



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ

Διπλωματική Εργασία:

# Χάραξη Οδηγού Καμπύλης και Λειτουργία ΥΗΕ Ιλαρίωνα (ΔΕΗ)

---

Όνομα Τελεióφοιτου: Σπανομανώλης Ιάσων

Επιβλέποντες: κ. Δημήτριος Παπαντώνης,

κ. Ιωάννης Αναγνωστόπουλος

Αθήνα, 1/2014



## i. Πρόλογος

Η βελτιστοποίηση της διαχείρισης ενός υδάτινου πόρου είναι μια έννοια αν όχι πολύπλοκη, τότε σίγουρα πολύπλευρη. Για να επιτευχθεί πρέπει να ληφθούν πολλοί παράγοντες υπόψη, οι οποίοι σε πολλές περιπτώσεις έχουν διαφορετικά και αντικρουόμενα 'συμφέροντα'.

Στις περισσότερες περιπτώσεις αυτή η βελτιστοποίηση δεν αφορά μόνο την μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας και του συντελεστή ενεργειακής αξιοποίησης, αλλά έχει άλλους σκοπούς όπως η πρόνοηση κατακράτησης ενέργειας για πιο απαιτητικές περιόδους, ή η λειτουργία σε περιόδους μικρότερης διαθέσιμης ενέργειας (ήτοι περιόδους ξηρασίας). Από εκεί και πέρα ο επιστήμων θα πρέπει να σκεφτεί και άλλες μεταβλητές όπως οι εποχιακές ανάγκες του δικτύου, οι κατασκευαστικοί περιορισμοί του έργου, η οικολογική συμπεριφορά του έργου, οι ανάγκες άρδευσης/ύδρευσης, αλλά και οι ανάγκες παροχών του γενικότερου συστήματος στο οποίο ανήκει ο σταθμός.

Η βασικότερη αιτία της πολυπλοκότητας της βελτιστοποίησης είναι απόρροια της στοχαστικής και αβέβαιης κατανομής των εισερχόμενων δεδομένων, δηλαδή των παροχών του ποταμού. Το μοντέλο λειτουργίας θα πρέπει να εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία του έργου και την εξασφάλιση των προαναφερόμενων προϋποθέσεων σε πλυθώρα συνθηκών, από περιπτώσεις πλυμμηρικών φαινομένων έως περιόδους εκτενόμενης ξηρασίας, και κάθε ενδιάμεσης κατάστασης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την εύρεση της οδηγού (ιδανικής) καμπύλης στάθμης και του μοντέλου λειτουργίας του υπο κατασκευή ΥΗΕ Ιλαρίωνα (ΔΕΗ-157,3MW), του δεύτερου, κατά σειρά παροχής, έργου του υδροηλεκτρικού συστήματος του ποταμού Αλιάκμονα, στην ΒΔ Ελλάδα.

Η δομή και το ύφος της διπλωματικής αναπτύχθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε όχι μόνο να παρουσιάσει τα αποτελέσματα της επιτυχούς μεθοδολογίας για το συγκεκριμένο έργο, αλλά και να είναι διαθέσιμη για χρησιμοποίηση σε οποιοδήποτε άλλο παρόμοιο έργο, αλλά και σαν βάση για ανάπτυξη πιο πολύπλοκων μεθοδολογιών και συστημάτων.

Για την εκτέλεση των υπολογισμών χρησιμοποιήθηκαν όροι και διαδικασίες του γενικότερου κλάδου μελέτης της Υδροηλεκτρικής Ενέργειας και των Υδροδυναμικών Συστημάτων και Μηχανισμών. Η προγραμματιστική πλευρά της μελέτης δημιουργήθηκε και εκτελέστηκε σε γλώσσα FORTRAN 77, με αντίστοιχα προγράμματα γραφής και απεικόνισης.

### **Abstract**

The optimization of a hydro source is a complex subject. In order for the optimization to be achieved, a lot of derivatives have to be taken into account, with many having conflicting aspects.

In most cases this optimization is not involved just with the maximization of the energy produced and the energy performance coefficient, but has many other aspects, such as the withholding of volumes of water for less affluent periods, the technical boundaries of the development, the seasonal needs of the overall network, the ecological behavior of the plant and more.

The main reason that leads to the said complexity is the stochastic nature of the input data, which is the incoming flow of the river. The operating model should guarantee safe and acceptable operation in a variety of circumstances, from severe draughts to tidal situations.

This diploma thesis is involved with the creation of the Target Head Curve and the Operating Model for the Hilarion Hydroelectric Plant built by the Public Power Corporation of Greece.

## ii) Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η Χάραξη της Οδηγού Καμπύλης Στάθμης και η πρόταση Μοντέλου Λειτουργίας του υπό κατασκευή Υδροηλεκτρικού Έργου Ιλαρίωνα από την ΔΕΗ στην περιοχή του ποταμού Αλιάκμονα.

Η χάραξη της οδηγού καμπύλης αφορά την δημιουργία ενός γραφήματος της ιδανικής εξέλιξης της στάθμης του φράγματος(υδραυλικής κεφαλής) κατα την διάρκεια του έτους. Το εύρος και ο χαρακτήρας του γραφήματος αυτού επηρεάζεται από τα στοιχεία των παροχών του ποταμού, και έχει να κάνει με την αποθήκευση περίσσειας ποσότητας νερού κατά τους χειμερινούς μήνες (αύξηση της υδραυλικής κεφαλής), για την χρησιμοποίησής τους για παραγωγή ενέργειας κατά τους πιο ξηρούς καλοκαιρινούς μήνες.

Ένα άλλο στοιχείο που επηρεάζει το γράφημα της οδηγού καμπύλης είναι τα χαρακτηριστικά του φράγματος, και οι αρχές οι οποίες θα πρέπει να ακολουθηθούν. Συγκεκριμένα, στο έργο του Ιλαρίωνα, η υδραυλική κεφαλή δεν θα πρέπει ποτέ να πέφτει κάτω από 70m, να ξεπερνάει τα 100m, και θα πρέπει φυσικά να είναι επαναληπτική, δηλαδή να τελειώνει το έτος εκεί που ξεκίνησε.

Έπειτα, πέρα από την χάραξη της οδηγού καμπύλης στάθμης, στην παρούσα Διπλωματική προτείνεται δυναμικό μοντέλο λειτουργίας το οποίο εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία του έργου για τις διαφορετικές συνθήκες που μπορούν να συναντηθούν.

Βασική αρχή-οδηγός για την δημιουργία του μοντέλου λειτουργίας είναι η διατήρηση της πραγματικής πλέον υδραυλικής κεφαλής όσο το δυνατόν πιο κοντά στη μονάδα της ιδανικής τιμής της, η οποία βρίσκεται από τα στοιχεία της οδηγού καμπύλης για το συγκεκριμένο σημείο του έτους.

Οπότε, για τα υπάρχοντα δεδομένα του έργου, το μοντέλο λειτουργίας που αναπτύχθηκε καθορίζει την διάρκεια λειτουργίας των στροβίλων για τις διαφορετικές συνθήκες, ώστε να διατηρείται η υδραυλική κεφαλή όσο το δυνατόν πιο κοντά στην ιδανική.

Στην εργασία αναπτύχθηκε με επιτυχία η οδηγός καμπύλη του ΥΗΕ Ιλαρίωνα η οποία θα χρησιμοποιηθεί κατά την λειτουργία του έργου από την ΔΕΗ, και αναπτύχθηκε μοντέλο λειτουργίας το οποίο δίνει ομαλή και ασφαλή λειτουργία για όλες το εύρος συνθηκών, από πολύ υγρά έως πολύ ξηρά έτη.

## Περιεχόμενα

i.	Περίληψη .....	3
1.	Γενικά-Εισαγωγή.....	10
1.1	Το ενεργειακό Πρόβλημα .....	10
1.2	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....	17
1.3	ΑΠΕ-Ελλάδα .....	26
2.	Υδροηλεκτρική Ενέργεια .....	30
2.1	Γενικά/Ορισμοί .....	30
2.2	Υδροηλεκτρικό Συγκρότημα Αλιάκμονα.....	33
2.3	Υδροηλεκτρικό Έργο Ιλαρίωνα.....	35
2.4	Ερευνητικό Κενό.....	37
3.	Δεδομένα έργου (ΔΕΗ) .....	38
3.1	Ιστορικό Παροχών.....	38
3.2	Ογκομέτρηση Ταμιευτήρα .....	39
3.3	Χαρακτηριστικές Στροβίλων .....	41
4	Χάραξη οδηγού καμπύλης στάθμης.....	43
4.1	Οδηγός Καμπύλη- Γενικά .....	43
4.2	Μέθοδος Χάραξης.....	45
5	Μοντέλο Λειτουργίας.....	54
5.1	Εισαγωγή .....	54
5.2	Διαδικασία .....	56
6	Συμπεράσματα .....	70
7	Βιβλιογραφία.....	74
8	Παραρτήματα.....	75

## Κατάλογος Σχημάτων / Πινάκων

Σχήμα 1: Εξέλιξη Παγκόσμιου Πλυθησμού.....	11
Σχήμα 2: Εξέλιξη Ενεργειακής Κατανάλωσης ανά κεφαλή .....	12
Σχήμα 3: Παγκόσμιες Καταναλώσεις Ενέργειας (5).....	13
Σχήμα 4: Παγκόσμια κατανομή παραγωγής ενέργειας ανά πόρο.....	14
Σχήμα 5: Παγκόσμιες εκπομπές CO2 .....	15
Σχήμα 6: ΑΠΕ: Παγκόσμια Παραγωγή Ενέργειας (6) .....	18
Σχήμα 7: Παγκόσμια Αιολική Ενέργεια (7).....	20
Σχήμα 8: Παγκόσμια Παραγόμενη Υδροηλεκτρική Ενέργεια .....	21
Σχήμα 9: Παγκόσμια Παραγόμενη Ηλιακή Ενέργεια.....	22
Σχήμα 10: Παγκόσμια Παραγόμενη Γεωθερμική Ενέργεια .....	24
Σχήμα 11: Παγκόσμια Παραγόμενη Ενέργεια από Βιομάζα .....	25
Σχήμα 12: Ελλάδα: Κατανομή Πόρων Παραγωγής Ενέργειας.....	28
Σχήμα 13: Τυπική Υδροηλεκτρική Διάταξη .....	31
Σχήμα 14: Τυπική τουρμπίνα Francis.....	33
Σχήμα 15: ΔΕΗ- Έργα Αλιάκμονα .....	35
Σχήμα 16: Φωτογραφία από το υπο κατασκευή έργο του Ιλαρίωνα .....	36
Πίνακας 1: Παροχές Ιλαρίωνα (m <sup>3</sup> /s) .....	38
Πίνακας 2: Ογκομέτρηση Ταμιευτήρα.....	39
Σχήμα 17: Συσχέτιση Ογκού Κεφαλής.....	41
Σχήμα 18: Χαρακτηριστικές Στροβίλων (8).....	42
Σχήμα 19: Μέση Διακύμανση Παροχών Ιλαρίωνα .....	44
Σχήμα 20: Μέση διακύμανση παροχών και ολική μέση παροχή .....	46
Σχήμα 21: Διόρθωση Κατανάλωσης.....	50
Σχήμα 22: Οδηγός Καμπύλης Στάθμης .....	52
Σχήμα 23: Σύγκριση Παροχών .....	55
Σχήμα 24: Χαρακτηριστικές Στροβίλων .....	57
Σχήμα 25: Ωρες Λειτουργίας Στροβίλων (μέσο έτος).....	59
Σχήμα 26: Παραγωγή Στροβίλων (μέσο έτος) .....	60



Σχήμα 27: Παροχές Υγρού έτους .....	61
Σχήμα 28: Ωρες Λειτουργίας ανα Στρόβιλο(υγρό έτος) .....	62
Σχήμα 29: Παραγωγή Ενέργειας (υγρό έτος) .....	63
Σχήμα 30: Τρεχούμενο Υψος Στάθμης(υγρό έτος) .....	64
Σχήμα 31: Παροχές ξηρού έτους .....	65
Σχήμα 32: Ωρες Λειτουργίας ανα Στρόβιλο (ξηρό έτος).....	66
Σχήμα 33: Παραγωγή Ενέργειας (ξηρό έτος).....	67
Σχήμα 34: Τρεχούμενο Υψος Στάθμης (ξηρό έτος) .....	68
Σχήμα 35: Οδηγός Καμπύλη Στάθμης.....	71

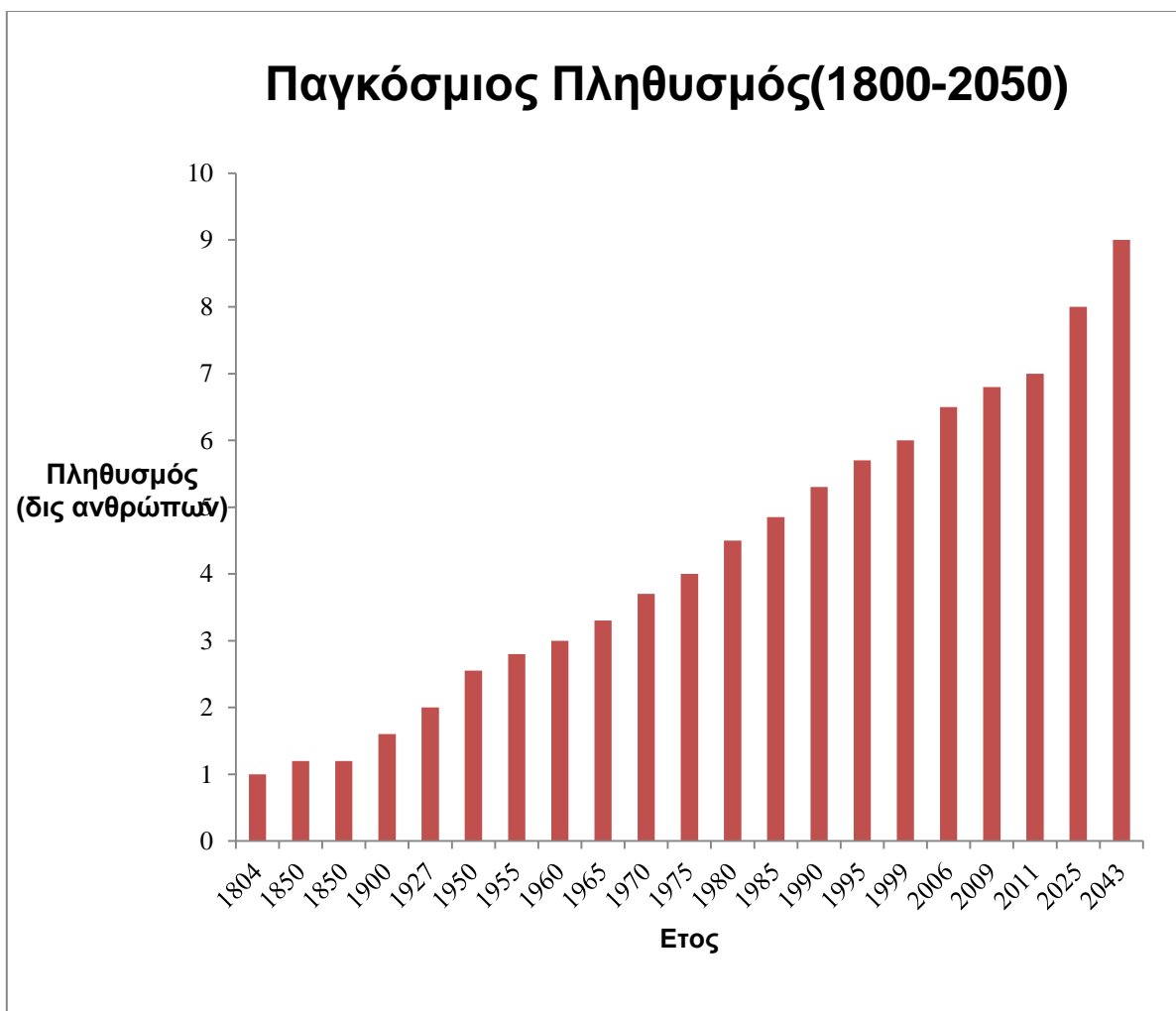
## 1. Γενικά-Εισαγωγή

### 1.1 Το ενεργειακό Πρόβλημα

Η ενέργεια είναι θεμελιώδης έννοια για τον άνθρωπο και το σύμπαν γενικότερα, έννοια αναγκαία για την ύπαρξη ζωής. Η πορεία όμως του ανθρώπου προς την συνεχή τεχνολογική εξέλιξη με σκοπό την ολοένα και αυξημένη ποιότητα ζωής, έχει ως άμεση συνέπεια την αντίστοιχη εκθετική αύξηση στις ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας. Οι ανάγκες σε ενέργεια του ανθρώπου στον σύγχρονο δυτικό κόσμο κατά κεφαλήν, σε σύγκριση με τον αντίστοιχο π.χ. προ βιομηχανικής επανάστασης είναι πλέον μη συγκρίσιμες. Παρατίθενται μερικά χαρακτηριστικά δεδομένα που μας βοηθούν να κατανοήσουμε τα αίτια πίσω από αυτήν την μεταβολή.

- Παγκόσμια Πληθυσμιακή Αύξηση

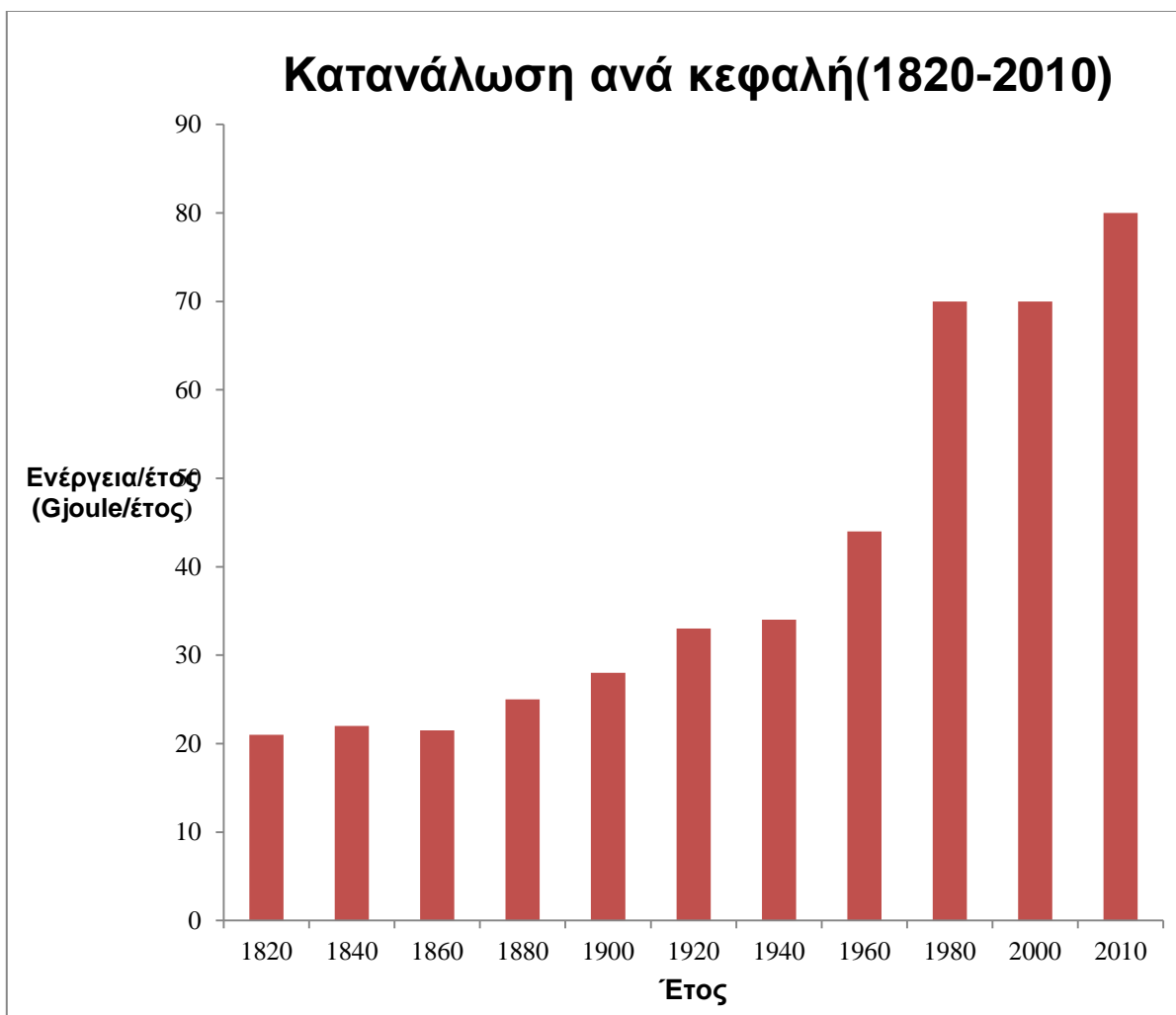
Οι ρυθμοί αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού εκτινάχθηκαν τις τελευταίες 2 εκατονταετίες. Για να φτάσει η ανθρωπότητα το πρώτο της δισεκατομμύριο ανθρώπων(1800) χρειάστηκαν 4 εκατομμύρια χρόνια. Για το δεύτερο 130 χρόνια, για το τρίτο 30 χρόνια, για το τέταρτο 15, και για το πέμπτο 11 χρόνια. Το 2013 ο παγκόσμιος πληθυσμός υπολογίζεται σε πάνω από 7 δισεκατομμύρια ανθρώπους.



