ικανοποιητικές ποσότητες αποταμιευμένου νερού. Έτσι, τα υψηλά ποσοστά δεν βρίσκονται τυχαία στις βόρειες χώρες, αφού αποτελούνται από μεγαλύτερες ποσότητες κατακρημνισμάτων αλλά και ποσότητες νερού από το λιώσιμο των πάγων.



Σχήμα 2.3.3: Διάγραμμα με το ποσό παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας, Ελλάδα και Σουηδία (Our World in Data, 2021).

Στο διάγραμμα (Σχήμα 2.3.3), παρατηρούμε τις διαφορές των ποσών παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ της Ελλάδας και της Σουηδίας, δύο χωρών της Ευρώπης. Η διακύμανση του ποσού παραγωγής, για την Σουηδία, παρουσιάζει ιδιαίτερη μεταβολή ανά έτος, όμως από το 1965 έως το 2021 το ποσό δεν έχει φτάσει κάτω από 40 TWh. Αντιθέτως για την Ελλάδα δεν ισχύει το ίδιο, αφού η διακύμανση δεν εμφανίζει ιδιαίτερη αλλαγή και το χρονικό διάστημα 1965-2021 το ποσό παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας δεν ξεπέρασε τα 10 TWh.

Τα εν λόγω ποσά και οι διακυμάνσεις έχουν αντίκτυπο και στα ποσοστά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από την υδροηλεκτρική. Αυτά απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 2.3.4) και για τις δύο χώρες, Σουηδία και Ελλάδα.



Σχήμα 2.3.4: Διάγραμμα με το ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από υδροηλεκτρική, Σουηδία και Ελλάδα (Our World in Data, 2021).

Παρατηρούμε, λοιπόν, τη σαφή διαφορά των ποσοστών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των δύο ευρωπαϊκών χωρών. Επομένως, στο διάγραμμα, αναγνωρίζουμε πως τα ποσοστά παραγωγής της Σουηδίας είναι εξαιρετικά υψηλότερα από της Ελλάδας. Παρόλα αυτά, και για τις δύο χώρες υπάρχουν σημαντικές διακυμάνσεις ανά έτος. Ενδεικτικά, για το έτος 2015, η Ελλάδα εμφανίζει το μέγιστο ποσοστό της με 13%, ενώ η Σουηδία περίπου 45%.

Έτσι, συγκρίνοντας τον χάρτη (Σχήμα 2.3.2) και τα διαγράμματα, συμπεραίνουμε πως η Σουηδία είναι μια από τις Βόρειες χώρες της Ευρώπης με τη μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρική ενέργεια από την υδροηλεκτρική, ενώ το αντίθετο ισχύει για την Ελλάδα. Το γεγονός αυτό συμβαίνει, διότι η Ελλάδα στηρίζεται, κυρίως, στη χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας, με τα τελευταία χρόνια να αξιοποιεί τις ανανεώσιμες

πηγές τις οποίες διαθέτει. Επιπλέον παράγοντας που αποδεικνύει τις έντονες διαφορές μεταξύ των χωρών, αποτελεί το ποσό των κατακρημνισμάτων (βροχή και χιόνι), καθώς οι πιο βόρειες χώρες χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ποσότητα κατακρημνισμάτων.

2.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

2.4.1 Πλεονεκτήματα χρήσης υδροηλεκτρικής ενέργειας

Ο λόγος για τον οποίο χώρες παγκοσμίως προσφεύγουν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι τα οφέλη που προσφέρουν στον άνθρωπο αλλά και στο φυσικό περιβάλλον. Επομένως, η χρήση της υδροηλεκτρικής ενέργειας, μιας εκ των ανανεώσιμων πηγών, συνεισφέρει σημαντικά σε κάθε τομέα και τα πλεονεκτήματα της είναι πολυάριθμα.

Αρχικά, το σημαντικότερο όφελος από τη χρήση της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι η προστασία του φυσικού περιβάλλοντος. Αυτό συμβαίνει, διότι είναι μια «καθαρή» ανανεώσιμη πηγή, που δεν παράγει ατμοσφαιρικούς αέριους ρύπους, όπως διοξείδιο του άνθρακα. Η εν λόγω παράμετρος αποτελεί μελλοντικό στόχο των χωρών για την μείωση των αέριων ρύπων.

Επιπρόσθετα, ανάλογα με την ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί δύναται να τεθούν σε λειτουργία αμέσως. Αυτό έρχεται σε αντιδιαστολή με τους θερμικούς σταθμούς γαιανθράκων και πετρελαίου, οι οποίοι απαιτούν χρόνο για να προετοιμαστεί η λειτουργία τους. Η ευκολία αυτή συνδέεται με την κάλυψη εποχιακών υψηλών αναγκών και έτσι θα περιοριστεί η εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τρίτες χώρες και θα επιτευχθεί η ενεργειακή αυτονομία.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας και διάσπαρτη γεωγραφικά. Έτσι μπορεί να συγκροτήσει έναν πυρήνα, ικανό για την αναβίωση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών, με αποτέλεσμα να συμβάλλει στην τοπική πρόοδο και ανεξαρτητοποίηση. Σε οικονομικό επίπεδο, το λειτουργικό κόστος των υδροηλεκτρικών σταθμών είναι σχετικά μικρό και το κόστος για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αντιστοιχεί κοντά στην απόσβεση του υδροηλεκτρικού

έργου. Επίσης, τα μέρη του υδροηλεκτρικού σταθμού, όπως οι υδροστροβίλοι, είναι φερέγγυες και ανθεκτικές μηχανές, με αποτέλεσμα να μην χρειάζονται ιδιαίτερη επίβλεψη και συντήρηση και άρα ολιγομελές προσωπικό. Με βάση τις ιδιότητες των μηχανών, η διάρκεια ζωής των υδροηλεκτρικών εργοστασίων είναι μεγάλη και αναφορικά για τους μεγάλους είναι τα 50 έτη, ενώ για τους μικρούς είναι 20 με 30 έτη (Καραθανάση, 2017).

2.4.2 Μειονεκτήματα χρήσης υδροηλεκτρικής ενέργειας

Η υδροηλεκτρική ενέργεια μπορεί να είναι μια ανανεώσιμη πηγή και να εμφανίζει μεγάλο πλήθος από πλεονεκτήματα, όμως παρουσιάζει και ορισμένα αρνητικά χαρακτηριστικά, τα οποία προσμετρούμαι.

Όταν αναφερόμαστε σε μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα, αυτό έρχεται σε αντιδιαστολή με το κόστος. Η κατασκευή των φραγμάτων και ο εξοπλισμός των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν μεγάλο κόστος και απαιτείται μεγάλη χρονική διάρκεια για να περατωθεί το έργο. Ο συνδυασμός αυτός, αυξάνει ακόμα περισσότερο το κόστος και τον προϋπολογισμό. Παράμετρος αύξησης του κόστους είναι η κατάλληλη θέση κατασκευής του υδροηλεκτρικού έργου, που μπορεί να απέχει από τον σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι το κόστος κατασκευής είναι αρκετά μεγαλύτερο από το κόστος μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπρόσθετα, η θέση θεμελίωσης του έργου και κατά επέκταση η δημιουργούμενη περιοχή του ταμιευτήρα, πιθανότατα να προκαλέσει έντονη περιβαλλοντική αλλοίωση, όπως για παράδειγμα μεταβολές στην χλωρίδα και στην πανίδα της περιοχής, αύξηση σεισμικής επικινδυνότητας, αλλαγή του τοπικού κλίματος και άλλα.

Συνεπώς, σήμερα οι κοινωνίες στρέφονται προς τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα, έτσι ώστε να αποφευχθούν οι αναφερθείσες επιπτώσεις.

2.5 Εφαρμογές-Παραδείγματα

Από την έναρξη της εφαρμογής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παρουσιάζεται αύξηση στην χρήση τους παγκοσμίως, που έχει ως αποτέλεσμα την αποστασιοποίηση από τις συμβατικές πηγές. Συγκεκριμένα, η υδροηλεκτρική ενέργεια αξιοποιείται ευρέως παγκοσμίως και κυρίως σε χώρες που φέρουν τις κατάλληλες

προϋποθέσεις για την κατασκευή μικρής ή μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα. Τέτοιες χώρες είναι κυρίως οι βόρειες.

Πολυάριθμες, λοιπόν, είναι οι χρήσεις της υδροηλεκτρικής ενέργειας για τις κοινωνίες σε κάθε χώρα. Στην Ελλάδα, μια από τις πιο ενεργοβόρες δραστηριότητες της είναι η άντληση νερού από γεωτρήσεις καταναλώνοντας σημαντικά ποσά ενέργειας, κάτι που αντιτάσσεται απέναντι στις αρχές της εξοικονόμησης ενέργειας. Προφανώς, οι ανάγκες που καλύπτονται μέσω των αντλήσεων είναι υδρευτικές. Παρόλα αυτά, σήμερα, εκτός από την εκμετάλλευση του υπόγειου νερού για τις υδρευτικές ανάγκες της κοινωνίας, αξιοποιούνται και τα επιφανειακά νερά μέσω των μικρών ή μεγάλων υδροηλεκτρικών εργοστασίων. Αρκετές είναι οι πόλεις, όπως η Θεσσαλονίκη το Αγρίνιο και άλλες, που για να καλύψουν τις ανάγκες τους για ύδρευση, χρησιμοποιούν τους ταμιευτήρες της ΔΕΗ, προερχόμενοι από τα φράγματα. Η συνολική ετήσια ζήτηση νερού για ύδρευση ανέρχεται σε $130 \times 10^6 \text{ m}^3$, ποσό το οποίο αντιστοιχεί σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 65-70 GWh (Αργυράκης, 2015).

Η επόμενη κύρια δραστηριότητα που καταναλώνει ενέργεια είναι η άρδευση. Στην Ελλάδα, υπάρχουν περιοχές, όπως η Θεσσαλία, οι οποίες στηρίζονται στην αγροτική δραστηριότητα και για να καλύψουν τις αρδευτικές τους ανάγκες εκμεταλλεύονταν και συνεχίζουν να εκμεταλλεύονται τα υπόγεια νερά. Επομένως, για να αποφευχθούν αρνητικά αποτελέσματα προς τα υπόγεια νερά, σήμερα, όπου είναι εφικτή εφαρμόζεται η υποκατάσταση των υπόγειων νερών με επιφανειακά, έπειτα από την κατασκευή υδροηλεκτρικών έργων. Έτσι, η παροχή νερού για άρδευση από τους δημιουργημένους ταμιευτήρες της ΔΕΗ είναι της τάξης των $1350 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί σε 700 GWh παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Βασική προϋπόθεση αποτελεί η άμεση διαθεσιμότητα του νερού για την περίοδο του Μαΐου, για να αξιοποιηθούν για την καλοκαιρινή περίοδο άρδευσης.

Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας δεν πραγματοποιείται μόνο από τα επιφανειακά ύδατα, αλλά, αξιοποιούνται και τα υπόγεια νερά, σε ελεγχόμενες ποσότητες. Η άντληση, η μεταφορά και η επεξεργασία του νερού συνεπάγονται σημαντική ποσότητα ενέργειας και αντιστρόφως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού. Το υπόγειο νερό δύναται να αξιοποιηθεί με αντλησιοταμίευση, με σκοπό την

παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για την λειτουργία της διαδικασίας, χρειάζονται δύο δεξαμενές σε διαφορετικά υψόμετρα, αντλίες νερού και υδροστρόβιλοι. Αναγκαία συνθήκη αποτελεί η αρχική πλήρωση της χαμηλής δεξαμενής, η οποία πραγματοποιείται μέσω άντλησης νερού από γεωτρήσεις, είτε μέσω των επιφανειακών ή πηγαίων νερών. Στη συνέχεια, για να μεταφερθεί το νερό από την χαμηλή στην υψηλή δεξαμενή αξιοποιείται η παραγόμενη αιολική ενέργεια από τα αιολικά πάρκα (Βουδούρης, 2015).

Το έργο αυτό θεωρείται υβριδικό και οι αιολικοί-αντλησιοταμιευτικοί σταθμοί έχουν την δυνατότητα να αποθηκεύουν την αιολική ενέργεια για την μεταφορά του νερού. Επιπρόσθετα, μπορούν να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια είτε άμεσα από τα αιολικά πάρκα είτε από τους υδροστρόβιλους, και να πραγματοποιείται η ταυτόχρονη άντληση και παραγωγή ενέργειας.

Συνεπώς, ως αρχικός στόχος είναι η αξιοποίηση των επιφανειακών νερών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της βοήθειας των υδροηλεκτρικών έργων. Παρόλα αυτά, δύναται να στραφούμε και στα υπόγεια υδατικά αποθέματα με ελεγχόμενο ρυθμό εκμετάλλευσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα (Μ.ΥΗ.Ε)

3.1 Εισαγωγή

Όλα τα προηγούμενα χρόνια αλλά και τα συνεχή, η ενέργεια έχει συναποτελέσει αναγκαίο χαρακτηριστικό για την επιβίωση και την εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού. Ήδη από τους αρχαίους χρόνους, ο άνθρωπος προσπαθούσε διαρκώς να εκμεταλλευτεί την άφθονη ενέργεια που του παρείχε η φύση και το περιβάλλον. Κυρίως τότε ο άνθρωπος ασχολήθηκε με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως ο ήλιος, ο αέρας, το νερό και άλλες, προκειμένου να συμβάλλει αποφασιστικά στην ανάπτυξη του καλύτερου τρόπου ζωής του.

Καθώς τα χρόνια περνούσαν, ο πληθυσμός αυξάνονταν παγκοσμίως, με αποτέλεσμα το επίπεδο ζωής να βελτιωνόταν. Έτσι, τα επακόλουθα γεγονότα λόγω παγκόσμιων αυξήσεων, ήταν η μεγιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης από τους ανθρώπους αλλά και από τις βιομηχανίες. Επομένως, ένα σημαντικό ποσοστό της ενεργειακής ζήτησης καλύφθηκε από την χρήση του πετρελαίου και των παράγωγων του. Με το πέρασμα των χρόνων αλλά και την ανάπτυξη των αναφερθέντων παραμέτρων, προήλθε η έναρξη της ενεργειακής κρίσης, κατά την οποία ο σύγχρονος κόσμος ξεκίνησε να βιώνει τις συνέπειες της. Η κρίση γεννήθηκε από την εξάρτηση των ανθρώπων και των κοινωνιών, σε ενεργειακές υποδομές όπως πετρελαϊκές πηγές. Ο αντίκτυπος της ενεργειακής κρίσης στις χώρες ήταν δυσμενής, καθώς επηρέασε την παγκόσμια οικονομία και την κοινωνική ανάπτυξη.

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η ενεργειακή κρίση και η εξάρτηση των κοινωνιών από εισαγόμενα καύσιμα, οι περισσότερες χώρες στράφηκαν σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας, ουσιαστικά τις ανανεώσιμες. Μεταξύ των ειδικότερων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, διακρίνεται η αξιοποίηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας καθώς έχει σημαντικό βαθμό ενδιαφέροντος σε χώρες με αυξημένο υδροδυναμικό. Επομένως, οι αναπτυσσόμενες χώρες στρέφονται στην κατασκευή σημαντικών υδροηλεκτρικών εργοστασίων, με σκοπό την αποφυγή προβλημάτων από την χρήση καυσίμων αλλά και την μείωση του κόστους. Ανάλογα με το υδροδυναμικό κάθε χώρας θα αναπτυχθούν μεγάλης ή μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα.

Πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι η ανανέωση της η καθαρότητα της και η μέγιστη απόδοση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται μέσω αυτής (έως 70%). Ωστόσο, όπως κάθε πηγή ενέργειας φέρει μειονεκτήματα, έτσι παρέχει και αυτή τα δικά της.

3.1.1 Ιστορική Διαδρομή Μ.ΥΗ.Ε

Η υδραυλική ενέργεια θεωρείται ο «λευκός άνθραξ» παγκοσμίως, καθώς εξυπηρετούσε και εξυπηρετεί ακόμα τον άνθρωπο και τις κοινωνίες στην ανάπτυξη τους. Ήδη από τους αρχαίους χρόνους και την ρωμαϊκή εποχή, ξεκίνησε η αξιοποίηση της υδραυλικής ενέργειας με μετατροπή της σε μηχανική, μέσω νερόμυλων. Η τεχνολογία τους εμφανίστηκε στις αρχές του 19^ο αιώνα και χαρακτηρίστηκαν ως οι πρώτοι υδροστρόβιλοι. Μαζί με την υδροηλεκτρική ενέργεια αναπτύχθηκαν και οι εφαρμογές της χρήσης του ηλεκτρισμού, με αποτέλεσμα τα έργα αξιοποίησης της υδραυλικής ενέργειας να μετατραπούν σε υδροηλεκτρικά.

Τα πρώτα χρόνια τα υδροηλεκτρικά έργα δεν ήταν υψηλής τεχνολογίας, παρόλα αυτά ο συνδυασμός της σταδιακής αύξησης των ενεργειακών αναγκών, των διαθέσιμων μέσων και της ανάπτυξης της τεχνολογίας, επέτρεψε την δημιουργία μεγαλύτερων έργων. Οι δύο με τρεις δεκαετίες μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, θεωρήθηκαν χρυσή περίοδος για τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα καθώς η εκμετάλλευση του διαθέσιμου υδροδυναμικού πραγματοποιήθηκε μέσω μονάδων μεγάλης ισχύος έως μερικών εκατοντάδων MW. Η ανάπτυξη αυτή επέφερε την σταδιακή εγκατάλειψη των μικρών υδροηλεκτρικών έργων, καθώς ο βαθμός απόδοσης τους ήταν χαμηλός.

Παρόλα αυτά, την δεκαετία του '80, παρατηρήθηκε ένα έντονο ενδιαφέρον προς τα μικρά υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Το γεγονός αυτό συμβαίνει είτε από την αξιοποίηση νέων υδατοπτώσεων είτε με τον επανασχεδιασμό των ήδη υπαρχόντων που κατελήφθησαν. Παράλληλα με το πέρασμα των χρόνων επιτυγχάνεται και η βελτίωση της τεχνολογίας και της επιστήμης, με αποτέλεσμα την πρόοδο του σχεδιασμού υδραυλικών και μηχανικών διατάξεων, που εμπλουτίζουν τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα. Τέλος, η ανάπτυξη των μικρών υδροηλεκτρικών εργοστασίων υπερέχουν σε πλεονεκτήματα από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις, κυρίως προς το φυσικό περιβάλλον.

3.1.2 Ορισμός των Μ.ΥΗ.Ε

Γενικά, ο χαρακτηρισμός ενός υδροηλεκτρικού σταθμού ως «μικρό» διευρύνεται σε πολλά μη ποσοτικά χαρακτηριστικά και δεν περιορίζεται μόνο στην εγκατεστημένη ισχύ του. Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία (Ν.2773/1999), ένα υδροηλεκτρικό έργο για να χαρακτηριστεί μικρό δεν θα πρέπει η εγκατεστημένη ισχύς του να υπερβαίνει τα 10MW. Ο ορισμός των μικρών υδροηλεκτρικών έργων διαφοροποιείται από χώρα σε χώρα, με αποτέλεσμα το όριο να μεταβάλλεται. Ενδεικτικά, το όριο για τις χώρες, Κίνα, Καναδά και Νέα Ζηλανδία έχει οριστεί στα 50MW, στην Αμερική στα 30 MW και στην Ταϊλάνδη στα 15MW (Παπαλάμπρου, 2020). Παρόλα αυτά, ο καινούργιος νόμος (Ν.3851/2010) αυξάνει το όριο της εγκατεστημένης ισχύς στα 15 MW.

3.2 Κατηγοριοποίηση των Υδροηλεκτρικών Έργων

Προσπαθώντας, να διαχωρίσουμε τα υδροηλεκτρικά έργα σε μεγάλα και μικρά με βάση την αρχή λειτουργίας τους, καταλαβαίνουμε ότι δεν είναι δυνατό να διακριθούν με αυτό τον τρόπο. Το γεγονός αυτό συμβαίνει διότι και στις δυο κατηγορίες δεν διακρίνονται διαφορές κατά την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε μηχανική και ακολούθως αυτής σε ηλεκτρική ενέργεια. Επομένως, το αποτέλεσμα είναι πως η διάκριση, μικρών και μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων, δεν υπόκειται αποκλειστικά στην εκάστοτε εγκατεστημένη ισχύ. Ένα σύνολο ιδιοτήτων, εκ των οποίων οι περισσότερες δεν είναι μετρήσιμες, συνιστούν την ανομοιότητα των υδροηλεκτρικών έργων.

Σύμφωνα με ποικίλες θεωρήσεις, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί δύναται να διαχωριστούν με λογικές μεθόδους ταξινόμησης(Καραβανάς,2020). Επιγραμματικά, τα υδροηλεκτρικά έργα κατατάσσονται με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

- Το είδος της εκμετάλλευσης του έργου
- Τη δυνατότητα αποταμίευσης-αποθήκευσης
- Τις αρχές της ενεργειακής οικονομίας
- Το χαρακτήρα και την αξία της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας
- Τη σκοπιμότητα του έργου

- Τη διάταξη
- Τη χωρητικότητα του ταμιευτήρα
- Το ωφέλιμο ύψος υδατοπτώσεων
- Το μέγεθος της εγκατεστημένης ισχύος.

Αναλυτικότερα, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί με βάση το είδος της εκμετάλλευσης του έργου ή αλλιώς την τεχνική πλευρά διακρίνονται, αρχικά, σε αυτούς που αξιοποιούν την προερχόμενη ενέργεια των ρεόντων επιφανειακών υδάτων και την τροφοδοσία από φυσικές πηγές. Η υποκατηγορία αυτή αναφέρεται ως συμβατική χρήση της υδροδυναμικής ενέργειας (Γάττας, 2013). Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν και οι σταθμοί άντλησης-ταμίευσης, οι οποίοι εκτελούνται με βάση την ημερήσια καμπύλη φορτίου και σε άμεσο παραλληλισμό με την λειτουργία άλλων σταθμών. Παρόλα αυτά, ανάλογα την προέλευση της υδροδυναμικής ενέργειας, για παράδειγμα την παλίρροια και τα κύματα, διακρίνονται και οι αντίστοιχες υποκατηγορίες.

Συνέχεια της διαφοροποίησης με βάση την τεχνική πλευρά του έργου, αποτελεί ο διαχωρισμός σύμφωνα με τη δυνατότητα αποταμίευσης. Η κατηγορία περιλαμβάνει τους σταθμούς μηδενικής δυνατότητας αποθήκευσης και περικλείει εύρος των συμβατικών εγκαταστάσεων. Επόμενη υποκατηγορία για την δεύτερη παράμετρο είναι οι σταθμοί με ποσοστό αποθήκευσης και εμπεριέχουν μικρό φάσμα των συμβατικών κατασκευών και μεγάλο φάσμα των σταθμών άντλησης-ταμίευσης. Τελευταία υποομάδα, της εν λόγω διάκρισης, είναι ανάλογα με την χρονική διάρκεια της αποθήκευσης νερού. Σύμφωνα με αυτή, διαχωρίζονται σε σταθμούς εποχιακής, ετήσιας, πολλαπλών ετών, ημερήσιας, εβδομαδιαίας και πλήρους χρόνου αποθήκευσης.

Συνεχίζοντας, το ακόλουθο κριτήριο ταξινόμησης των υδροηλεκτρικών σταθμών είναι βάσει ενεργειακής οικονομίας, με δύο βασικές υποκατηγορίες. Η πρώτη αναφέρεται στους αυτόνομους ή αλλιώς μεμονωμένους, δηλαδή σύμφωνα και με την ονομασία τους, αποτελούν τους σταθμούς που δεν συμμετέχουν σε ένα ευρύ δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, λειτουργούν ανεξάρτητα παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια και παρέχοντας την αποκλειστικά και μόνο σε τοπικό επίπεδο. Η δεύτερη υποκατηγορία παραπέμπεται στους διασυνδεδεμένους, οι οποίοι, λόγω της ονομασίας τους, απαρτίζουν τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς που λειτουργούν παράλληλα και με περισσότερους

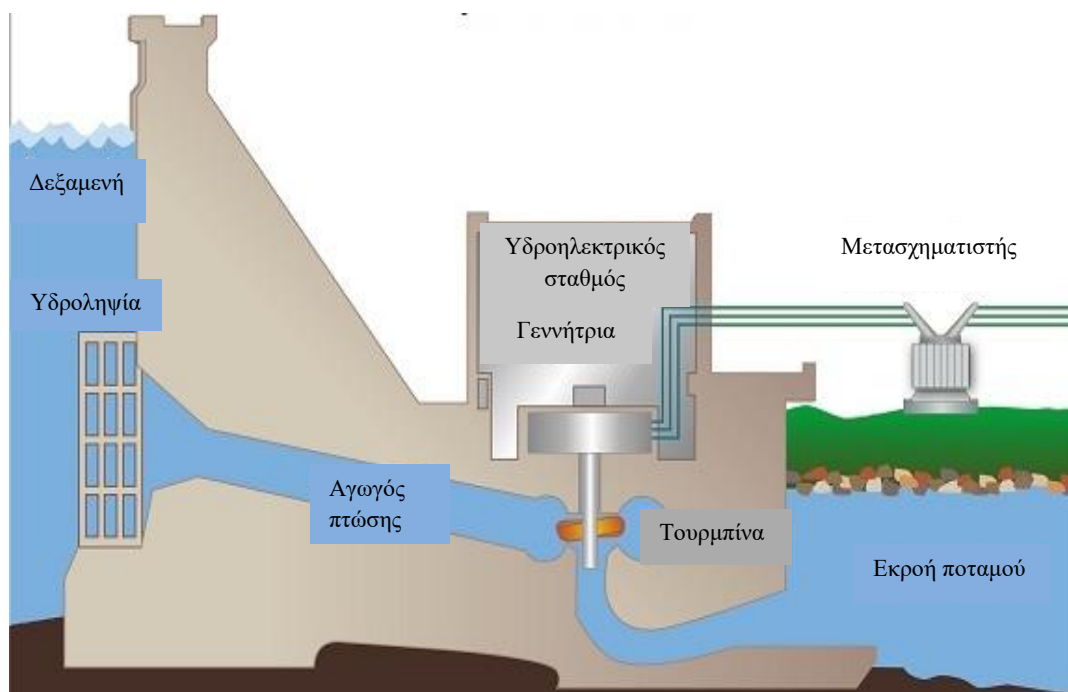
σταθμούς, για παράδειγμα τους θερμικούς. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια προερχόμενη από τους διασυνδεδεμένους υδροηλεκτρικούς σταθμούς παρέχεται σε ευρύτερο ηλεκτρικό επίπεδο. Ουσιαστικά, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί μεγάλης κλίμακας καθώς και η πλειοψηφία σταθμών μικρής κλίμακας αποτελούν κατασκευές αποκλειστικά λειτουργίας διασυνδεδεμένων υδροηλεκτρικών σταθμών για παροχή ενέργειας ευρέως.

Η κατηγοριοποίηση ανάλογα το χαρακτήρα και την αξία της παραγόμενης ενέργειας αποσκοπεί, ουσιαστικά, στον ετήσιο βαθμό χρησιμοποίησης αυτής. Επομένως, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί διαχωρίζονται στους σταθμούς βάσης φορτίου και στους σταθμούς φορτίου αιχμής. Οι πρώτοι αναφερόμενοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω σχεδόν συνεχούς λειτουργίας τους, με αποτέλεσμα να έχουν εύρος βαθμού χρησιμοποίησης από 60% έως 80%. Οι δεύτεροι λειτουργούν για μικρά χρονικά διαστήματα και έτσι παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για ώρες και ανάγκες αιχμής. Μέσω των συγκεκριμένων υδροηλεκτρικών σταθμών, ο ετήσιος βαθμός χρησιμοποίησης της ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται σε ένα φάσμα ποσοστού από 10-15% έως 40-50%, σύμφωνα με τις ανάγκες.

Ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος για την ταξινόμηση των υδροηλεκτρικών σταθμών είναι η σκοπιμότητα του έργου, ουσιαστικά ο λόγος κατασκευής του υδροηλεκτρικού έργου. Αρχικώς, τα υδροηλεκτρικά έργα είναι κυρίως απλής σκοπιμότητας. Με τον προσδιορισμό αυτό, παραθέτετε ότι η χρήση των έργων είναι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για αυτό το λόγο αξιοποιείται ευρύτατα η δυναμική ενέργεια του νερού. Παρόλα αυτά, σε συνδυασμό με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, επιτυγχάνονται και δευτερεύουσες ανάγκες των κοινωνιών. Επομένως, τα υδροηλεκτρικά έργα κατηγοριοποιούνται και σε έργα πολλαπλής σκοπιμότητας. Κύρια βοήθεια τους αποτελεί η εξασφάλιση νερού για την κάλυψη ιδιαίτερων αναγκών, όπως είναι η ύδρευση και άρδευση και κυρίως σε περιόδους ξηρασίας. Λόγω της δημιουργίας των τεχνητών λιμνών υπάρχει η δυνατότητα ανάπτυξης υγροβιότοπων μοναδικής ομορφιάς, αναβαθμίζοντας έτσι την αισθητική του τοπίου. Επίσης, εάν υπάρξει η κατασκευή φράγματος(μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικό έργο), τότε εάν η στάθμη του νερού στα ανάντη του ταμιευτήρα υπερβεί την μέγιστη στάθμη, με την βοήθεια των

υπερχειλιστών διοχετεύεται νερό στα κατάντη, αποτρέποντας την περίπτωση πλημμυρικού γεγονότος (Αργυράκης, 2013).

Επιπροσθέτως, σημαντικός παράγοντας κατηγοριοποίησης είναι η διάταξη των υδροηλεκτρικών έργων που ακολουθείται από την χωρητικότητα του ταμιευτήρα. Πρωτίστως, υπάρχει η κατηγορία των υδροηλεκτρικών έργων με κατασκευή φράγματος στην κατάλληλη γεωλογικά και υδρογεωλογικά περιοχή θεμελίωσης. Τα εν λόγω έργα εκτός από την διάταξη του φράγματος, έχουν και την κατάλληλη και μελετημένη χωρητικότητα στον ταμιευτήρα, ανάντη του φράγματος.

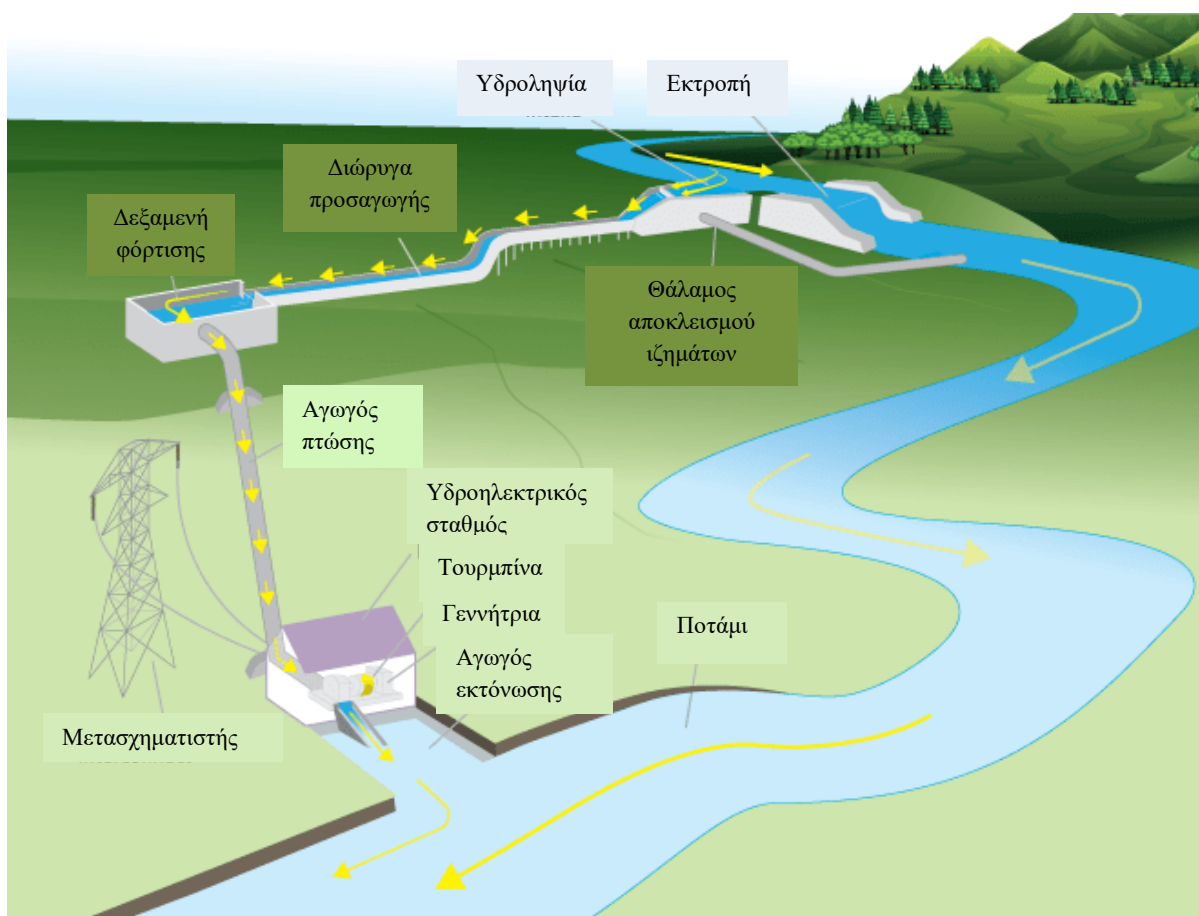


Σχήμα 3.2.1: Διάταξη υδροηλεκτρικού έργου με φράγμα(USGS)

Η συγκεκριμένη διάταξη του υδροηλεκτρικού έργου(Σχήμα 3.2.1) λειτουργεί ως εξής: Το κατασκευαζόμενο φράγμα αποθηκεύει στα ανάντη ποσότητα νερού, θεωρώντας τον ταμιευτήρα ως ρεζερβουάρ. Στην συνέχεια, μέσω ενός ανοίγματος στο κάτω τμήμα του φράγματος πραγματοποιείται η υδροληψία. Λόγω της βαρύτητας το νερό εισέρχεται μέσα στο στέλεχος στο τέλος του οποίου υπάρχει μια τουρμπίνα με προπέλες. Μέσω της επαφής του με το κινούμενο νερό, ξεκινάει η κίνηση της τουρμπίνας, η οποία συνδέεται μέσω ενός άξονα με μια ηλεκτρογεννήτρια. Με την κίνηση του συστήματος ενεργοποιείται και η γεννήτρια, με αποτέλεσμα την παραγωγή ισχύος. Επίσης, η

γεννήτρια συνδέεται με τα καλώδια του ρεύματος, τα οποία έχουν τον ρόλο του μεταφορέα του ρεύματος. Στην συνέχεια το νερό, μετά από την τουρμπίνα, μέσω ενός αυλακιού επιστρέφει στην κανονική ροή του ποταμού. Μέσω ολόκληρης της διάταξης, πέρα από ηλεκτρικό ρεύμα, παρέχεται και η δυνατότητα αποθήκευσης νερού στον ταμιευτήρα για κάλυψη αναγκών.

Η επόμενη υποκατηγορία της διάταξης και της χωρητικότητας του ταμιευτήρα αποτελεί το σύστημα ροής του ποταμού ή αλλιώς run-of-river. Η εν λόγω διάταξη δεν προϋποθέτει την κατασκευή φράγματος με αποτέλεσμα να μην έχουμε την θέση του ταμιευτήρα άρα να έχουμε και μηδενική χωρητικότητα.



Σχήμα 3.2.2: Διάταξη run-of-river (<https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-plants>)

Η συγκεκριμένη διάταξη λειτουργεί μέσω ενός καναλιού, δια του οποίου εκτρέπεται ένα μέρος του ποταμού προς τα κατώτερα σημεία. Μέσω αυτής της διάταξης αξιοποιείται η διαφορά υψομέτρου της κοίτης του ποταμού από την μονάδα παραγωγής

ηλεκτρικής ενέργειας. Το κινούμενο νερό εισέρχεται στη μονάδα και κινεί τα πτερύγια της τουρμπίνας. Εξαιτίας της σύνδεσης της τουρμπίνας με μια ηλεκτρογεννήτρια, προκαλείται η ενεργοποίηση της, με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Στην συνέχεια, με την βοήθεια των καλωδίων μεταφοράς ρεύματος πραγματοποιείται η διανομή του. Το τμήμα του νερού που εκμεταλλεύεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επιστρέφει στην κανονική ροή του ποταμού. Εκτός από αυτές τις διατάξεις υπάρχει και το υδροηλεκτρικό έργο με ένα μικρό φράγμα, μέσω του οποίου δημιουργείται μια μικρή τεχνητή λίμνη. Μέσω αυτής υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης νερού για έως και μια εβδομάδα για την κάλυψη αναγκών σε στιγμές αιχμής.

Το χαρακτηριστικό που ενδιαφέρει την κατηγοριοποίηση των υδροηλεκτρικών έργων είναι το ωφέλιμο ύψος υδατοπτώσεως, δηλαδή η υψομετρική διαφορά. Ουσιαστικά, η διαφοροποίηση αυτή βασίζεται στην διαθέσιμη υδραυλική πτώση(H), η οποία εξαρτάται από την υδραυλική ενέργεια του νερού και την στατική πίεση στον αγωγό και στην στρόβιλο. Επομένως, η διάκριση πραγματοποιείται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Μικρού ύψους με $H < 20\text{m}$
- Μεσαίου ύψους με $20 < H < 150\text{m}$
- Μεγάλου ύψους με $H > 150\text{m}$

Παρά όλες αυτές τις διακρίσεις των υδροηλεκτρικών έργων, η πιο συνηθισμένη κατηγοριοποίηση είναι με βάση την εγκατεστημένη ισχύ τους. Ως εγκατεστημένη ισχύ θεωρείται η μέγιστη ωφέλιμη ισχύ που μπορεί να αποδώσει και να διατεθεί από έναν υδροηλεκτρικό σταθμό. Με βάση αυτή έχει διαμορφωθεί ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 3.2.1: Διάκριση με βάση την εγκατεστημένη ισχύ

Υδροηλεκτρικά Έργα	Εγκατεστημένη Ισχύς(MW)
Μικρής κλίμακας	<15
Μεγάλης κλίμακας	>15

Παρόλα αυτά, μια επιπλέον διάκριση εντοπίζεται στα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.2.2: Διάκριση μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα

Υδροηλεκτρικά Έργα	Εγκατεστημένη Ισχύς
Mini	100kW-1MW
Micro	<100kW
Pico	<5kW

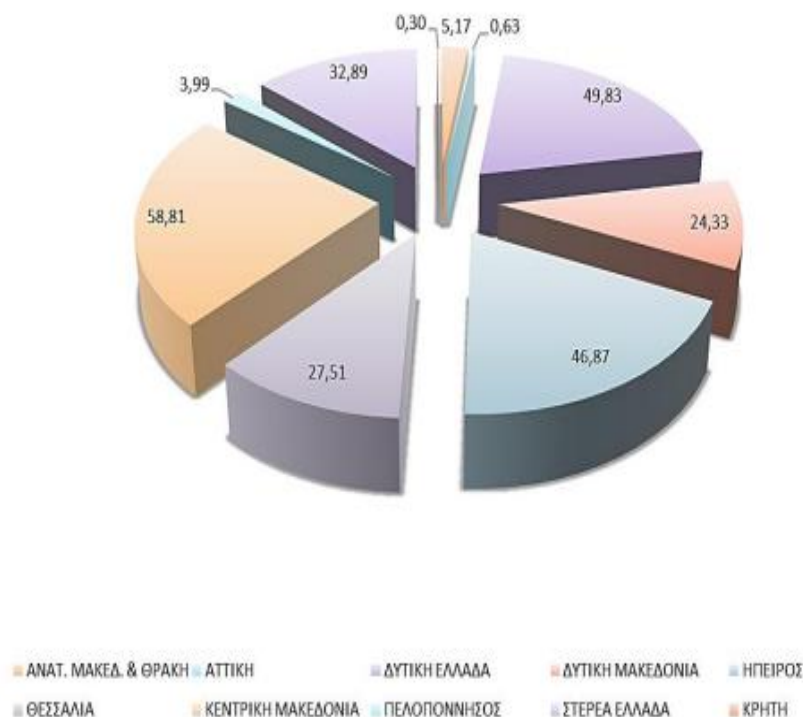
3.3 Υδροηλεκτρικά Έργα στην Ελλάδα

3.3.1 Μεγάλα Υδροηλεκτρικά Έργα

Λόγω των ευνοϊκών γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του Ελληνικού χώρου, του έντονου ανάγλυφου και των υψηλών ποσοστών βροχοπτώσεων σε ορισμένες περιοχές, η αξιοποίηση των διαθέσιμων υδατικών πόρων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ υψηλή. Επομένως, η Ελλάδα διαθέτει σημαντικό υδροδυναμικό, από το οποίο το μεγαλύτερο μέρος κατατάσσεται στο βόρειο και δυτικό τμήμα της. Ο λόγος είναι ότι εκεί εδράζονται οι μεγαλύτεροι ποταμοί, όπως ο Αλιάκμονας, ο Αχελώος, ο Νέστος και άλλοι.

Σύμφωνα με τα δεδομένα του Ιανουαρίου 2022, επιβεβαιώνεται πως το μεγαλύτερο ποσοστό υδροδυναμικότητας της χώρας ταξινομείται στις βόρειες και δυτικές περιοχές. Έτσι, έχουμε και τη μεγαλύτερη αξιοποίηση των περιοχών αυτών από υδροηλεκτρικά έργα.

Σήμερα υπάρχουν στην μεγαλύτερη επικράτεια της Ελλάδας υδροηλεκτρικά έργα, μεγάλης και μικρής κλίμακας. Συνολικά, σήμερα, η εγκατεστημένη ισχύς που προέρχεται από τον συνδυασμό μεγάλων και μικρών υδροηλεκτρικών έργων, ανέρχεται στα 3.217,4MW. Μέσω της εγκατεστημένης ισχύς, η παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια σε ένα μέσο όρο πενταετίας, με βάση τα στοιχεία της ΔΕΗ, ανέρχεται σε 3.938Gwh. Αυτό σημαίνει πως ανάλογα και με την υδραυλικότητα του έτους, καλύπτει το 8% με 10% της συνολικής παραγωγής ενέργειας.



Σχήμα 3.3.1.3: Διάγραμμα με την κατανομή υδροηλεκτρικών σταθμών, Ιανουάριος 2022(Πηγή: ΔΑΠΕΕΠ)

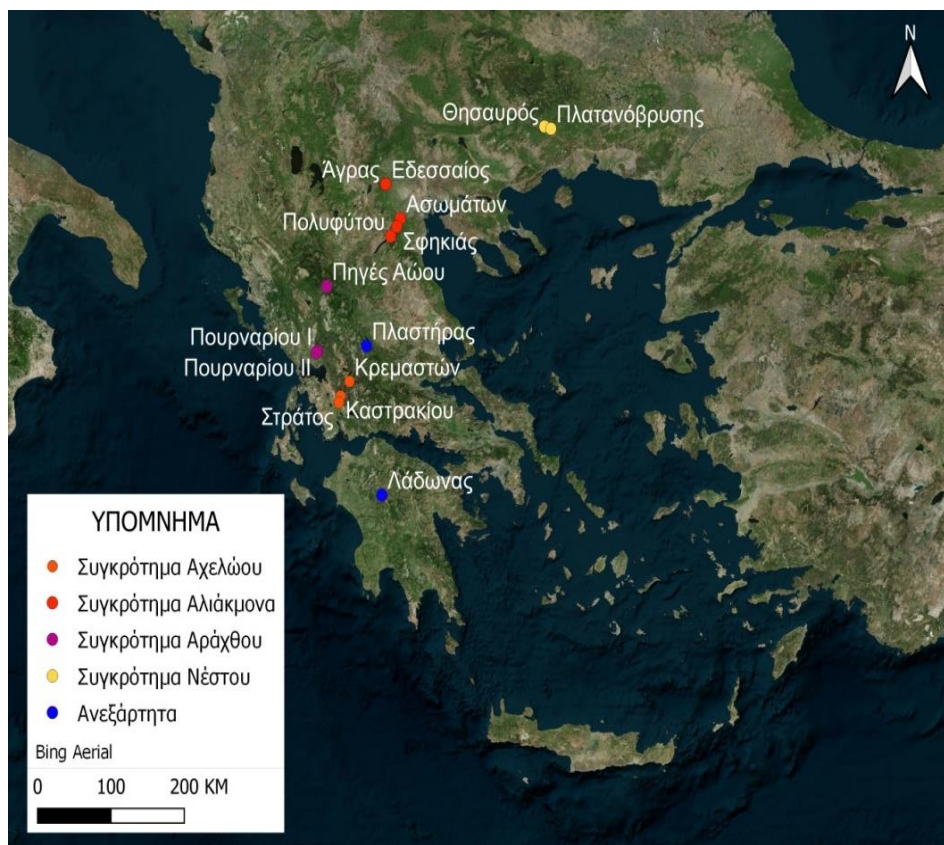
Πιο συγκεκριμένα, ο Ελληνικός χώρος περιλαμβάνει 16 συνολικά μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς που ξεπερνάνε σε εγκατεστημένη ισχύ στα 15 MW. Τα εν λόγω εντάσσονται σε τέσσερα συγκροτήματα, ενώ δύο από αυτά είναι ανεξάρτητα. Ειδικότερα, η συνολική εγκατεστημένη ισχύ των μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών ανέρχεται στα 3.170,7 MW. Κάθε ένα συγκρότημα περιλαμβάνει από δύο έως έξι υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Ειδικότερα διαχωρίζονται:

Πίνακας 3.3.1.1: Μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα (Πηγή: ΔΕΗ Ανανεώσιμες)

Συγκρότημα Αχελώου	
Εγκατεστημένη Ισχύ(MW)	
Κρεμαστά	437,2
Καστράκι	320
Στράτος I+II	150
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	907,2
Συγκρότημα Αλιάκμονα	
Πολυφύτου	375
Ασωμάτων	108
Άγρα	50

Εδεσσαίου	19
Σφηκιάς	315
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	867
Συγκρότημα Αράχθου	
Πηγές Αώου	210
Πουρνάρι Ι	300
Πουρνάρι ΙΙ	33,6
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	543,6
Συγκρότημα Νέστου	
Θησαυρός	384
Πλατανόβρυση	116
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	500
Πλαστήρας	129,9
Λάδωνας	70

Ο αντίστοιχος χάρτης με τα αναφερόμενα έργα φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 3.3.1.2.



Σχήμα 3.3.1.2: Χάρτης Μεγάλων Υδροηλεκτρικών Έργων

Συνολικά, ο ανωτέρω πίνακας, συμπεριλαμβάνει την εγκατεστημένη ισχύ κάθε ξεχωριστού υδροηλεκτρικού σταθμού, αλλά και την συνολική εγκατεστημένη ισχύ για κάθε ένα συγκρότημα. Με βάση, λοιπόν αυτό, καταλήγουμε πως όλοι οι σταθμοί προσφέρουν σημαντικά ποσά ενέργειας στην χώρα μας. Παρόλα αυτά, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί του συγκροτήματος Αχελώου είναι πολύ σημαντικοί για το σύστημα παραγωγής, καθώς συμμετέχουν περίπου στο 35% με 40% της συνολικής υδροηλεκτρικής παραγωγής.

3.3.2 Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα

3.3.2.1 Εισαγωγή στα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα(Μ.ΥΗ.Ε)

Ο αντικειμενικός σκοπός ενός υδροηλεκτρικού έργου μαζί με τα συνοδά έργα του, είναι η εκμετάλλευση της ενέργειας που φέρει μια ρέουσα μάζα νερού και η μετατροπή της σε ηλεκτρική. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της κατάλληλης υδατόπτωσης και της άφιξης του νερού στο χαμηλότερο σημείου, όπου βρίσκεται ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπρόσθετα, είναι δυνατό να συμβαίνει είτε μέσω φράγματος είτε επιτόπου στην κοίτη ενός ποταμού.

Γνωστό θεωρείται ότι τα υδροηλεκτρικά έργα διαχωρίζονται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας, με διάφορες παραμέτρους που έχουν αναλυθεί. Πιο γενικά όμως, διαφέρουν τόσο ως προς την έκταση που καταλαμβάνουν και άρα την εγκατεστημένη ισχύ, όσο και προς την φιλοσοφία λειτουργίας και άρα τον τρόπο εκμετάλλευσης του νερού. Ως προς την επιφάνεια που καλύπτουν τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα είναι σαφώς γνωστό πως είναι πολλαπλάσιο μέγεθος σε σύγκριση με τα μικρά υδροηλεκτρικά. Επίσης, ως προς την λειτουργία τους, τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα ενεργούν ως μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε ώρες αιχμής, δηλαδή προσφέρουν φθηνή ενέργεια σε ώρες υψηλής ζήτησης. Αντίθετα, τα μικρά υδροηλεκτρικά ενεργούν συνεχώς προσφέροντας αυξημένες ώρες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Παρόλα αυτά, οι δύο κατηγορίες δεν διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον αρχικό σκοπό λειτουργίας τους, δηλαδή είχαν και έχουν τον ίδιο κοινό σκοπό και στόχο. Ο εν λόγω σκοπός και στόχος είναι η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας του νερού σε μηχανική και ακολούθως σε ηλεκτρική ενέργεια.

3.3.2.2 Μελέτη κατασκευής ενός Μ.ΥΗ.Ε

Για τον σχεδιασμό ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου απαιτούνται ορισμένα στάδια τεχνικών και οικονομικών μελετών, έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η κατασκευή του. Το ενδιαφέρον ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου είναι η ισχύς του, η οποία εξαρτάται από την παροχή αλλά και το ύψος της πτώσης του νερού. Εκτός από τους δύο αυτούς παράγοντες, ως παράμετρος της ισχύς εισέρχεται και το ποσό της παραγόμενης ενέργειας. Με την σειρά της ο εν λόγω συντελεστής, βασίζεται στην ποσότητα του νερού και στην μεταβλητότητα της ροής του κάθε έτος.

Γενικά, πρωταρχικός σκοπός της μελέτης είναι εάν η εξεταζόμενη θέση του έργου κρίνεται απαραίτητη για αξιολόγηση και διερεύνηση και στην συνέχεια κατάλληλη για την εδραίωση του. Μετά από το στάδιο αυτό, συντάσσονται τα σχέδια που περιλαμβάνουν τον οικονομικό προϋπολογισμό, τους διάφορους υπολογισμούς και τον απαραίτητο εξοπλισμό (Γκιαλά, 2012).

Αναλυτικότερα, τα στάδια της μελέτης είναι τα εξής:

➤ Αναγνώριση της περιοχής και της ζήτησης:

Το στάδιο αυτό αναφέρεται ως το πρωταρχικό της μελέτης. Σε αυτό το στάδιο, καταγράφεται η ζήτηση της περιοχής σε ηλεκτρική ενέργεια, οι ανάγκες που θα πρέπει να καλυφθούν με το έργο και η έρευνα για τυχόν εξωτερικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπρόσθετα, συμβαίνει συζήτηση με τους κατοίκους της περιοχής για την αναφορά τυχόν τεχνικών τους γνώσεων για να συμπεριληφθούν στην κατασκευή και λειτουργία του έργου. Παράλληλα, εξετάζονται οι γεωλογικές συνθήκες μέσω γεωλογικών χαρτών, για να σχεδιαστεί μια πρόωρη διάταξη και χωροθέτηση του έργου. Με την χρήση χαρτών αλλά και διαφόρων μεθόδων μετρήσεις στην πιθανή θέση του έργου, προσδιορίζεται το διαθέσιμο υδραυλικό ύψος.

➤ Υδρολογική μελέτη:

Σε αυτό το στάδιο, λαμβάνονται μετρήσεις επιτόπου της ροής του ποταμού σε όλη την διάρκεια του έτους και συλλέγονται παλαιότερα υδρολογικά στοιχεία για

συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Ο λόγος της μέτρησης της παροχής ενός ποταμού που θα πραγματοποιηθεί το έργο, είναι ο έλεγχος της διακύμανσης της ροή κατά την χειμερινή και την θερινή περίοδο του έτους. Εάν δεν υπάρχουν για την περιοχή επαρκή υδρολογικά στοιχεία τότε γίνεται προσεγγιστική εκτίμηση από γειτονικές λεκάνες απορροών και από πληροφορίες των κατοίκων.

Για τη μέτρηση της παροχής χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι, με την πιο διαδεδομένη την χρήση του μυλίσκου. Ο μυλίσκος είναι ένα όργανο με ατρακτοειδές σχήμα, τοποθετείται σε κατακόρυφο άξονα και αποτελείται από μια προπέλα που περιστρέφεται σε έναν οριζόντιο άξονα. Με την χρήση του μετράται η ταχύτητα σε συγκεκριμένα σημεία. Η ταχύτητα εξαρτάται από τον αριθμό των στροφών της έλικας, που μετρώνται με ένα ενσωματωμένο στροφόμετρο, που έχει ο μυλίσκος, ανά ένα λεπτό. Το βάθος που τοποθετείται η προπέλα εξαρτάται από το ολικό βάθος του ποταμού και συνήθως εντάσσεται στο 0,6 του ολικού βάθους από την ελεύθερη επιφάνεια. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε μικρού σχετικά βάθους υδατορεύματα, διαφορετικά ο μυλίσκος μεταφέρεται με βάρκα για να πραγματοποιηθεί η βύθιση του (Βουδούρης, 2013).

Εναλλακτικοί μέθοδοι μέτρησης παροχής είναι με τις καμπύλες στάθμης-παροχής, με την χρήση ογκομετρικών δοχείων, χημικών ουσιών και με την μέθοδο επιπλέοντος σώματος.



Σχήμα 3.3.2.1: Μυλίσκος (Βουδούρης, 2013)

➤ **Υπολογισμός παραγόμενης ισχύος:**

Όπως αναφέρθηκε, η παραγόμενη ισχύς εξαρτάται από την παροχή και το ύψος της υδατόπτωσης. Επομένως, σύμφωνα με τον συνδυασμό τους υπολογίζεται και κρίνεται εάν είναι επαρκής η υπολογιζόμενη ισχύς ή όχι, για την ανάπτυξη της υδροηλεκτρικής εγκατάστασης. Ύστερα, επιλέγεται ο κατάλληλος συνδυασμός του ύψους υδατόπτωσης και της παροχής, για να παραχθεί η απαιτούμενη ισχύς και να προσεγγιστεί ο βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης.