(1)Σχήμα 1: Εξέλιξη Παγκόσμιου Πληθυσμού

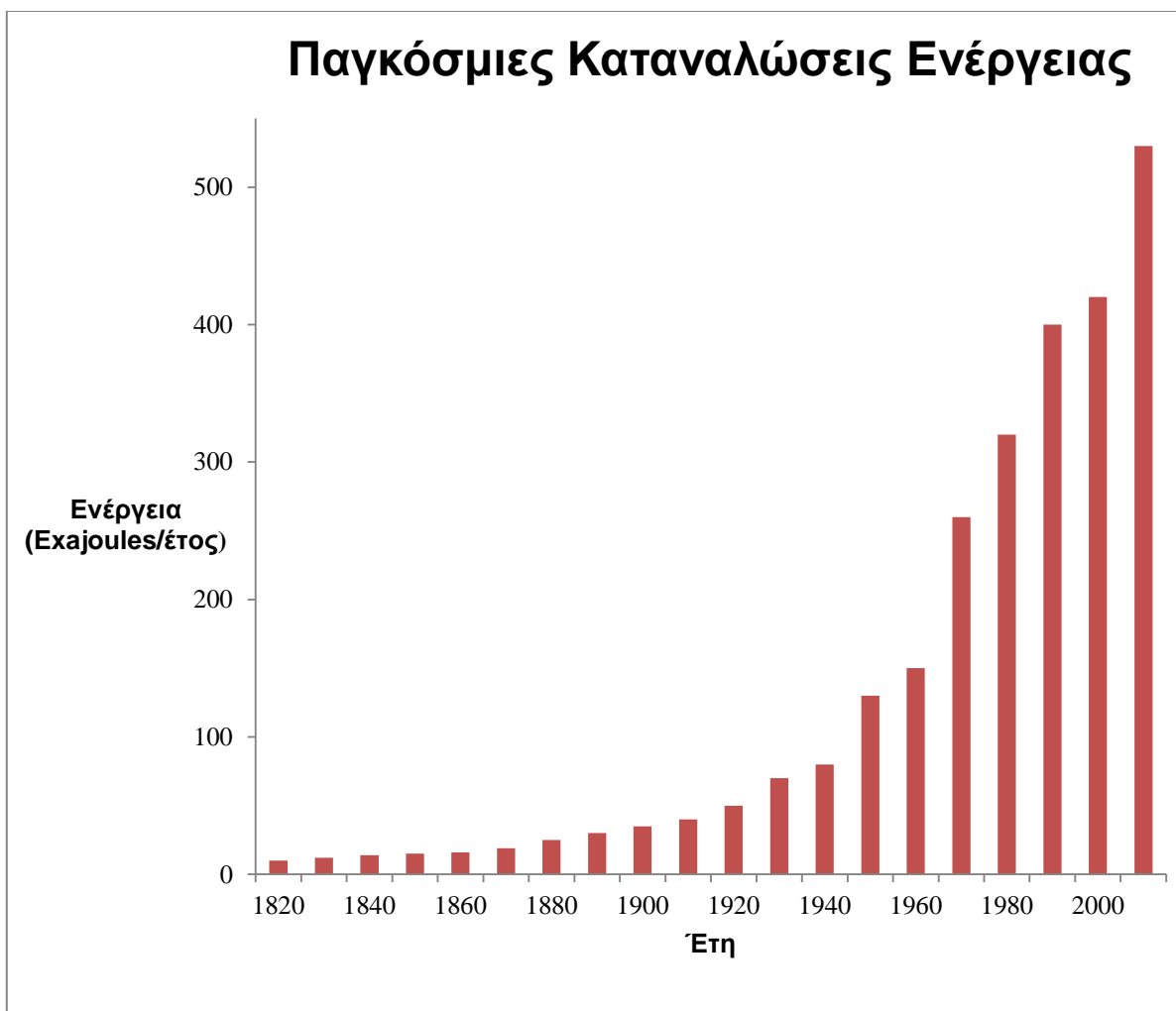
- Αύξηση της κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας

Όπως είναι λογικό, οι τεχνολογικές εξελίξεις, οι οποίες έχουν ως σκοπό την βελτίωση του βιωτικού επιπέδου απαιτούν ενέργεια για να λειτουργήσουν, ενέργεια που ο άνθρωπος δεν χρησιμοποιούσε παλαιότερα. Υπολογίζεται ότι ο κάθε άνθρωπος το 1800 κατανάλωνε ποσότητα ενέργειας ίση με **10-15 GJoule/έτος**(2), ενώ ο αριθμός αυτός στον άνθρωπο του 21<sup>ου</sup> αιώνα έχει εκτιναχθεί σε **76 GJoule/ετός**. (2; 3)



(2)Σχήμα 2:Εξέλιξη Ενεργειακής Κατανάλωσης ανά κεφαλή

Αυτοί οι 2 βασικοί παράγοντες έχουν ως αποτέλεσμα την εντυπωσιακή αύξηση των παγκόσμιων αναγκών σε ενέργεια. Αρκεί να σκεφτούμε ότι, *μόνο* από το 1980 έως σήμερα, οι ενεργειακές καταναλώσεις της ανθρωπότητας έχουν σχεδόν **διπλασιαστεί**. Αυτό το γεγονός, όπως είναι λογικό έχει τοποθετήσει τεράστιες πιέσεις στον κλάδο της παραγωγής ενέργειας, και έχει δημιουργήσει αυτό που σήμερα αποκαλούμε το **παγκόσμιο ενεργειακό ζήτημα**.



(4) Σχήμα 3: Παγκόσμιες Καταναλώσεις Ενέργειας

Το σύγχρονο παγκόσμιο ενεργειακό ζήτημα αφορά την ανάγκη εύρεσης νέων, καλύτερων στην γενική σημασία της λέξης, μεθόδων και πηγών παραγωγής, καθώς οι τωρινοί πολύ απλά δεν είναι βιώσιμοι, στην μορφή που χρησιμοποιούνται σήμερα.

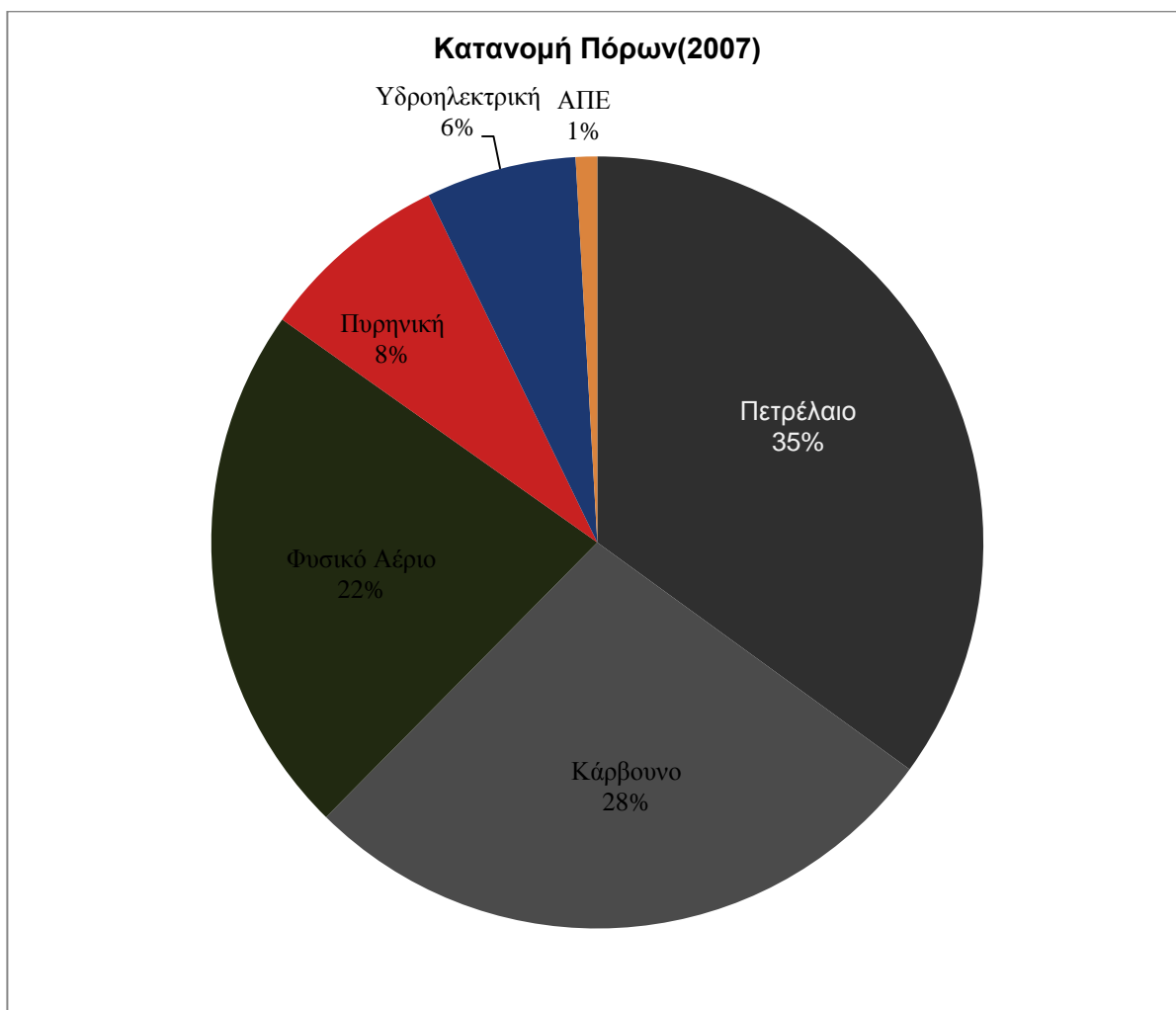
Γιατί όμως η κατάσταση είναι μη βιώσιμη; Αφού είναι γεγονός ότι **παρόλη την αύξηση** των αναγκών, συνεχίζουμε να **παράγουμε την ενέργεια που χρειάζεται**. Οι 2 βασικοί παράγοντες που οδηγούν την τωρινή πορεία σε προβλεπόμενο αδιέξοδο είναι οι εξής:

- Μείωση αποθεμάτων μη ανανεώσιμων πόρων

Η παγκόσμια βιομηχανία παραγωγής ενέργειας βασίζεται αυτή την στιγμή σε πόρους που, αδιαμφισβήτητα, έχουν ημερομηνία εξάντλησης. Οι πόροι αυτοί δημιουργήθηκαν από φυσικές διεργασίες κατά την

περίοδο εκατομμυρίων ετών στον πλανήτη μας, οπότε οι **ρυθμοί παραγωγής** τους είναι πρακτικά αμελητέοι σε σχέση με τους **ρυθμούς κατανάλωσής** τους.

Για να κατανοηθεί το μέγεθος εξάρτησης στους συμβατικούς μη ανανεώσιμους πόρους παραγωγής, αρκεί να δούμε ότι εν έτη 2007, το 86% της παραγόμενης παγκόσμιας ενέργειας προήλθε από ορυκτά καύσιμα.

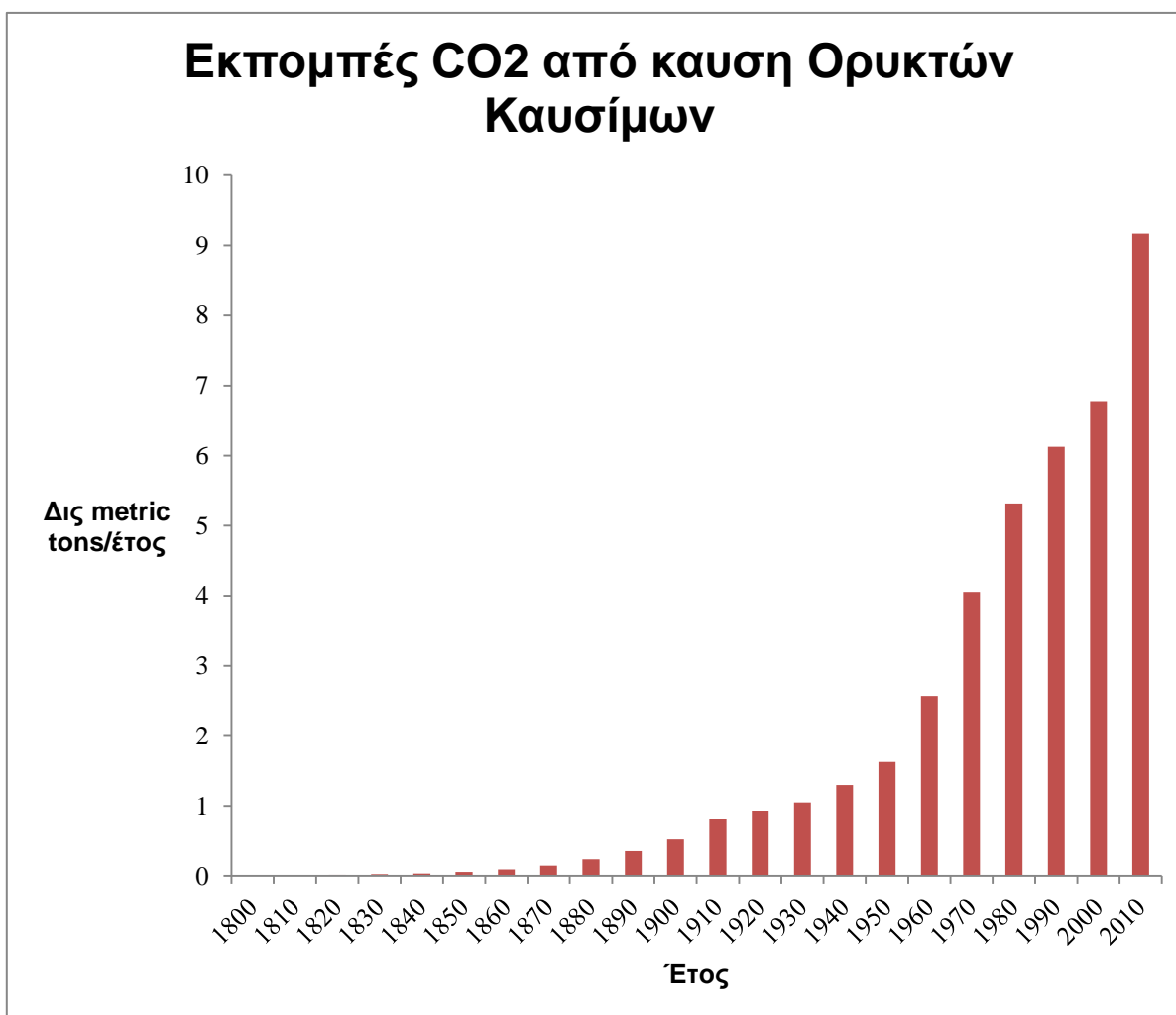


(5)Σχήμα 4: Παγκόσμια κατανομή παραγωγής ενέργειας ανά πόρο

- Περιβαλλοντικά Προβλήματα

Οι τωρινοί μέθοδοι παραγωγής, ακόμα και αν κάποιος θεωρήσει ότι τα αποθέματα που έχει αυτή την στιγμή ο πλανήτης είναι αρκετά, προκαλούν αρκετές δυσμενείς διαταραχές στην γήινη ατμόσφαιρα και το φυσικό περιβάλλον στο οποίο ζούμε. Στα περιβαλλοντικά προβλήματα συγκαταλέγονται η περιβαλλοντική ρύπανση, η κλιματική αλλαγή, η τρύπα του όζοντος, η αποδάσωση, η ερημοποίηση, η εξαφάνιση βιολογικών ειδών, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η όξινη βροχή κλπ.

Η κύρια επιβλαβής επίδραση στο περιβάλλον της χρήσης των ορυκτών καυσίμων είναι η αύξηση του **διοξειδίου του άνθρακα** στην ατμόσφαιρά που έχει ως αποτέλεσμα την υπερθέρμανση του πλανήτη.



(6)Σχήμα 5: Παγκόσμιες εκπομπές CO<sub>2</sub>

Με την καύση των ορυκτών καυσίμων, εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα, απελευθερώνονται και άλλες επιβλαβείς ουσίες στην ατμόσφαιρα όπως νιτρικά, θειικά ή ανθρακικά οξέα τα οποία είναι υπεύθυνα για τον σχηματισμό **όξινης βροχής**. Η όξινη βροχή εκτός των άλλων καταστροφικών επιπτώσεων που έχει προκαλεί μεγάλες φθορές στο μάρμαρο και στον ασβεστόλιθο επειδή τα παραπάνω οξέα διαλύουν **τοανθρακικό ασβέστιο** που περιέχεται σε αυτά τα πετρώματα.

Με την καύση των ορυκτών καυσίμων απελευθερώνονται και **ραδιενεργές** ουσίες όπως **ουράνιο** και **θόριο** τα οποία περιέχονται σε μικρές ποσότητες στα ορυκτά καύσιμα. Το 2000 περίπου 12.000 τόνοι ουρανίου και 5.000 τόνοι θορίου απελευθερώνονται παγκοσμίως από την καύση κάρβουνου.

Η καύση του λιθάνθρακα παράγει μεγάλα ποσά τέφρας που επιβαρύνουν τις γειτονικές περιοχές στις μεγάλες μονάδες που χρησιμοποιούν αυτό το καύσιμο. Σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση προκαλούν και οι μέθοδοι εξόρυξης του άνθρακα. Επίσης υπεράκτιες εξορύξεις πετρελαίου μπορούν να προκαλέσουν τεράστια περιβαλλοντική καταστροφή αν υπάρξει διαρροή του υγρού στην θάλασσα. Αντίστοιχη καταστροφή μπορεί να προκληθεί κατά την μεταφορά του πετρελαίου σε περίπτωση θαλάσσιου ατυχήματος μεγάλου δεξαμενόπλοιου. Τέτοιες καταστροφές έχουν συμβεί αρκετές φορές καταστρέφοντας τις κοντινότερες ακτές στο ατύχημα σε ακτίνα πολλών χιλιομέτρων. Τέλος η **χημική βιομηχανία** και κυρίως τα **διυλιστήρια** έχουν αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον καθώς επιβαρύνουν και την ατμόσφαιρα με επικίνδυνα αέρια αλλά και τα υπόγεια νερά.

Η απομάκρυνση της ανθρωπότητας από την παραγωγή ενέργειας από μη ανανεώσιμους πόρους, είναι ένα σημαντικό βήμα προς την καλύτερη κατεύθυνση, δηλαδή εκείνη της αντιστροφής της δυσμενούς αυτής κατάστασης

Η λύση του σύγχρονου ενεργειακού προβλήματος είναι πιο πολύπλοκη απ'ότι φαίνεται, καθώς η υλοποίησή της δεν έγκειται μόνο στην εύρεση νέων τεχνολογιών/πόρων ή βελτίωση των υπαρχόντων,



αλλά και στην επίλυση διαφόρων άλλων ζητημάτων, τα οποία ενέχουν τον ανθρώπινο παράγοντα.

Συγκεκριμένα, η δυσκολία εκτός των άλλων είναι πηγή σημαντικών γεωπολιτικών προβλημάτων, χρόνιας οικονομικής αστάθειας, εθνικών και διεθνών μονοπωλίων και ολιγοπωλίων τα οποία συγκροτούν σημαντικά γεωστρατηγικά, βιομηχανικά και οικονομικά συμφέροντα. Το ενεργειακό πρόβλημα αναδεικνύει τις σχέσεις ανάμεσα σε πολύπλοκα πλανητικά προβλήματα και αποφάσεις στις οποίες εμπλέκεται ένας πολύ μεγάλος αριθμός παραγόντων και συμφερόντων στο διεθνές σκηνικό.

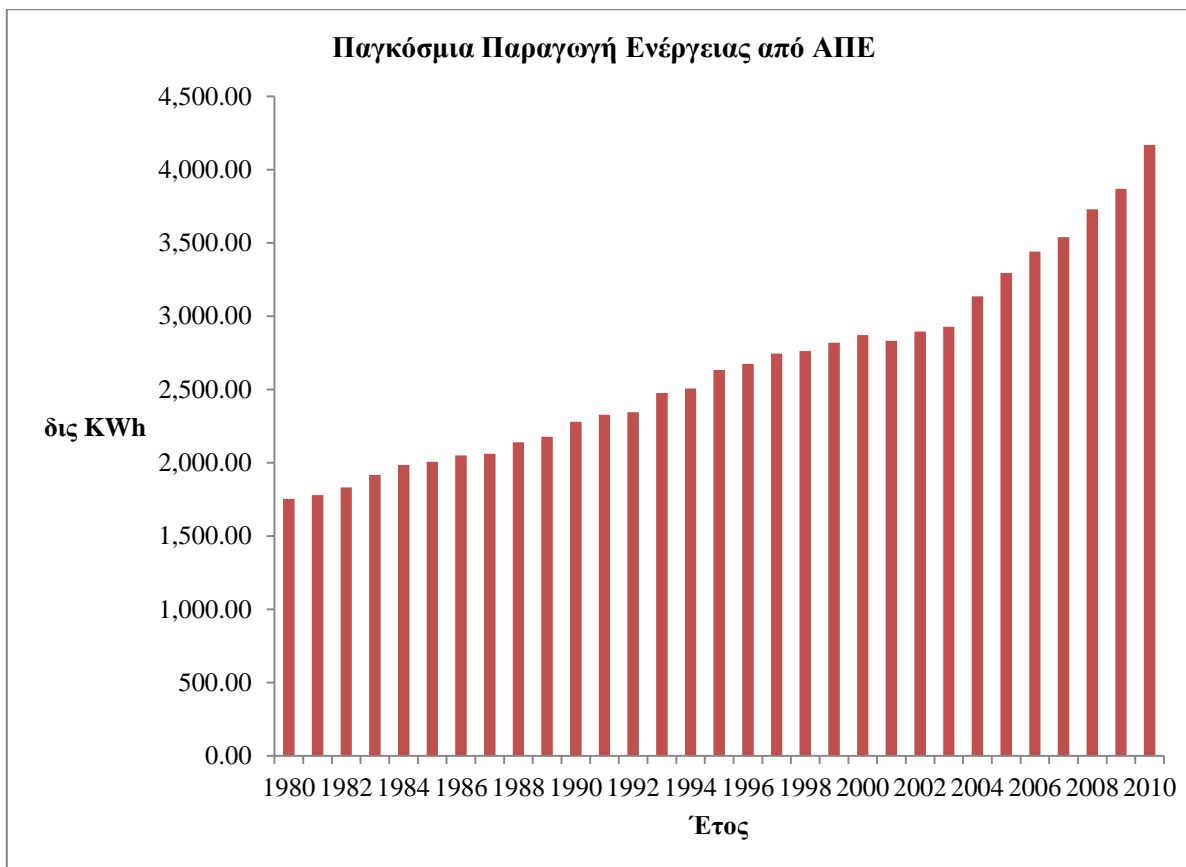
Εν ολίγοις, Το ενεργειακό πρόβλημα στην εποχή μας εμφανίζεται οξύτερο από ποτέ. Η εξάρτηση της ανθρωπότητας σε συμβατικούς τρόπους και πόρους παραγωγής έχουν οδηγήσει την κατάσταση σε ένα **προβλεπόμενο αδιέξοδο**, στο οποίο θα πρέπει να βρεθεί μια λύση πριν η κατάσταση είναι πλέον μη αναστρέψιμη ή τουλάχιστον ακραία.

Παρόλα αυτά, τις τελευταίες δεκαετίες η παγκόσμια συνείδηση έχει πλέον κατανοήσει την κρισιμότητα της κατάστασης, και έχει στραφεί σε δεσμεύσεις για βελτίωση, αν όχι αναστροφή της κατάστασης, και την επένδυση σε νέες τεχνολογίες και πόρους με σκοπό όχι μόνο την μεγιστοποίηση του κέρδους και της παραγόμενης ενέργειας, αλλά την ολική συμπεριφορά τους στην κατάσταση. Μεγάλο ρόλο στη νέα αυτή πορεία παίζουν οι **ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**.

## 1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Η ανάγκη για όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον ενεργειακό χάρτη είναι επιτακτική. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρουσιάζουν ξεκάθαρα πλεονεκτήματα, όπως η πρακτικά ανεξάντλητη φύση τους, ο φιλικός προς το περιβάλλον χαρακτήρας τους, και η εως ένα βαθμό δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό επίπεδο, μειώνοντας έτσι τις απώλειες και τα κόστη που προκύπτουν από την μεταφορά της ενέργειας από το σημείο παραγωγής στην κατανάλωση. Η βελτίωση των τεχνολογιών, οι αυξημένοι βαθμοί απόδοσης, τα μειωμένα κόστη, αλλά και η βελτίωση της παγκόσμιας συνείδησης έχει

οδηγήσει την αύξηση του στίγματος των ΑΠΕ στον παγκόσμιο ενεργειακό χάρτη. Από το 1980 η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές έχει σχεδόν τριπλασιαστεί. Αναλυτικά:



(5) Σχήμα 6: ΑΠΕ: Παγκόσμια Παραγωγή Ενέργειας

Οι σημαντικότερες κατά ποσότητα παραγόμενης ενέργειας μορφές εκμετάλλευσης είναι:

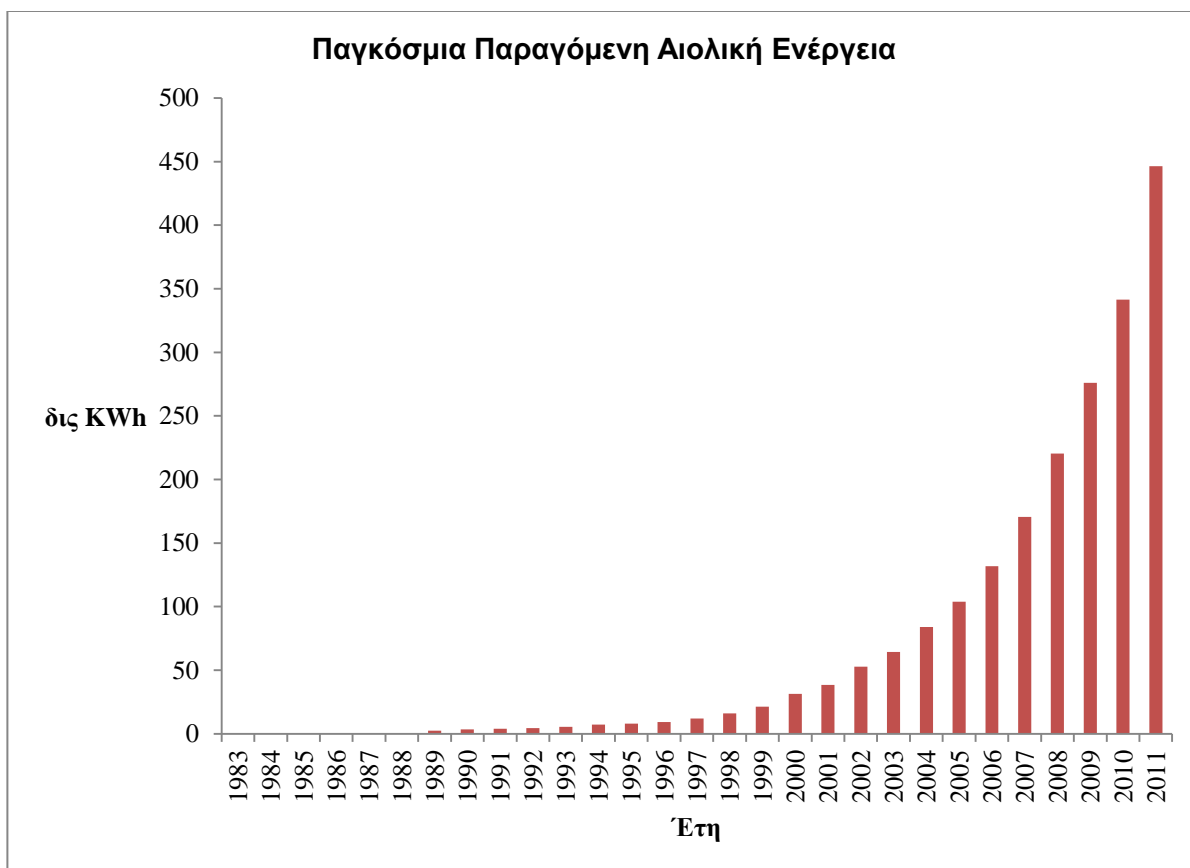
- Αιολική Ενέργεια:

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το 'καύσιμο' είναι άφθονο, αποκεντρωμένο, και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι πολύ μικρές.

Επίσης, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα.

Η σημερινή τεχνολογία βασίζεται σε ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα 2 ή τριών πτερυγίων, με αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ 200-400kW. Όταν εντοπισθεί μια ανεμώδης περιοχή-και εφόσον βέβαια έχουν προηγηθεί οι απαραίτητες μετρήσεις και μελέτες- για την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού, τοποθετούνται μερικές δεκάδες ανεμογεννήτριες, οι οποίες απαρτίζουν ένα «αιολικό πάρκο».

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο αναπτύσσεται ραγδαία, ειδικά σε χώρες με ισχύρο αιολικό δυναμικό. Είναι σήμερα μια τεχνολογικά ώριμη, οικονομικά βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον ενεργειακή επιλογή. Παρατηρεί έναν ρυθμό ανάπτυξης της αιολικής βιομηχανίας κατά 40% περίπου ετησίως, και λόγω του συνεχώς μειούμενου κόστους παραγωγής . Το παγκόσμιο δυναμικό αιολικής ενέργειας ανερχόταν το 1998 σε λίγο περισσότερο από 10.000MW, το 2005 είχε ήδη φτάσει στα 100.000MW, ενώ το 2013 έχει ξεπεράσει τα 350.000MW, κοντά στο 3% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας. Στην Ευρώπη παράγεται το 48% της παγκόσμιας παραγωγής αιολικής ενέργειας.



Σχήμα 7: Παγκόσμια Αιολική Ενέργεια (6)

- Υδροηλεκτρική Ενέργεια:

Είναι η μέθοδος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που στηρίζεται στην εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του νερού με την βοήθεια στροβίλων και ηλεκτρογεννητριών. Η ενέργεια αυτή διαχέεται από την φύση από δίνες και ρεύματα, καθώς το νερό ρέει κατηφορικά στην φυσική του πορεία προς την θάλασσα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του αποθηκευμένου νερού και όσο ψηλότερα βρίσκεται σε σχέση με τους στροβίλους, τόσο μεγαλύτερο το ενεργειακό δυναμικό του έργου.

Η υδροηλεκτρική Ενέργεια είναι η πιο σημαντική και ευρεία χρησιμοποιούμενη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Αντιπροσωπεύει το 19% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρισμού και το 6% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας. Σε όλο τον κόσμο υπάρχουν σήμερα 45.000 μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα σε λειτουργία.



(4)Σχήμα 8:Παγκόσμια Παραγόμενη Υδροηλεκτρική Ενέργεια

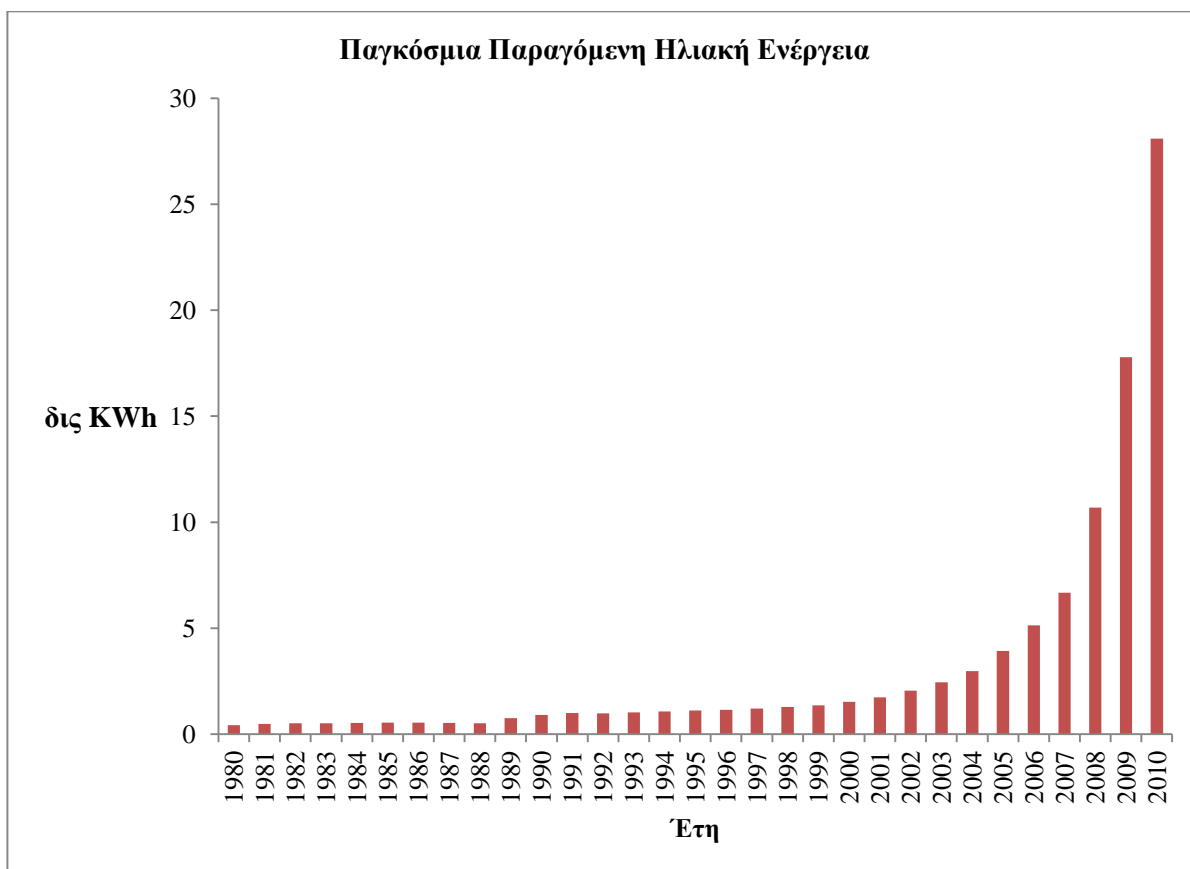
- Ηλιακή Ενέργεια:

Η εκμετάλλευση της ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο γίνεται σήμερα με ποικίλλες διαδικασίες και σε ποικίλλες εφαρμογές. Μερικά παραδείγματα είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία απ'ευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, έχουν βρεί ιδιαίτερη εφαρμογή τα τελευταία χρόνια, και προσφέρουν κάποια ιδιαίτερα πλεονεκτήματα, όπως η δυνατότητα της προμήθειας ενέργειας σε αραιοκατοικημένες περιοχές, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα ζωής και την αειφόρο ανάπτυξη.

Οι θερμικοί σταθμοί αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία ως θερμικό δυναμικό, πρώτα συγκεντρώνοντας την με την βοήθεια κατόπτρων για να θερμάνουν νερό ή κάποιο άλλο μέσο για την παραγωγή ατμού, και στην συνέχεια μετατρέποντας την κινητική ενέργεια του ατμού σε ηλεκτρική μέσω μιας γεννήτριας. Από εκεί και πέρα

υπάρχουν και άλλες χρήσεις της ηλιακής ενέργειας όπως η χρήση του ηλιακού θερμοσίφωνα για τις οικιακές καταναλώσεις ζεστού νερού, ή η χρήση ηλιακών συσκευών στις στέγες σπιτιών για παραγωγή αλλά και πώληση ενέργειας.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει καταφέρει την μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας από την ηλιακή κατά 90% σε σχέση με το 1970.