➤ **Σχεδιασμός εγκατάστασης:**

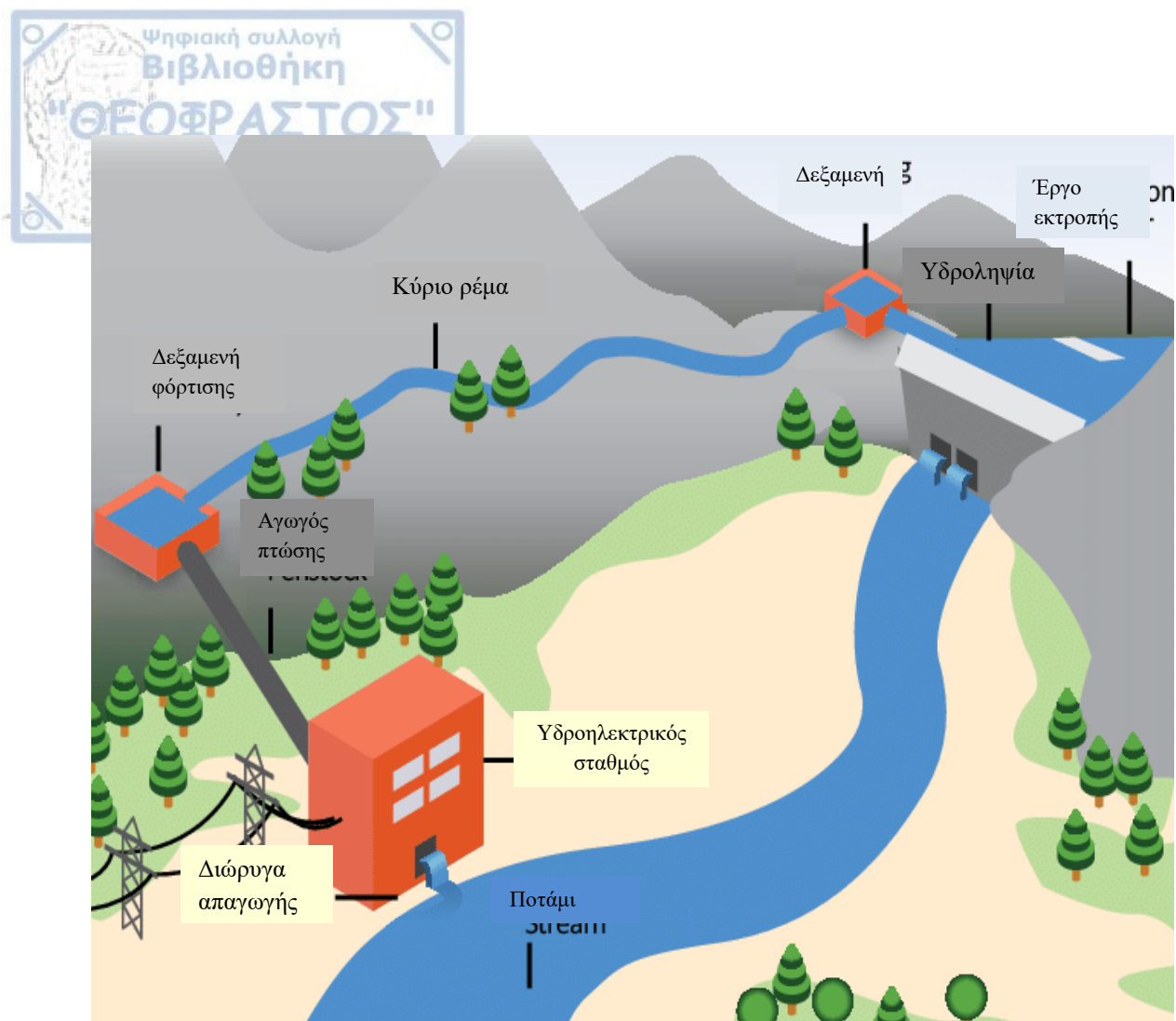
Στο στάδιο αυτό, δημιουργούνται τα σχέδια και ο χάρτης εγκατάστασης του μικρού υδροηλεκτρικού έργου συμπεριλαμβανομένων όλων των στοιχείων του.

➤ **Κόστος:**

Κατά τα προηγούμενα στάδια που υπολογίσθηκαν οι απαιτήσεις της εγκατάστασης, τώρα εκτιμάται το μέγεθος της γεννήτριας του υδροηλεκτρικού σταθμού και εν συνεχεία το οριστικό κόστος της. Επίσης συμπεριλαμβάνεται αναλυτικά το κόστος κάθε στοιχείο του μικρού υδροηλεκτρικού έργου, και το συνολικό κόστος κατασκευής και εγκατάστασης του. Ακόμα, προστίθεται και μια αύξηση για τυχόν απρόβλεπτες βλάβες και έξοδα.

3.3.2.3 Διαμόρφωση μικρού υδροηλεκτρικού έργου

Το μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικό έργο αξιοποιεί την διαθέσιμη δύναμη στο ρέον νερό των ποταμών, των ρευμάτων και των καναλιών. Από την αξιοποίηση, παράγεται η μηχανική ενέργεια και ακολούθως η ηλεκτρική. Η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική αποτελεί τον σκοπό ενός τέτοιου υδροηλεκτρικού έργου. Ο όρος αυτός χαρακτηρίζει το σύνολο των συνοδών έργων τα οποία έπειτα από την κατάλληλη μελέτη κατασκευάζονται στην ιδανική υδροδυναμική τοποθεσία. Το αποτέλεσμα είναι η πλήρης εκμετάλλευση του υδατικού δυναμικού της περιοχής.



Σχήμα 3.3.2.4: Τεχνικά έργα μικρού υδροηλεκτρικού έργου (Kaunda, Kimambo, Nielsen, 2012).

Επομένως, τα τεχνικά έργα που συνοδεύουν το υδροηλεκτρικό έργο διαχωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- **Δομικά έργα:** καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το ύψος της επένδυσης. Περιλαμβάνουν:
 - **Φράγμα:** Τα φράγματα αξιοποιούνται για την αύξηση του διαθέσιμου ύψους ή και την αποθήκευση ποσότητας νερού. Λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής τους, στα έργα μικρής κλίμακας δεν κατασκευάζονται. Παρόλα αυτά, όταν οι τοπογραφικές συνθήκες είναι ευνοϊκές τότε δημιουργούνται χαμηλής βαρύτητας.

- Έργο εκτροπής: Αποτελεί ένα κανάλι μέσω του οποίου μέρος του νερού του ποταμού διοχετεύεται σε μία δεξαμενή, όπου το συγκρατεί για να το παρέχει στον υδατοφράκτη
 - Υδατοφράκτης: Είναι κανάλι που καταλήγει στον σταθμό παραγωγής
 - Σταθμός παραγωγής: Περιλαμβάνει τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, την γεννήτρια, τον στρόβιλο
- **Μηχανολογικός εξοπλισμός**: περιέχει έργα που καθορίζουν την παροχή του ύδατος στο κανάλι εκτροπής και έργα που βρίσκονται στον σταθμό παραγωγής
- Περιλαμβάνει:
- Εσχάρες εισαγωγής ύδατος: χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή του νερού από την φυσική του ροή στο κανάλι εκτροπής
 - Υδροστρόβιλος: βρίσκεται μέσα στον σταθμό παραγωγής, κινείται από την επαφή του με το κινούμενο νερό και συνδέεται με την ηλεκτρογεννήτρια
- **Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός**: αποτελείται από έργα που απαιτούνται για την παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας
- Περιλαμβάνει:
- Ηλεκτρογεννήτρια: συνδέεται μέσω ενός άξονα με τον υδροστρόβιλο και στοχεύει στην μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική
 - Μετασχηματιστές: έχουν ως σκοπό την ανύψωση της παραγόμενης τάσης για να καταλήξει στο αναγκαίο επίπεδο και να συνδεθεί με το ηλεκτρικό δίκτυο
 - Γραμμές μεταφοράς: για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στην τοποθεσία χρήσης της

3.3.2.4 Μικρά υδροηλεκτρικά Έργα στην Ελλάδα

Η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει αρκετούς υποστηρικτές, όμως έχει και κατακριτές ως προς την κατασκευή ενός υδροηλεκτρικού έργου. Επομένως, υπάρχει μια αμφισβήτηση για το αν αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, καθώς η κατασκευή φράγματος, ταμιευτήρα και των συνοδών έργων μπορεί να προκαλέσει επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Γι αυτό το λόγο, οι κοινωνίες, πλέον, στρέφουν το ενδιαφέρον τους προς μια «καθαρή» ενέργεια, δηλαδή στα μικρά υδροηλεκτρικά έργα (Μ.ΥΗ.Ε). Οι κατασκευές αυτές, κυρίως, δεν προκαλούν οπτικά προβλήματα και κατά δεύτερον οικολογικά προβλήματα. Ο λόγος είναι ότι δεν εδράζονται έργα μεγάλης κλίμακας, όπως φράγματα.

Η Ελλάδα, ήδη από τα αρχαία χρόνια, ξεκίνησε να εκμεταλλεύεται την υδραυλική ενέργεια του νερού μέσω υδροτροχών, που θεωρούνταν μικρά υδροηλεκτρικά έργα. Παρόλα αυτά, όσο περνούσαν τα χρόνια και οι ανάγκες αυξάνονταν, οι κοινωνίες ξεκίνησαν να κατασκευάζουν μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα. Τα τελευταία χρόνια, λοιπόν, η δημιουργία τέτοιων έργων έχει περιοριστεί. Ως αποτέλεσμα, τα τελευταία πέντε χρόνια, το επενδυτικό ενδιαφέρον της Ελλάδας να είναι στραμμένο και πάλι προς τις μικρές υδροηλεκτρικές μονάδες. Καθώς, οι πιο αποδοτικές περιοχές τις έχουν καλυφθεί από μεγάλης κλίμακας έργα, οι βόρειες και δυτικές περιοχές, οι ιδιωτικές και δημόσιες υπηρεσίες αναζητούν νέες περιοχές. Οι επικρατέστερες τοποθεσίες για την κατασκευή ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου αποτελούν οι λιγότερο ανεπτυγμένες.

Σήμερα, στην Ελλάδα οι υπάρχουσες μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις είναι 18 Μ.ΥΗ.Σ σε λειτουργία, είναι δυο σε φάση κατασκευής και είναι αρκετά νέα έργα, τα οποία έχουν λάβει άδεια παραγωγής. Σύμφωνα με την ΔΕΗ, μέχρι το 2020 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανήλθε στα 136 Gwh, ενώ χάρη στην λειτουργία τους αποφεύχθηκαν 94.108 τόνοι εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Βάση αυτών των στοιχείων, ηλεκτροδοτήθηκαν περίπου 37 χιλιάδες νοικοκυριά καλύπτοντας έτσι τις ανάγκες τους. Τα αναφερόμενα μικρά υδροηλεκτρικά έργα κατανέμονται σε ολόκληρη την χώρα, ακόμα και στην Κρήτη, στα Χανιά. Η εγκατεστημένη ισχύς από τα εν λόγω έργα ανέρχεται σε 68MW.

Τα κυριότερα μικρά υδροηλεκτρικά έργα που βρίσκονται σε λειτουργία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.3.2.1: Μικρά Υδροηλεκτρικά έργα σε λειτουργία (Πηγή: ΔΕΗ Ανανεώσιμες)

Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Αποφυγή Εκπομπής CO ₂ (tn/year)
Αγία Βαρβάρα, Βέροια	0,92	4.000
Άγιος Ιωάννης, Σέρρες	0,60	710
Αλατόπετρα, Γρεβενά	4,95	14.500
Βορεινό, Έδεσσα	4,10	20.000
Αλμυρός, Χανιά	0,30	1.250
Γιτάνη, Ηγουμενίτσα	4,20	17.500
Γκιώνα, Άμφισσα	8,50	34.000
Γλαύκος, Πάτρα	3,70	10.300
Ελεούσα, Χαλκηδόνα Θεσσαλονίκη	6,60	30.000
Ιλαρίωνα, Κοζάνη	4,20	22.000
Μακροχώρι, Βέροια	10,80	30.000
Οινούσα, Σέρρες	1,20	3.800
Παπαδιά, Φλώρινα	0,50	
Σμόκοβο, Καρδίτσα	10,40	10.700
Στράτος II, Καρδίτσα	6,20	12.000
Λούρος, Πρέβεζα	8,70	48.000
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	75.87	258.760

Παρόλα αυτά, η ΔΕΗ σήμερα, διαθέτει και τέσσερις μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς υπό κατασκευή. Αυτοί τοποθετούνται στην Κεντρική, Δυτική και Βόρεια Ελλάδα. Η εγκατεστημένη υδροηλεκτρική ισχύς, συνολικά, των τεσσάρων μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών, ανέρχεται περίπου στα 19MW. Συγκεκριμένα οι τέσσερις μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.3.2.2: Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα υπό κατασκευή (Πηγή: ΔΕΗ Ανανεώσιμες)

Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)
Βέρμιο, Βέροια	1,80
Μακροχώρι II, Βέροια	1,84
Σμόκοβο II, Καρδίτσα	3,20
Νέος Λούρος, Φιλιππιάδα	5,00
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	11,84

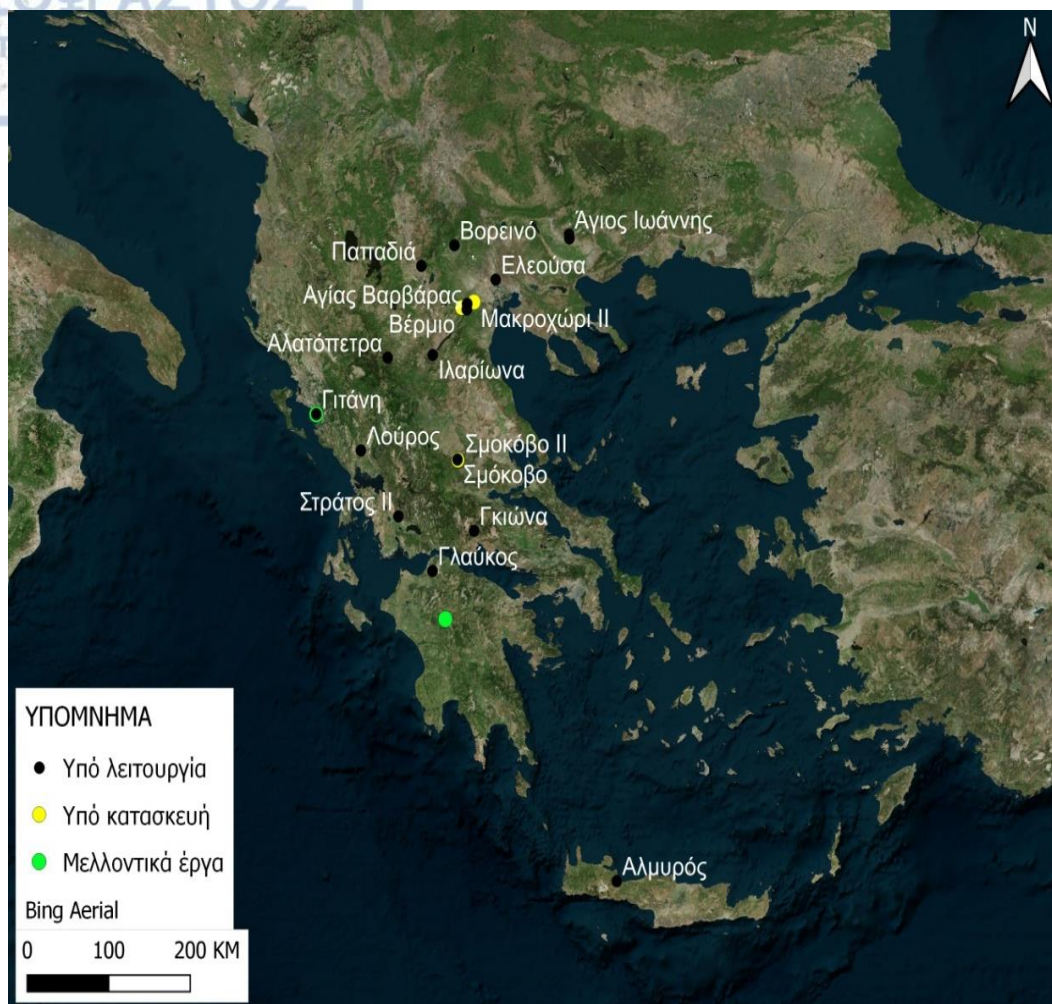
Ειδικότερα, ο μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός Λούρος, λειτουργεί από το 1954. Παρόλα αυτά, σήμερα, είναι υπό ανακαίνιση και του δίνεται καινούργια ονομασία, ως μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός Νέος Λούρος. Έτσι, ο εν λόγω σταθμός ανήκει και στις δύο αναφερθείσες κατηγορίες των παραπάνω πινάκων.

Βέβαια, η ΔΕΗ διαθέτει, στην Ελλάδα, και μελλοντικά έργα. Συγκεκριμένα, δύο μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις μελετώνται και σχεδιάζονται. Η μελλοντική εγκατεστημένη ισχύς που θα προέλθει από τις μελλοντικές εγκαταστάσεις ανέρχεται περίπου στα 16MW. Ειδικά, οι δύο σταθμοί θέτονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.3.2.3: Μελλοντικά Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα(Πηγή : ΔΕΗ Ανανεώσιμες)

Μικρά Υδροηλεκτρικά έργα	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)
Καλαμάς	5,80
Λάδωνας	10,00
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	15,80

Ο συγκεντρωτικός χάρτης με τις κατηγορίες των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών, σε λειτουργία, υπό κατασκευή και μελλοντικά έργα, αναφέρεται παρακάτω:



Σχήμα 5: Χάρτης με τις κατηγορίες μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών

3.4 Νομοθεσία Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων

Για να καταστεί δυνατή η κατασκευή και έπειτα η λειτουργία ενός μικρού υδροηλεκτρικού έργου συντάσσονται ορισμένοι κανόνες χωροθέτησης από τον νόμο. Έτσι τον Δεκέμβριο του 2008, εκδόθηκε υπουργική απόφαση για τους κανόνες χωροθέτησης των μικρών υδροηλεκτρικών έργων. Ο εν λόγω χωροταξικός σχεδιασμός αποσκοπεί στον εντοπισμό υδατικών διαμερισμάτων με διαθέσιμο υδατικό δυναμικό, στην καταγραφή περιοχών αποκλεισμού και στην εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας.

Αρχικά, το μεγαλύτερο ποσοστό διαθέσιμου υδατικού δυναμικού, εντοπίζεται σε ημιορεινές και ορεινές περιοχές. Ο συνδυασμός αυτού με την υψομετρική διαφορά

εξασφαλίζει την βιωσιμότητα και την σκοπιμότητα του έργου. Επομένως, με βάση της εκτιμήσεις για τον δυναμικό της χώρας μας, παρατηρούμε τα μεγαλύτερα ποσοστά να αναπτύσσονται στα υδατικά διαμερίσματα της Ηπείρου, της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, της Ανατολικής και Δυτικής Μακεδονίας, της Δυτικής και Βόρειας Πελοποννήσου και της Θράκης. Παρόλα αυτά, μπορεί κάποια περιοχή να θεωρηθεί ιδανική για την εγκατάσταση μικρού υδροηλεκτρικού έργου από υδροδυναμική άποψη, όμως δύναται να εκτιμηθεί ως περιοχή ιδιαίτερης σημαντικότητας. Έτσι, ο νόμος όρισε ορισμένες περιοχές αποκλεισμού για την εγκατάσταση μικρών υδροηλεκτρικών έργων. Τέτοιες περιοχές θεωρούνται υγρότοποι που ανήκουν στη συνθήκη Ramsar, παραδοσιακοί οικισμοί και περιοχές με μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς αλλά και λατομικές, μεταλλευτικές και εξορυκτικές ζώνες που λειτουργούν επιφανειακά.

Πιο ειδικά στην χωροθέτηση των Μ.Υ.Η.Ε λαμβάνονται υπόψη συγκεκριμένα κριτήρια για το ύψος υδατόπτωσης και το μήκος των συνοδών έργων. Για τα έργα με μικρό ύψος υδατόπτωσης ($H < 20\text{m}$), ο σχεδιασμός, που δύναται να γίνει, έτσι ώστε να μην υπάρχει ορατό αποτέλεσμα, είναι ή ο σταθμός παραγωγής και το έργο υδροληψίας να αποτελούν ένα ενιαίο έργο, ή το μεγαλύτερο μέρος των έργων να γίνεται υπογείως. Για τα έργα μεσαίου ή μεγάλου ύψους υδατόπτωσης ($H > 20\text{ m}$), τα οποία οριοθετούνται σε περιοχή Natura2000, κρίνεται σκόπιμη η κατασκευή των έργων υπόγεια έτσι ώστε να επιτευχθεί η μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Για τα συνοδά έργα ισχύει η δυνατότητα υπόγειας κατασκευής, με αποτέλεσμα να μην υπάρξει διατάραξη του φυσικού περιβάλλοντος. Επίσης, το μήκος τους δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 3 χιλιόμετρα και να είναι δυσανάλογο με το υπόλοιπο έργο, όταν κάνουμε λόγο για έργο ισχύος $< 1\text{ MW}$.

Τελικώς, η υπουργική απόφαση θέτει ειδικά κριτήρια για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας, δηλαδή της μέγιστης δυνατότητας εγκατάστασης μικρού υδροηλεκτρικού έργου στο ίδιο υδατόρευμα. Πρωτίστως, εξασφαλίζεται η ελάχιστη οικολογική παροχή, δηλαδή για τους θερινούς μήνες είναι το 30% της μέσης παροχής και για τον μήνα Σεπτέμβριο είναι το 50% της μέση παροχής. Όμως, σε κάθε περίπτωση είναι 30 lit/sec.

3.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

3.5.1 Πλεονεκτήματα Μ.ΥΗ.Ε

Συγκρίνοντας όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σαφώς η επικράτηση των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών είναι σημαντικότερη. Πολλές είναι οι πτυχές στις οποίες αυτό το είδος ανανεώσιμης ενέργειας πλεονεκτεί. Αρχικά, οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί εμφανίζουν υψηλότερη ενεργειακή απόδοση, που σημαίνει ότι η παραγόμενη ενέργεια είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που καταναλώνεται για την κατασκευή, την λειτουργία και την συντήρηση. Πιο συγκεκριμένα, τα ποσοστά απόδοσης των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, κυμαίνονται μεταξύ 70% με 90% (Δημολίκα,2018).

Οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί χαρακτηρίζονται από αξιόπιστη και ευπροσάρμοστη λειτουργία, καθώς μπορούν να τεθούν σε λειτουργία ανά πάσα στιγμή και σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Το χαρακτηριστικό αυτό συμβάλλει και στην αυξημένη ενεργειακή απόδοση. Επίσης, λόγω των έργων από τα οποία συνοδεύονται, χαρακτηρίζονται από μεγάλη διάρκεια ζωής, καθώς οι προδιαγραφές κατασκευής των έργων συμβάλλουν στο προσόν αυτό.

Με την κατασκευή των μικρών υδροηλεκτρικών έργων, εκτός από την παραγωγή, επιτυγχάνονται και άλλοι σκοποί, όπως η ύδρευση, η άρδευση, η αλιεία, η αναψυχή και άλλες δραστηριότητες. Έτσι, δύναται η ικανότητα κάλυψης σημαντικών αναγκών. Η δυνατότητα αυτή επιτυγχάνεται και μέσω του χρόνου κατασκευής του έργου. Τα Μ.ΥΗ.Ε είναι δυνατό να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν εντός δύο ετών, αφού η έκδοση αδειών είναι ελάχιστες και εκδίδονται σύντομα και ο αντίστοιχος εξοπλισμός που απαιτείται είναι άμεσα διαθέσιμος.

Τελικώς, το σημαντικό πλεονέκτημα είναι η μη επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος, καθώς τα πιο πολλά μικρά υδροηλεκτρικά έργα είναι κατά το ρου του ποταμού και δεν διαθέτουν την κατασκευή φράγματος για να υπάρξει αποθήκευση νερού. Επομένως, είναι φιλικά προς το περιβάλλον και δεν αυξάνουν την θερμοκρασία του νερού των ποταμών.

3.5.2 Μειονεκτήματα Μ.ΥΗ.Ε

Όπως κάθε ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, έτσι και τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα εμφανίζουν ορισμένα μειονεκτήματα. Παρόλα αυτά, παρουσιάζονται αισθητά περιορισμένα από τα πλεονεκτήματα, ωστόσο κρίνεται αναγκαία η αντιμετώπιση τους. Τα κύρια μειονεκτήματα αναφέρονται στην λειτουργία και την ανάπτυξη των μικρών υδροηλεκτρικών έργων.

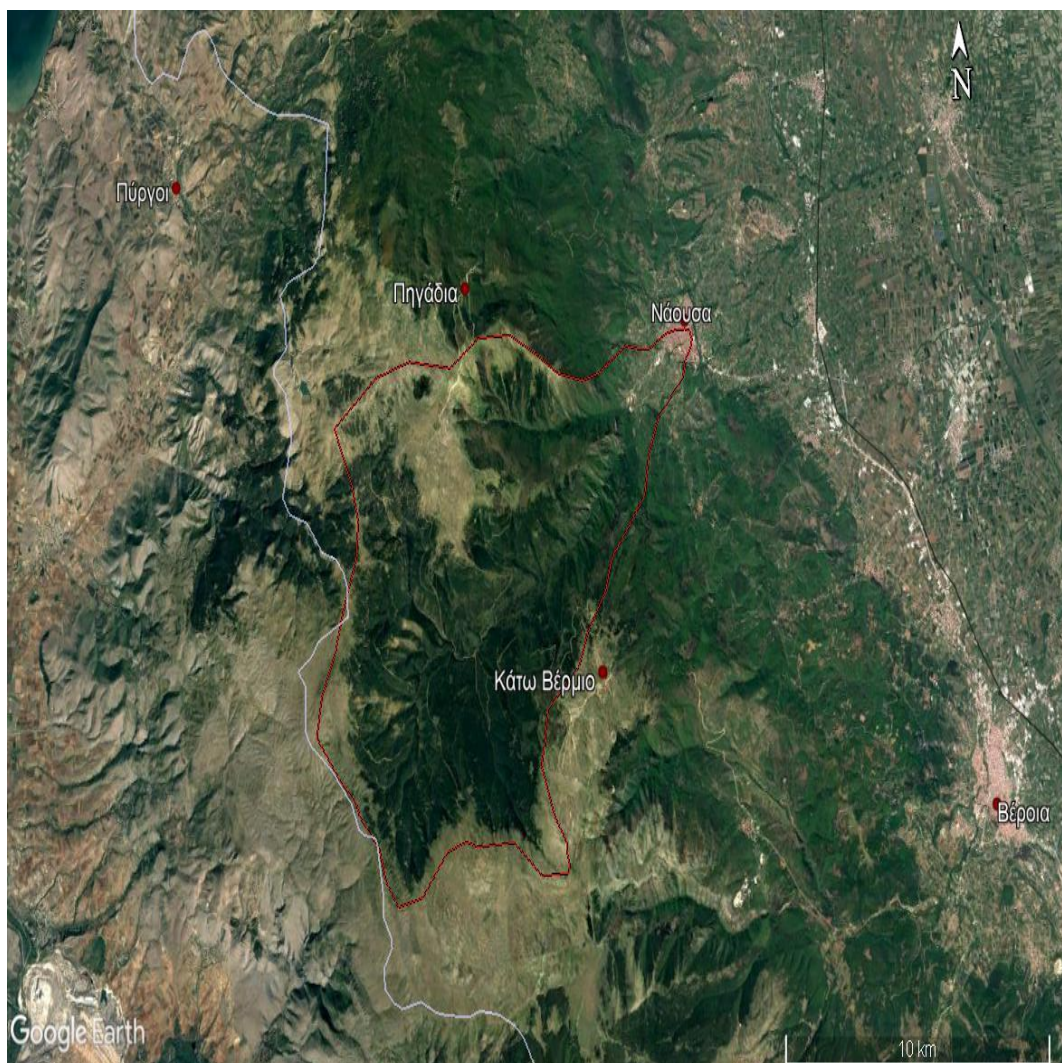
Συγκεκριμένα, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί μικρής κλίμακας χαρακτηρίζονται από χρονοβόρα περισυλλογή και επεξεργασία υδρολογικών και γεωλογικών στοιχείων. Εν συνεχεία, παρουσιάζουν υψηλό κόστος κατασκευής, στην περίπτωση εδραίωσης φράγματος, καθώς συνδέονται άμεσα με ενέργειες στεγανοποίησης και κατάλληλης διαμόρφωσης της περιοχής χωροθέτησης.

Μειονέκτημα, επίσης, θεωρείται και η εξάρτηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το υδρολογικό έτος της αντίστοιχης περιοχής, δηλαδή με την ποσότητα των βροχοπτώσεων και των χιονοπτώσεων κατά τη διάρκεια του έτους. Έτσι, σύμφωνα με αυτή την παράμετρο, η κατασκευή των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών γίνεται σε περιοχές με επάρκεια υδατοπτώσεων, όπως ορεινές και ημιορεινές περιοχές. Παρόλα αυτά, οι περιοχές αυτές απέχουν μακριά από το δίκτυο, με αποτέλεσμα να χρειάζονται επιπλέον έργα για την μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος. Επομένως, αυξάνεται το κόστος κατασκευής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Διερεύνηση της Περιοχής Μελέτης

4.1 Γεωγραφικά-Μορφολογικά Στοιχεία

Η ευρύτερη περιοχή έρευνας απαντάται στην Βόρεια Ελλάδα, στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας και ειδικότερα στον νομό Ημαθίας, που περιλαμβάνει την Νάουσα. Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, υπάγεται στο υδατικό διαμέρισμα της Δυτικής Μακεδονίας και συγκεκριμένα στο σύστημα της λεκάνης απορροής του ποταμού Αλιάκμονα (GR02).