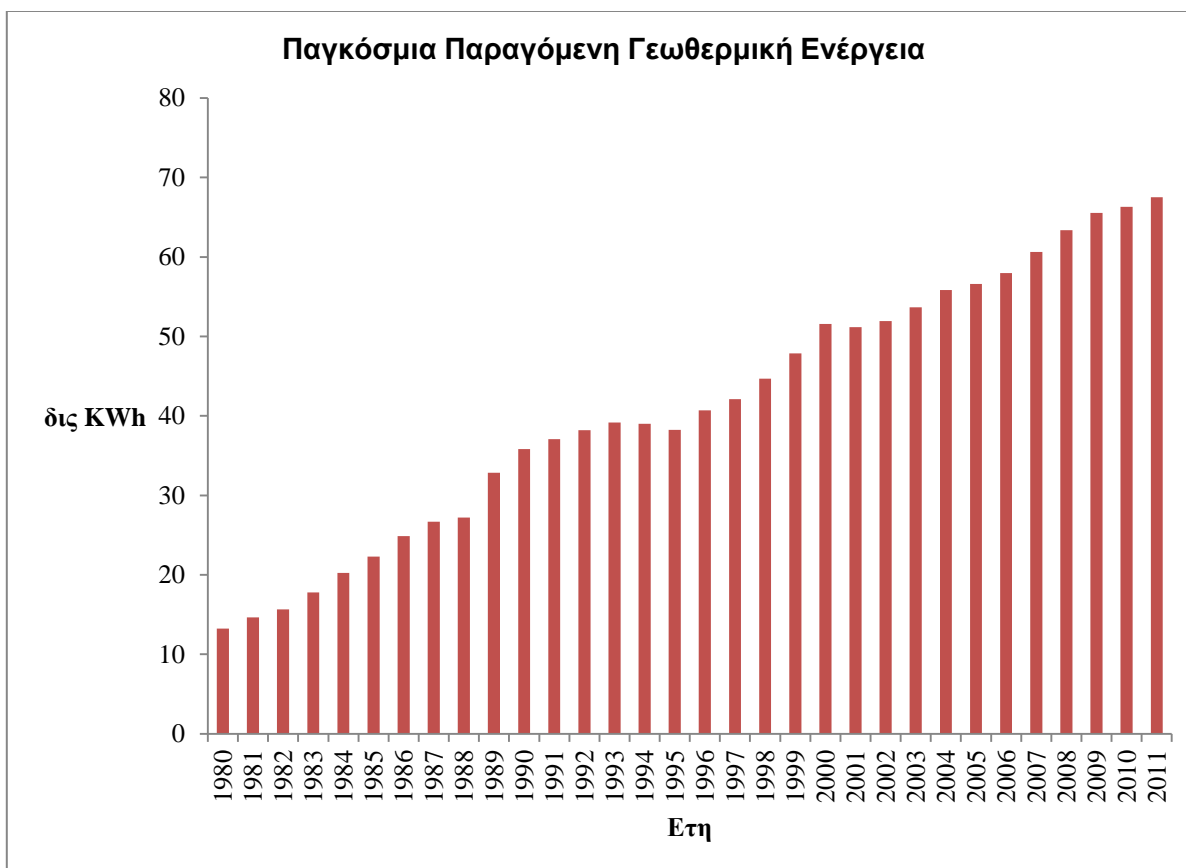
(4)Σχήμα 9:Παγκόσμια Παραγόμενη Ηλιακή Ενέργεια

- Γεωθερμική Ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια έχει να κάνει με την χρήση της θερμότητας της γής για την παραγωγή ενέργειας. Η τεχνολογία για την άντληση γεωθερμικής ενέργειας διαφοροποιείται σε ρηχή γεωθερμική σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και σε βαθιά γεωθερμική σε υψηλότερες αντίστοιχα θερμοκρασίες. Η αντλία θερμότητας χρησιμοποιεί μια σειρά από σωλήνες για να κυκλοφορεί υγρό μέσω του θερμού εδάφους. Τον χειμώνα, όπου το έδαφος είναι θερμότερο από τα κτήρια στην επιφάνεια, το υγρό απορροφά αυτήν την θερμότητα η οποία εν συνεχεία συμπυκνώνεται μέσω γεωεναλλακτών ή συλλεκτών θερμότητας, και μεταφέρεται στα κτήρια. Το καλοκαίρι, που το έδαφος είναι δροσερότερο, γίνεται η αντίστροφη διαδικασία.

Η λεγόμενη βαθιά γεωθερμική ενέργεια, απαιτεί την διάνοιξη πηγαδιών σε μεγάλο βάθος.

Οι γεωθερμικοί σταθμοί δεν μολύνουν το περιβάλλον. Εκπέμπουν μόνο περίσσεια ατμού και πολύ μικρό αριθμό ιχώνων αερίων.



(4)Σχήμα 10:Παγκόσμια Παραγόμενη Γεωθερμική Ενέργεια

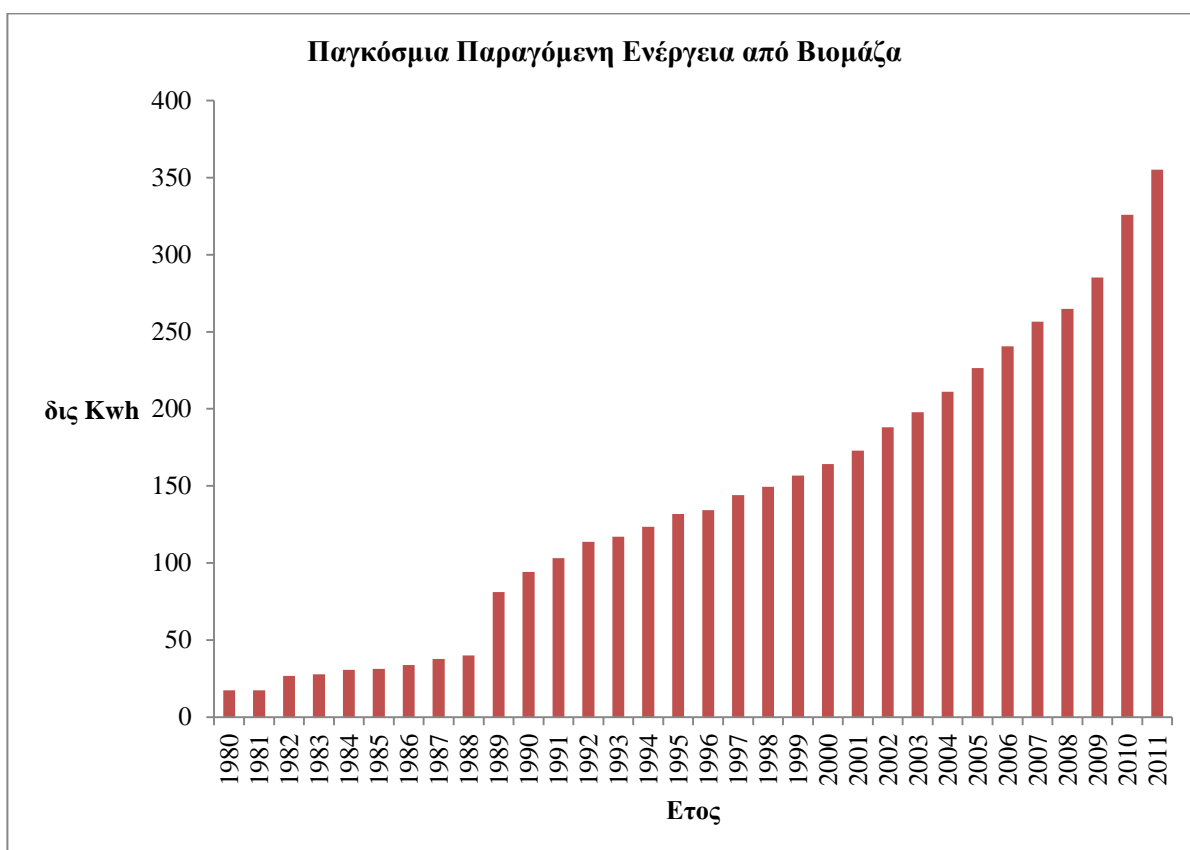
- Ενέργεια από βιομάζα

Η βιομάζα είναι ουσιαστικά οποιαδήποτε νέα οργανική ύλη η οποία προέρχεται από τα φυτά ως αποτέλεσμα της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Αντλείται από φυτικό και ζωικό υλικό όπως το ξύλο από τα δάση, τα υπολείμματα από τις γεωργικές και δασικές διαδικασίες, και τα βιομηχανικά, ανθρώπινα ή ζωικά απόβλητα. Η βιομάζα μπορεί να χωρισθεί σε δύο κατηγορίες:

Παραδοσιακή βιομάζα που περιορίζεται στις αναπτυσσόμενες χώρες και σε χρήσεις μικρής κλίμακας, δηλαδή καυσόξυλα, κάρβουνο για οικιακή χρήση, η ήρα του ρυζιού, φυτικά υπολείμματα ή η κοπριά ζώων. Η παραδοσιακή βιομάζα που χρησιμοποιείται σε ανοιχτά τζάκια για μαγείρεμα και για θέρμανση εξακολουθεί να είναι πολύ σημαντική στις αναπτυσσόμενες χώρες λόγω της έλλειψης εναλλακτικών λύσεων.



Έπειτα, σύγχρονη βιομάζα που συνήθως αφορά χρήσεις μεγάλης κλίμακας και σκοπό έχει να αντικαταστήσει τις συμβατικές ενεργειακές πηγές των ορυκτών καυσίμων. Περιλαμβάνει ξερά κλαδιά από δάση, γεωργικά υπολείμματα, οικιακά απόβλητα, βιοαέρια και βιοκαύσιμα από ενεργειακές καλλιέργειες,. Η σύγχρονη βιομάζα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας και θερμότητας σε εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας. Η βιομάζα σε όλες τις εφαρμογές της (παραγωγή ενέργειας, θέρμανση, καύσιμα) συμβάλλει σημαντικά στην προστασία του περιβάλλοντος και την διαφύλαξη των φυσικών πόρων, ανεξάρτητα με το αν χρησιμοποιούνται απόβλητα ή ειδικές καλλιέργειες.



(4)Σχήμα 11:Παγκόσμια Παραγόμενη Ενέργεια από Βιομάζα

### 1.3 ΑΠΕ-Ελλάδα

Η Ελλάδα αποτελεί ιδανικό τόπο για ευρεία χρήση των ΑΠΕ. Τα ιδιαίτερα φυσικά τοπολογικά χαρακτηριστικά της σε συνδυασμό με τα ποικιλόμορφα κλιματολογικά στοιχεία της ικανοποιούν την αναγκαία συνθήκη για την ανάπτυξη κάθε εφαρμογής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η γεωγραφική της θέση της χώρας μας (γεωγρ. πλάτος 33°) εξασφαλίζει μια εκτεταμένη περίοδο ηλιοφάνειας, προσφέροντας την δυνατότητα μιας ουσιαστικής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Επίσης, η διάσπαρτη παρουσία μιας πλειάδας μικρών αλλά ορμητικών ποταμών, λόγω του έντονου τοπογραφικού της αναγλύφου, επιτρέπει την αξιοποίηση της διαθέσιμης υδραυλικής ενέργειας ως συνέπεια της φυσικής ροής του ύδατος προς κατώτερα υψομετρικά επίπεδα. Τέλος, η συνύπαρξη ηπειρωτικού – νησιωτικού τοπίου προσφέρει φυσικές διόδους στην νομοτελειακή μετακίνηση μεγάλων αέριων μαζών, διαμορφώνοντας ένα ιδιαίτερα αξιόλογο αιολικό δυναμικό κυρίως στις παράκτιες περιοχές.

Βέβαια, πέρα των φυσικών χαρακτηριστικών, μια σειρά άλλων παραμέτρων καθορίζει την δυνατότητα εφαρμογής των ΑΠΕ, όπως για παράδειγμα το διαθέσιμο δίκτυο μεταφοράς και η περιορισμένη ζήτηση των νησιών (αυτόνομα δίκτυα), που θέτει όρια στην αξιοποίηση των ΑΠΕ.

Η Ελλάδα έχει θέσει ως στόχο έως το 2020 οι ΑΠΕ να αποτελούν το 20% της παραγόμενης ενέργειας, δηλαδή κοντά στα 10.000 εγκατεστημένα MW. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος έχει εφαρμοστεί συγκεκριμένος μηχανισμός στήριξης με σκοπό την αποκατάσταση ενός επιχειρηματικού περιβάλλοντος εντός του οποίου οι ΑΠΕ μπορούν να ανταγωνιστούν ισότιμα τις τεχνολογίες συμβατικών καυσίμων.

Τα συγκεκριμένα μέτρα προώθησης των ΑΠΕ ως βιώσιμες επιχειρηματικές επιλογές μπορούν να αφορούν:

- Προτεραιότητα κατά τη σύνδεση στα δίκτυα και την κατανομή του φορτίου
- Επιδότηση κεφαλαιουχικού κόστους επένδυσης
- Φορολογικά κίνητρα κ.λπ.

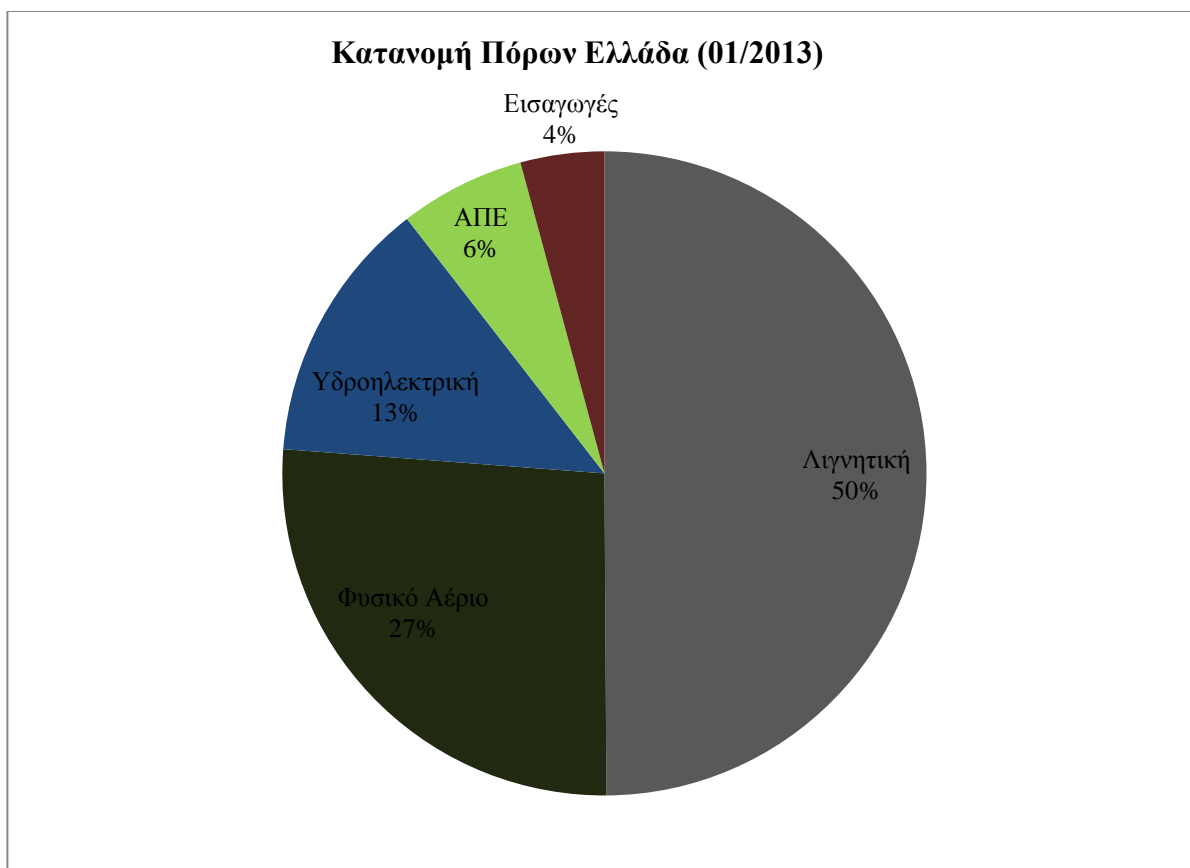
Γενικά έχουν εφαρμοσθεί δύο κατηγορίες μηχανισμών στήριξης:

- Οι μηχανισμοί ρύθμισης της τιμής αποζημίωσης, που συναντώνται με τη μορφή:
  - (i) εγγυημένων σταθερών τιμών (feed-in-tariffs, FITs) και
  - (ii) εγγυημένων διαφορικών τιμών (premiums, FIPs)
- Οι μηχανισμοί ρύθμισης της ποσότητας ισχύος (quota systems).

Μηχανισμός στήριξης των Α.Π.Ε:

Οι στρατηγικές επιλογές της Ελληνικής Πολιτείας, ιδιαίτερα κατά τα τελευταία χρόνια, για την στήριξη του κλάδου των Α.Π.Ε. είναι οι εξής:

- Επιλογή του μηχανισμού των εγγυημένων σταθερών τιμών (feed-in-tarif) ως το βασικό εργαλείο ενίσχυσης των Α.Π.Ε.
- Χρηματοδότηση του μηχανισμού των εγγυημένων σταθερών τιμών απευθείας από τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας.
- Προσαρμογή του μηχανισμού ενίσχυσης (εγγυημένες τιμές) και του ύψους των εγγυημένων τιμών με σειρά ad hoc νομοθετικών ρυθμίσεων, ώστε να αντιμετωπίζονται πιθανές περιπτώσεις υπερβολικής αποζημίωσης.



(9)Σχήμα 12:Ελλάδα: Κατανομή Πόρων Παραγωγής Ενέργειας

Ευρώπη: Η Ευρωπαϊκή Ένωση στα πλαίσια της γενικότερης τάσης της κοινωνίας για μείωση των εκπομπών ρύπων προχώρησε σε κάποιες συμφωνίες-δεσμεύσεις για την αναστολή του προβλήματος της εξάρτησης από τους συνεχώς μειούμενους συμβατικούς πόρους για παραγωγή ενέργειας.

Συνολικά, σε επίπεδο Ευρώπης, οι νέοι δεσμευτικοί στόχοι για το 2020 αφορούν:

- 20% συμμετοχή των ΑΠΕ στο ευρωπαϊκό ενεργειακό ισοζύγιο
- 20% μείωση των εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου σε σχέση με το 1990
- 20% εξοικονόμηση ενέργειας

Οι Ευρωπαϊκοί στόχοι για το 2020 είναι μεσοπρόθεσμοι στόχοι, στα πλαίσια μιας μακροπρόθερμης στρατηγικής για το 2050 που αποβλέπει σε μειώσεις εκπομπών αερίων θερμοκηπίου της τάξης του 50-60%.

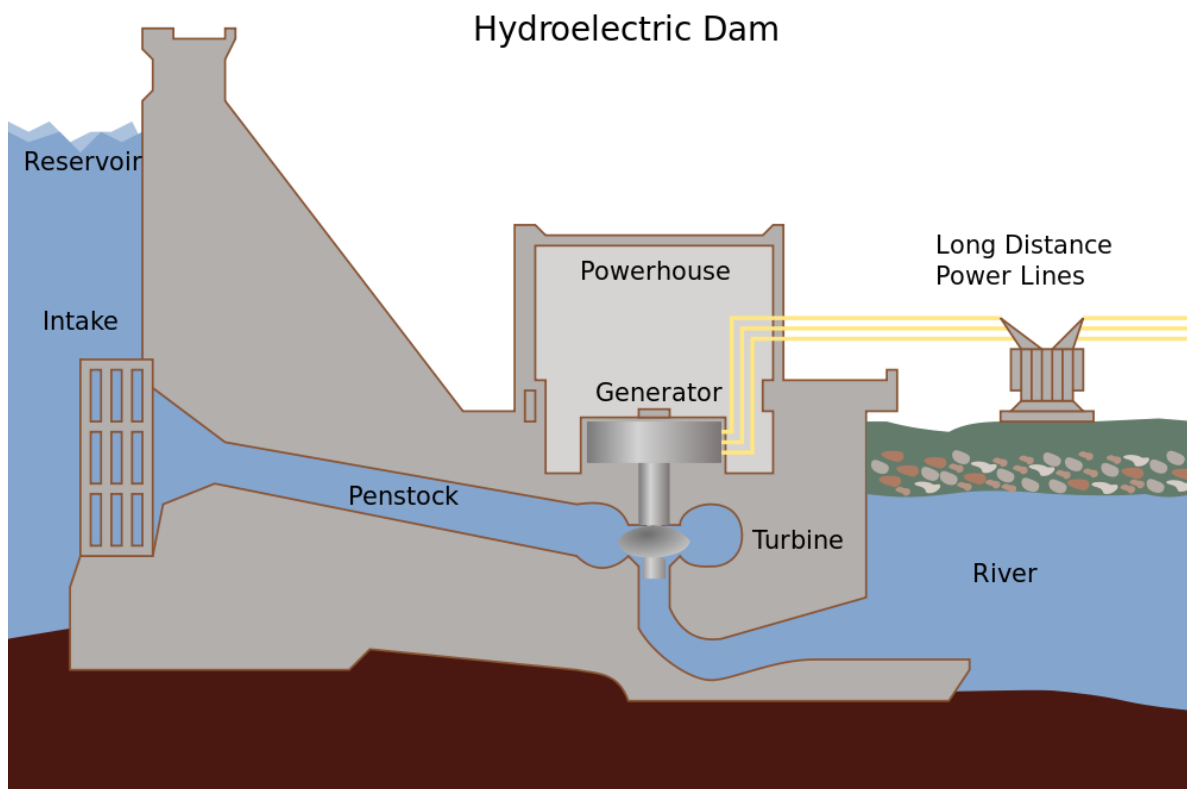
## 2. Υδροηλεκτρική Ενέργεια

### 2.1 Γενικά/Ορισμοί

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η μέθοδος η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση και την μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και την κινητική ενέργεια του νερού των ποταμών σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η μετατροπή αυτή γίνεται σε 2 στάδια. Αρχικά, μέσω της πτερωτής του στροβίλου η κινητική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε μηχανική μέσω της περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, γίνεται η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Συγκεκριμένα, καθώς οι πτερωτές της τουρμπίνας περιστρέφονται, περιστρέφουν και τους μαγνήτες της γεννήτριας γύρω από ένα πηνίο θέτοντας σε κίνηση ηλεκτρόνια και δημιουργώντας έτσι εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα.