Σχήμα 4.1.1: Περιοχή μελέτης (κόκκινη γραμμή)

Η πόλη της Νάουσας είναι χτισμένη στον νομό Ημαθίας, βορειότερα από την πρωτεύουσα της, την Βέροια, ενώ ΒΔ/κά της βρίσκεται η Θεσσαλονίκη και Νότια της η Έδεσσα. Επομένως, συνορεύει στα Βόρεια με τον νομό Πέλλας, Νοτιοανατολικά με τον νομό Πιερίας και ΝΔ/κά με τον νομό Κοζάνης. Τοποθετείται αμφιθεατρικά στους ανατολικούς πρόποδες του όρους Βερμίου, οι οποίοι καλύπτονται με πλούσια βλάστηση.

Η εκάστοτε γεωμορφολογία μιας περιοχής, διαμορφώνεται λόγω της δράσης των ενδογενών και εξωγενών διεργασιών, οι οποίες πραγματοποιούνται στο πέρας του γεωλογικού χρόνου. Επομένως, αποτελούν την αιτία της δημιουργίας του γήινου ανάγλυφου. Ως ενδογενείς δυνάμεις ορίζονται όλες οι δυνάμεις του εσωτερικού της Γης, που διαμορφώνουν το εξωτερικό στρώμα του φλοιού της και δημιουργούν ανάγλυφο (Βουβαλίδης, 2011). Χαρακτηριστικές ενδογενείς δυνάμεις είναι αυτές που σχετίζονται με την λιθολογία και την τεκτονική.

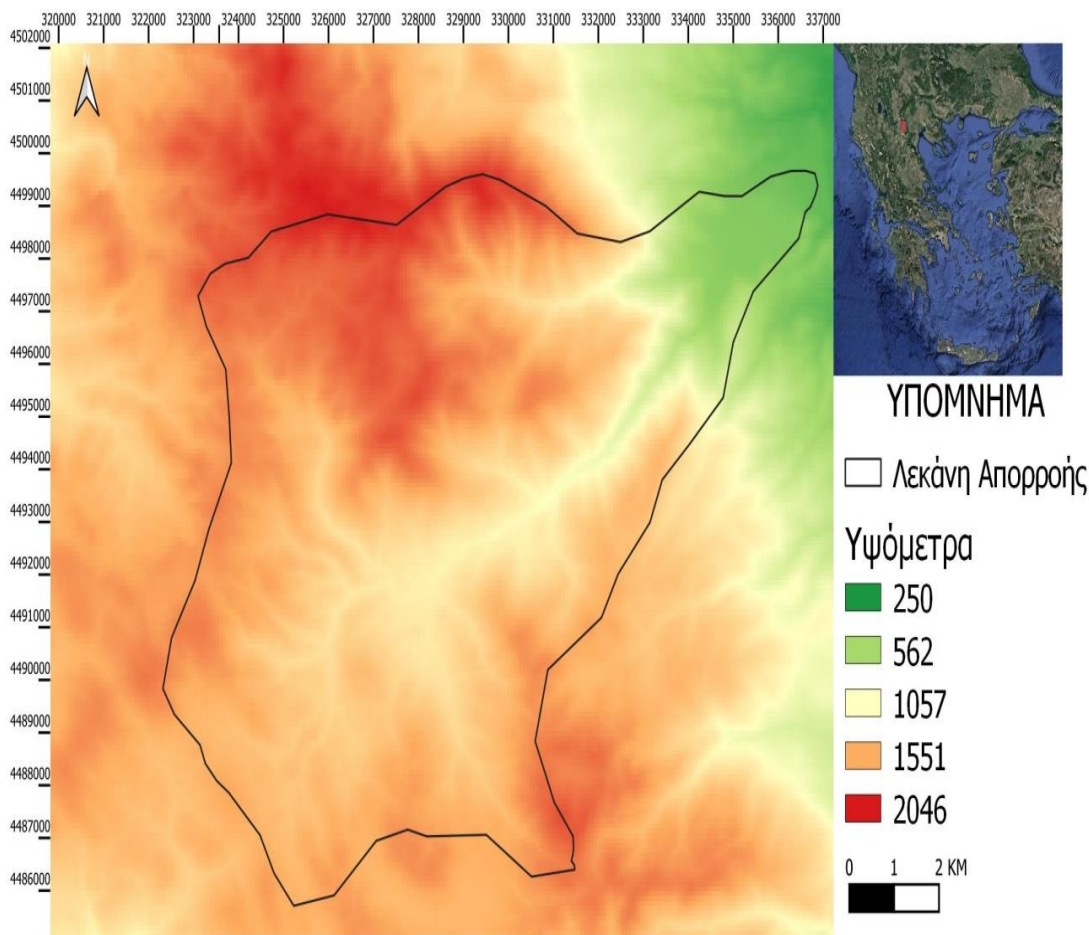
Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν και οι εξωγενείς διεργασίες, οι οποίες είναι αυτές που αντιστρατεύονται απέναντι στην δημιουργία του ανάγλυφου. Επομένως, αποτελούν όλες τις επιφανειακές δυνάμεις καταστροφής του (Βουβαλίδης, 2011). Οι εν λόγω διεργασίες σχετίζονται με τις κλιματικές συνθήκες και την δράση του νερού.

Η περιοχή της Νάουσας έχει έκταση 425 km² και το μέσο υψόμετρο της περιοχής είναι τα 1048 m, ενώ το μέγιστο υψόμετρο αυτής φτάνει τα 2046 m. Βορειοανατολικά της περιοχής έρευνας συναντάται ο εύφορος κάμπος της Ημαθίας με τις πρόσφατες αποθέσεις. Επίσης, εκεί, βρίσκεται κτισμένη η πόλη της Νάουσας. Μεταβαίνοντας, δυτικότερα συναντώνται οι πρόποδες του Βέρμιου, ενώ πιο κεντρικά της περιοχής μελέτης απαντάται το όρος Βέρμιο.

Πίνακας 4.1.1: Ταξινόμηση ανάγλυφου (Dikau, 1989)

Τύπος Ανάγλυφου	Υψόμετρο(m)
Πεδινό	<150
Λοφώδες	150-600
Ημιορεινό	600-900
Ορεινό	>900

Έτσι, λοιπόν, αυτές είναι οι ζώνες στις οποίες ταξινομείται το ανάγλυφο της περιοχής. Με βάση τον Πίνακα 4.1.1, κατασκευάστηκε ο χάρτης των υψομέτρων για την περιοχή έρευνας (Σχήμα 4.1.2).



Σχήμα 4.6.2:Μορφολογικός χάρτης λεκάνης απορροής(μαύρη γραμμή =λεκάνη απορροής)

Η λεκάνη απορροής έχει έκταση 121,58 km² και με βάση τον μορφολογικό χάρτη (Σχήμα 4.1.2), τα υψόμετρα της είναι μεταξύ 250 m και 2046 m. Στο βορειοανατολικό τμήμα της, είναι κτισμένη η πόλη της Νάουσας και οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις της, με αποτέλεσμα τα υψόμετρα είναι χαμηλά (350-400 m) σε σχέση με την υπόλοιπη περιοχή. Επομένως, με βάση την ταξινόμηση ανάγλυφου, το συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως λοφώδες. Προς τα νότια, νοτιοδυτικά και βόρεια, η κατάσταση των υψομέτρων μεταβάλλεται, δηλαδή δείχνει να αυξάνονται (1100-1500). Ο λόγος είναι οι πρόποδες και το σώμα του όρους Βερμίου, με αποτέλεσμα το ανάγλυφο να μεταπίπτει σε

ορεινό. Παρόλα αυτά, μεταβαίνοντας από το λοφώδες στο ορεινό ανάγλυφο, υπάρχει μία ζώνη με υψόμετρα (600-900 m), που ορίζουν το ανάγλυφο ως ημιορεινό.

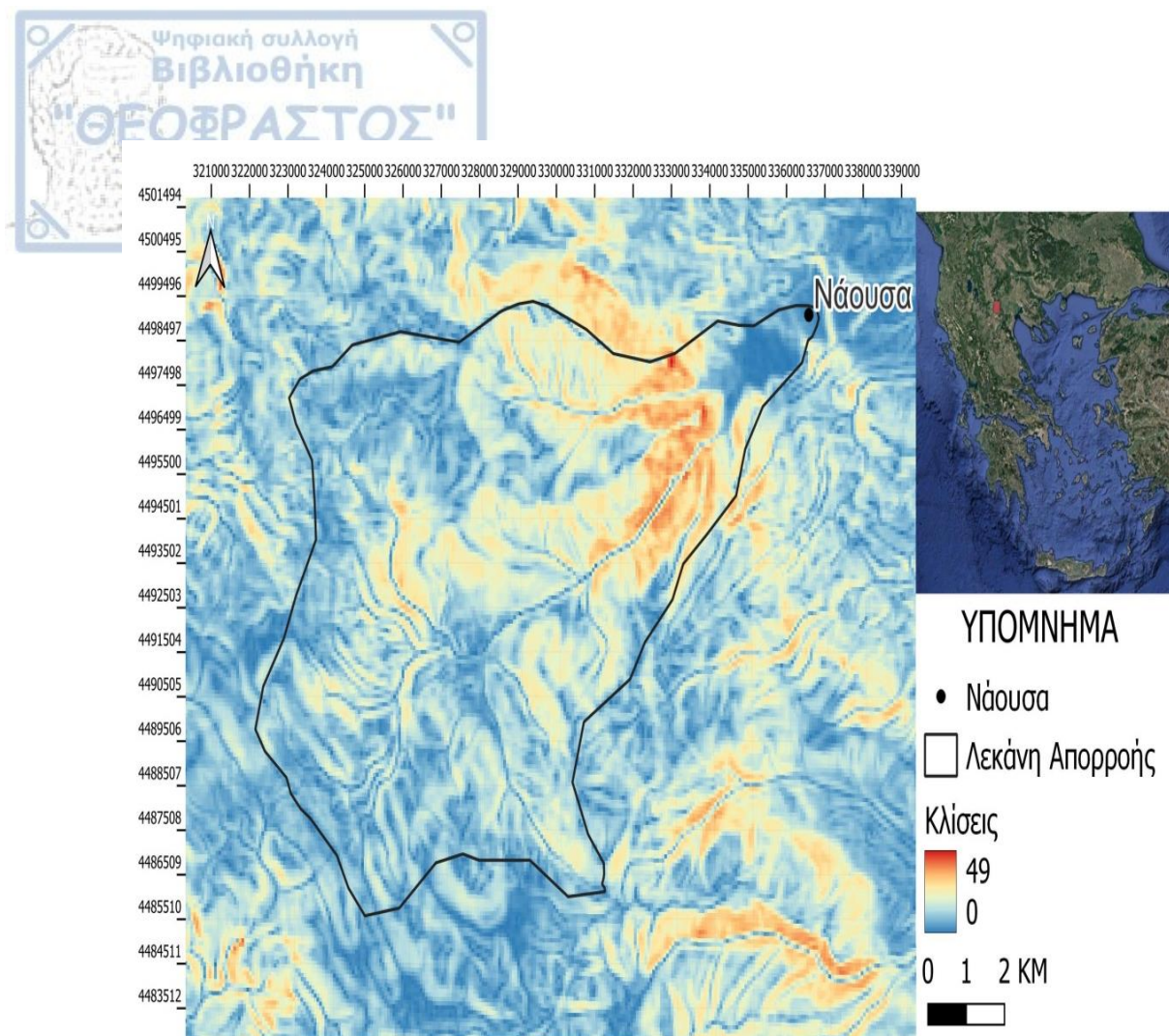
Επομένως, τρείς είναι οι ομάδες στις οποίες ταξινομείται το ανάγλυφο της περιοχής έρευνας, λοφώδες, ημιορεινό και ορεινό. Για αυτές τις ομάδες, πραγματοποιήθηκε υπολογισμός για την έκταση που καταλαμβάνουν στη λεκάνη απορροής.

Πίνακας 4.1.2:Κατανομή ανάγλυφου στη λεκάνη απορροής

Ανάγλυφο	Έκταση (km ²)	Ποσοστό (%)
Λοφώδες (300-600m)	5,28	4,34
Ημιορεινό (600-900m)	3,4	2,79
Ορεινό (900-2100m)	112,9	92,8

Συνολικά, η μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης έχει ορεινό ανάγλυφο, που καλύπτει περισσότερο από το 90% της έκτασης της λεκάνης απορροής.

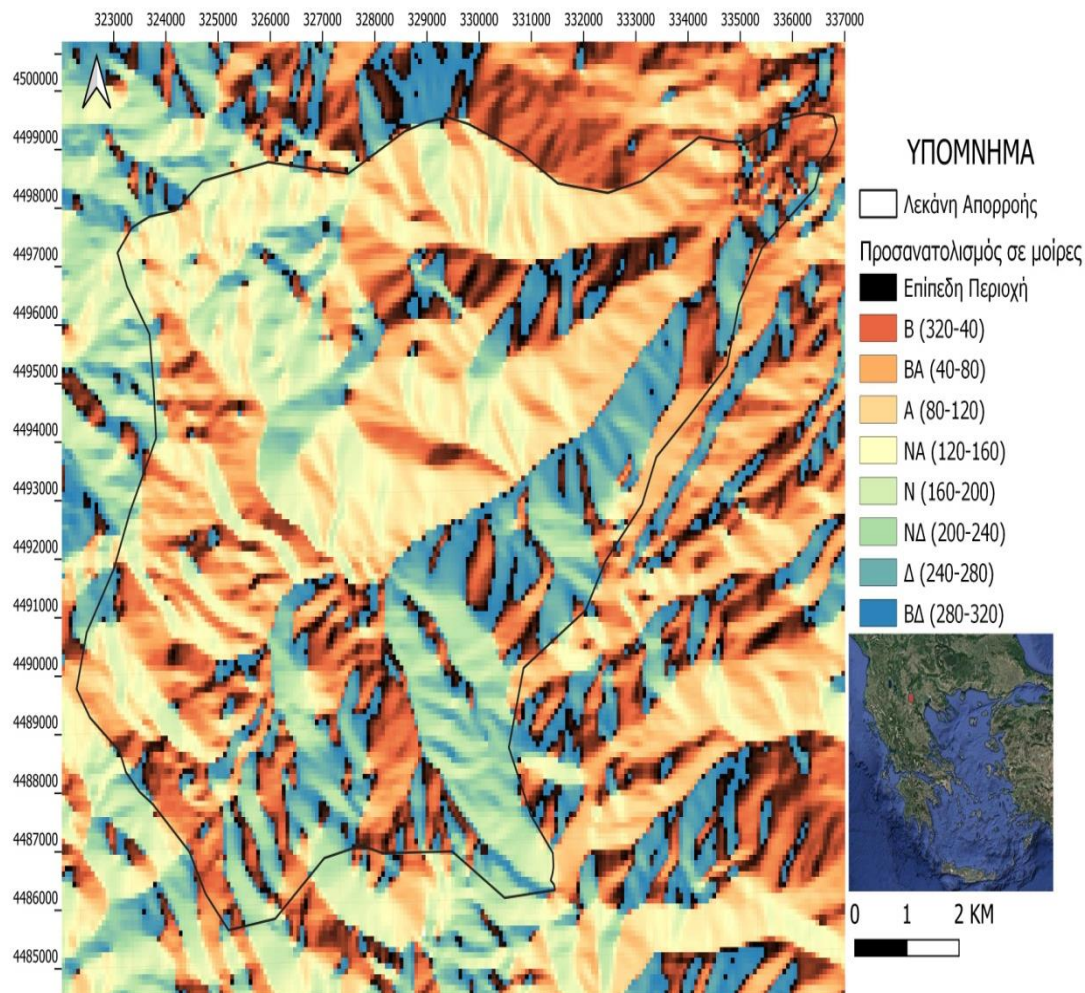
Ένα ακόμη μορφολογικό στοιχείο της περιοχής είναι η κλίση και ο προσανατολισμός των επιφανειών. Για το λόγο αυτόν κατασκευάστηκαν οι δύο σχετικοί χάρτες, ο χάρτης κλίσεων και ο χάρτης προσανατολισμού των κλιτύων.



Σχήμα 4.1.3: Χάρτης κλίσεων

Με βάση, λοιπόν, τον χάρτη κλίσεων, η περιοχή έρευνας έχει ως μέγιστη κλίση τις 49 μοίρες και ως μέση κλίση τις 13 μοίρες. Οι μεγάλες κλίσεις απαντώνται Βορειοδυτικά του οικισμού της Νάουσας, καθώς εκεί είναι οι πρόποδες του Βερμίου. Επίσης, σχετικά υψηλές κλίσεις εμφανίζονται και κεντρικό τμήμα της λεκάνης απορροής. Όμως, οι κλίσεις συνδέονται και με τον προσανατολισμό της λεκάνης απορροής (Σχήμα 4.1.4).

Επομένως, με βάση τον χάρτη 4.1.4, ο προσανατολισμός της λεκάνης απορροής έχει διεύθυνση Νοτιοδυτική-Βορειοανατολική.



Σχήμα 4.1.4: Χάρτης προσανατολισμού κλιτύων

4.2 Πληθυσμιακά Στοιχεία

Εφόσον, η περιοχή μελέτης βρίσκεται στον Δήμο Νάουσας, καλό θα ήταν να παρουσιαστούν και τα στατιστικά του πληθυσμού της πόλης. Σύμφωνα με την τελευταία απογραφή της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛ.ΣΤΑΤ), ο μόνιμος πληθυσμός για την Νάουσα, το 2011, ήταν 32.494. Πλήθος αυτού του πληθυσμού, 12.700 κάτοικοι, είναι οικονομικά ενεργοί, εκ των οποίων οι 9.774 απασχολούνται στον πρωτογενή τομέα, κυρίως, και ακολούθως στον τριτογενή τομέα.

Όσον αφορά το 2021, ο πληθυσμός για τον Δήμο Νάουσας είναι 29.669, εκ των οποίων το μεγαλύτερο ποσοστό είναι γυναίκες. Σύμφωνα με τα τελευταία δεδομένα, από

το 2011 έως το 2021, παρατηρείται μείωση του πληθυσμού κατά 2.825 κατοίκους. Δηλαδή, μείωση κατά 9,5%.

4.3 Κάλυψη γης

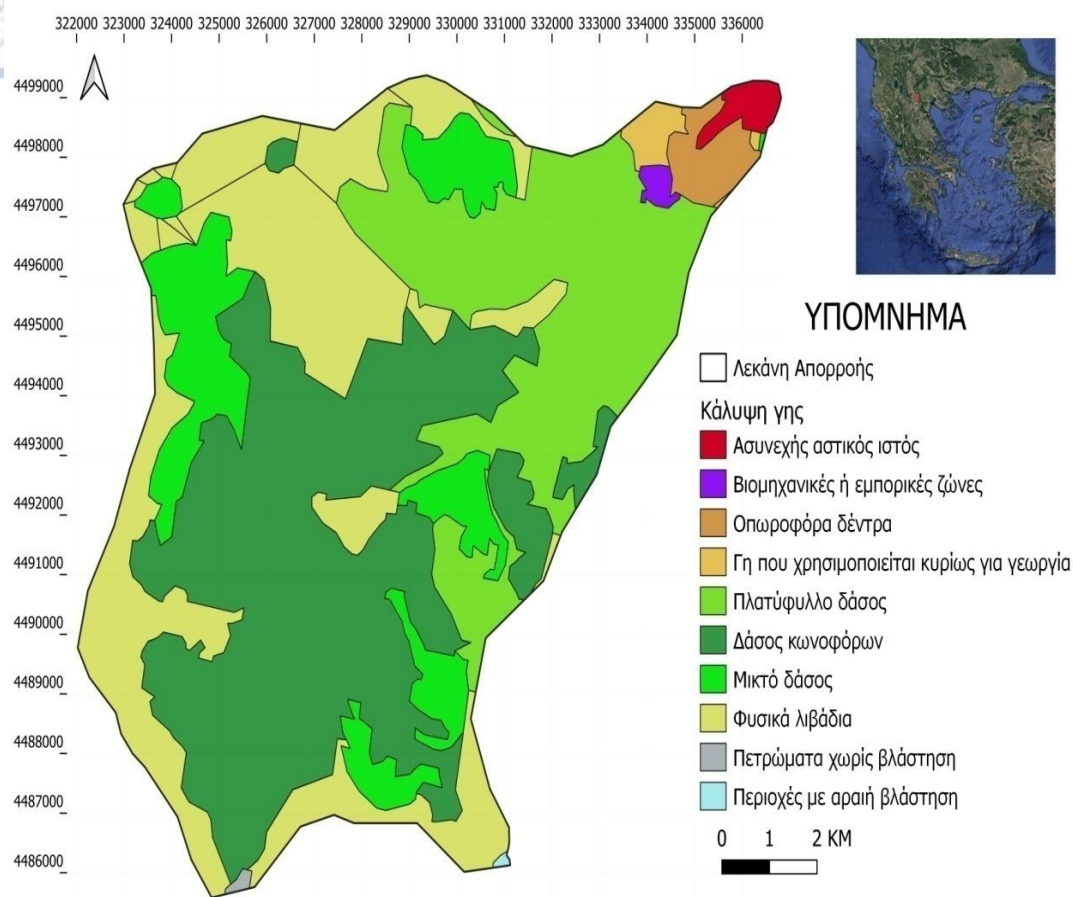
Η συντριπτική πλειοψηφία της λεκάνης απορροής καλύπτεται από δασικές εκτάσεις με σύνολο 69,3% και ακολουθούν τα φυσικά λιβάδια με 26,5%. Η παραγωγή αγροτικών προϊόντων αποτελεί μια από τις κύριες ενασχολήσεις των κατοίκων, με την παραγωγή ροδάκινων, κερασιών και άλλων. Επίσης, αρκετός πληθυσμός απασχολείται στις βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες της περιοχής.

Με βάση τα δεδομένα χρήσης γης για την Ελλάδα, κατασκευάστηκε ένας πίνακας με τα ποσοστά κάλυψης της γης (Πίνακας 4.3.1).

Πίνακας 4.3.4: Χρήσεις Γής στην περιοχή μελέτης (Corine 2012).

Χρήση Γης	Έκταση (km ²)	Ποσοστό (%)
Ασυνεχής αστικός ιστός	1	0,8
Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	0,4	0,3
Οπωροφόρα δέντρα	2,1	1,7
Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία	1,08	0,9
Πλατύφυλλο δάσος	26,3	21,6
Δάσος κωνοφόρων	43,7	35,9
Μικτό δάσος	14,43	11,8
Φυσικά Λιβάδια	32,32	26,5
Πετρώματα χωρίς βλάστηση	0,1	0,08
Περιοχές με αραιή βλάστηση	0,06	0,05

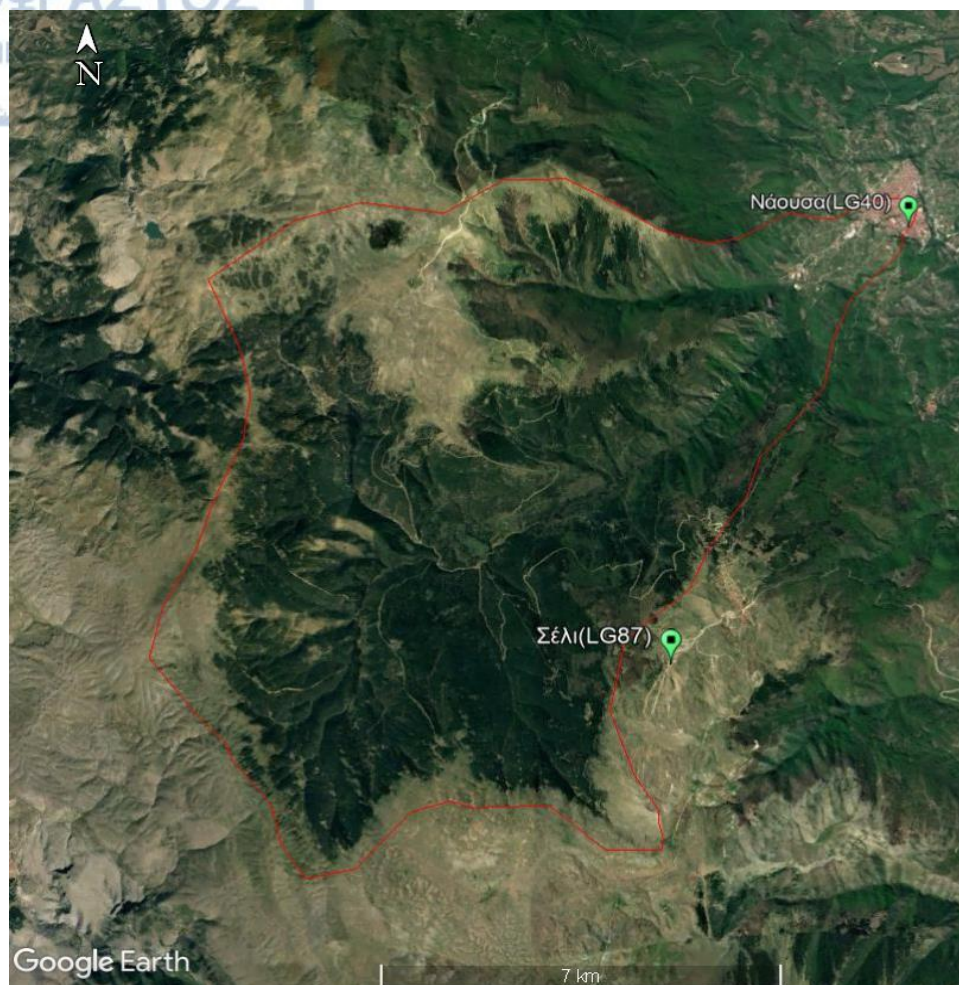
Για την καλύτερη οπτικοποίηση των εκτάσεων που καλύπτουν την περιοχή έρευνας κατασκευάστηκε ο αντίστοιχος θεματικός χάρτης (Σχήμα 4.3.1).



Σχήμα 4.3.7: Χάρτης χρήσεων Γής με βάση τα δεδομένα του Corine 2012

4.4 Κλίμα

Για τον προσδιορισμό των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή έρευνας, αξιοποιήθηκαν οι μετεωρολογικοί σταθμοί που εδράζονται, και πιο συγκεκριμένα, ο μετεωρολογικός σταθμός της Νάουσας (LG40) και του Σέλι (LG87). Οι εν λόγω μετεωρολογικοί σταθμοί ανήκουν στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ). Τα βροχομετρικά και θερμοκρασιακά δεδομένα που υπάρχουν για τους δύο μετεωρολογικούς σταθμούς είναι από το 2006 έως το 2017. Λόγω της απουσίας μετρήσεων ορισμένων μηνών από κάποια έτη, χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των μηνών.



Σχήμα 4.4.1: Χάρτης με τις θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών.

Και για τους δύο μετεωρολογικούς σταθμούς κατασκευάστηκαν διαγράμματα που απεικονίζουν την ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα 2006-2017. Το εν λόγω διάστημα διαχωρίστηκε σε υδρολογικά έτη, τα οποία είναι από τον Οκτώβριο του έτους έως τον Σεπτέμβριο του επόμενου.