Οι περισσότερες υδροηλεκτρικές μονάδες χρησιμοποιούν ένα φράγμα το οποίο συγκρατεί μια μεγάλη ποσότητα νερού δημιουργώντας έτσι μια μεγάλη δεξαμενή. Κάποιες θύρες στο φράγμα ανοίγουν και λόγω βαρύτητας το νερό περνάει σε έναν αγωγό ο οποίος το οδηγεί σε μια τουρμπίνα. Καθώς το νερό περνάει από τον αγωγό δημιουργείται μεγάλη πίεση. Το νερό πέφτει πάνω στις πτερωτές μιας τουρμπίνας και την περιστρέφει. Η περιστροφική αυτή κίνηση μεταγέρεται στην γεννήτρια η οποία είναι συνδεδεμένη με την τουρμπίνα με έναν άξονα.



Σχήμα 13:Τυπική Υδροηλεκτρική Διάταξη

Το νερό στην δεξαμενή μπορεί να θεωρηθεί αποθηκευμένη ενέργεια. Όταν ανοίγουν οι θύρες το νερό που περνάει μέσα από τον αγωγό γίνεται κινητική ενέργεια λόγω της κίνησής του.

Η ποσότητα του ηλεκτρισμού που παράγεται καθορίζεται από αρκετούς παράγοντες. Δύο από αυτούς είναι ο όγκος του νερού που ρέει και η ποσότητα της υδραυλικής κεφαλής.

Υδραυλική κεφαλή  $H(m)$ , είναι η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας του νερού και της τουρμπίνας. Όσο αυξάνεται ο όγκος του νερού και της υδραυλικής κεφαλής, τόσο αυξάνεται και το παραγόμενο ρεύμα. Η τιμή της υδραυλικής κεφαλής εξαρτάται από την ποσότητα νερού της δεξαμενής.

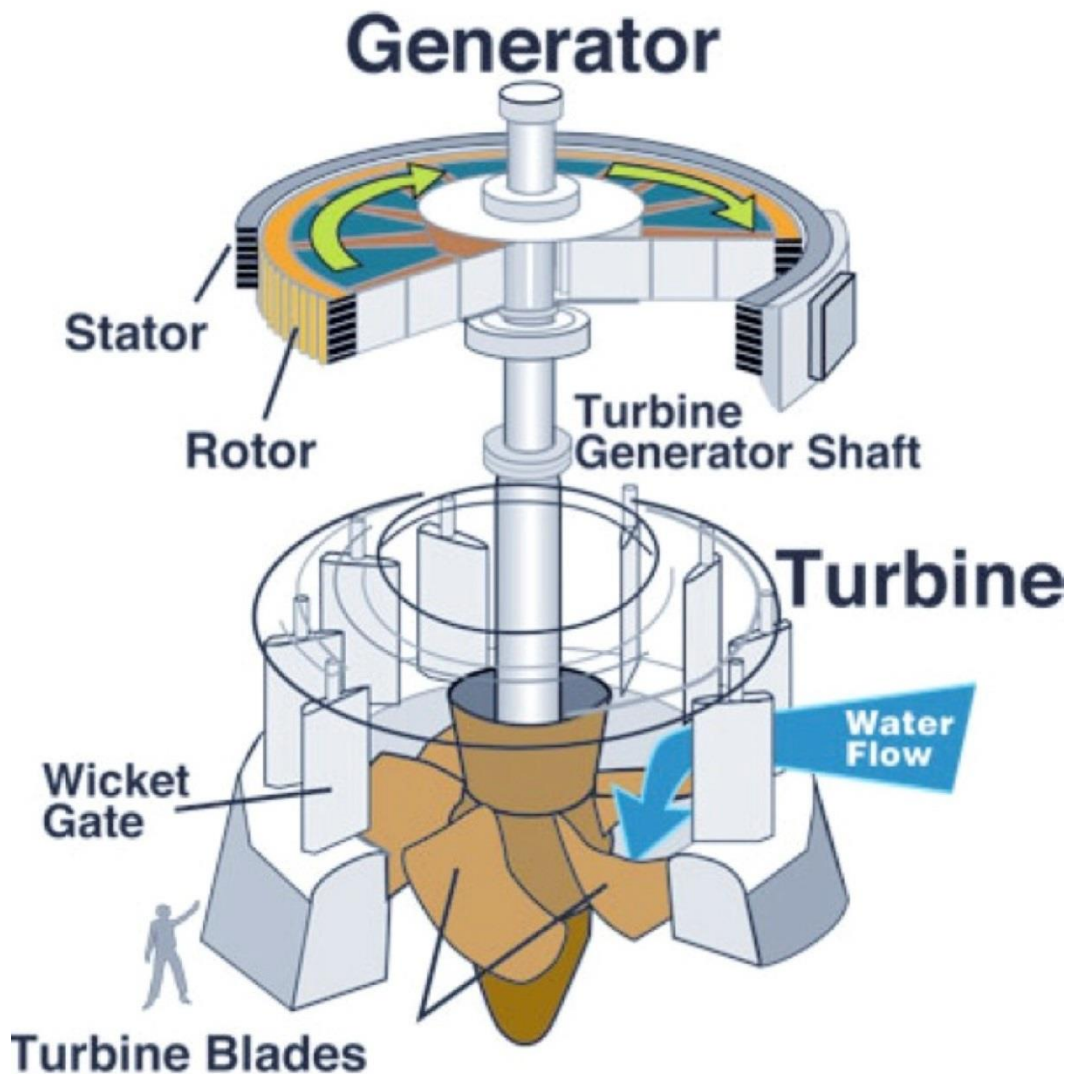
Τα περιβαλλοντικά οφέλη ενός Υδροηλεκτρικού Σταθμού είναι ποικίλα. Ακόμα και το μειονέκτημα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων εξ αιτίας των μεγάλης κλίμακας έργων πολιτικού μηχανικού, τα οποία ένα μεγάλο υδροηλεκτρικό έργο προϋποθέτει, με μια καλοσχεδιασμένη μελέτη, μπορεί να μετατραπεί σε πλεονέκτημα. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της λίμνης Πλαστήρα, κατά την οποία ο

κατακλυσμός της περιοχής από ύδατα μετά τη δημιουργία του φράγματος, δημιούργησε ένα νέο υδροβιότοπο, ο οποίος σύντομα μετατράπηκε σε πόλο τουριστικής έλξης δίνοντας ταυτόχρονα νέες αρδευτικές δυνατότητες στη γύρω περιοχή.

Ο πιο συνηθισμένος τύπος τουρμπίνας για υδροηλεκτρικές μονάδες είναι η τουρμπίνα Francis η οποία μοιάζει με έναν μεγάλο δίσκο με κυρτές πτερωτές. Μια τέτοια τουρμπίνα μπορεί να ζυγίζει μέχρι 172 τόνους και να κάνει 90 περιστροφές το λεπτό.

Ο μετασχηματιστής παίρνει το εναλλασσόμενο ρεύμα και το μετατρέπει σε ρεύμα υψηλής τάσης. Έξω από κάθε υδροηλεκτρική μονάδα υπάρχουν τέσσερα καλώδια: οι 3 φάσεις του ρεύματος που δημιουργούνται ταυτόχρονα, σύν η ουδέτερη γείωση και για τις τρεις.





Σχήμα 14: Τυπική τουρμπίνα Francis

## 2.2 Υδροηλεκτρικό Συγκρότημα Αλιάκμονα

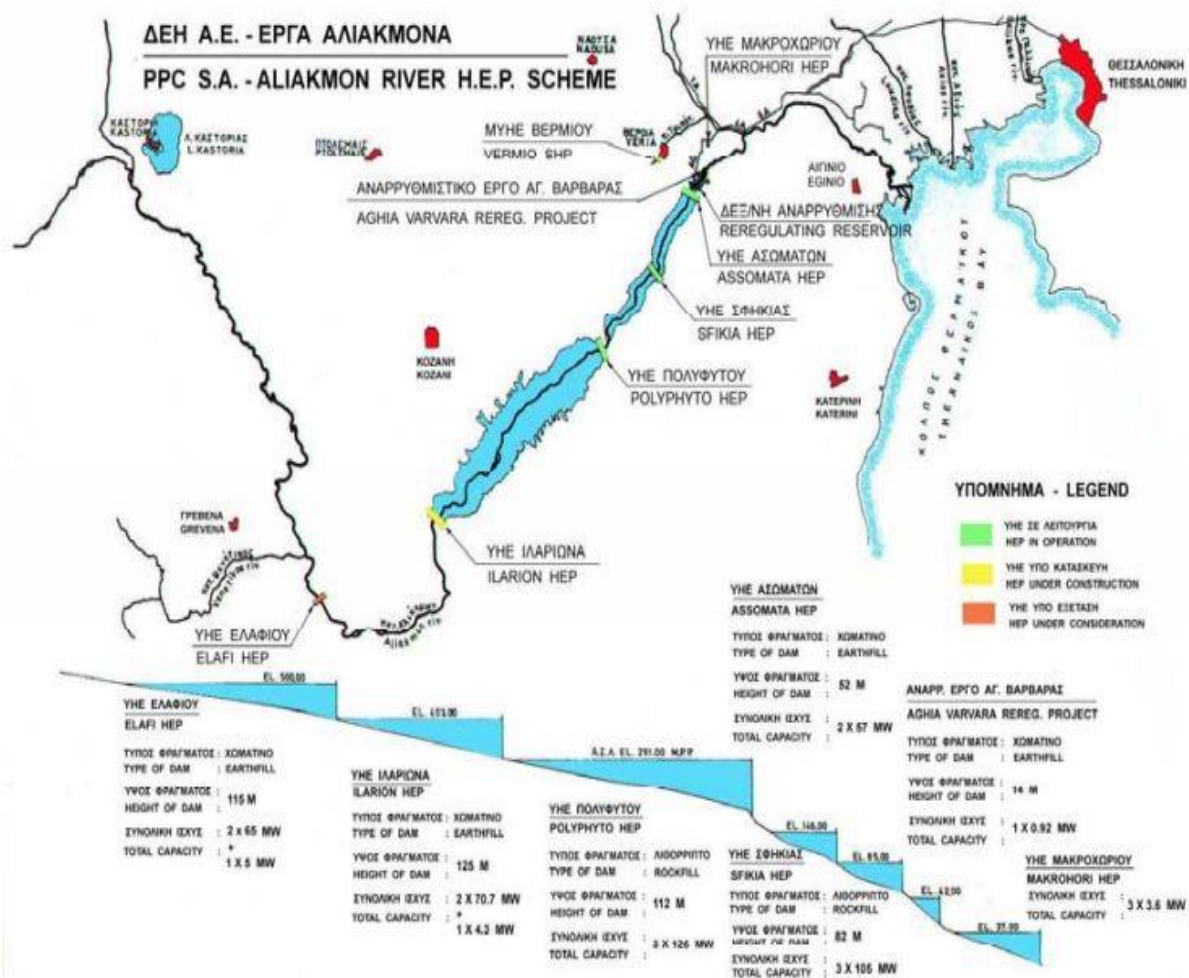
Το ΥΗΕ Ιλαρίωνα είναι ένα υποκατασκευή έργο της ΔΕΗ, μέρος του ευρύτερου υδροηλεκτρικού συγκροτήματος του ποταμού Αλιάκμονα, στην ΒοριοΔυτική Ελλάδα.

Ο Αλιάκμων είναι ο μακρύτερος ποταμός που ρέει μέσα σε ελληνικό έδαφος (μήκος περίπου 320km). Η λεκάνη απορροής του (επιφανείας 9210 km<sup>2</sup>) βρίσκεται στην βοριοδυτική Ελλάδα, εκτεινόμενη από την Ελληνο-Αλβανική μεθόριο μέχρι τον Θερμαϊκό κόλπο, όπου και εκβάλλει ο υπόψη ποταμός. Ο Αλιάκμων σχηματίζεται

από την συμβολή δύο μικρότερων ποταμών, που πηγάζουν από την οροσειρά της Πίνδου σε υψόμετρο 1700m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Αποτελεί έναν από τους πλουσιότερους υδάτινους πόρους της Δυτικής Μακεδονίας, με πολλούς παραποτάμους, ο σπουδαιότερος των οποίων είναι ο Εδεσσαίος.

Η υδροηλεκτρική ανάπτυξη του ποτάμιου συστήματος του Αλιάκμονα άρχισε στην αρχή της δεκαετίας του '50 με την αξιοποίηση των υπαρχουσών υδατοπτώσεων του κυριότερου παραποτάμου του Εδεσσαίου.

Η πραγματική υδροηλεκτρική ανάπτυξη του ποταμού άρχισε με την κατασκευή του ΥΗΣ Πολυφύτου(375MW- 1975), πρώτου σταθμού “εν σειρά”, και συνεχίστηκε στα μέσα της δεκαετίας του '80 με την κατασκευή των ΥΗΣ Σφηκιάς(315MW- σταθμός άντλησης/ ταμίευσης pump storage), Ασωμάτων (108MW) και στις αρχές της δεκαετίας του '90 με την κατασκευή του μικρού ΥΗΣ Μακροχωρίου (10,8MW) .



Σχήμα 15: ΔΕΗ- Έργα Αλιάκμονα

Σήμερα όπως είπαμε, η ΔΕΗ Α.Ε. κατασκευάζει επίσης τον ΥΗΣ Ιλαρίωνα(157,3MW), ενώ εξετάζει και το ενδεχόμενο κατασκευής ενός ακόμη σταθμού του ΥΗΣ Ελαφίου(135MW), με αμφότερους να βρίσκονται ανάντη του ΥΗΣ Πολυφύτου.

### 2.3 Υδροηλεκτρικό Έργο Ιλαρίωνα

Το έργο του Ιλαρίωνα κατασκευάζεται στην περιοχή της μονής του Αγίου Ιλαρίωνα στον Νομό Κοζάνης της Δυτικής Μακεδονίας, σε υψόμετρο 403m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.



Σχήμα 16: Φωτογραφία από το υπο κατασκευή έργο του Ιλαρίωνα

Ο νέος Υδροηλεκτρικός Σταθμός δεν παράγει μόνο ηλεκτρική ενέργεια, αλλά θα είναι σε θέση να καλύπτει μελλοντικές ανάγκες ύδρευσης της πόλης της Θεσσαλονίκης, αλλά και τις αυξημένες αρδευτικές ανάγκες των πεδιάδων (Ημαθίας, Πέλλας και Θεσσαλονίκης), οι οποίες δεν μπορούν να καλυφθούν πλέον σε περιόδους παρατεταμένης ξηρασίας.

Αποτελείται βασικά από ένα χωμάτινο φράγμα κατασκευασμένο επό αμμοχάλικο ποταμού με αδιαπέρατο πυρήνα, μέγιστου ύψους 130m και συνολικού όγκου 8 εκ.  $m^3$ , μια σύραγγα εκτροπής μήκους 761m και εσωτερικής διαμέτρου 12m, έναν εκχειλιστή με θυροφράγματα αποτελούμενο από δύο σύραγγες με έργο αναπήδησης, μέγιστης παροχετευτικότητας  $6,210m^3/s$ , μια σύραγγα προσαγωγής μήκους 557m και εσωτερικής διαμέτρου 8,8m, τμήμα της οποίας φέρει χαλύβδινη επένδυση και έναν ημιυπαίθριο σταθμό παραγωγής εξοπλισμένο με 2 μονάδες τύπου Francis, εγκατεστημένης ισχύος 76,5MW η καθεμία, καθώς και με μια μικρή μονάδα τύπου Francis οριζοντίου άξονα ισχύος 4,3MW. Ο ταμιευτήρας θα έχει ωφέλιμη

χωρητικότητα 412 εκ  $m^3$ . Η σύραγγα εκτροπής μετά την έμφραξή της θα χρησιμοποιηθεί ως σήραγγα εκχειλιστή no1. Ανάδοχος έργων Πολιτικού Μηχανικού είναι η ΑΕΓΕΚ Α.Ε. και προμηθευτές Η/Μ εξοπλισμού η ΜΕΤΚΑ Α.Ε.

Η ολοκλήρωση του ΥΗΣ Ιλαρίωνα θα αυξήσει την ενέργεια που παράγει το υδροηλεκτρικό συγκρότημα Αλιάκμονα και θα συμβάλλει στην αναβάθμιση του υδροβιότοπου του Δέλτα του ποταμού, εφοδιάζοντας κάθε χρόνο την κοίτη του με 140 εκ  $m^3$  νερού. Επιπρόσθετα, το έργο θα συμβάλλει στην ύδρευση της πόλης της Θεσσαλονίκης.

## 2.4 Ερευνητικό Κενό

Όπως βλέπουμε, τα τελευταία έργα ανάλογου μεγέθους που κατασκευάστηκαν από την ΔΕΗ είναι αυτά των Ασωμάτων και της Σφηκιάς, τα οποία ξεκίνησαν την εμπορική τους λειτουργία το 1985-1986.

Είναι λογικό κατά την διάρκεια αυτών των 28 ετών, οι διαδικασίες και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την χάραξη των οδηγών καμπυλών και λειτουργίας θεωρούνται πλέον πεπαλαιωμένες και δεν έχουν καταγραφεί δομημένα, καθώς πλέον αυτά τα έργα βελτιστοποιούν την λειτουργία τους από τα εμπειρικά δεδομένα των 25+ ετών λειτουργίας.

Εμφανίσθηκε λοιπόν η ανάγκη δημιουργίας ενός νέου μοντέλου βελτιστοποίησης της οδηγού στάθμης και λειτουργίας, για το συγκεκριμένο έργο αλλά και για χρησιμοποίηση στο μέλλον ως πρότυπο για άλλα ανάλογα έργα.

### 3. Δεδομένα έργου (ΔΕΗ)

#### 3.1 Ιστορικό Παροχών

Από τα δεδομένα της ΔΕΗ δόθηκαν τα ιστορικά των παροχών του ΥΗΣ Πολυφύτου, τα οποία ανοίχθηκαν προσεγγιστικά στο σημείο του Ιλαρίωνα, πολλαπλασιάζοντας τις παροχές με έναν συντελεστή  $A=0,8$ . Προκύπτει ο εξής πίνακας:

Πίνακας 1: Παροχές Ιλαρίωνα (m<sup>3</sup>/s)

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΡΤ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥ	ΙΟΥ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	μ.ό.
<b>1992</b>	15	15	15	62	26	15	10	4	4	17	25	30	<b>20</b>
<b>1993</b>	24	18	64	60	32	10	4	3	5	8	21	61	<b>26</b>
<b>1994</b>	80	99	76	52	37	10	8	6	5	11	23	25	<b>36</b>
<b>1995</b>	66	57	47	50	48	17	12	12	13	11	16	54	<b>34</b>
<b>1996</b>	51	79	72	81	45	16	7	8	14	22	34	56	<b>40</b>
<b>1997</b>	70	24	30	41	46	11	3	5	6	11	33	65	<b>29</b>
<b>1998</b>	28	71	25	37	42	19	3	3	7	14	53	99	<b>34</b>
<b>1999</b>	61	76	98	96	46	15	9	8	10	11	44	49	<b>44</b>
<b>2000</b>	37	71	56	49	28	12	5	3	3	12	12	14	<b>25</b>
<b>2001</b>	23	25	23	26	14	4	4	3	3	1	5	17	<b>12</b>
<b>2002</b>	21	20	39	68	23	7	5	7	30	34	17	147	<b>35</b>
<b>2003</b>	133	99	63	84	50	26	12	16	12	35	31	34	<b>50</b>
<b>2004</b>	81	68	87	71	68	31	12	10	12	20	29	27	<b>43</b>
<b>2005</b>	38	69	106	66	35	17	11	8	10	11	13	76	<b>38</b>
<b>2006</b>	75	83	128	88	51	24	17	12	13	17	17	17	<b>45</b>
<b>2007</b>	26	25	30	43	22	15	5	6	6	14	49	28	<b>22</b>
<b>2008</b>	23	24	30	38	21	12	4	3	7	12	16	48	<b>20</b>
<b>2009</b>	80	63	69	67	47	21	14	10	11	32	90	124	<b>52</b>
<b>2010</b>	71	204	146	79	55	33	20	11	18	50	95	105	<b>74</b>

<b>2011</b>	41	67	79	48	59	32	13	13	14	13	14	20	<b>34</b>
<b>μ.ό.</b>	<b>52.1</b>	<b>62.7</b>	<b>64.2</b>	<b>60.2</b>	<b>39.7</b>	<b>17.2</b>	<b>8.89</b>	<b>7.51</b>	<b>10.1</b>	<b>17.7</b>	<b>31.9</b>	<b>54.7</b>	<b>36</b>

(7)

### 3.2 Ογκομέτρηση Ταμιευτήρα

Μας ενδιαφέρει η αντιστοιχία μεταξύ του όγκου του νερού του ταμιευτήρα  $V(\text{mcm})$  και του ύψους στάθμης λειτουργίας  $H(\text{m})$ , για την χάραξη της οδηγού καμπύλης.

Πίνακας 2:Ογκομέτρηση Ταμιευτήρα

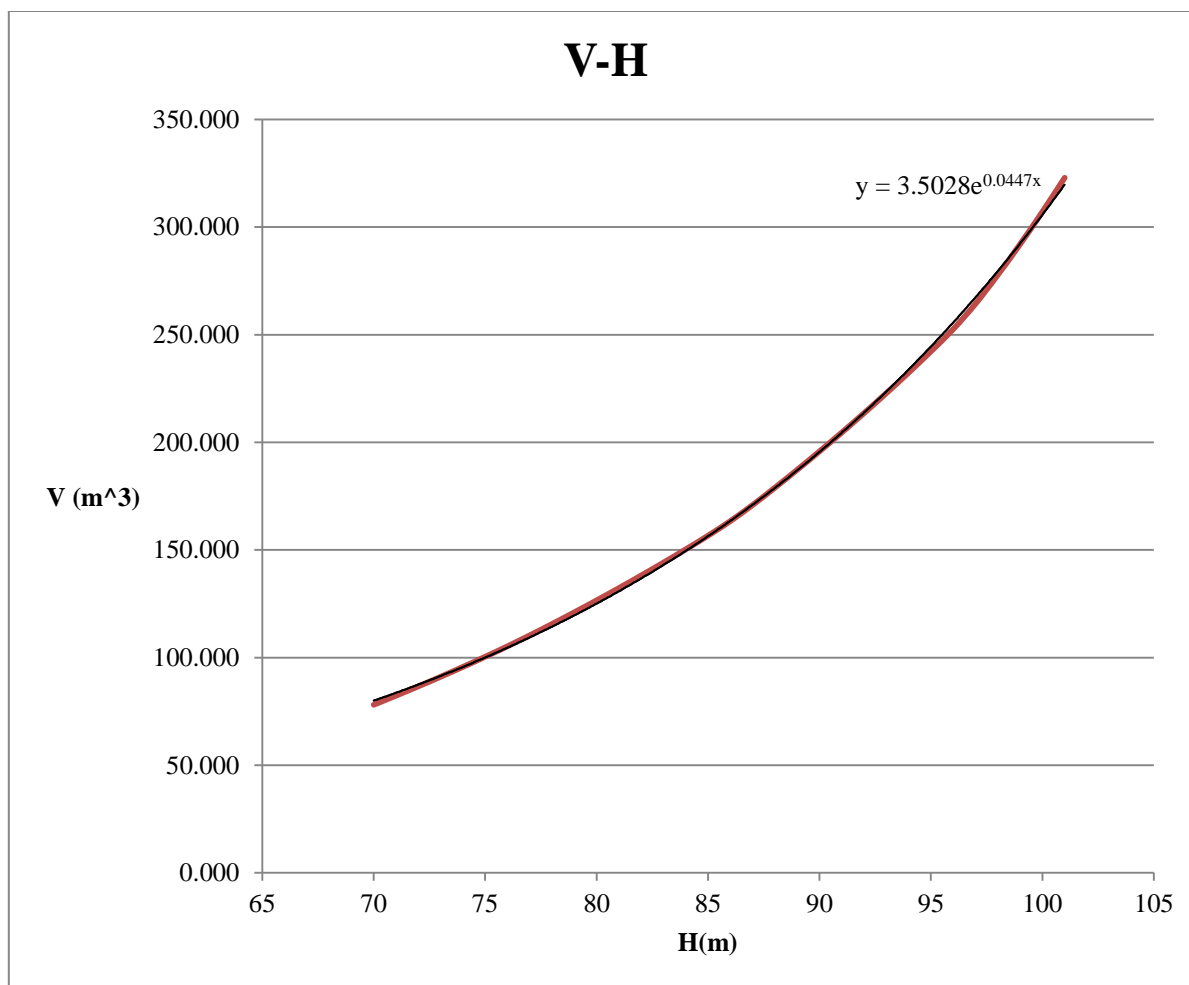
<b>H(m)</b>	<b>Σ.Λ.(m)</b>	<b>Ωφελ. όγκος (MCM)</b>	<b>Συνολικός όγκος (MCM)</b>
<b>70</b>	366	0.000	78.082
<b>71</b>	367	4.224	82.306
<b>72</b>	368	8.552	86.634
<b>73</b>	369	13.000	91.082
<b>74</b>	370	17.579	95.661
<b>75</b>	371	22.296	100.378
<b>76</b>	372	27.168	105.250
<b>77</b>	373	32.244	110.326
<b>78</b>	374	37.520	115.602
<b>79</b>	375	42.943	121.025
<b>80</b>	376	48.505	126.587
<b>81</b>	377	54.209	132.291
<b>82</b>	378	60.059	138.141
<b>83</b>	379	66.057	144.139
<b>84</b>	380	72.214	150.296
<b>85</b>	381	78.572	156.654
<b>86</b>	382	85.341	163.423

<b>87</b>	383	92.826	170.908
<b>88</b>	384	100.873	178.955
<b>89</b>	385	109.179	187.260
<b>90</b>	386	117.722	195.803
<b>91</b>	387	126.500	204.582
<b>92</b>	388	135.517	213.599
<b>93</b>	389	144.785	222.867
<b>94</b>	390	154.329	232.410
<b>95</b>	391	164.210	242.291
<b>96</b>	392	174.519	252.601
<b>97</b>	393	186.307	264.389
<b>98</b>	394	199.741	277.823
<b>99</b>	395	213.977	292.059
<b>100</b>	396	229.018	307.100
<b>101</b>	397	244.862	322.944

(7)

Η μη γραμμική σχέση μεταξύ του όγκου του ταμιευτήρα και του ύψους (υδραυλικής κεφαλής) προκύπτει λόγω του σχήματος του ταμιευτήρα. Προκύπτει η εξίσωση  $V = 3.5028 \times e^{0.0447H}$  (1), η οποία χαρακτηρίζει σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό την σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών. Χρησιμοποιούμε αυτήν την σχέση για τους υπολογισμούς.





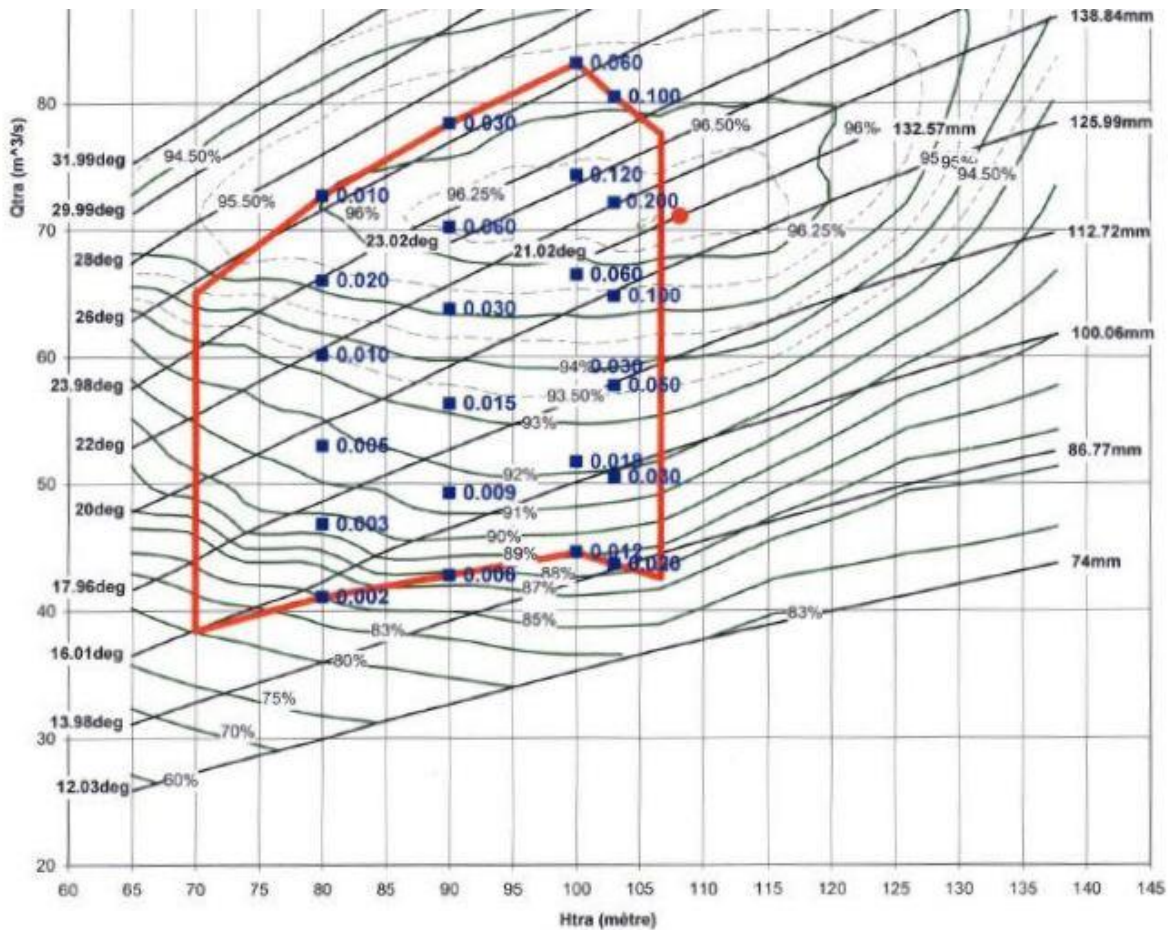
Σχήμα 17: Συσχέτιση Ογκου-Κεφαλής

### 3.3 Χαρακτηριστικές Στροβίλων

Το έργο είναι εξοπλισμένο με 2 μονάδες τύπου Francis, εγκατεστημένης ισχύος 76,5MW η καθεμία, καθώς και με μια μικρή μονάδα τύπου Francis οριζοντίου άξονα ισχύος 4,3MW.

Όπως αναφέρθηκε, η παραγόμενη ενέργεια εξαρτάται από το ύψος της υδραυλικής κεφαλής. Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα όσο μεγαλύτερο το ύψος της υδραυλικής κεφαλής, τόσο μεγαλύτερος ο β.α. των μηχανών για συγκεκριμένη παροχή.

Χρησιμοποιείται το παρακάτω διάγραμμα για τον υπολογισμό εκρών νερού στους στρόβιλους ανάλογα με το ύψος και τον αντίστοιχο βαθμό απόδοσης.



Σχήμα 18: Χαρακτηριστικές Στρόβιλων (7)

## 4 Χάραξη οδηγού καμπύλης στάθμης

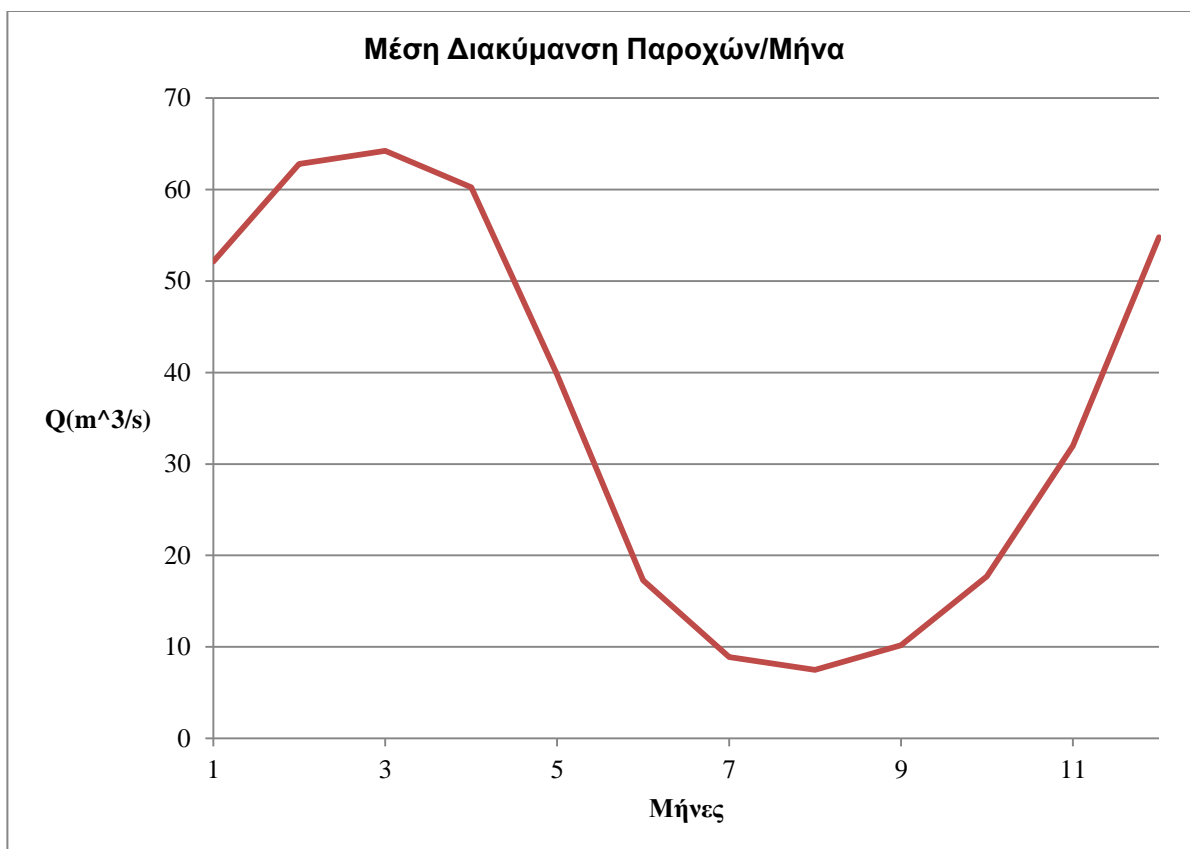
### 4.1 Οδηγός Καμπύλη- Γενικά

Η οδηγός καμπύλη ενός υδροηλεκτρικού έργου είναι ένα γράφημα εξέλιξης της υδραυλικής κεφαλής ( $H(m)$ ) του ταμιευτήρα κατά την διάρκεια του έτους.

Ποιος όμως ο λόγος ύπαρξης της; Γιατί δηλαδή, αφού είναι δεδομένο ότι όσο μεγαλύτερο το ύψος τόσο καλύτερη η απόδοση του συστήματος, να μην διατηρείται η στάθμη στο μέγιστο ( $H=100m$ ), και να δίνεται στους στροβίλους ακριβώς ποσότητα νερού ίση με την αντίστοιχες ημερήσιες εισροές.

Η απάντηση έγκειται και στον λόγο ύπαρξης του φράγματος, το οποίο δημιουργεί τον ταμιευτήρα. Ο ταμιευτήρας, ο οποίος αποθηκεύει νερό, μπορεί να θεωρηθεί ένα μέσο 'αποθήκευσης' ενέργειας. Μέσω της δημιουργίας του ταμιευτήρα, έχουμε την δυνατότητα να καταναλώσουμε αποθηκευμένη ενέργεια τις περιόδους που υπό άλλες συνθήκες δεν ήταν δυνατόν.

Παρακάτω παρατίθεται η μέση διακύμανση των εισερχομένων παροχών του ποταμού ανά μήνα.



Σχήμα 19:Μέση Διακύμανση Παροχών Ιλαρίωνα

Όπως βλέπουμε, και αν θεωρήσουμε για λόγους κατανόησης το εισερχόμενο νερό ως ενέργεια, τους καλοκαιρινούς μήνες έχουμε πολύ μικρότερη ποσότητα ενέργειας προς εν δυνάμει παραγωγή. Παρόλα αυτά θα πρέπει το έργο να λειτουργεί κανονικά δίνοντας προς το δίκτυο ικανοποιητική ποσότητα ενέργειας καθ'όλη την διάρκεια του έτους.

Για αυτό, τον χειμώνα όπου έχουμε μεγαλύτερες παροχές φρονίζεται να μην καταναλώνεται όλη η παροχή νερού αλλά να κατακρατείται κάποια ποσότητα, αυξάνοντας την στάθμη του ταμιευτήρα, και αντίστοιχα καταναλώνοντας αυτή την περίσσεια κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ρίχνοντας την στάθμη.

Η χάραξη της οδηγού καμπύλης αφορά αυτήν ακριβώς τη διαδικασία, δηλαδή ουσιαστικά το πόσο νερό θα κατακρατηθεί/καταναλωθεί και πότε, ανάλογα με τα εισερχόμενα δεδομένα.