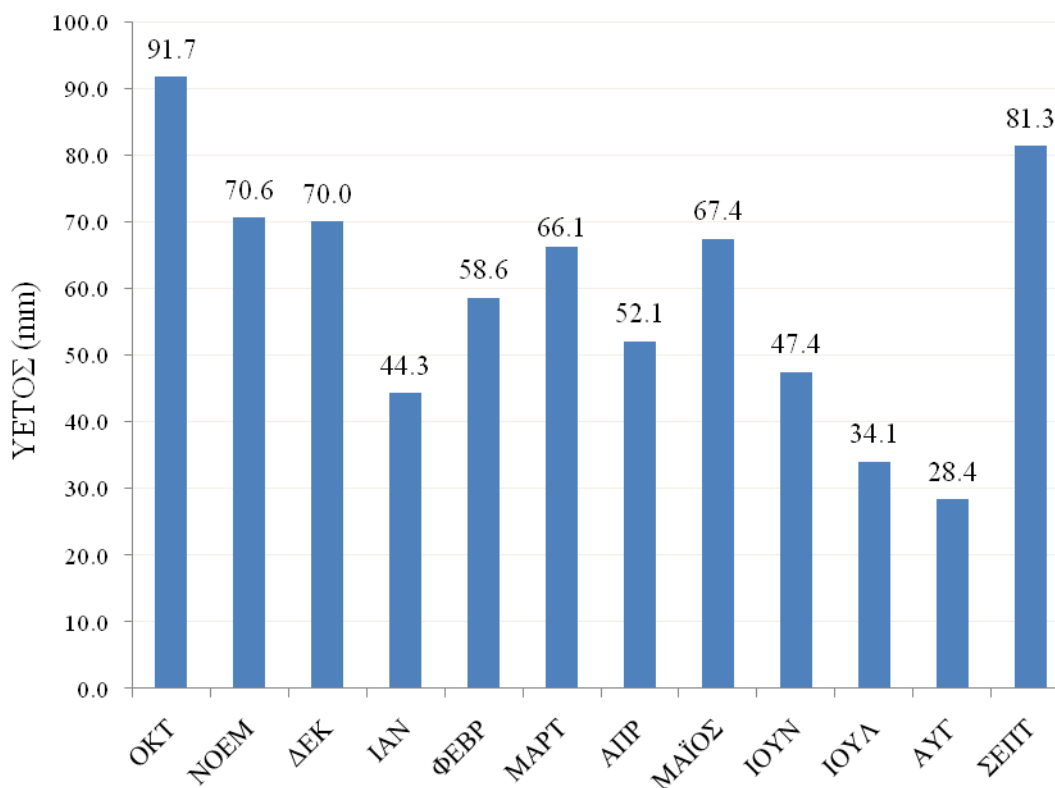
Στη συνέχεια, με βάση τα παραπάνω διαγράμματα, παράχθηκε το ομβροθερμικό διάγραμμα των Gaussen και Begnoul's, για κάθε σταθμό. Το διάγραμμα αυτό εκφράζει την διάρκεια και την ένταση της ξηρής περιόδου.

➤ Μετεωρολογικός σταθμός Νάουσας(LG40)

Ο μετεωρολογικός σταθμός Νάουσας βρίσκεται τοποθετημένος στην οροφή του δημαρχείου της Νάουσας, το οποίο βρίσκεται σε υψόμετρο 365 m. Η τοποθέτηση του

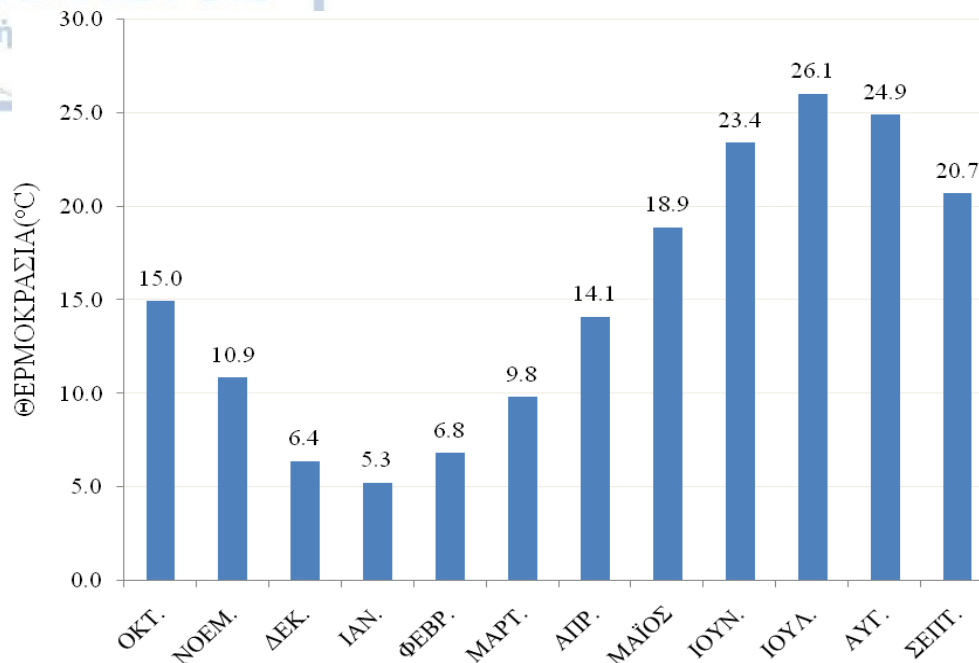
πραγματοποιήθηκε τον Σεπτέμβριο του 2006 και τέθηκε σε λειτουργία τον Οκτώβριο του 2006. Κατά την περίοδο 2010-2017, η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 757,2 mm.

Σύμφωνα με τα βροχομετρικά δεδομένα και το διάγραμμα διακύμανσης της βροχόπτωσης (Σχήμα 4.4.2), καταλήγουμε ότι το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης εντοπίζεται τον μήνα Οκτώβριο με 91,7 mm, ενώ το ελάχιστο ύψος σημειώνεται τον μήνα Αύγουστο με 28,4 mm. Το μέγιστο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης σημειώθηκε το υδρολογικό έτος 2014-2015, αντιθέτως το ελάχιστο ήταν το υδρολογικό έτος 2016-2017.



Σχήμα 4.4.2: Ετήσια διακύμανση της βροχόπτωσης (2006-2017).

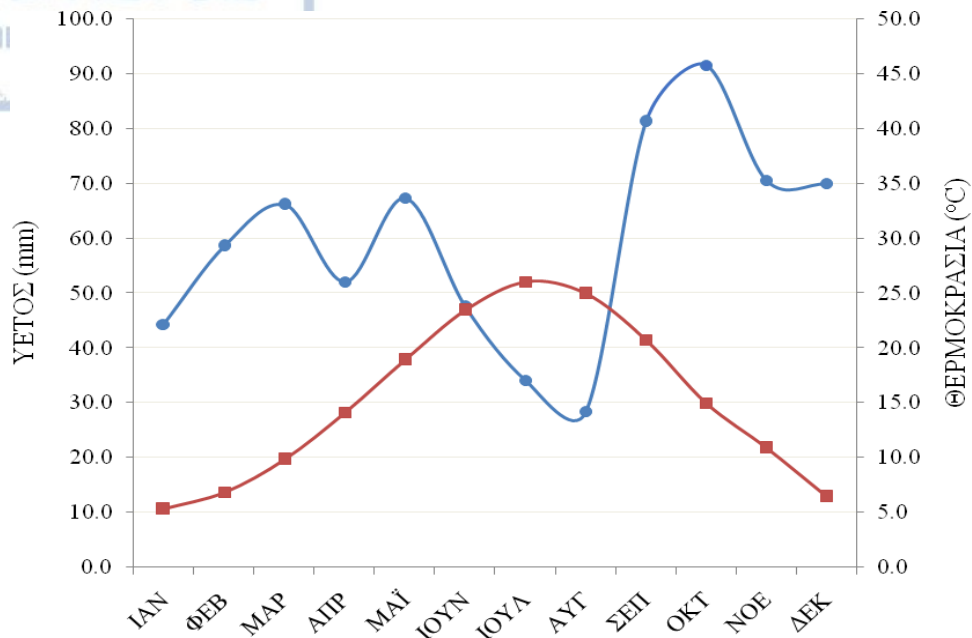
Η μέση ετήσια θερμοκρασία για την περίοδο 2006-2017, ανέρχεται στους 15,2°C. Σύμφωνα με τα δεδομένα και το διάγραμμα διακύμανσης της θερμοκρασίας (Σχήμα 4.4.3), ο θερμότερος μήνας ήταν ο Ιούλιος με θερμοκρασία 26,1 °C, ενώ ο ψυχρότερος μήνας ήταν ο Ιανουάριος με 5,3 °C. Το υδρολογικό έτος με την ελάχιστη θερμοκρασία ήταν το 2013-2014 με 14,4 °C, αντιθέτως η μέγιστη θερμοκρασία με 16,07 °C ήταν το υδρολογικό έτος 2015-2016.



Σχήμα 4.4.8: Ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας (2006-2017).

Από τον συνδυασμό των παραπάνω διαγραμμάτων παράχθηκε το ομβροθερμικό διάγραμμα για τα στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού της Νάουσας (Σχήμα 4.4.4). Η επιφάνεια που περιγράφεται μεταξύ των δυο σημείων που τέμνονται από τις καμπύλες της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας, δείχνει την διάρκεια και της έντασης της ξηρής περιόδου.

Με το ομβροθερμικό διάγραμμα που κατασκευάστηκε για την χρονική περίοδο 2006-2017 για τον μετεωρολογικό σταθμό της Νάουσας, συμπεραίνουμε ότι η ξηρή περίοδος ξεκινά τον μήνα Ιούνιο έως τον μήνα Αύγουστο, δηλαδή διαρκεί περίπου 70 ημέρες.

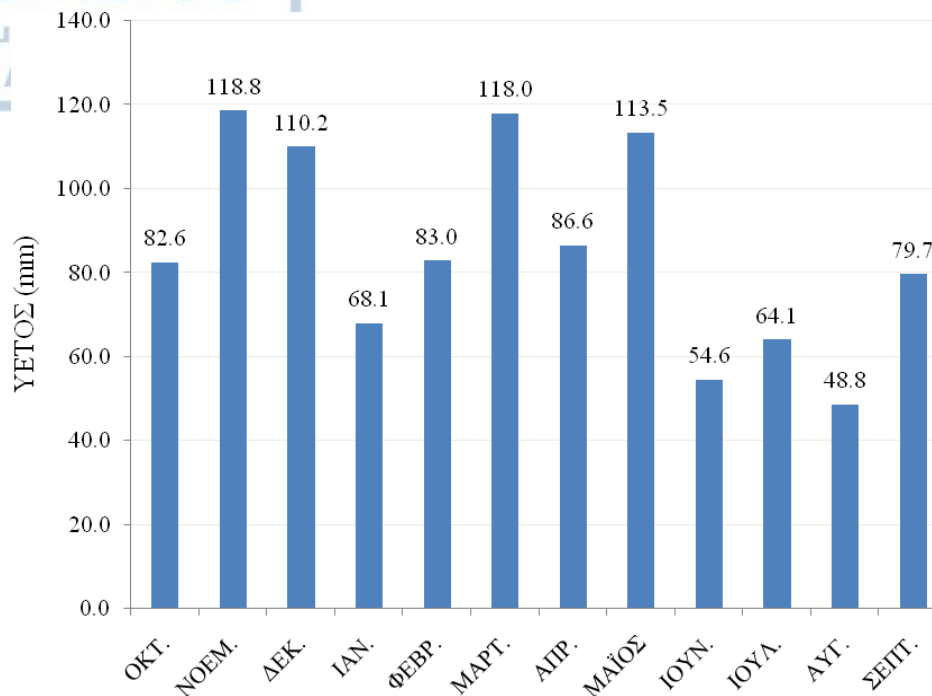


Σχήμα 4.4.9: Ομβροθερμικό διάγραμμα για τον σταθμό της Νάουσας για την περίοδο 2006-2017.

➤ Μετεωρολογικός σταθμός Σέλι(LG87)

Ο μετεωρολογικός σταθμός Σέλι βρίσκεται τοποθετημένος σε οροφή κτηρίου του χιονοδρομικού κέντρου, σε υψόμετρο 1510 m. Ο σταθμός τέθηκε σε λειτουργία τον Δεκέμβριο του 2007, παρόλα αυτά δεδομένα από το σταθμό υπάρχουν από το 2009. Κατά την περίοδο 2009-2017, η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 1242,3 mm.

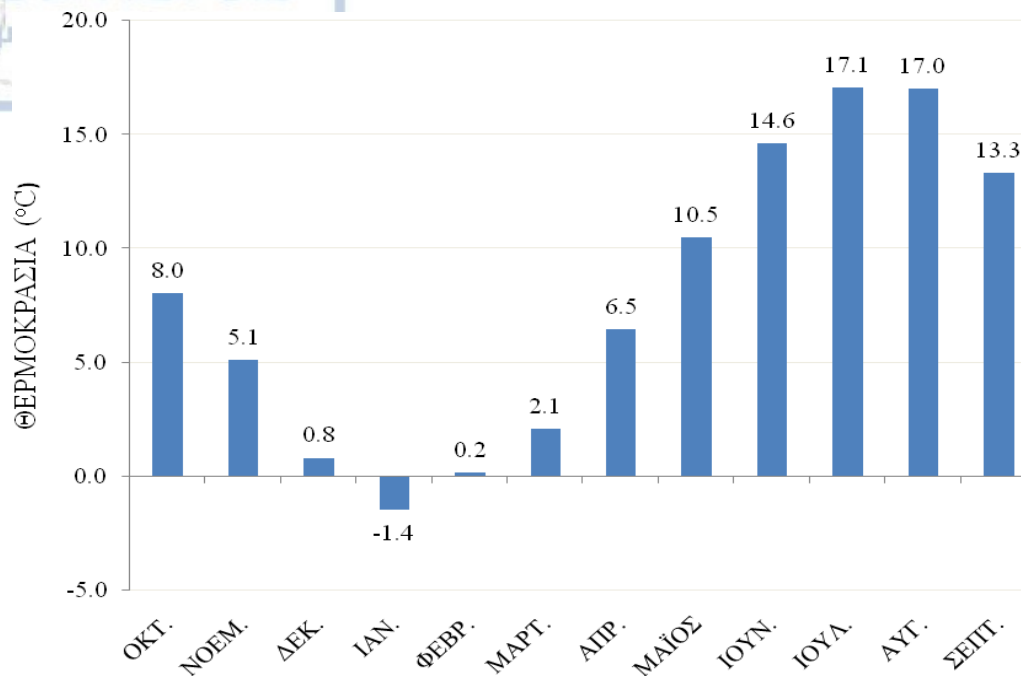
Σύμφωνα με τα βροχομετρικά δεδομένα και το διάγραμμα διακύμανσης βροχόπτωσης (Σχήμα 4.4.5), παρατηρούμε ότι το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης εντοπίζεται τον μήνα Νοέμβριο με 118,8 mm, ενώ το ελάχιστο ύψος με 48,8 mm τον μήνα Αύγουστο. Το μέγιστο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης σημειώθηκε το υδρολογικό έτος 2012-2013 με ύψος 1268,2 mm, αντιθέτως το ελάχιστο παρατηρείται το υδρολογικό έτος το υδρολογικό έτος 2011-2012.



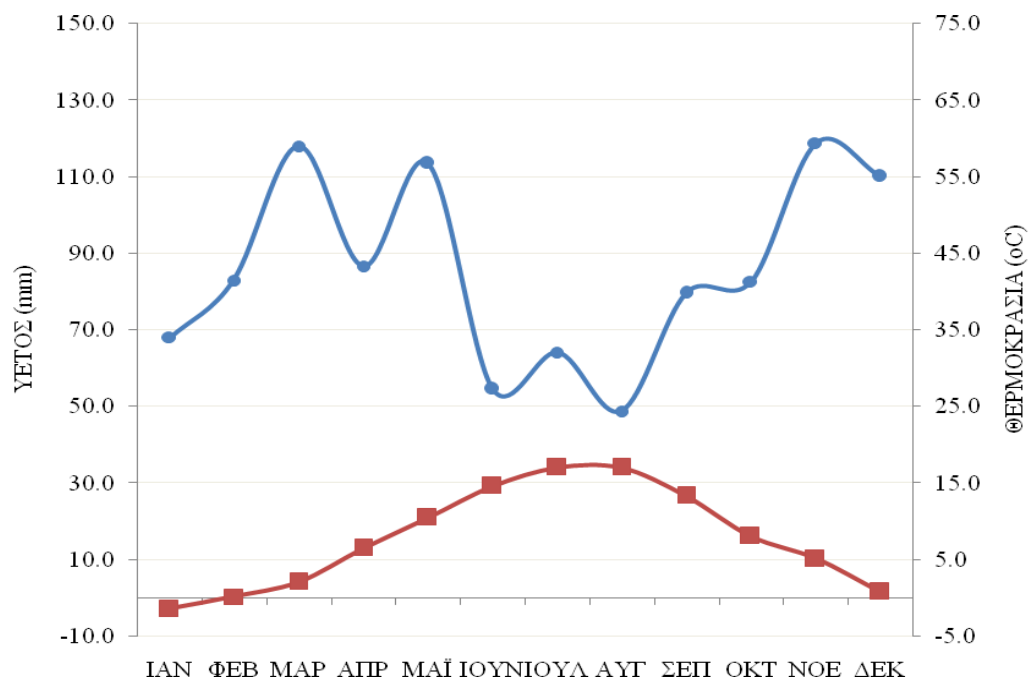
Σχήμα 4.4.10: Ετήσια διακύμανση βροχόπτωσης (2009-2017).

Η μέση ετήσια θερμοκρασία για το χρονικό διάστημα 2009-2017, ανέρχεται στους 7,8 °C. Σύμφωνα με το διάγραμμα διακύμανσης της θερμοκρασίας (Σχήμα 4.4.11) και τα θερμοκρασιακά δεδομένα από τον σταθμό, το θερμότερο έτος ήταν το 2009-2010 με μέση ετήσια θερμοκρασία τους 8,1 °C. Αντίθετα, το ψυχρότερο θερμοκρασιακά καταγεγραμμένο έτος ήταν το 2014-2015 με 7,4 °C. Ο ψυχρότερος μήνας καταγράφηκε ο Ιανουάριος με μέση θερμοκρασία τους -1,4 °C, ενώ ο θερμότερος καταχωρημένος μήνας είναι ο Ιούλιος με μέση θερμοκρασία τους 17,1 °C.

Από το ομβροθερμικό διάγραμμα (Σχήμα 4.4.12) που παράχθηκε από τα παραπάνω διαγράμματα για την χρονική περίοδο 2009-2017, συμπεραίνεται ότι ξηρή περίοδος μέσα στο έτος, δεν υπάρχει. Ο λόγος που συνέβη αυτό είναι η θέση που βρίσκεται ο μετεωρολογικός σταθμός.



Σχήμα 4.4.11: Ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας (2009-2010).

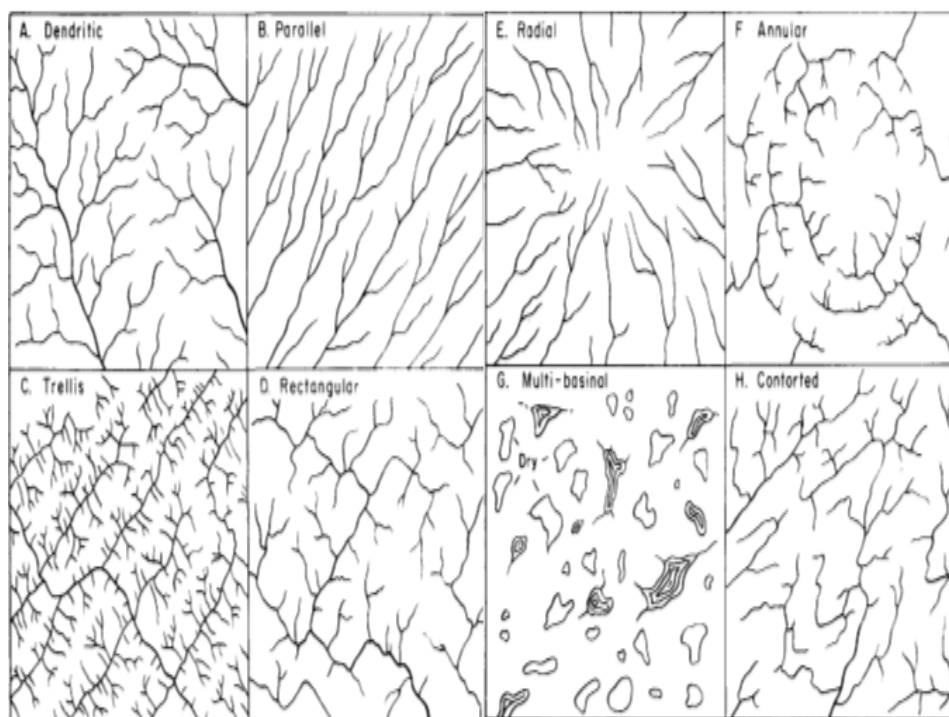


Σχήμα 4.4.12: Ομβροθερμικό διάγραμμα για τον σταθμό του Σέλι για την περίοδο 2009-2017/

Το υδρογραφικό δίκτυο συνιστά το μεταφορικό μέσο για την κίνηση του νερού μιας υδρολογικής λεκάνης. Η υδρολογική λεκάνη ή λεκάνη απορροής, ορίζεται ως μια καλά καθορισμένη ενότητα με βασικό στοιχείο της το υδρογραφικό δίκτυο. Αποτελεί μια χωρική μονάδα που συγκεντρώνει τα επιφανειακά νερά (Βουβαλίδης, 2011).

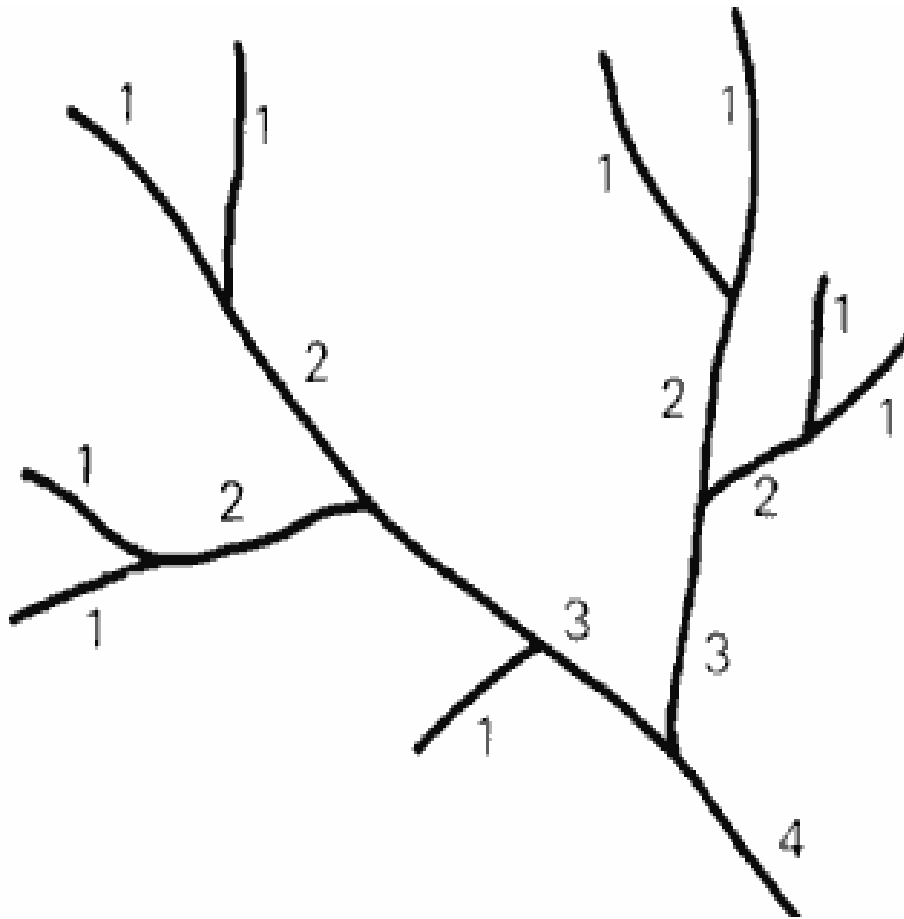
Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής έρευνας, στη λεκάνη απορροής, είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένο εξαιτίας των έντονων μορφολογικών κλίσεων της περιοχής, της λιθολογίας, αλλά και των βροχοπτώσεων. Επομένως, έχουμε την δημιουργία ρεμάτων που απολήγουν στην έξοδο της λεκάνης απορροής.

Με βάση τον διαχωρισμό της μορφής του υδρογραφικού δικτύου κατά Howard (1967), είναι ευκολοδιάκριτο ότι το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής είναι δενδριτικής μορφής. Ο λόγος που παρουσιάζεται η μορφή αυτή είναι η λιθολογία και οι μορφολογικές κλίσεις της περιοχής έρευνας.



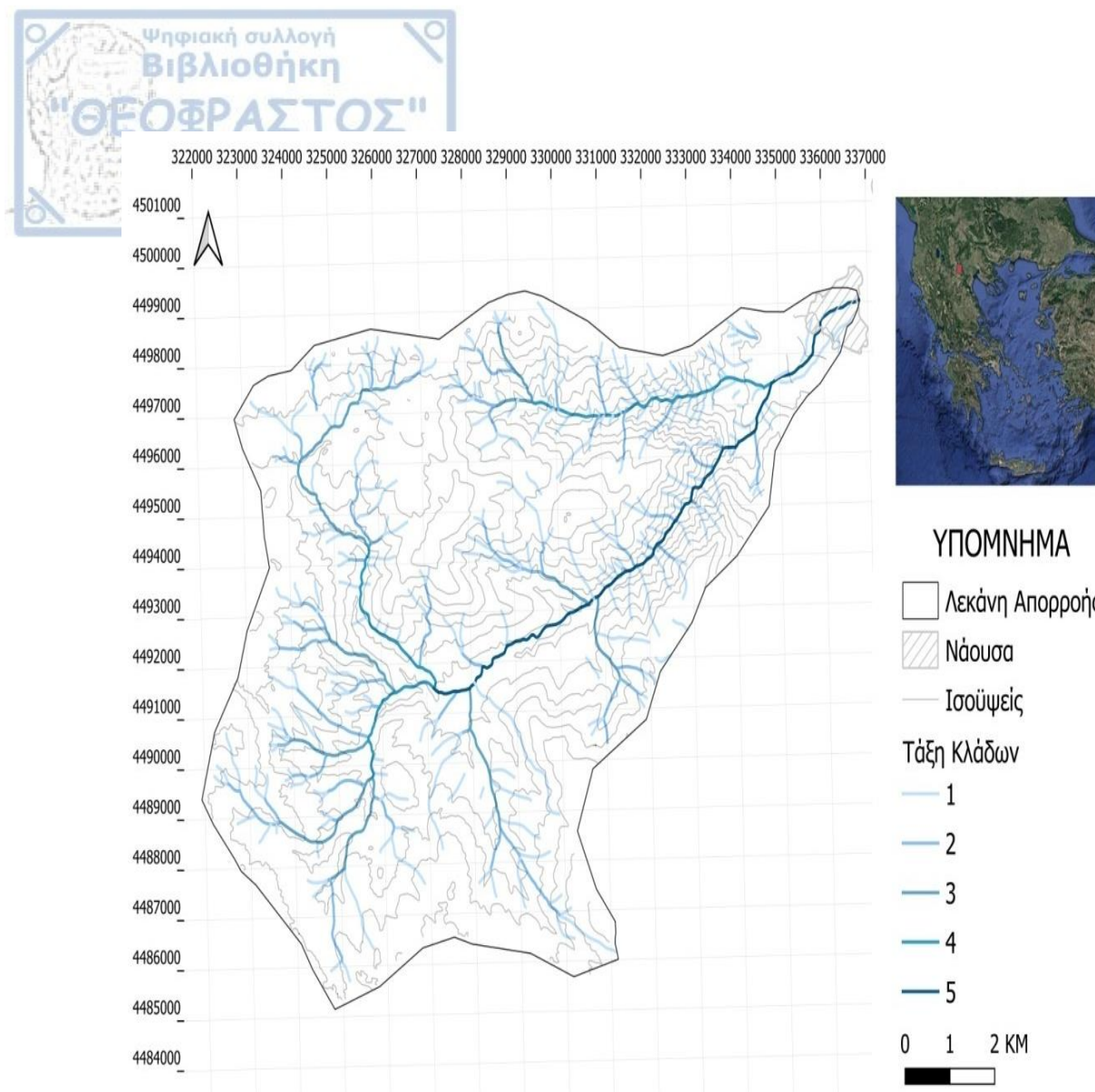
Σχήμα 4.5.1: Μορφές υδρογραφικών δικτύων (Howard, 1967).

Η αρίθμηση του υδρογραφικού δικτύου γίνεται με τέσσερις τρόπους, όμως για την λεκάνη απορροής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Strahler. Με βάση αυτή τη μέθοδο, ως ρεύματα 1^{ης} τάξης ορίζονται αυτά που δε δέχονται τα νερά μικρότερων κλάδων ρευμάτων. Η σύνδεση δύο κλάδων ίσης τάξης παράγει ένα νέο κλάδο της αμέσου επόμενης τάξης. Παραδείγματος χάρη, η σύνδεση δύο κλάδων 1^{ης} τάξης φτιάχνει ένα κλάδο ρεύματος 2^{ης} τάξης (Βουβαλίδης, 2011).



Σχήμα 4.5.2: Μέθοδος αρίθμησης υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler (Βουβαλίδης, 2011).

Επομένως, κατασκευάστηκε στο περιβάλλον του QGIS, ο αντίστοιχος θεματικός χάρτης με την αρίθμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler.



Σχήμα 4.5.13: Απεικόνιση αρίθμησης υδρογραφικού δικτύου

Με την αρίθμηση των κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου υπολογίζονται διάφορες μορφομετρικές παράμετροι, οι οποίες σχετίζονται τόσο με το δίκτυο όσο και με την λεκάνη απορροής. Οι παράμετροι αυτοί είναι οι εξής:

- **Τάξεις κλάδου (u):** η ιεράρχηση των κλάδων με βάση την μέθοδο Strahler
- **Αριθμός κλάδων τάξεων u (N_u):** το σύνολο των κλάδων τάξης u
- **Μήκος κλάδων (L_u):** το άθροισμα των μηκών των κλάδων ίδιας τάξης
- **Συνολικό μήκος κλάδων τάξης u (ΣL_u):** το άθροισμα των μηκών όλων των τάξεων
- **Συντελεστής διακλάδωσης (R_b):** ο λόγος μεταξύ του αριθμού των κλάδων μιας δεδομένης τάξης δια του αριθμού των κλάδων της επόμενης τάξης

- **Λόγος μήκους κλάδων (R_L):** ο λόγος του μέσου μήκους των κλάδων μιας δεδομένης τάξης δια του μέσου μήκους των κλάδων της αμέσως προηγούμενης τάξης
- **Υδρογραφική πυκνότητα (Du):** ο λόγος του συνολικού μήκους κλάδων όλων των τάξεων δια του εμβαδού της λεκάνης απορροής
- **Υδρογραφική συχνότητα (Fu):** ο λόγος του συνολικού αριθμού των κλάδων όλων των τάξεων δια του εμβαδού της λεκάνης απορροής

Επομένως, με τη βοήθεια του QGIS υπολογίστηκαν οι παραπάνω παράμετροι για την λεκάνη απορροής της περιοχής και συγκεντρώθηκαν στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 4.5.1: Υπολογιζόμενοι παράμετροι του υδρογραφικού δικτύου και της λεκάνης απορροής

u	Nu	Lu (km)	$\overline{Lu}$ (km)	Σlu (km)	R_L	Rb	Du
1	243	126,8	0,522	0,521	-	4,5	1,04
2	54	42,37	0,785	1,306	0,33	4,9	0,34
3	11	23,5	2,136	3,442	0,55	3,6	0,19
4	3	12,55	4,183	7,625	0,53	3	0,1
5	1	15,29	15,29	22,915	1,21	-	0,12

$\Sigma Nu=312$ $\Sigma Lu(km)= 220,51$ $Au=121,58 \text{ km}^2$ $Fu=2,57$ $Du=1,81$

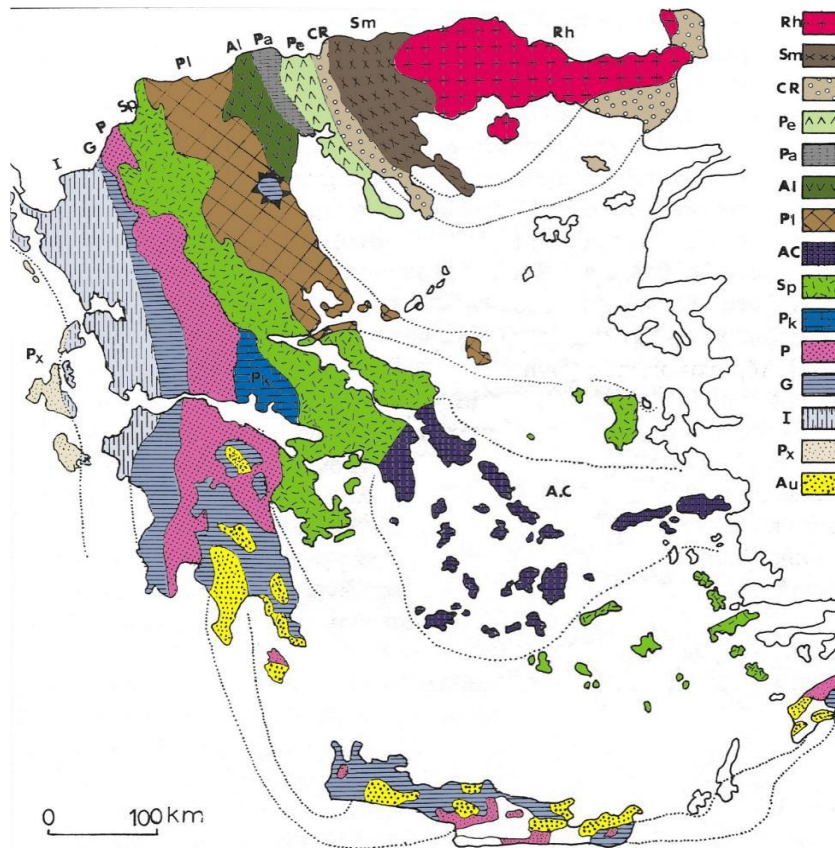
Η υδρογραφική πυκνότητα και η υδρογραφική συχνότητα εξαρτώνται από τους ίδιους παράγοντες, δηλαδή τη σκληρότητα των πετρωμάτων που απαρτίζουν τη λεκάνη απορροής, τη βλάστηση και το ανάγλυφο. Χαμηλή τιμή υδρογραφική πυκνότητας απαντάται σε περιοχές με υψηλή περατότητα, πυκνή βλάστηση και χαμηλό ανάγλυφο, ενώ αντίθετες συνθήκες αντιστοιχούν σε υψηλές τιμές. Η ίδια αναλογία ισχύει και για την συχνότητα των κλάδων, με μεγάλες τιμές να υποδηλώνουν την δημιουργία πλημμυρικών απορροών στην έξοδο της λεκάνης απορροής και σημαντικές ποσότητες φερτών υλικών (Βουδούρης, 2013).

Συνολικά, με βάση τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 4.5.1), η τιμή της υδρογραφικής πυκνότητας της λεκάνης απορροής παρουσιάζεται σχετικά χαμηλή, κάτι

που υποδηλώνει πετρώματα με υψηλή περατότητα, το οποίο επαληθεύεται από τον γεωλογικό χάρτη (Σχήμα 4.6.1.1) και τη μεγάλη έκταση του τεκτονικού καλύμματος του Βερμίου. Όσον αφορά, την υδρογραφική συχνότητα, η τιμή θεωρείται υψηλή, κάτι που υποδηλώνει πυκνή βλάστηση στη λεκάνη απορροής, Αυτό επιβεβαιώνεται από τον χάρτη κάλυψης γης (Σχήμα 4.3.2) και την έκταση της βλάστησης εντός της λεκάνης απορροής.

4.6 Γεωλογική Δομή Περιοχή Μελέτης

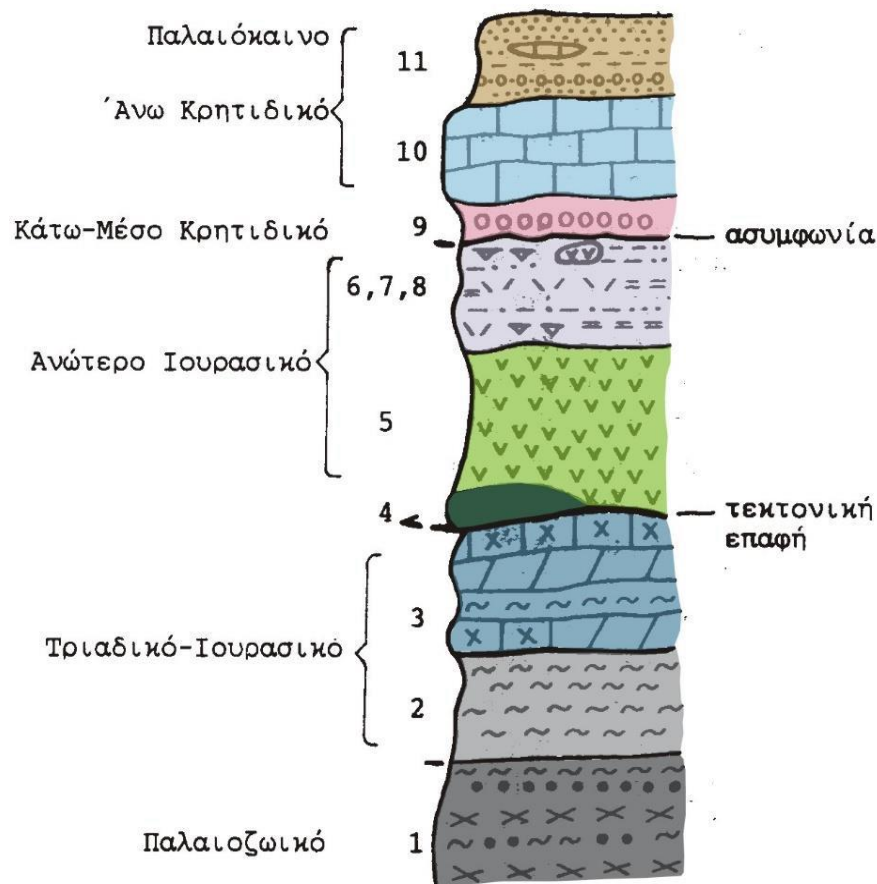
Η λεκάνη απορροής του παρατηρούμενου υδροηλεκτρικού έργου υπάγεται, από γεωλογικής άποψης, στις Εσωτερικές Ελληνίδες Ζώνες. Πιο συγκεκριμένα, τοποθετείται μεταξύ της Πελαγονικής ζώνης και της Υποζώνης Αλμωπίας (η δυτική ζώνη της Αξιού).



Σχήμα 4.6.1: Γεωτεκτονικός χάρτης των Ελληνίδων ζωνών(Rh:Μάζα Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοπική ζώνη, Pe: Υποζώνη Παιονίας, Pa: Υποζώνη Πάικου, Al: Υποζώνη Αλμωπίας, Pl: Πελαγονική ζώνη, AC: Αττικοκυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παζών, Au: Ενότητα «Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι-Ταλέα Όρη», πιθανόν Ιονίου Ζώνης (Μουντράκης, 2010)

Επομένως, στην περιοχή μελέτης συναντώνται πετρώματα της υποζώνης Αλμωπίας αλλά και της Πελαγονικής ζώνης. Η υποζώνη Αλμωπίας διαιρείται σε τέσσερις γεωλογικές ενότητες, στην ενότητα του Κάστρου (Κενομάνιο-Μαιστρίχτιο), στην σειρά του Άνω Γραμματικού, στην ενότητα του Στενήμαχου (Άπτιο-Κενομάνιο) και στην ενότητα της Γραμμένης Βρύσης. Επιπρόσθετα, στην περιοχή μελέτης τοποθετείται τεκτονικά το κάλυμμα του Άνω Βερμίου (Άλβιο-Σενώνιο), αλλά και εκρηξιγενή πετρώματα και οφιόλιθοι της Πελαγονικής ζώνης.

Παρόλα αυτά, επειδή οι σχηματισμοί της υποζώνης Αλμωπίας διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή, δημιουργήθηκε μια συνοπτική λιθοστρωματογραφική στήλη. Η εν λόγω στήλη συνοψίζει τους βασικούς σχηματισμούς της υποζώνης.



Σχήμα 4.6.2: Συνοπτική λιθοστρωματογραφική στήλη υποζώνης Αλμωπίας (A1:αμφιβολίτες και γνεύσιοι με εναλλαγές σχιστόλιθων, A2:σχιστόλιθοι, A3:μάρμαρα, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι με εναλλαγές σχιστόλιθων, A4:οφιολιθικά μίγματα, A5:οφιόλιθοι, A6,7,8:αργιλικόι σχιστόλιθοι, κερατόλιθοι, ηφαιστειακά υλικά και τόφοι=σχιστοκερατολιθική διάπλαση, A9:κροκαλοπαγές βάσης, A10:ασβεστόλιθοι, A11:φλύσχης(ψαμμίτες, ασβεστόλιθους, σχιστόλιθους, κροκαλοπαγές)(Μουντράκης,2010)

Με βάση την λιθοστρωματογραφική στήλη, οι τέσσερις γεωλογικές ενότητες της ζώνης Αλμωπίας συνοψίστηκαν σε δέκα υποομάδες. Κάθε μία αντιπροσωπεύει το αντίστοιχο γεωτεκτονικό καθεστώς σχηματισμού των πετρωμάτων. Το παλαιοζωικό υπόβαθρο της ζώνης αποτελείται από μια σειρά ισχυρά μεταμορφωμένων πετρωμάτων (γνεύσιοι, αμφιβολίτες), η οποία εναλλάσσεται με σχιστόλιθους. Οι σχηματισμοί αυτοί εξελίσσονται κατά το Τριαδικό-Ιουρασικό σε μία σειρά μεταμορφωμένων πετρωμάτων, που περιλαμβάνει σχιστόλιθους και ανθρακικά πετρώματα.

Λόγω ενός τεκτονικού καθεστώτος που συντελέστηκε στο Άνω Ιουρασικό, σχηματίστηκε το οφιολιθικό μίγμα(λατύπες από μάρμαρα ή κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα μέσα σε σχιστοποιημένο οφιολιθικό πέτρωμα). Συνέχεια του τεκτονικού καθεστώτος ήταν η τοποθέτηση των οφιολίθων και της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης(εναλλαγές κερατολίθων, σχιστόλιθων, ασβεστόλιθων).

Κατά το Κάτω Κρητιδικό, πραγματοποιήθηκε η χέρσευση των οφιολίθων, με αποτέλεσμα, στο Μέσο-Άνω Κρητιδικό, την επίκλυση της θάλασσας και την απόθεσης των επικλυσηγενών ιζημάτων. Η εν λόγω σειρά αποτελείται από ένα κροκαλοπαγές βάσης, το οποίο εξελίσσεται στους Μέσο-Άνω Κρητιδικούς, τefρούς ασβεστόλιθους. Ο τελευταίος αλπικός σχηματισμός της σειράς είναι ο φλύσχης, ηλικίας Μαιστριχτίου, που αποτελείται από ψαμμίτες και ασβεστόλιθους.

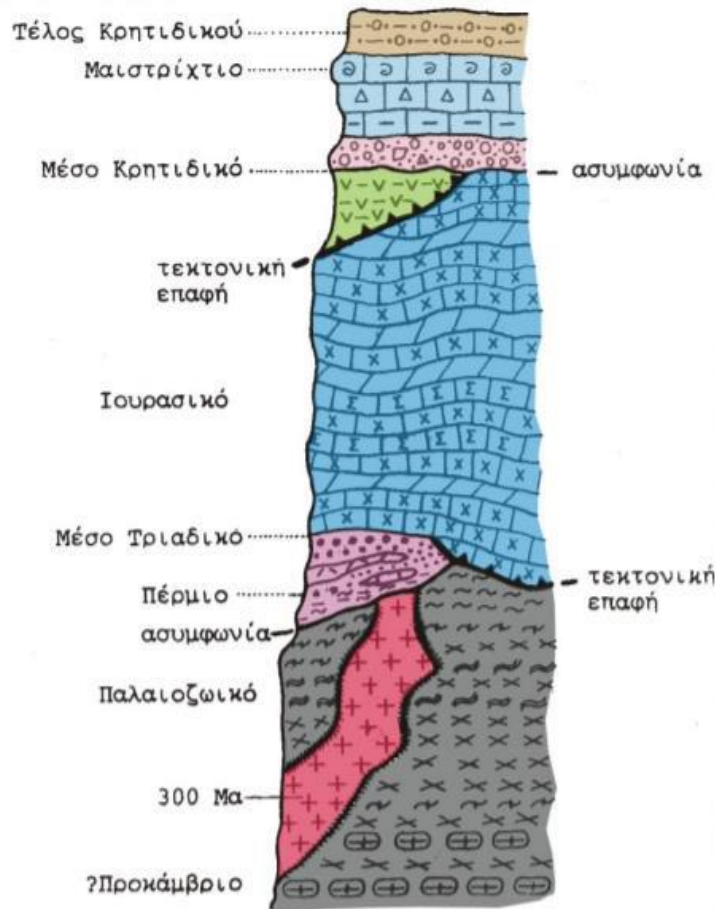
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στην περιοχή έρευνας απαντάται και η Πελαγονική ζώνη, η οποία είναι ανατολικά της ζώνης Αλμωπίας.

Η Πελαγονική ζώνη συντελείται, στη βάση της, από το παλαιοζωικό κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, το οποίο είναι κοινό για όλες τις Εσωτερικές Ελληνίδες. Κατή την περίοδο του Άνω Λιθανθρακοφόρου, πραγματοποιήθηκε η διείσδυση μεγάλων γρανιτικών όγκων γρανιτικής σύστασης, που με την διεργασία της μεταμόρφωσης εμφανίζονται γνευσιωμένοι. Πάνω στο υπόβαθρο αποτέθηκε μια μετα-κλαστική ιζηματογενής σειρά που αποτελείται από μετα-ρυόλιθους, μετα-κροκαλοπαγή και σχιστόλιθους.

Κατά το Τριαδικό-Ιουρασικό, στην Πελαγονική ζώνη σχηματίζεται η κύρια αλπική ιζηματογένεση, η οποία περιλαμβάνει κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, μάρμαρα και δολομίτες. Με την επίδραση του τεκτονικού καθεστώτος στο Άνω Ιουρασικό,

τοποθετούνται οι οφιόλιθοι επάνω στα ανθρακικά πετρώματα του Τριαδικού-Ιουρασικού. Εκτός από οφιόλιθους, υπάρχουν και τα συνοδά ιζήματα τους, τα οποία αποτελούνται από κερατόλιθους, ασβεστόλιθους και σχιστόλιθους. Κατά την τοποθέτηση των υλικών αυτών, σχηματίστηκαν χαρακτηριστικά τεκτονικά οφιολιθικά μίγματα(mélanges), τα οποία εμπεριέχουν τεμάχια από υποκείμενα πετρώματα μέσα σε οφιολιθικό υλικό.

Η συνέχεια της Πελαγονικής ζώνης είναι ίδια με της υποζώνης Αλμωπίας. Ακολουθεί η επικλυσιογενής σειρά με το κροκαλοπαγές βάσης, τα ανθρακικά πετρώματα(ασβεστόλιθοι) και τέλος ο φλύσχος του Μιαιστριχτίου.



Σχήμα 4.6.3: Συνοπτική λιθοστρωματογραφική στήλη Πελαγονικής ζώνης (1:αμφιβολίτες, γνεύσιοι σε εναλλαγές με σχιστόλιθους, 2:γενεσιωμένοι γρανίτες, 3:μετα-ρυσόλιθοι, μετα-ψαμμίτες, μετα-κροκαλοπαγή, ασβεστόλιθοι, 4:κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες, 5:οφιόλιθοι και σχιστοκερατολιθική διάπλωση, 6:κροκαλοπαγές βάσης, 7:ασβεστόλιθοι, 8:φλύσχος(Μουντράκης,2010)

4.6.1 Γεωτεκτονική Εξέλιξη

4.6.1.1 Πελαγονική Ζώνη

Η Πελαγονική ζώνη αποτελεί ένα ηπειρωτικό τέμαχος, το Κιμμερικό, που αποσπάστηκε από την Γκοτβάνα, συγκρούστηκε και ενσωματώθηκε στην Ευρασία. Το Κιμμερικό τέμαχος, που είναι το υπόβαθρο της Πελαγονικής ζώνης, δέχτηκε επάνω του όλη τα αλπικά ιζήματα της ζώνης. Έτσι, στην πορεία της και την εξέλιξη της υπέστη συνεχόμενες παραμορφώσεις και μεταμορφώσεις, με αποτέλεσμα να αποτελεί σύνθετα παραμορφωμένο και μεταμορφωμένο ηπειρωτικό τέμαχος. Όλες οι παραμορφώσεις συνδέονται με κάποιο τεκτονικό καθεστώς, επομένως, είναι αυτά που καθορίζουν και την δομή της.

Οι επιμέρους παραμορφωτικές φάσεις για την Πελαγονική ζώνη είναι τέσσερις και διακρίνονται στην Ερκύνια ορογένεση του Παλαιοζωικού, την πρώιμη Αλπική ορογένεση του Άνω Ιουρασικού-Κάτω Κρητιδικού, την κύρια Αλπική ορογένεση κατά το Τριτογενές και την κατάρρευση του ορογενούς μεταξύ Ολιγοκαίνου-Μειοκαίνου, η οποία εξελίσσεται μέχρι και σήμερα.

Πιο αναλυτικά, την Ερκύνια παραμόρφωση επέστησε τον υπόβαθρο της Πελαγονικής ζώνης και στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα δημιουργήθηκε η κύρια σχιστότητα. Η δεύτερη ορογενετική περίοδος συνδέεται με την καταστροφή του ωκεάνιου φλοιού και την επώθηση των οφιολίθων και των συνοδών ιζημάτων επάνω στα περιθώρια της Πελαγονικής. Στο Τριτογενές διαδραματίστηκε η τελική ανάδυση του ορογενούς, με τη δημιουργία πτυχώσεων. Έπειτα, από την τελική ανάδυση επήλθε η κατάρρευση του, κατά το Ολιγόκαινο-Μειόκαινο, με αποτέλεσμα την εκταφή πετρωμάτων της υποβυθιζόμενης πλάκας με την μορφή μεταμορφικών πυρήνων. Η επώθηση των οφιολιθικών πετρωμάτων έγινε με ανάστροφα ρήγματα και η κατάρρευση του ορογενούς με κανονικά ρήγματα αποκόλλησης μικρής γωνίας κλίσης.

Παράλληλα με τις τεκτονικές παραμορφώσεις εξελίσσονται και τα μεταμορφικά επεισόδια, που στο σύνολο είναι τέσσερα. Αρχικά, στο Παλαιοζωικό επιδρά στα υπόβαθρο η αμφιβολιτική μεταμόρφωση. Η δεύτερη μεταμόρφωση πρασινο-σχιστολιθικής φάσης έδρασε στο Άνω Ιουρασικό-Κάτω Κρητιδικό και μεταμόρφωσε

τους γρανίτες του Άνω Λιθανθρακοφόρου, την Περμοτριάδική μετακλαστική σειρά και τα Τριαδικά ανθρακικά πετρώματα. Η μεταμόρφωση του Τριτογενούς ήταν γλαυκοφανιτικής φάσης και επηρέασε τα υπερκείμενα πετρώματα και η μέχρι σήμερα μεταμόρφωση, λόγω της κατάρρευσης του ορογενούς είναι ανάδρομη πρασινοσχιστολιθική (Μουντράκης, 2010).

4.6.1.2 Υποζώνη Αλμωπίας

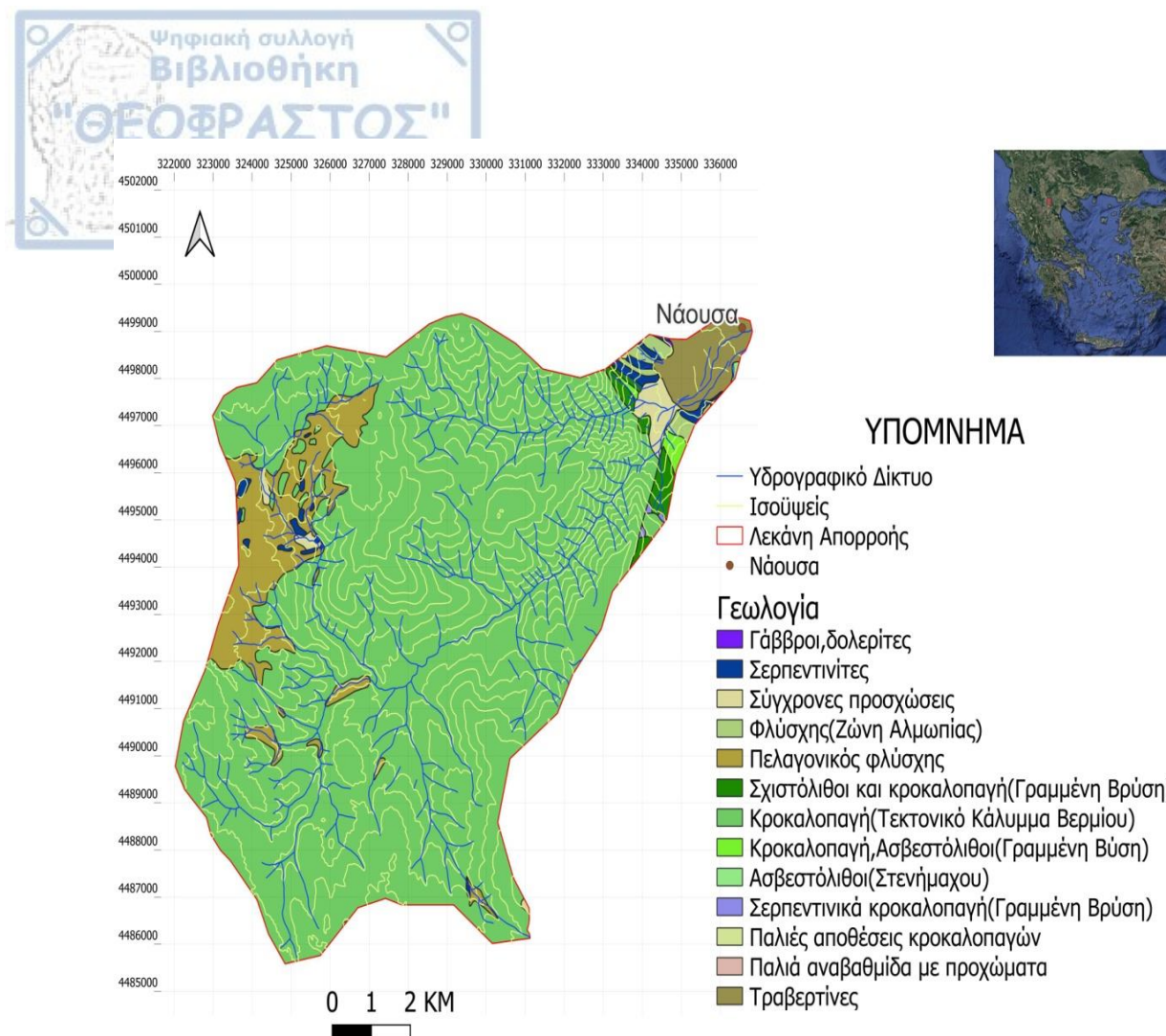
Η ζώνη Αλμωπίας εμφανίζει ωκεάνιο χαρακτήρα με βασικό τεκτονικό στοιχείο της να αποτελεί η τεκτονική τοποθέτηση των οφιολίθων και των συνοδών ιζημάτων πάνω στην Πελαγονική. Αυτό το τεκτονικό επεισόδιο συντελέστηκε κατά το Άνω Ιουρασικό και προϋποθέτει το κλείσιμο του ωκεανού του Αξιού. Επομένως, το τεκτονικό κάλυμμα που σχηματίστηκε επάνω στην Πελαγονική ονομάζεται «Ηωελληνικό κάλυμμα» και παράλληλα συντελέστηκε η πτύχωση των σχηματισμών της ζώνης.

Έπειτα, ακολούθησαν τα τεκτονικά επεισόδια που διαδραματίστηκαν σε όλες τις Εσωτερικές Ελληνίδες ζώνες. Στο τέλος του Τριτογενούς- αρχές Τεταρτογενούς, στην περιοχή της Αλμωπίας εκδηλώθηκε μια έντονη μεταλπική δραστηριότητα, η οποία φανερώθηκε με τρεις ομάδες ηφαιστειακών πετρωμάτων (ανδεσίτες, λατίτες, τραχείτες).

Συμπερασματικά, στη ζώνη αυτή καταγράφηκαν δύο μεγάλα τεκτονικά καθεστώτα. Πρώτα, κατά το Άνω Ιουρασικό με την μεγάλη επώθηση των οφιολιθικών πετρωμάτων πάνω στην Πελαγονική, το οποίο συνέστησε το Ηωελληνικό κάλυμμα. Μετέπειτα, κατά το Τριτογενές με την σημαντική πτύχωση που σχημάτισε τα τεκτονικά λείπια της Αλμωπίας και επωθήθηκαν προς τα Δυτικά (Μουντράκης, 2010).