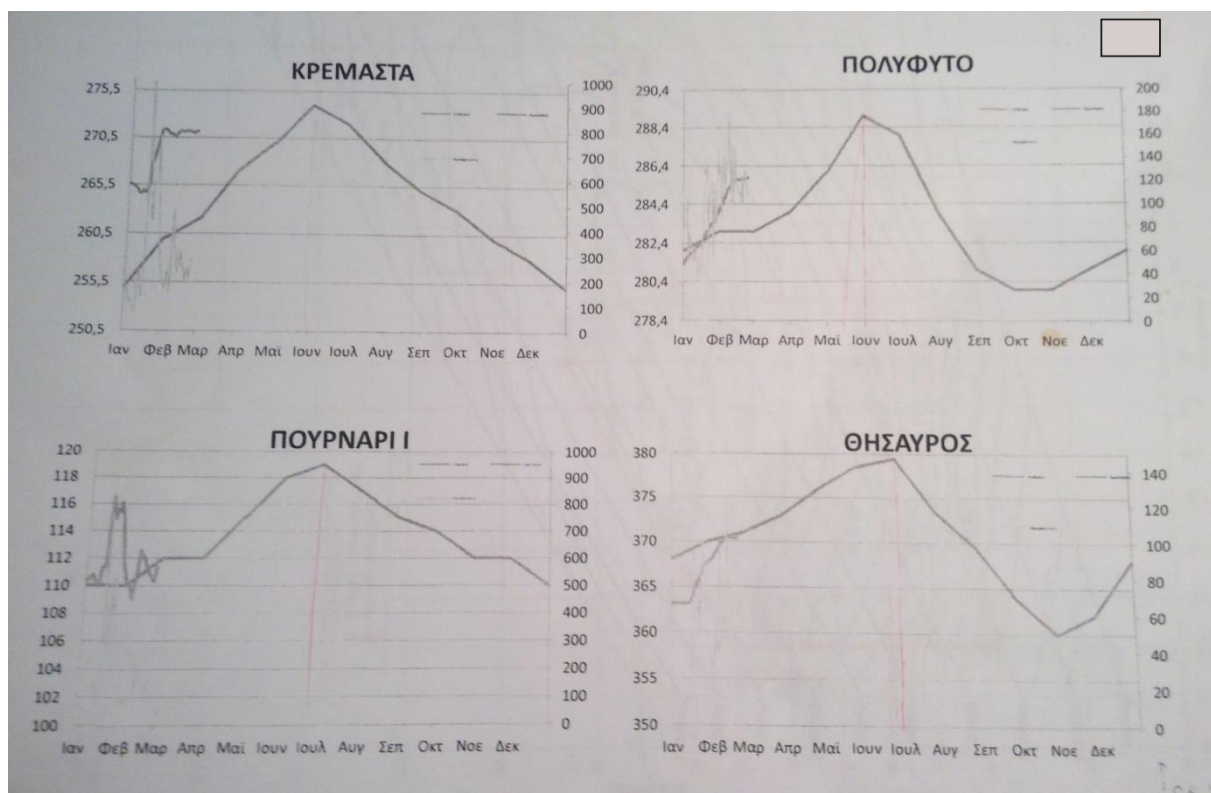
## 4.2 Μέθοδος Χάραξης

### Βασικές Αρχές

Οι βασικές αρχές για την χάραξη είναι οι εξής:

- Η στάθμη να βρίσκεται στα αποδεκτά όρια, δηλαδή κάτω από 100 και πάνω από 70 μέτρα.
- Όταν ξεκινάει η περίοδος ξηρασίας, να έχει εξασφαλισθεί μέγιστο απόθεμα στον ταμιευτήρα για να μπορεί να υπάρχει αποδεκτή παραγωγή και αυτούς τους μήνες.
- Η καμπύλη πρέπει να είναι κλειστή, δηλαδή επαναληπτική.

Παρατίθενται παρακάτω μερικά παραδείγματα οδηγών καμπυλών για άλλους ΥΗΣ της ΔΕΗ. Φαίνεται η βασική μορφή 'λοφίου' που θα πρέπει να ακολουθεί η καμπύλη.



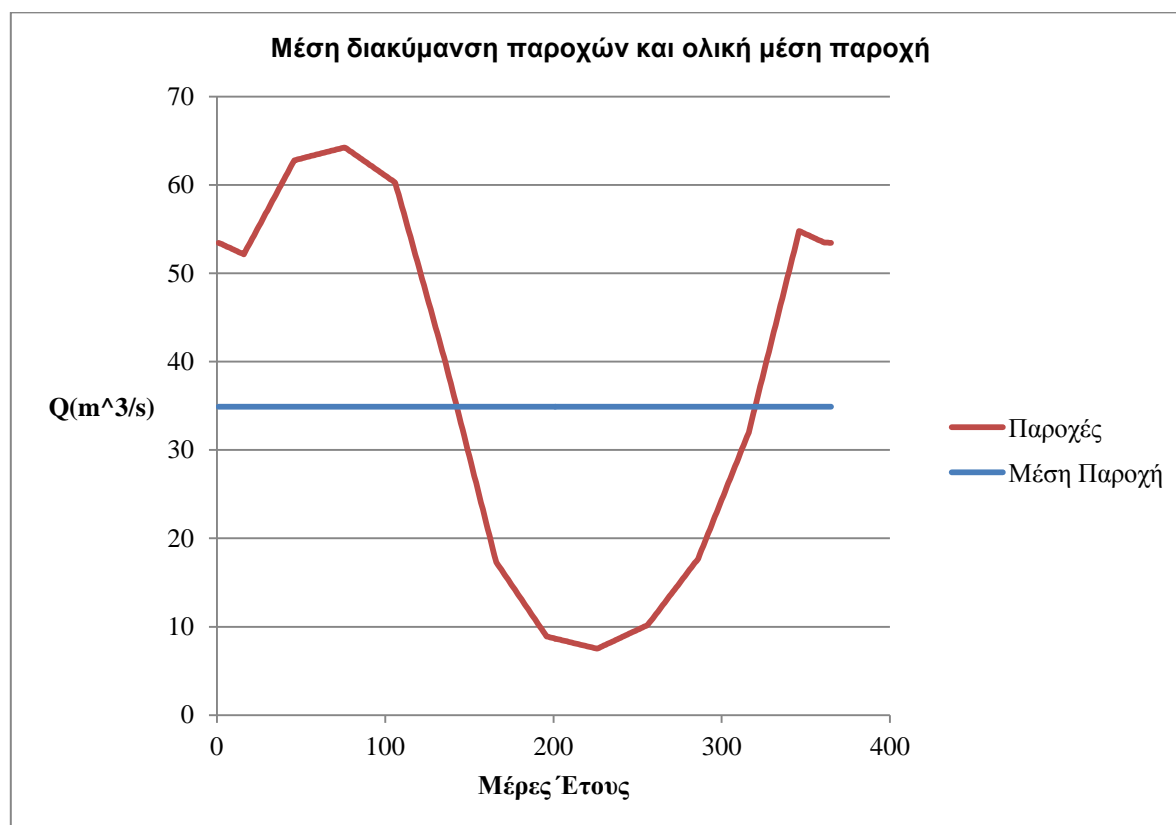
Σχήμα 20: Παραδείγματα Οδηγών Καμπυλών

## Χωρισμός Έτους

Προκειμένου να υπάρχει ένας σαφής προσδιορισμός κάποιας περιόδου του έτους, χωρίστηκε το έτος σε 'υγρό' και 'ξηρό'.

Αυτός ο διαχωρισμός έγινε ανάλογα με το αν η μέση διακύμανση παροχών που είδαμε παραπάνω, βρίσκεται στο συγκεκριμένο σημείο πάνω ή κάτω από την ολική μέση παροχή, ίση με  $Q_{μέση} = 34,91 m^3/s$ .

Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα στο οποίο φαίνεται αυτός ο διαχωρισμός. Σημειώνεται ότι η μέση διακύμανση παροχών ανοίχτηκε με γραμμική παρεμβολή σε τιμές για κάθε ημέρα του χρόνου ( $I=1,365$ ), και ορίστηκε σε έναν πίνακα  $Q_{in-ideal}(I)$ .



Σχήμα 21: Μέση διακύμανση παροχών και ολική μέση παροχή

Προφανώς κατά την ‘ξηρή’ περίοδο ( $I=143-320$ ), όπου οι παροχές είναι κάτω από την μέση, θα πρέπει να καταναλώνεται περίσσεια νερού, η οποία θα κατακρατηθεί κατά την υγρή περίοδο, όπου οι παροχές είναι μεγαλύτερες της μέσης.

### Ορισμός Αρχής Διαγράμματος

Το πιο σωστό σημείο για να ξεκινήσουν οι υπολογισμοί της στάθμης είναι ακριβώς το σημείο όπου η μέση διακύμανση παροχών τέμνει από πάνω προς τα κάτω την γραμμή ολικής μέσης παροχής.

Αυτό το σημείο στατιστικά ορίζει την αρχή της ξηρής περιόδου του έτους(έτσι όπως την ορίσαμε), και σε αυτό το σημείο θα πρέπει η οδηγός καμπύλη να έχει το μέγιστο ύψος της. Γι λόγους ασφαλείας ορίσαμε ως μέγιστη τιμή υδραυλικής κεφαλής  $H_{max} = 95m$ .

Αρα ορίζεται αυτό ως αρχικό σημείο, στο οποίο θα πρέπει μετά από το πέρασμα ενός έτους να καταλήγει για να ‘κλείνει’ η καμπύλη.

### Αρχικό Μοντέλο Υπολογισμών

Προκειμένου να βρεθεί μια αρχική μορφή καμπύλης κοντά σε αυτήν που θέλουμε, προτάθηκε μια αρχική μέθοδος.

Η μέθοδος αυτή αφορά την διατήρηση της καταναλισκόμενης παροχής **ημερησίως** από τους στροβίλους, στον όγκο νερού που αντιστοιχεί στην τιμή της **ολικής μέσης**,  $Q_{μέση} = 34,91m^3/s$ , κατά την διάρκεια **όλου** του έτους.

Αυτό σημαίνει ότι, ανεξάρτητα των εισερχομένων παροχών, κάθε μέρα θα καταναλώνεται όγκος νερού:

$$V_{out-day} = Q_{mesi} \times 3600 \times 24.$$

Έτσι, ξεκινώντας από την αρχή της ξηρής περιόδου ( $I=143$ ) με μέγιστο ύψος, τις μέρες που η εισερχόμενη παροχή είναι μικρότερη της μέσης ( $Q < Q_{μέση}$ ), η στάθμη θα μειώνεται, και αντίστροφα.

Ξεκινώντας λοιπόν με  $H(143) = 95m$ , την μέρα  $I=143$ , υπολογίζεται ο όγκος νερού  $V$  στον οποίο αντιστοιχείται, από την εξίσωση  $V = 3.5028 \times e^{0.0447H}$ , και συνεχίζεται η διαδικασία βηματικά ανα μέρα:

Για κάθε υπολογισμό είναι γνωστά:

-Ο όγκος νερού του ταμιευτήρα αρχικά  $V(I)$

-Εκροές  $V_{out-day}$  (όγκος νερού που καταναλώνεται):

$$V_{out-day} = Q_{μέση} \times 3600 \times 24$$

-Εισροές  $V_{in}$  (Από μέση καμπύλη διακύμανσης)

$$V_{in} = Q_{in-ideal}(I) \times 3600 \times 24$$

Έτσι, για κάθε μέρα είναι:

$$V(I+1) = V(I) + \frac{V_{in}}{-DV}, \text{ όπου } DV = V_{in} - V_{out-day} \Rightarrow$$

$$DV = (Q_{in-ideal}(I) - Q_{μέση}) \times 3600 \times 24$$

Ο νέος αυτός όγκος εύκολα αντιστοιχείται σε ύψος υδραυλικής κεφαλής λύνοντας ως προς  $H$  την εξίσωση (1). Προκύπτει  $H = 12.49 \times \ln V$ . Άρα:

$$H(I+1) = 12.49 \times \ln V(I+1)$$

**Το πρόβλημα που προκύπτει με αυτήν την μεθοδολογία είναι ότι ο καλοκαίρι αυτή η κατανάλωση είναι πολύ υψηλή και η στάθμη πέφτει γρήγορα κάτω από το ύψος  $H=70m$ , που είναι η ελάχιστη λειτουργία.**



### Διόρθωση

Για να λυθεί το πρόβλημα, εισήχθησαν οι συντελεστές  $A_K$  και  $A_X$ , στην τιμή του  $DV$ , ( $DV' = A \times DV$ ) το καλοκαίρι και τον χειμώνα αντίστοιχα.

Αυτοί οι συντελεστές διόρθωσης, εξασφαλίζουν τα εξής:

Ο  $A_K$  το καλοκαίρι, την δυναμική μείωση της κατανάλωσης νερού ανάλογα με την τιμή της απόστασης της **εισερχόμενης παροχής** για την συγκεκριμένη μέρα από **την ολική μέση**, σε τέτοιο βαθμό ώστε η ελάχιστη στάθμη να έρθει σε ικανοποιητικά και ασφαλή επίπεδα, συγκεκριμένα  $H_{min} \cong 76m$ . Προκύπτει  $A_K = 0,465$ .

Αυτή η 'άνοδος' του ύψους κατά το καλοκαίρι όμως, ανεβάζει την καμπύλη πάνω από τα 95m στο τέλος της υγρής περιόδου, η οποία έπεται της ξηρής στο μοντέλο μας (ξεκινάμε Μάιο από την αρχή της ξηρής και καταλήγουμε τον επόμενο Μάιο στο τέλος της χειμερινής).

Έτσι, προκύπτει  $A_X = 0,42$ , τέτοιο ώστε η καμπύλη να επιστρέφει στο  $H_{max} = 95m$ , δηλαδή να είναι επαναληπτική.

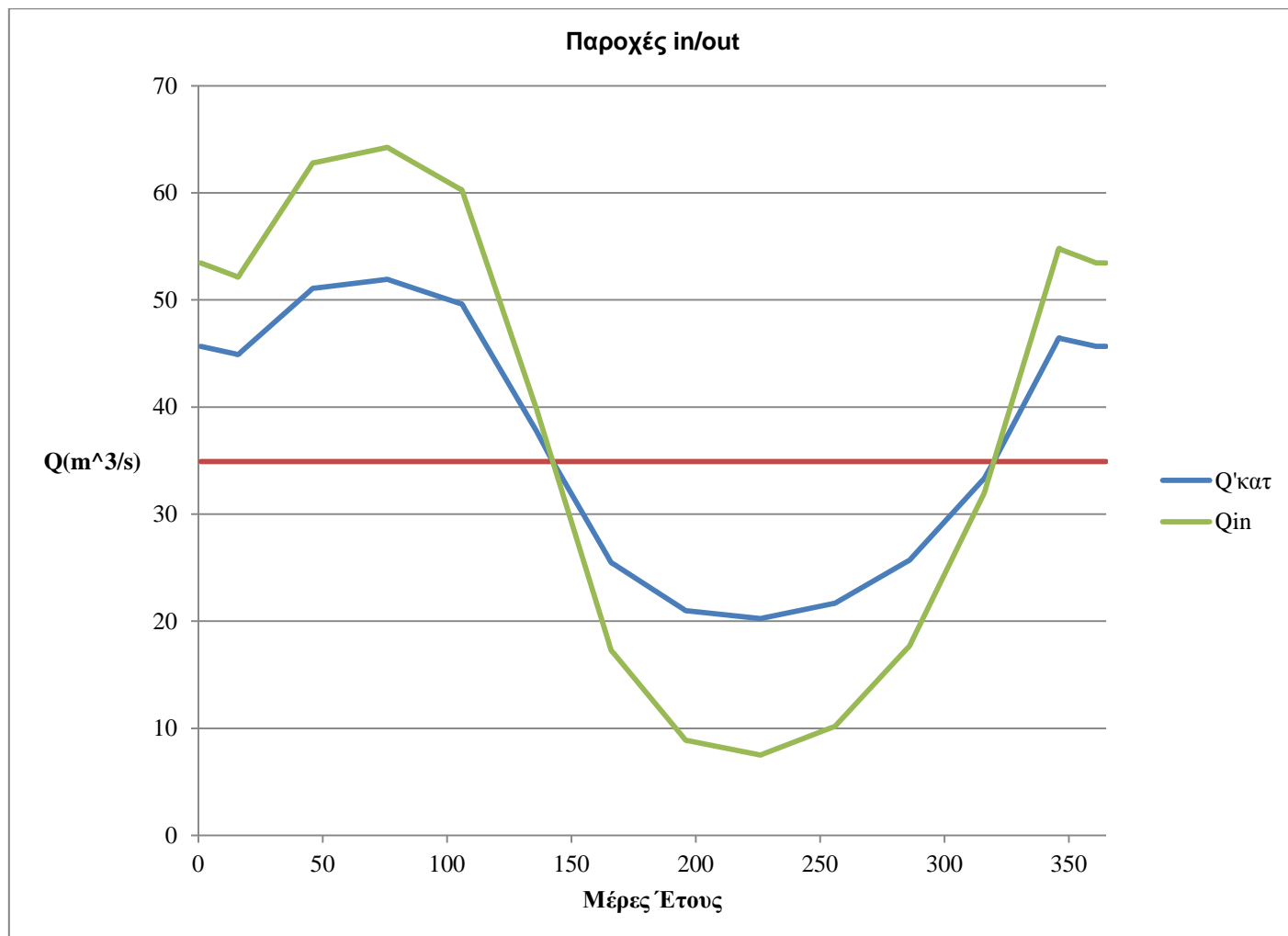
Πρακτικά αυτό για την αντίστοιχη παροχή στον ημερήσιο όγκο νερού που εξέρχεται, σημαίνει ότι πλέον δεν είναι σταθερή ίση με  $Q_{μέση}$ , αλλά μεταβλητή ως εξής:

$$\text{από } DV' = A \times DV \Rightarrow$$

$$(Q_{in} - Q_{κατ}') \times 3600 \times 24 = A \times (Q_{in} - Q_{μέση}) \times 3600 \times 24 \Rightarrow$$

$$Q'_{κατ} = (1 - A) \times Q_{in} + A \times Q_{μέση}$$

Γραφικά αυτή η αλλαγή κατά την διάρκεια του έτους παρουσιάζεται στο Σχήμα 5. Η κόκκινη γραμμή είναι η ολική μέση παροχή, η οποία ήταν και η κατανάλωση στο αρχικό μοντέλο.



Σχήμα 22: Διόρθωση Κατανάλωσης

Παρατηρείται ότι την υγρή περίοδο αυξάνεται η κατανάλωση σε σχέση με το αρχικό μοντέλο, και το καλοκαίρι μειώνεται, δυναμικά, ανάλογα με την απόσταση της εισερχόμενης παροχής από την μέση.