4.6.1.3 Περιοχή Μελέτης

Όπως ήδη αναφέρθηκε, στην περιοχή έρευνας, απαντάται η Πελαγονική ζώνη και η ζώνη Αλμωπίας. Επίσης, σύμφωνα με την ψηφιοποίηση που έγινε, διαπιστώθηκε ότι περιλαμβάνει γεωλογικούς σχηματισμούς από την περιοχή της Βέροιας, των Πύργων και της Κοζάνης. Επομένως, κατασκευάστηκε ένας γεωλογικός χάρτης για την περιοχή μελέτης.



Σχήμα 4.6.1.1: Γεωλογικός Χάρτης Περιοχής Έρευνας

Σύμφωνα, λοιπόν, με την ψηφιοποίηση και τον γεωλογικό χάρτη προέκυψε ένα πλήθος (δεκατρείς) γεωλογικοί σχηματισμοί, οι οποίοι καταλαμβάνουν συγκεκριμένη έκταση. Αναλυτικότερα:

➤ **Τεταρτογενές:**

- Σύγχρονες προσχώσεις (al): Έκταση: 1,23 km²
- Παλαιά αναβαθμίδα με προχώματα (PtI-II): βρίσκονται σε διάφορα υψόμετρα, καλύπτονται από άργιλο που περιέχει χαλίκια. Έκταση: 0,013 km²
- Παλιές αποθέσεις κροκαλοπαγών (Pls-Pti): τα κροκαλοπαγή σχηματίζουν αναβαθμίδες. Έκταση: 0,015 km²
- Τραβερίνης (tv): σχηματίζουν τις αναβαθμίδες της Νάουσας και της Βέροιας. Έκταση: 2,95 km²

➤ **Πελαγονική Ζώνη:**

- i. Πελαγονικός φλύσχης (fg): είναι εξαιρετικά μαργαϊκός και ιλυολιθικός. Έκταση: 12,37 km²

➤ **Ζώνη Αλμωπίας:**

- i. Φλύσχης (fa): μαύρος σχιστοψαμμιτικός και πιο σπάνια πράσινο ή τεφρο-κιτρινωπός. Έκταση: 0,72 km²
- ii. Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (Ks.k1): στο σύνολο του εμφανίζεται χαλαρός και η σύσταση του είναι κυρίως ασβεστολιθική. Έκταση: 0,04 km²
- iii. Κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθοι (Ks.c,k): ασβεστόλιθοι που περιέχουν πάγκους κροκαλοπαγών, που έχουν ασβεστιτικό συνδετικό υλικό. Έκταση: 4,1 km²
- iv. Σχιστόλιθοι κόκκινοι κροκαλοπαγείς και ασβεστολιθικοί σχιστόλιθοι (Ki?.ph,c): ο σχηματισμός είναι σχιστώδης και κροκαλοπαγείς, κόκκινου χρώματος και μερικές φορές πράσινου. Έκταση: 1,1 km²
- v. Κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθοι του τεκτονικού καλύμματος του Άνω Βερμίου (Ks.c): κροκαλοπαγή που παρεμβάλλονται στους ασβεστόλιθους και περιέχουν αποκλειστικά κροκάλες από ασβεστόλιθους. Έκταση: 102,86 km²
- vi. Σερπεντινίτες (σ): Έκταση: 0,88 km²

➤ **Εκρηξιγενή Πετρώματα:**

- i. Σερπεντινικά κροκαλοπαγή (O.c): αποτελούνται αποκλειστικά από κροκάλες από σερπαντίνες, είναι καλά αποστρωγγυλεμένες. Έκταση: 0.08 km²
- ii. Γάββροι, δολεριτες και συνδεδεμένα ηφαιστειακά πετρώματα (θ,δο): Έκταση: 0,02 km²

Στην περιοχή έρευνας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις παροχής με τη βοήθεια του μολύσκου. Οι θέσεις που εκπονήθηκαν οι μετρήσεις είναι κατά μήκος της λεκάνης του ποταμού Αράπιτσα και η κάθε μια έχει την δική της ονομασία.



Σχήμα 4.7.1: Χάρτης με τα σημεία των μετρήσεων

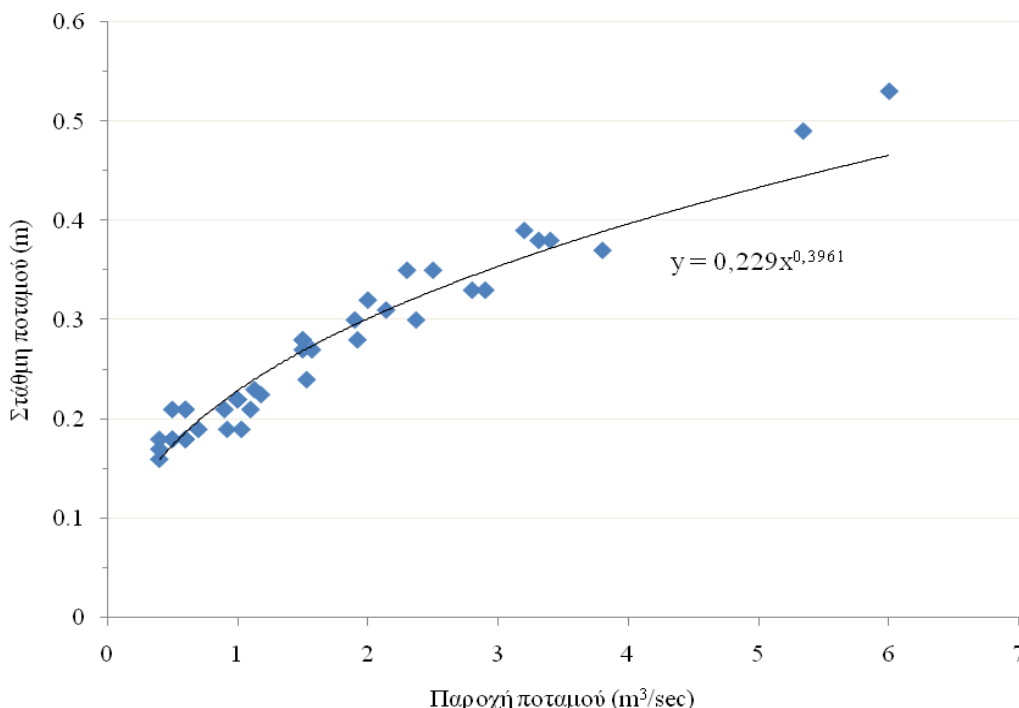
Οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία και τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας είναι αυτές στη θέση Αυτογραφικό ΥΦΕΝ. Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτή η θέση είναι ότι βρίσκεται στην κοίτη του ποταμού Αράπιτσα.



Σχήμα 4.7.2: Θέση μέτρησης, Αυτογραφικό ΥΦΕΝ

Για τη θέση Αυτογραφικό ΥΦΕΝ υπάρχουν μετρήσεις, με την βοήθεια του μυλίσκου, από το 2018 έως το 2022. Έτσι, με βάση αυτή την χρονοσειρά και τα δεδομένα του σταθμήμετρου (σε m) και της υπολογιζόμενης παροχής του νερού (σε m^3/sec), κατασκευάστηκε το διάγραμμα στάθμη ποταμού-παροχής ποταμού. Το διάγραμμα αυτό, αποτελεί μια καμπύλη με εξαρτημένη μεταβλητή την παροχή και

ανεξάρτητη την στάθμη του ποταμού. Η σχέση που συνδέει τις δύο μεταβλητές είναι εκθετική και η μορφή της καμπύλης είναι παραβολική. Το διάγραμμα παράχθηκε στο περιβάλλον του Excel και είναι το εξής:



Σχήμα 4.7.3: Διάγραμμα στάθμης ποταμού-παροχής ποταμού στη θέση Αυτογραφικό ΥΦΕΝ

Όπως παρατηρούμε από το παραπάνω διάγραμμα (Σχήμα 4.7.2), η σχέση που συνδέει την στάθμη του ποταμού και την παροχή του ποταμού είναι η εξής: $y=0,229x^{0,3961}$. Επίσης, επιβεβαιώνεται πως η σχέση τους είναι εκθετική και η καμπύλη που σχηματίζεται είναι παραβολή.

Από την ανάλυση των δεδομένων στο περιβάλλον του Excel, υπολογίστηκε και ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 , ο οποίος δείχνει τον βαθμό προσαρμογής των δεδομένων πάνω στην καμπύλη παλινδρόμησης. Επομένως, ο αριθμός R^2 είναι 0,93, κάτι που δείχνει την καλή προσαρμογή των δεδομένων στην καμπύλη. Επιπρόσθετα, από το διάγραμμα παρατηρούμε πως οι περισσότερες μετρήσεις για τη θέση αυτή, έχουν στάθμη νερού περίπου τα 0,2 m και παροχή νερού τα 1,2 m³/sec.

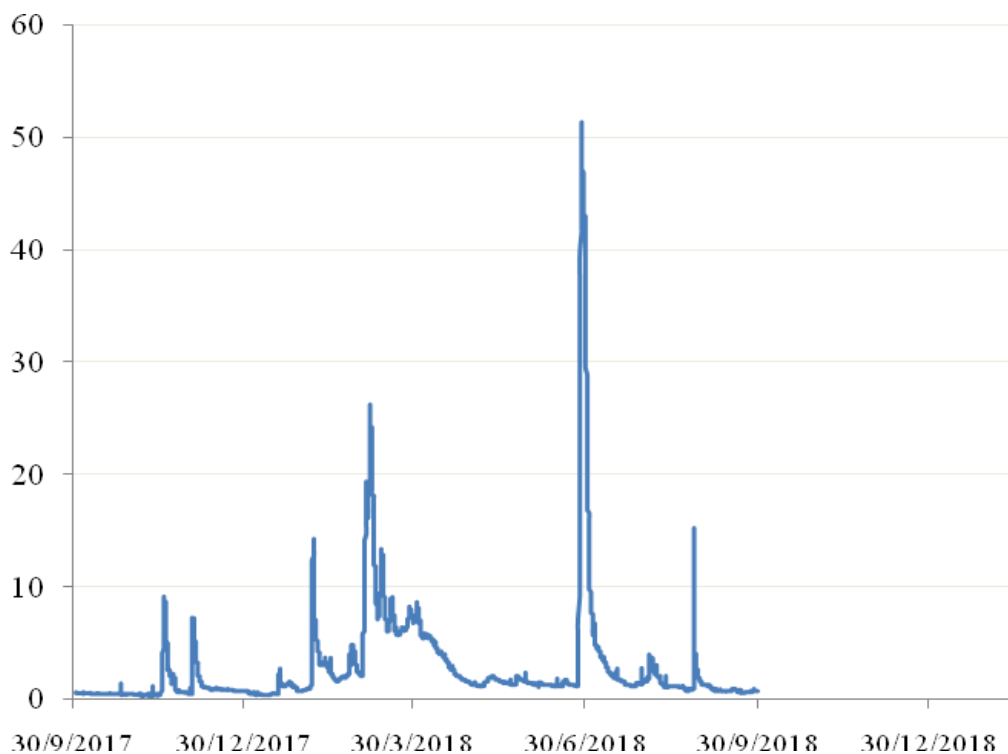
Όσον αφορά την θέση Αυτογραφικό ΥΦΕΝ, υπάρχει εγκατεστημένος μόνιμος σταθμηγράφος που καταγράφει την στάθμη του νερού στο σημείο μηδέν. Η καταγραφή

της στάθμης πραγματοποιείται κάθε μέρα και ανά μια ώρα, άρα όλο το εικοσιτετράωρο. Δεδομένα από αυτές τις μετρήσεις υπάρχουν για το έτος 2017 έως το 2019. Για να επεξεργαστούν οι καταγραφές της στάθμης, οι υπάρχουσες χρονοσειρές μετατράπηκαν σε υδρολογικά έτη.

Επομένως, αφού αρχικά δημιουργήθηκαν τα υδρολογικά έτη, 2017-2018 και 2018-2019, και υπάρχουν οι αντίστοιχες καταγραφές, κατασκευάστηκαν τα αντίστοιχα υδρογραφήματα ή αλλιώς υδρογράμματα. Ένα υδρογράφημα είναι η ποσοτική απεικόνιση των διακυμάνσεων της παροχής (της απορροής) σε συνάρτηση με το χρόνο σε ορισμένη θέση μέτρησης (Βουδούρης, 2013).

Το υδρογράφημα ενός ποταμού εξαρτάται από την ένταση και την διάρκεια της βροχόπτωσης, την λιθολογία, τις χρήσεις γης και άλλα, καθώς μας δίνει χρήσιμες πληροφορίες για την κατάσταση του ποταμού.

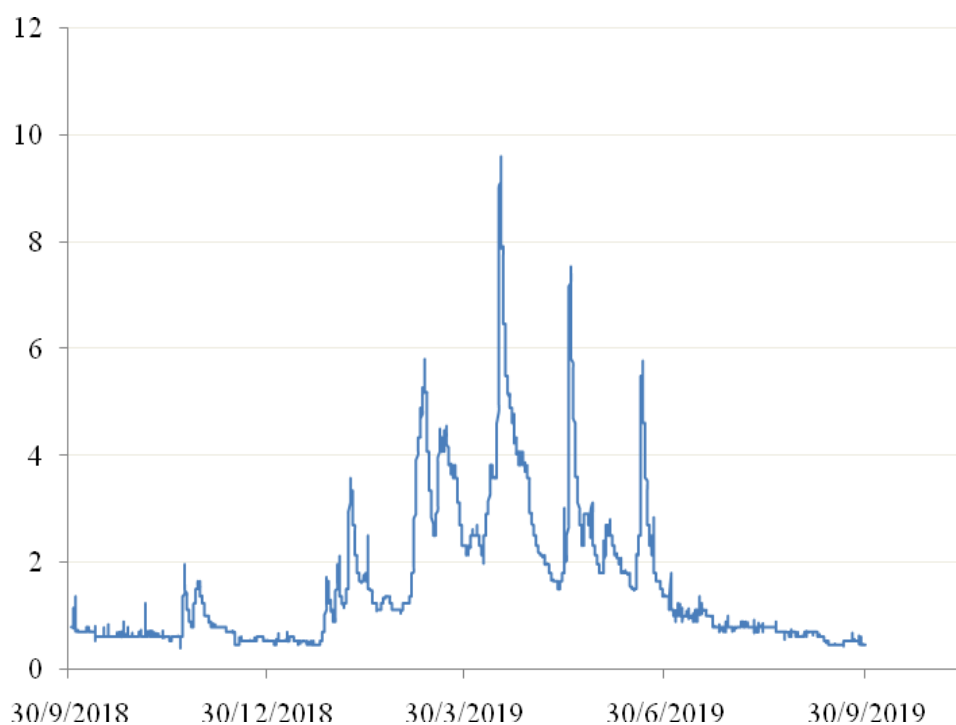
Επιπλέον, για κάθε ένα υδρολογικό έτος εκτελέστηκε στατιστική ανάλυση των υπολογίσιμων παροχών στο περιβάλλον του SPSS. Αρχικά, για το υδρολογικό έτος 2017-2018 (Οκτώβριος 2017-Σεπτέμβριος 2018) κατασκευάστηκε το εξής υδρογράφημα:



Σχήμα 4.7.4: Υδρογράφημα υδρολογικού έτους 2017-2018

Από το γράφημα παρατηρούμε δύο μέγιστες παροχές, η μια εμφανίζεται στις αρχές Μαρτίου. Η παροχή ξεκινά να αυξάνεται από αρχές Μαρτίου και φτάνει στην μέγιστη τιμή της στο τέλος της πρώτης εβδομάδας του Μαρτίου με τιμή 25,7 m³/sec. Η δεύτερη μέγιστη παροχή παρουσιάζεται στα τέλη Ιουνίου, όπου και αυτό το χρονικό διάστημα, την τελευταία εβδομάδα του Ιουνίου, εμφανίζει την μέγιστη παροχή με τιμή 51,3 m³/sec.

Εκτός από το υδρολογικό έτος 2017-2018, υδρογράφημα κατασκευάστηκε και για το υδρολογικό έτος 2018-2019 (Οκτώβριος 2018-Σεπτέμβριος 2019). Το εν λόγω διάγραμμα είναι το εξής:



Σχήμα 4.7.5: Υδρογράφημα υδρολογικού έτους 2018-2019

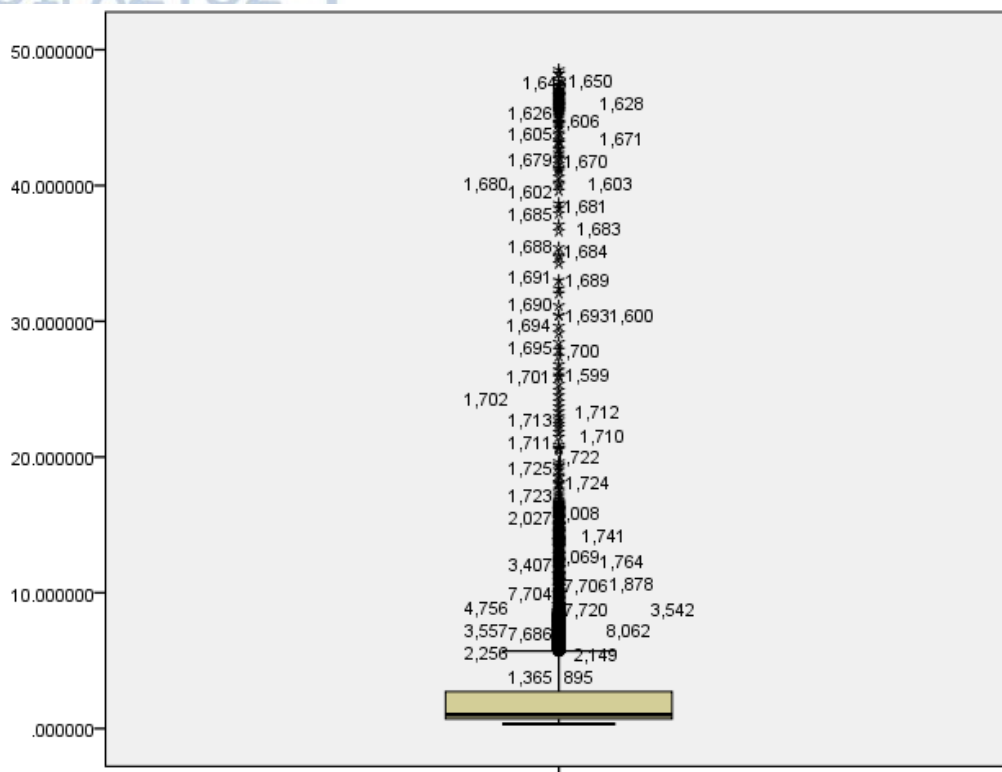
Από το παραπάνω σχήμα διακρίνονται αρκετές μέγιστες τιμές παροχών, όμως ξεχωρίζονται δυο, με την μια να παρουσιάζεται στα μέσα Απριλίου. Οι τιμές της παροχής αρχίζουν να αυξάνονται από αρχές Απριλίου και η μέγιστη τιμή της φτάνει στα μέσα, με τιμή 9,6 m³/sec. Η επόμενη μέγιστη τιμή παροχής εμφανίζεται στα μέσα προς τέλη Μαΐου, με την μέγιστη τιμή να παρουσιάζεται τέλη Μαΐου και να έχει τιμή 7,5 m³/sec.

Οι μέγιστες τιμές που αναδεικνύονται στα δυο υδρογραφήματα εξηγούνται ανάλογα με τους κλιματικούς παράγοντες. Συγκεκριμένα, ερμηνεύονται σύμφωνα με την ένταση και την διάρκεια της βροχόπτωσης, αλλά και από τις χρήσεις γης που υπάρχουν στην περιοχή. Παρόλα αυτά, σημαντική παράμετρος σε αυτή την περίπτωση, είναι η βροχόπτωση. Επομένως, μεγάλης έντασης και διάρκειας βροχόπτωση ευνοεί την επιφανειακή απορροή και κατ'έκταση την παροχή του ποταμού. Έτσι, λοιπόν, μεταφράζονται οι μέγιστες τιμές των παροχών στα υδρογραφήματα.

Για τα δυο υδρολογικά έτη, όπως προαναφέρθηκε, πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση στο περιβάλλον του SPSS. Η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει την δημιουργία θηκογράμματος παροχής για τα έτη 2017-2018 και 2018-2019 και τα στατιστικά χαρακτηριστικά της παροχής για αυτά. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή, την τυπική απόκλιση, τη διακύμανση και άλλα.

Το θηκόγραμμα ή αλλιώς boxplot αποτελεί έναν νέο τρόπο γραφικής παρουσίασης πέντε μέτρων μιας κατανομής (Βουδούρης, 2022). Τα μέτρα αυτά είναι η ελάχιστη τιμή που βρίσκεται στο διάστημα $Q1-1,5$, η μέγιστη τιμή που βρίσκεται στο διάστημα $Q3+1,5$ και τα τεταρτημόρια $Q1$, $Q2$, $Q3$. Τα τρία τεταρτημόρια λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές. Για το $Q1$, είναι η τιμή αριστερά της οποίας βρίσκεται το πολύ το 25% των υπολογίσιμων παροχών. Η τιμή για το $Q2$ συμπίπτει με την διάμεσο, η οποία προκύπτει από τα στατιστικά χαρακτηριστικά, ενώ για το $Q3$ είναι η τιμή αριστερά της οποίας βρίσκεται το πολύ το 75% των υπολογίσιμων παροχών.

Από τις υπολογιζόμενες παροχές για το υδρολογικό έτος 2017-2018 προέκυψε το εξής θηκόγραμμα (Σχ. 4.7.6). Επομένως, από την επεξεργασία του θηκογράμματος υπολογίζεται ότι η ελάχιστη τιμή είναι ίση με 0,34 και ταυτίζεται με την κάτω παράλληλη γραμμή στον άξονα x, ενώ η μέγιστη τιμή είναι ίση με 48,53 και ταυτίζεται με την επάνω παράλληλη γραμμή στον άξονα x. Στο ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, το οποίο ορίζεται από το ενδοτεταρτομοριακό εύρος ($Q3-Q1$), με έντονη μαύρη γραμμή ορίζεται η διάμεσος. Η διάμεσος δίνει και την τιμή για το δεύτερο τεταρτημόριο $Q2$ και παίρνει τιμή 1,01. Εφόσον το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο ορίζεται από το ενδοτεταρτομοριακό εύρος, τότε η επάνω πλευρά του θα επισημαίνεται ως το $Q3$ με τιμή 2,71. Αντίστοιχα, η κάτω πλευρά του σχήματος τίθεται ως το $Q1$ με τιμή 0,71.

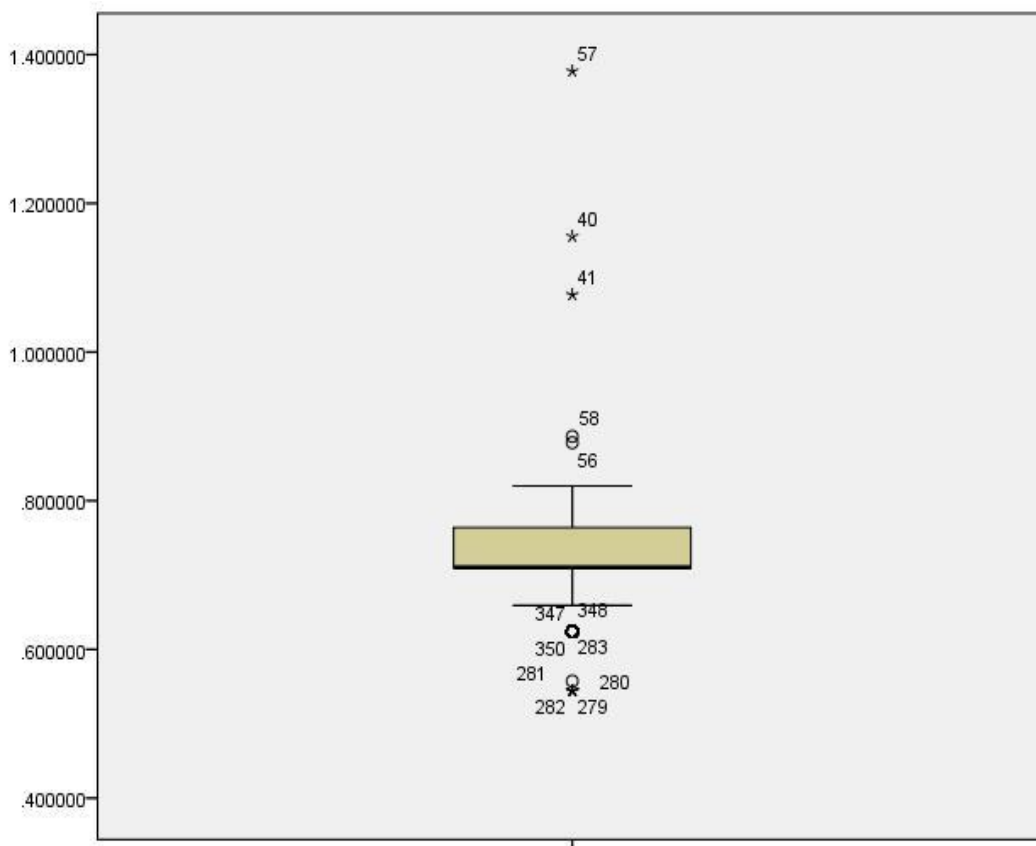


Σχήμα 4.7.6: Θηκόγραμμα παροχής για το υδρολογικό έτος 2017-2018

Η ίδια στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε και για το υδρολογικό έτος 2018-2019. Επομένως κατασκευάστηκε το αντίστοιχο θηκόγραμμα που παρουσιάζεται στο Σχ. 4.7.7. Από την επεξεργασία του θηκογράμματος για τις υπολογιζόμενες παροχές προκύπτει ως αποτέλεσμα ότι ελάχιστη τιμή ανέρχεται στο 0,54 ενώ η μέγιστη τιμή στο 1,37. Όπως προαναφέρθηκε, η μαύρη έντονη γραμμή στο θηκόγραμμα συμβολίζει την διάμεσο και συμπίπτει με την τιμή του δεύτερου τεταρτημορίου. Επομένως, η τιμή για το Q2 είναι 0,71. Παρόλα αυτά, όπως φαίνεται και στο σχήμα, η τιμή για το τεταρτημόριο Q1, που ορίζεται από την κάτω γραμμή του παραλληλόγραμμου, ταυτίζεται με την διάμεσο, άρα με την τιμή του Q2. Συνεπώς, θα ισχύει $Q1=Q2=0,71$. Όπως είναι γνωστό, η επάνω πλευρά του ορθογωνίου ισοδυναμεί με την τιμή του τεταρτημορίου Q3, οπότε το Q3 ισούται με 0,75.

Επιπροσθέτως, στο θηκόγραμμα για το υδρολογικό έτος 2018-2019, σημειώνονται ορισμένες υπολογιζόμενες παροχές με το σύμβολο (ο). Η σημείωση των παροχών με το εν λόγω σύμβολο προσδιορίζει τις τιμές ως πιθανά παράτυπα σημεία. Στην βιβλιογραφία αναφέρονται και ως ακραίες τιμές ή απομονωμένες τιμές. Ως

παράτυπα σημεία θεωρούνται οι τιμές των υπολογιζόμενων παροχών που έχουν πολύ μικρή ή πολύ μεγάλη σχέση με τις υπόλοιπες τιμές. Δηλαδή, δεν είναι αντιπροσωπευτικές και απέχουν αξιοσημείωτα από τις υπόλοιπες τιμές του δείγματος (Βουδούρης, 2022).

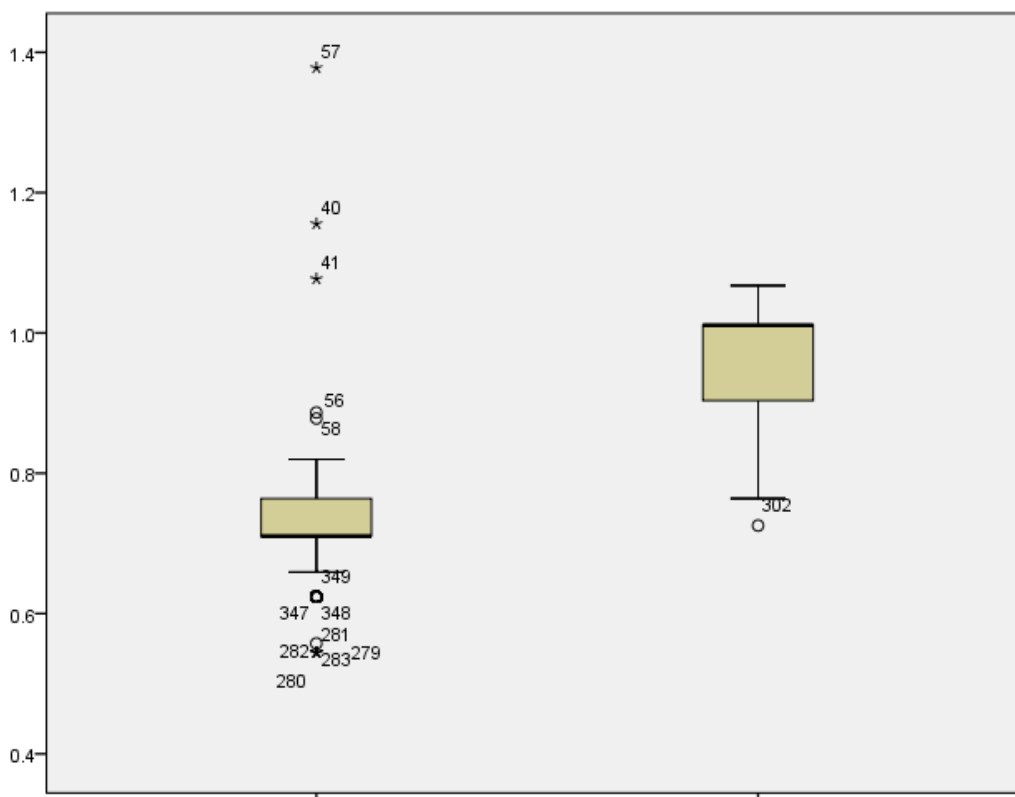


Σχήμα 4.7.7: Θηκόγραμμα παροχής για το υδρολογικό έτος 2018-2019

Εκτός από τα διαφορετικά θηκογράμματα για τα δυο υδρολογικά έτη, δημιουργήθηκε και το συγκριτικό θηκόγραμμα για αυτά τα έτη.

Συγκρίνοντας τα δύο θηκογράμματα, παρατηρούμε ότι και τα δύο εμφανίζουν πιθανά παράτυπα σημεία. Στο θηκόγραμμα για το υδρολογικό έτος 2018-2019, τα σημεία αυτά είναι περισσότερα σε σχέση με το άλλο. Επίσης, διακρίνεται εμφανώς ότι το θηκόγραμμα για το υδρολογικό έτος 2017-2018 είναι υψηλότερα από το άλλο θηκόγραμμα. Αυτό το γεγονός ερμηνεύεται με βάση τις υπολογιζόμενες τιμές των παροχών και αυτές με την σειρά τους, με βάση τους κλιματικούς παράγοντες.

Επομένως, ο λόγος της θέσης του θηκογράμματος(2017-2018) είναι οι υψηλότερες υπολογιζόμενες τιμές παροχών που προήλθαν από της μεγάλης έντασης και διάρκειας βροχοπτώσεις.



Σχήμα 4.7.8: Συγκριτικά θηκογράμματα της παροχής για τα υδρολογικά έτη 2017-2018 (δεξιά) και 2018-2019 (αριστερά).

4.8 Ενεργειακή Προσέγγιση

Το μικρό υδροηλεκτρικό έργο βρίσκεται στη Νάουσα του Νομού Ημαθίας. Όλα τα υδροηλεκτρικά έργα τα οποία εδράζονται στη Νάουσα, όπως και αυτό που μελετήσαμε, εκμεταλλεύονται τα νερά του ποταμού Αράπιτσα. Οι τέσσερις θέσεις που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις με τον μολίσκο είχαν υψόμετρο περίπου 400 μέτρα. Επομένως, ο υδροηλεκτρικός σταθμός του έργου είναι ΒΑ της τελευταίας θέσης που μετρήσαμε.

Ο σταθμός ανήκει στην εταιρεία ΦΑΝΠΑΡ Α.Β.Ε.Ε. και βρίσκεται στο Παλαιό Κλωστοϋφαντουργικό Εργοστάσιο στη Νάουσα. Η τρέχουσα κατάσταση του σταθμού

είναι παραγωγική και περιλαμβάνει υδροστρόβιλο παραγόμενης ισχύος 0,515 MW. Ο υδροστρόβιλος που περιλαμβάνει ο υδροηλεκτρικός σταθμός είναι οριζόντιου άξονα μικρής σχετικά ισχύος (0,5 MW). Επίσης, η παραγόμενη ισχύς ισούται με τη μέγιστη ισχύ που αποδίδει ο υδροστρόβιλος.

Η περίοδος λειτουργίας του σταθμού αντιστοιχεί με την παροχή του ποταμού που φτάνει στον υδροστρόβιλο. Αναλυτικότερα, για να λειτουργήσει ο σταθμός και να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει η παροχή του να είναι τουλάχιστον 0,5 m³/sec για να μπορέσει να περιστραφεί.

Στοιχεία για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για τον σταθμό αυτό δεν υπάρχουν γνωστά. Παρόλα αυτά, το εν λόγω μικρό υδροηλεκτρικό φέρει τον ίδιο υδροστρόβιλο με τον ΜΥΗΕ Παπαδιάς στην περιοχή της Φλώρινας. Για το λόγο αυτό, η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας για υδροστρόβιλο 0,5 MW είναι της τάξης των 2,5 GWh. Τα ποσά της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγονται από τον σταθμό, είναι γνωστό, ότι παρέχονται στην ΔΕΗ και τα διαχειρίζεται ανάλογα.

Το ποσό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας αλλάζει σε κάποιο βαθμό καθώς εξαρτάται από την παροχή του ποταμού, αλλά και από την πορεία του, καθώς μπορεί να διακλαδίζεται. Κατά την περίοδο 2017-2018, η μέση εκμεταλλεύσιμη παροχή, στη θέση Αυτογραφικό ΥΦΕΝ, ήταν 2,9 m³/sec, η οποία μέχρι να φτάσει στον υδροστρόβιλο για να περιστραφεί θα μειωθεί ελάχιστα. Κατά την χρονική περίοδο 2018-2019, η μέση εκμεταλλεύσιμη παροχή ήταν 1,56 m³/sec.

Γνωρίζοντας ότι κατά το έτος 2017-2018 η μέγιστη εκμεταλλεύσιμη παροχή ήταν 2,9 m³/sec (αντιστοιχεί στις 2,5 GWh παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας) και η ελάχιστη παροχή για να περιστραφεί ο υδροστρόβιλος είναι 0,5 m³/sec τότε η μείωση της παροχής θα είναι 17% και η αντίστοιχη παραγόμενη ενέργεια θα μειωθεί στις 0,61 GWh. Για το έτος 2018-2019, ισχύει ότι η μείωση στην παροχή θα είναι της τάξης του 32% και κατ'επέκταση η ενέργεια θα μειωθεί στις 1,7GWh.

Συνολικά, υπάρχουν στη Νάουσα κι άλλα μικρά υδροηλεκτρικά έργα σε στάδιο παραγωγής, αλλά και σε στάδιο λειτουργίας ακόμα. Όλα μαζί συμβάλλουν στην υδροηλεκτρική ενέργεια και κατ'επέκταση στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται από την πόλη της Νάουσας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα

➤ Υδατικό δυναμικό της περιοχής της Νάουσας:

Από την εκπόνηση της παρούσας προπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα όσον αφορά στην παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και των μικρών υδροηλεκτρικών έργων.

Η λεκάνη της Νάουσας αναπτύσσεται σε υψόμετρα από 250 m έως 2046 m με μέσο υψόμετρο τα 1035 m και μέση κλίση τις 13 μοίρες. Από γεωλογική άποψη, η περιοχή έρευνας καλύπτεται από το τεκτονικό κάλυμμα του Βερμίου, το οποίο αποτελείται κυρίως από ανθρακικά πετρώματα. Επίσης, η περιοχή καλύπτεται και από τον φλύσχη της Πελαγονικής ζώνης.

Κατά το υδρολογικό έτος 2017-2018, η παροχή του ποταμού κυμαίνονταν από 0.34 m³/sec έως 51.3 m³/sec, με την ελάχιστη τιμή να παρουσιάζεται τον μήνα Νοέμβριο και την μέγιστη τον μήνα Ιούνιο. Κατά το υδρολογικό έτος 2018-2019, η ελάχιστη τιμή που παρουσίασε ο ποταμός ήταν 0.4 m³/sec τον μήνα Δεκέμβριο, αντιθέτως η μέγιστη παροχή ήταν 9,6 m³/sec τον μήνα Μάιο.

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αξιοποιείται ο εν λόγω υδροηλεκτρικός σταθμός, αλλά συμβάλλουν και άλλοι που εδράζονται στη Νάουσα. Ο σταθμός εκμεταλλεύεται το σημαντικό υδατικό δυναμικό της Νάουσας, τον ποταμό Αράπιτσα, και παράγει ηλεκτρική ενέργεια με μέση τιμή τις 2,5 GWh.

Γενικότερα, ο ελληνικός χώρος διαθέτει ιδιαίτερο ανάγλυφο, ικανό να προκαλέσει διαφορές της υδροστατικής πίεσης, έτσι ώστε να αναπτυχθεί το σημαντικό υδροδυναμικό της Ελλάδας. Φυσικά αυτό, ακολουθείτε άμεσα από την υδροηλεκτρική ενέργεια, η οποία είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Έπειτα από την ανάπτυξη του υδροδυναμικού της χώρας, προκύπτει η εκμετάλλευσή του από τα υδροηλεκτρικά έργα. Τις τελευταίες δεκαετίες, η ανάπτυξη των μικρών υδροηλεκτρικών έργων είναι σημαντική στη χώρα και συμβάλλει στην αύξηση του ενεργειακού ισοζυγίου.

Επιπρόσθετα, παρέχουν ισχύ σε καταναλωτές απομακρυσμένων περιοχών και δύναται να βοηθήσουν τοπικές κοινωνίες με την άρδευση καλλιεργούμενων περιοχών

και την ύδρευση. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα συμβάλλουν στην οικονομική ανάπτυξη, την προστασία του περιβάλλοντος και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

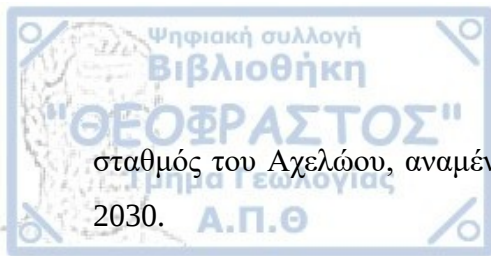
Επομένως, τα πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας και των ΜΥΗΕ είναι πολυάριθμα και υπερτερούν των ελάχιστων μειονεκτημάτων αυτών. Παρόλα αυτά, σημαντικό ζήτημα αποτελεί η κατηγορία των ΜΥΗΕ στην οποία δεν δημιουργείται ταμιευτήρας για την αποθήκευση νερού και κατ' επέκταση ενέργειας. Αποτέλεσμα αυτού, είναι η αδυναμία παροχής ενέργειας στο δίκτυο τη στιγμή που παράγεται, για οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας.

➤ **Μελλοντικοί Στόχοι:**

Χρόνο με το χρόνο, η εξέλιξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι σημαντική στις περισσότερες χώρες, όπως και την Ελλάδα παρά τις οικονομικές δυσχέρειες. Η τάση φαίνεται αυξητική και αναμένεται αύξηση έως και 20% έως το 2035. Ο λόγος είναι η αύξηση του πληθυσμού, της αστικοποίησης και της αλλαγής των καταναλωτικών προτύπων. Για αυτό, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει θέσει συγκεκριμένους ενεργειακούς και κλιματικούς στόχους για το 2030 και για το 2050.

Όσον αφορά τους στόχους για το 2030, αυτοί περιλαμβάνουν τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά το 40%, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 και την αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ στο 32% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας. Επίσης, περιέχει τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας κατά 32,5% και την προώθηση ηλεκτρικών διασυνδέσεων μεταξύ των χωρών της Ε.Ε. σε ποσοστό 15%. Σχετικά με τους στόχους για το 2050, αυτοί εμπλέκουν τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 80-95% συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990.

Μέχρι σήμερα αξιοποιείται το ένα τρίτο (1/3) περίπου του υδροδυναμικού της χώρας, μέσω μεγάλων και μικρών υδροηλεκτρικών έργων. Με βάση το Ινστιτούτο Ενέργειας Ευρώπης (IENE), προβλέπεται, για το επόμενο χρονικό διάστημα έως το 2030, επένδυση εκατομμυρίων χρημάτων, στην Ελλάδα, για την ανάπτυξη της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Σε εξέλιξη είναι δύο μικρά υδροηλεκτρικά έργα με συνολική ισχύ 15,8 MW, τα οποία αποτελούν μελλοντικά έργα της ΔΕΗ. Επιπρόσθετα, τα υδροηλεκτρικά φράγματα του Μετσοβίτικου, της Μεσοχώρας και ένας υδροηλεκτρικός



σταθμός του Αχελώου, αναμένεται να συμβάλλουν για την επίτευξη των στόχων για το 2030.



Ελληνική Βιβλιογραφία

Βουβαλίδης, Κ., 2011. Φυσική Γεωγραφία, Εκδόσεις Δίσιγμα, Θεσσαλονίκη

Βουδούρης, Κ., 2013. Τεχνική Υδρογεωλογία: Υπόγεια Νερά, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

Βουδούρης, Κ., 2017. Εκμετάλλευση και Διαχείριση Υπόγειου Νερού, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

Βουδούρης, Κ., 2016. Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος: Υπόγεια Νερά και Περιβάλλον, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

Βουδούρης, Κ., 2022. Διδακτικές σημειώσεις μαθήματος «Στατιστική Ανάλυση Δεδομένων στην Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία»

Μουντράκης, Δ., 2010. Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας, Εκδόσεις University studio press, Θεσσαλονίκη

Ανδρίτσος, Ν., 2008. Διδακτικές σημειώσεις μαθήματος «Ενέργεια και Περιβάλλον», Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

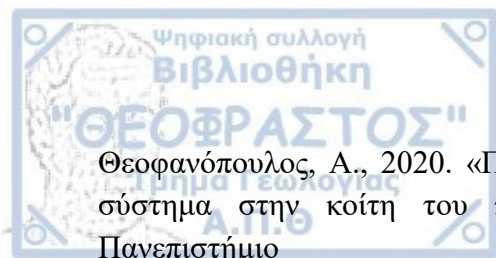
Κουτσογιάννης, Δ., 2007. Σημειώσεις μαθήματος «Διαχείριση Υδατικών Πόρων», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Διγκόγλου, Π., 2017. «Πολυκριτήρια ανάλυση για τις ανανεώσιμες κα μη πηγές στην ΕΕ». Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

Ντούρλιας, Ε., 2013. «Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τροφοδοσία φυσικού αερίου σε συστήματα κυψέλης καυσίμου-αεροστροβίλου Sofc-GT». Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Σάκκουλα, Β., 2014. «Πυρηνική Ενέργεια- Φίλος ή Εχθρός;». Μεταπτυχιακή Εργασία, Μετσόβιο Πολυτεχνείο Αθηνών

Καραβανάς, Α., 2020. «Αξιολόγηση υφιστάμενου Μικρού Υδροηλεκτρικού Σταθμού. Περίπτωση Μ.Υ.Η.Σ. Ασπροποτάμου του Δ. Αλμωπίας στο Ν. Πέλλας», Διπλωματική Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο



Θεοφανόπουλος, Α., 2020. «Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με μικρό υδροηλεκτρικό σύστημα στην κοίτη του ποταμού», Διπλωματική Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Σουβατζή, Χ., 2021. «Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και βιώσιμη ανάπτυξη στην Ελλάδα-Ανάλυση προβλέψεων», Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Ντάβαλης, Γ., 2016. «Κυματική Ενέργεια: Τεχνολογίες Εκμετάλλευσης και Ελληνικό Κυματικό Δυναμικό», Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Καββάλου, Μ., & Κοσμαδάκη, Ε., 2013. «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας-Σύγκριση Ελλάδας με χώρες του εξωτερικού», Πτυχιακή Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Γάττας, Κ., 2013. «Εξελίξεις και νέες προοπτικές μικρών υδροηλεκτρικών έργων(MΥHE)», Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Αργυράκης, Ι., 2008. «Οι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί της ΔΕΗ Α.Ε. και η συμβολή τους στην κάλυψη των Ενεργειακών Αναγκών της Χώρας», 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων, Νοέμβριος 2018,Λάρισα

Χαριζόπουλος, Ν., 2017. Σημειώσεις μαθήματος «Διαχείριση και προστασία των υδατικών πόρων», Πάτρα

Μουλατζίκου, Δ., 2017. «Αξιολόγηση του ΜΥΗΣ Σμοκόβου από κοινωνική και ιδιωτική σκοπιά», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Παπαδημητρίου, Β., 2020. «Υδρολογικά μοντέλα στείρευσης ροής ως εργαλεία πρόγνωσης της ενεργειακής παραγωγής σε μικρά υδροηλεκτρικά έργα», Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σιόντη, Α., 2018. «Η συμβολή της υδροηλεκτρικής και θαλάσσιας ενέργειας, στην παραγωγή ενέργειας στον Ελληνικό χώρο», Διπλωματική Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Καρσανίδης, Π., 2017. «Τυποποίηση διεργασιών ενός τεχνικού έργου προστασία Υδροηλεκτρικού Σταθμού», Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Δημολίκα, Π., 2018. «Μελέτη υδροηλεκτρικής εγκατάστασης μικρής ισχύος με ΥΣ τύπου Pelton», Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής



Μέγα, Μ., 2009. «Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα στις ορεινές περιοχές και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Καραθανάση, Χ., 2017. «Εξέλιξη ενεργειακών μεγεθών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα-Προβλέψεις», Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Kimambo, C., Nielsen, T., & Kaunda, C., 2012. «Hydropower in the Context of Sustainable Energy Supply: A Review of Technologies and Challenges», doi:10.5402/2021/730631

Διαδικτυακές Πηγές

United States Geological Survey από <https://www.usgs.gov/>

Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.). Πληθυσμιακά δεδομένα από <https://www.statistics.gr/>

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.). Κλιματικά δεδομένα από <https://meteosearch.meteo.gr/>

Copernicus Land Monitoring Service. Corine Land Cover 2012 από <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012>

Energy Efficiency & Renewable Energy από <https://www.energy.gov/eere/office-energy-efficiency-renewable-energy>

Our World In Data από <https://ourworldindata.org/>

ΔΕΗ Ανανεώσιμες από <https://ppcr.gr/el/>

Διαχειριστής ΑΠΕ & Εγγυήσεων Προέλευσης (ΔΑΠΕΕΠ) από <https://www.dapeep.gr/>

Ελληνικός Σύνδεσμος Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων (ΕΣΜΥΕ) από <https://www.microhydropower.gr/>

Υδατικά Διαμερίσματα από <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg763e/ch9.htm>

Παράρτημα

Πίνακας Π.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά για το υδρολογικό έτος 2017-2018

	Statistic	Std. Error
Mean	2.87256537	.056712406
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	2.76139573
	Upper Bound	2.98373500
5% Trimmed Mean	2.02079810	
Median	1.01106125	
Variance	28.175	
Std. Deviation	5.307990387	
Minimum	.343650	
Maximum	48.537093	
Range	48.193442	
Interquartile Range	2.001816	
Skewness	5.535	.026
Kurtosis	37.990	.052

Πίνακας Π.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά για το υδρολογικό έτος 2018-2019

	Statistic	Std. Error
Mean	.71772691	.004209382
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	.70944796
	Upper Bound	.72600585
5% Trimmed Mean	.71527118	
Median	.71045862	
Variance	.006	
Std. Deviation	.078750328	
Minimum	.544526	
Maximum	1.377850	
Range	.833324	
Interquartile Range	.053483	
Skewness	2.292	.130
Kurtosis	16.620	.260

Πίνακας Π.3: Μετρήσεις μυλίσκου, Νοέμβριος 2018

Απόσταση από την αρχή (m)	Ολικό βάθος (m)	Βάθος παρατήρησης 70% (m)	A' Μέτρηση	B' Μέτρηση	Μέσος όρος	Στροφές /sec	Ταχύτητα σημείου (m/sec)	Ταχύτητα τμήματος (m/sec)	Εμβαδό υγρής διατομής (m ²)	Παροχή τμήματος (lt/sec)
0	0.33	0.23	0	0	0	0	0.023	0.262	0.17	44.53
0.5	0.35	0.25	119	119	119	1.98	0.50	0.717	0.18	129.14
1	0.37	0.26	225	223	224	3.73	0.93	1.061	0.18	190.95
1.5	0.35	0.25	286	285	285.5	4.76	1.19	1.252	0.1875	234.68
2	0.40	0.28	315	318	316.5	5.28	1.32	1.338	0.1975	264.30
2.5	0.39	0.27	330	325	327.5	5.46	1.36	1.378	0.20	279.14
3	0.42	0.29	337	335	336	5.60	1.40	1.325	0.1925	255.03
3.5	0.35	0.25	299	304	301.5	5.03	1.25	1.292	0.1875	242.22
4	0.40	0.28	322	318	320	5.33	1.33	1.111	0.185	205.60
4.5	0.34	0.24	212	216	214	3.57	0.89	1.074	0.17	182.62
5	0.34	0.24	299	305	302	5.03	1.26	1.288	0.1775	228.57
5.5	0.37	0.26	316	319	317.5	5.29	1.32	1.243	0.1975	245.57
6	0.42	0.29	282	279	280.5	4.68	1.17	0.944	0.175	165.25
6.5	0.28	0.20	171	174	172.5	2.88	0.72	0.479	0.1425	68.29
7	0.29	0.20	54	56	55	0.92	0.24	0.130	0.145	18.84
8	0.00	0.00	0	0	0	0.00	0.02	0.012		
									ΣΥΝΟΛΟ	2754.7

Πίνακας Π.4: Μετρήσεις μυλίσκου, Ιούνιος 2020

Απόσταση από την αρχή (m)	Ολικό βάθος (m)	Βάθος παρατήρησης 70% (m)	A' Μέτρηση	B' Μέτρηση	Μέσος όρος	Στροφές /sec	Ταχύτητα σημείου (m/sec)	Ταχύτητα τμήματος (m/sec)	Εμβαδό υγρής διατομής (m ²)	Παροχή τμήματος (lt/sec)
0	0.21	0.15	0	0	0	0	0.023	0.127	0.18	22.83
0.75	0.27	0.19	54	53	53.5	0.89	0.23	0.417	0.1275	53.21
1.25	0.24	0.17	145	143	144	2.40	0.60	0.643	0.1175	75.57
1.75	0.23	0.16	163	163	163	2.72	0.68	0.714	0.1175	83.94
2.25	0.24	0.17	177	180	178.5	2.98	0.75	0.803	0.1275	102.39
2.75	0.27	0.19	205	207	206	3.43	0.86	0.850	0.14	116.94
3.25	0.28	0.20	200	203	201.5	3.36	0.84	0.673	0.135	90.87
3.75	0.26	0.18	120	120	120	2.00	0.51	0.561	0.13	72.89
4.25	0.26	0.18	145	149	147	2.45	0.62	0.487	0.1025	49.97
4.75	0.15	0.11	84	85	84.5	1.41	0.36	0.366	0.19	69.50
5.25	0.09	0.06	126	122	124	2.07	0.02	0.429	0.185	79.37
5.75	0.23	0.16	86	90	88	1.47	0.37	0.604	0.1275	77.01

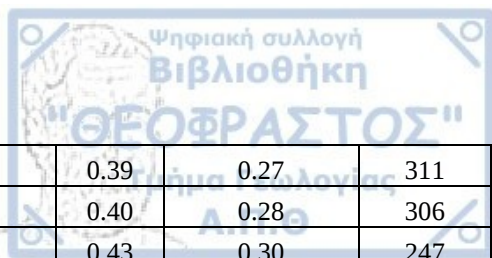
6.25	0.28	0.20	199	201	200	3.33	0.84	0.622	0.1225	76.14
6.75	0.21	0.15	97	96	96.5	1.61	0.41	0.328	0.0555	18.18
7.05	0.16	0.11	58	57	57.5	0.96	0.25	0.135	0.008	1.08
7.15	0.00	0.00	0	0	0	0.00	0.02		0	0.00
									ΣΥΝΟΛΟ	989.9

Πίνακας Π.5: Μετρήσεις μολίσκου, Μάιος 2021

Απόσταση από την αρχή (m)	Ολικό βάθος (m)	Βάθος παρατήρησης 70% (m)	A' Μέτρηση	B' Μέτρηση	Μέσος όρος	Στροφές /sec	Ταχύτητα σημείου (m/sec)	Ταχύτητα τμήματος (m/sec)	Εμβαδό υγρής διατομής (m ²)	Παροχή τμήματος (lt/sec)
0	0.21	0.15	0	0	0	0	0.023	0.110	0.1225	13.52
0.5	0.28	0.20	45	46	45.5	0.76	0.20	0.300	0.1375	41.22
1	0.27	0.19	94	96	95	1.58	0.40	0.500	0.1225	61.23
1.5	0.22	0.15	144	141	142.5	2.38	0.60	0.593	0.115	68.16
2	0.24	0.17	141	139	140	2.33	0.59	0.619	0.1175	72.79
2.5	0.23	0.16	156	155	155.5	2.59	0.65	0.651	0.11	73.29
3	0.22	0.15	152	159	155.5	2.59	0.65	0.440	0.1075	47.30
3.5	0.21	0.15	54	52	53	0.88	0.23	0.287	0.1225	35.21
4	0.28	0.20	80	83	81.5	1.36	0.35	0.300	0.11	32.98
4.5	0.16	0.11	58	60	59	0.98	0.25	0.138	0.055	7.60
5	0.06	0.04	0	0	0	0.00	0.02	0.258	0.046	11.86
5.4	0.17	0.12	116	118	117	1.95	0.49	0.636	0.132	83.95
6	0.27	0.19	186	187	186.5	3.11	0.78	0.580	0.1075	62.38
6.5	0.16	0.11	91	89	90	1.50	0.38	0.299	0.0825	24.65
7	0.17	0.12	52	48	50	0.83	0.22	0.120	0.063	7.54
7.35	0.19	0.13	0	0	0	0.00	0.02	0.012		
									ΣΥΝΟΛΟ	643.7

Πίνακας Π.6: Μετρήσεις μολίσκου, Μάρτιος, 2022

Απόσταση από την αρχή (m)	Ολικό βάθος (m)	Βάθος παρατήρησης 70% (m)	A' Μέτρηση	B' Μέτρηση	Μέσος όρος	Στροφές /sec	Ταχύτητα σημείου (m/sec)	Ταχύτητα α τμήματος (m/sec)	Εμβαδό υγρής διατομής (m ²)	Παροχή τμήματος (lt/sec)
0	0.38	0.27	0	0	0	0	0.023	0.239	0.2925	69.98
0.75	0.40	0.28	107	109	108	1.80	0.46	0.464	0.09875	45.80
1	0.39	0.27	110	114	112	1.87	0.47	0.674	0.185	124.71
1.5	0.35	0.25	209	211	210	3.50	0.88	1.040	0.19	197.64
2	0.41	0.29	288	291	289.5	4.83	1.20	1.227	0.205	251.51
2.5	0.41	0.29	300	301	300.5	5.01	1.25	1.271	0.20	254.24



3	0.39	0.27	311	311	311	5.18	1.29	1.282	0.1975	253.10
3.5	0.40	0.28	306	305	305.5	5.09	1.27	1.146	0.2075	237.89
4	0.43	0.30	247	244	245.5	4.09	1.02	0.915	0.185	169.36
4.5	0.31	0.22	196	191	193.5	3.23	0.81	0.976	0.14	136.68
5	0.25	0.18	276	274	275	4.58	1.14	1.109	0.1475	163.62
5.5	0.34	0.24	260	256	258	4.30	1.07	1.028	0.19	195.29
6	0.42	0.29	237	234	235.5	3.93	0.98	0.812	0.185	150.28
6.5	0.32	0.22	151	156	153.5	2.56	0.64	0.399	0.1575	62.81
7	0.31	0.22	35	35	35	0.58	0.15	0.089	0.2015	17.87
8.3	0.00	0.00	0	0	0	0.00	0.023			
									ΣΥΝΟΛΟ	2330.8