Ξαναεφαρμόζονται οι υπολογισμοί του προγράμματος, με πλέον ως εξερχόμενες καταναλώσεις παροχών όχι σταθερές ίσες με  $Q_{μέση} = 34,91 m^3/s$ , αλλά μεταβλητές σύμφωνα με την προαναφερθείσα εξίσωση

$$Q'_{κατ} = (1 - A) \times Q_{in} + A \times Q_{μέση}, \text{ με}$$

$$A = \begin{cases} 0.465, & 144 \leq I \leq 320 \\ 0.42, & 1 \leq I < 144, \quad 321 \leq I \leq 365 \end{cases}$$

Για κάθε υπολογισμό είναι γνωστά:

-Ο όγκος νερού του ταμιευτήρα αρχικά  $V(I)$

-Εκροές  $V_{out-day}$  (όγκος νερού που καταναλώνεται):

$$V_{out-day} = Q'_{κατ} \times 3600 \times 24$$

-Εισροές  $V_{in}$  (Από μέση καμπύλη διακύμανσης)

$$V_{in} = Q_{in-ideal}(I) \times 3600 \times 24$$

Έτσι, για κάθε μέρα είναι:

$$V(I + 1) = V(I) + DV, \text{ όπου } DV = V_{in} - V_{out-day} \Rightarrow$$

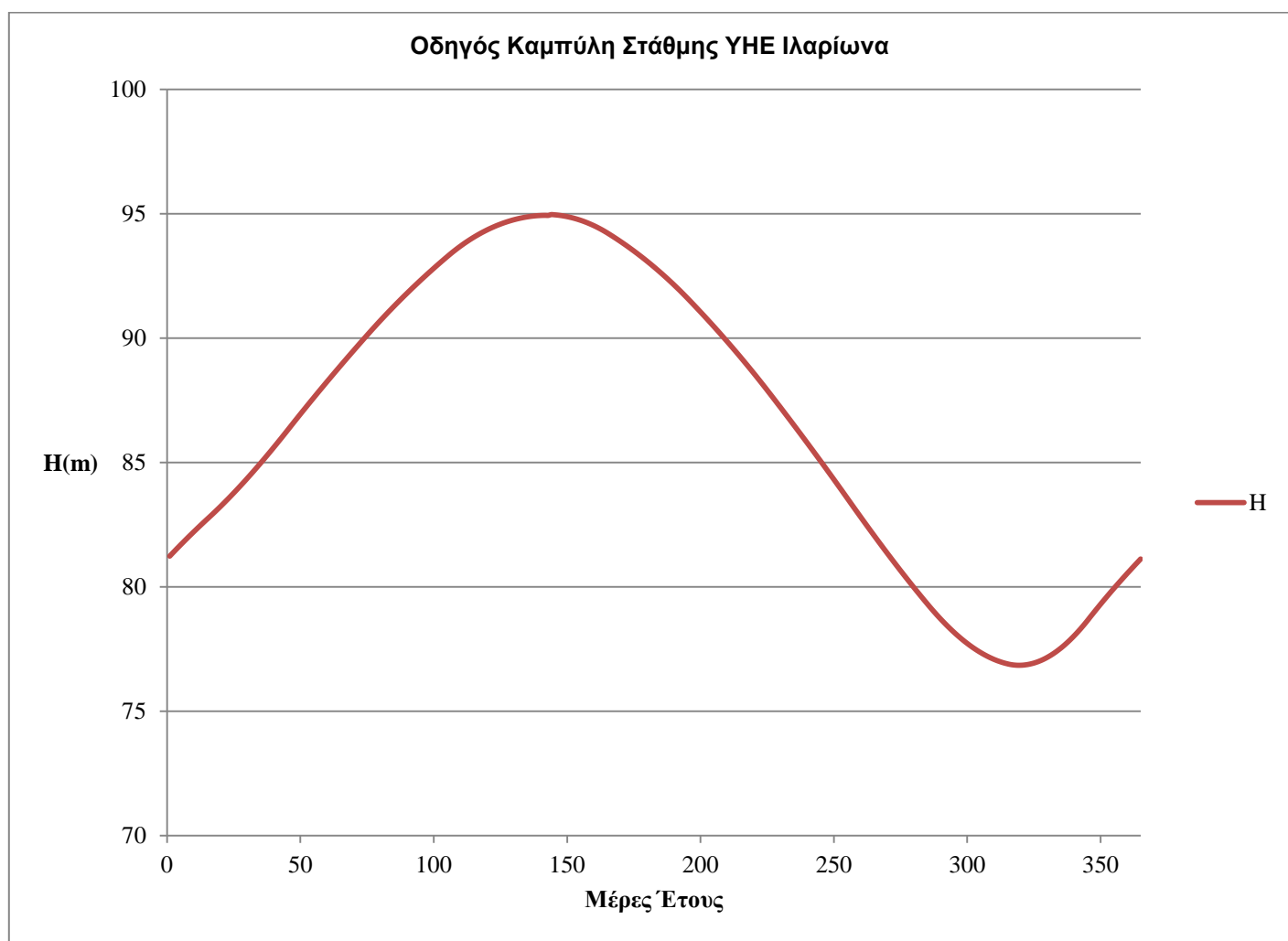
$$DV = (Q_{in-ideal}(I) - Q'_{κατ}) \times 3600 \times 24$$

Ο νέος αυτός όγκος εύκολα αντιστοιχείται σε ύψος υδραυλικής κεφαλής λύνοντας ως προς  $H$  την εξίσωση (1). Προκύπτει  $H = 12.49 \times \ln V$ . Άρα:

$$H(I + 1) = 12.49 \times \ln V(I + 1)$$

Η **καμπύλη στάθμης** που προκύπτει με τις νέες εκροές, έχει την μορφή που θέλουμε. Είναι ομαλή, είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων με ανεκτά περιθώρια για λειτουργία σε περιπτώσεις αποκλίσεων, και είναι επαναληπτική.

Ουσιαστικά εξασφαλίζει, σύμφωνα με τα στατιστικά δεδομένα του ποταμού, την ομαλή λειτουργία του σταθμού, την εξασφάλιση παραγωγής ενέργειας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, και την ομαλή αποταμίευση όγκου νερού κατά τις πιο υγρές περιόδους. Παρουσιάζεται η καμπύλη παρακάτω:



Σχήμα 23: Οδηγός Καμπύλης Στάθμης

Είναι σημαντικό να παρατηρηθεί ότι η μορφή της καμπύλης προέκυψε φυσικά από τα εισερχόμενα δεδομένα, δηλαδή με βάση την ακριβή μορφή των εισερχομένων παροχών του ποταμού. Για αυτό τον λόγο έγινε και αναφορά στο αρχικό μοντέλο, της διατήρησης της κατανάλωσης σε σταθερό ποσό, το οποίο μοντέλο έθεσε και την μορφή της καμπύλης. Από εκεί και πέρα με την εισαγωγή των συντελεστών ουσιαστικά τίθεται το αποδεκτό ελάχιστο ύψος της καμπύλη στάθμης, και η προσαρμογή της καμπύλης από εκεί και πέρα, ώστε να είναι επαναληπτική.

Τα ανώτερα και κατώτερα όρια  $H_{min} = 78m$  και  $H_{max} = 95m$  προτείνονται σε αυτές τις τιμές για λόγους ασφαλείας, αλλά θα μπορούσε να μελετηθεί η περαιτέρω βελτιστοποίησή τους. Γενικά:

Για το ανώτερο όριο, όσο αυξάνεται τόσο μεγαλύτερες παραγωγές έχει το σύστημα **για τις ίδιες σειρές παροχών**, αλλά με ταυτόχρονη αύξηση του ρίσκου της υπερχείλησης του ταμιευτήρα, δηλαδή της απώλειας εν δυνάμει παραγόμενης ενέργειας σε περίπτωση αυξημένων παροχών σε σχέση με την μέση διακύμανση.

Για το κατώτερο, όσο χαμηλότερο είναι τόσο μεγαλύτερη είναι η παραγωγή ενέργειας το καλοκαίρι, με αντίστοιχη αύξηση του κινδύνου μείωσης της στάθμης κάτω από το **ελάχιστο όριο λειτουργίας** των  $H=70m$ , σε περίπτωση μειωμένων εισερχομένων παροχών.

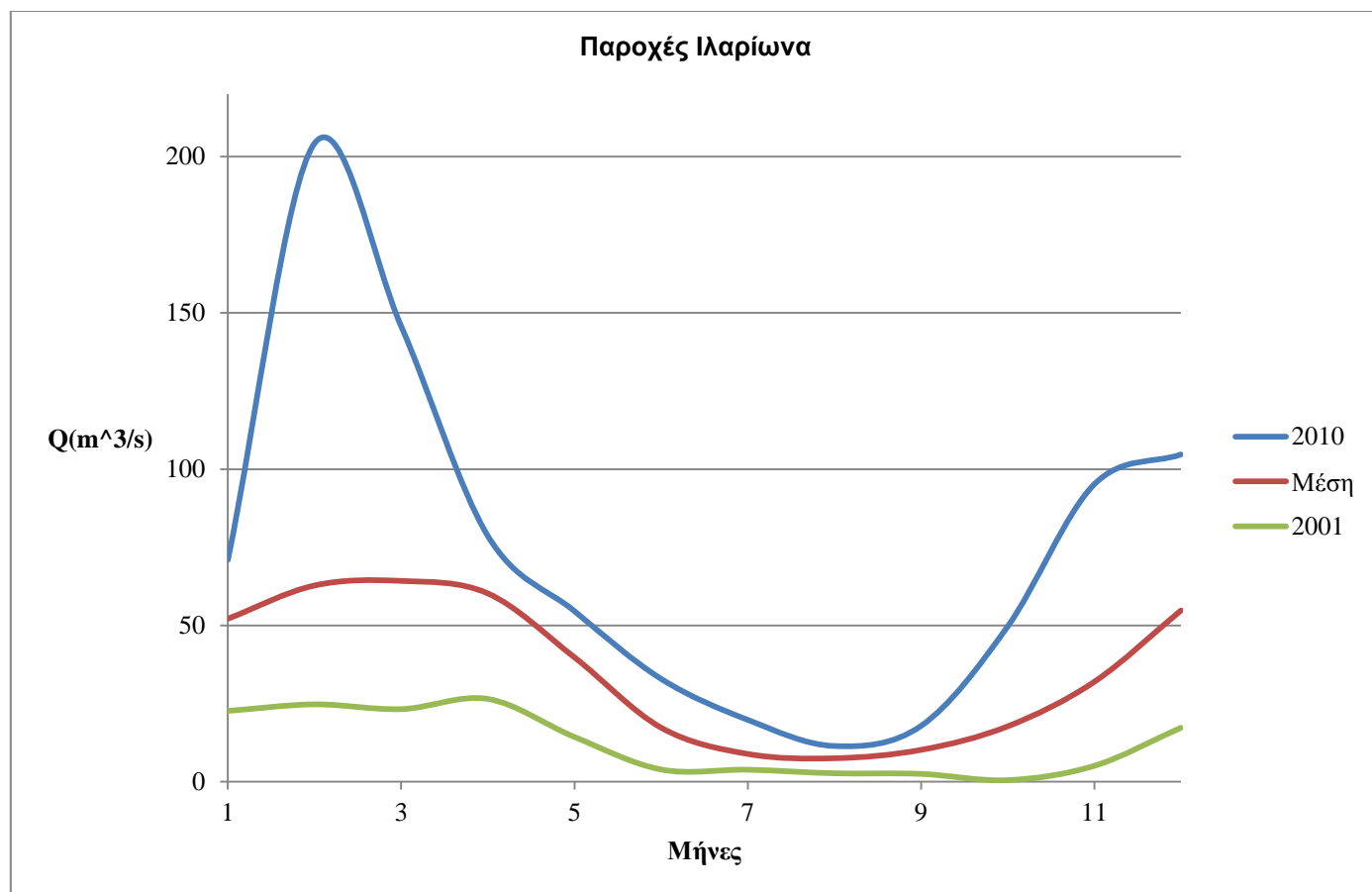
## 5 Μοντέλο Λειτουργίας

### 5.1 Εισαγωγή

Πέρα από την χάραξη της οδηγού καμπύλης στάθμης με βάση τις ιστορικές παροχές που αναπτύξαμε παραπάνω, αναπτύσσεται και προτεινόμενο μοντέλο για την **λειτουργία του έργου με πραγματικές παροχές**.

Το μοντέλο θα πρέπει να εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία του έργου, δηλαδή την διατήρηση της στάθμης εντός των ορίων και όσο γίνεται πιο κοντά στην **οδηγό καμπύλη**, για διαφορετικές περιπτώσεις εισερχόμενων παροχών σε διαφορετικά έτη.

Για να κατανοηθεί το μέγεθος της πιθανής απόκλισης από την μέση διακύμανση παροχών, δίνονται τα παρακάτω 2 σχήματα για 2 περιπτώσεις παροχών, για ένα πολύ υγρό και ένα πολύ ξηρό έτος αντίστοιχα.



Σχήμα 24: Σύγκριση Παροχών

Παρατηρείται ότι οι διαφορές παροχών ενός έτους μπορεί να είναι **επταπλάσιες του προηγούμενου**, οπότε είναι επιτακτική η ανάγκη ανάπτυξης ενός μοντέλου το οποίο μπορεί να ανταπεξέλθει τις απότομες αλλαγές και να δίνει αποδεκτά αποτελέσματα σε όλες τις περιπτώσεις.

Ουσιαστικά πρέπει να ελέγχονται οι ώρες λειτουργίας των στροβίλων για να **επανερχέται όσο το δυνατόν η καμπύλη στο ιδανικό ύψος**, ανάλογα με τις εισερχόμενες πραγματικές παροχές.

## 5.2 Διαδικασία

Ονομάστηκαν οι καταναλισκόμενες εκροές  $Q'_{κατ}(I)$  που υπολογίστηκαν κατά την χάραξη της οδηγού, 'ιδανικές', καθώς από αυτές προέκυψε η οδηγός(ιδανική) καμπύλη στάθμης. Συμβολίζουμε  $Q_{κατ-norm}(I) = Q'_{κατ}(I)$

Από αυτές μπορεί να υπολογιστεί μια 'ιδανική' ή normal σειρά ημερησίων καταναλισκόμενων όγκων νερού  $V_{κατ-norm}(I) = Q_{κατ-norm}(I) \times 3600 \times 24$ . Αυτή είναι η σειρά που προκύπτει αν **οι εισερχόμενες παροχές είναι ίσες με τις μέσες**.

Τώρα, αν για μια συγκεκριμένη μέρα έχουμε το πραγματικό ύψος  $H_{day}$ , υπολογίζεται εύκολα ο όγκος νερού που περιέχει ο ταμιευτήρας,

$$V_{day} = 3.5028 \times e^{0.0447H_{day}},$$

και ο ιδανικός όγκος που θα έπρεπε να έχει ο ταμιευτήρας,

$$V(I) = 3.5028 \times e^{0.0447H(I)},$$

όπου  $H(I)$  η τιμή της οδηγού για την συγκεκριμένη μέρα.

Υπολογίζεται στην συνέχεια η τιμή  $DV = V_{day} - V(I)$ , η οποία είναι η **απόκλιση από την ιδανική καμπύλη**, εκφρασμένη σε όγκο νερού.

Αν  $DV > 0$ , τότε πρέπει να καταναλωθεί παραπάνω όγκος νερού από το κανονικό για να επιστρέψει η στάθμη στην οδηγό, και αντιστρόφως.

Για ομαλοποίηση λειτουργίας, το μοντέλο που προτείνεται για επιστροφή στην οδηγό καμπύλη είναι ο **επαναπροσδιορισμός της ημερήσιας κατανάλωσης** νερού ώστε να προγραμματίζεται η επιστροφή σε διάρκεια **3 ημερών**.

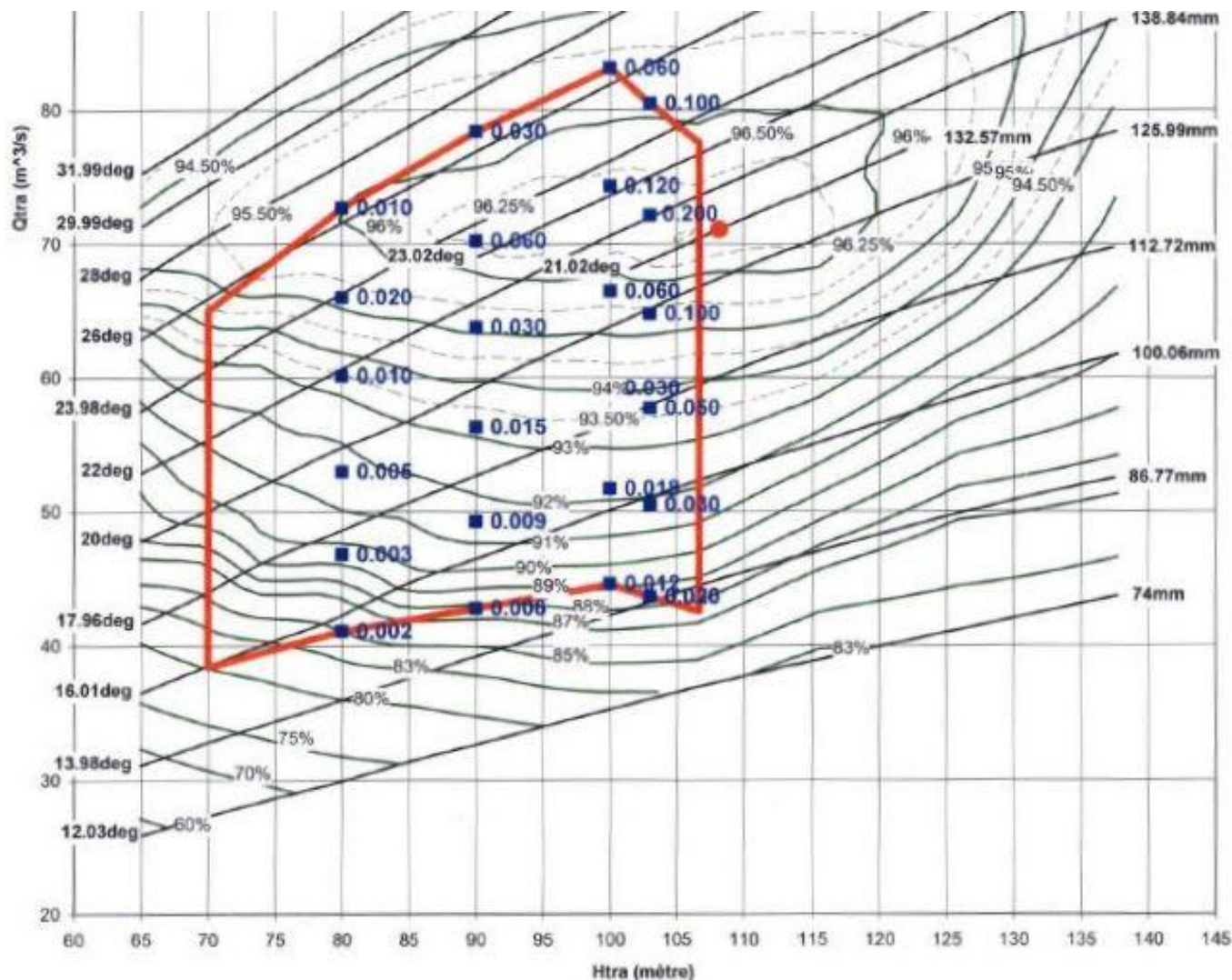
Αυτό σημαίνει ότι η ημερήσια προγραμματισμένη κατανάλωση νερού είναι:

$$V_{κατ} = V_{κατ-norm} \left( + / - \right) \frac{DV}{3},$$

ανάλογα με το αν η στάθμη βρίσκεται πάνω ή κάτω απ'την οδηγό αντίστοιχα.



Στην συνέχεια, αφού έχει βρεθεί ο όγκος νερού που πρέπει να καταναλωθεί στην μέρα, από το **διάγραμμα χαρακτηριστικών των στροβίλων**, και για συγκεκριμένο βαθμό απόδοσης, βρίσκεται η παροχή του στροβίλου  $Q_{στρ}$ . Παρατίθεται το διάγραμμα παρακάτω:



Σχήμα 25: Χαρακτηριστικές Στροβίλων

Αφού βρεθεί απ'το διάγραμμα η  $Q_{στρ}$ , μπορεί να υπολογισθεί και ο χρόνος λειτουργίας των στροβίλων και η ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας.

Ο χρόνος λειτουργίας, για κάθε στρόβιλο, υπολογίζεται από την εξίσωση

$$t = \frac{V_{κατ}}{2 \times Q_{στρ}}$$

και η Ημερήσια Παραγόμενη Ενέργεια

$$E = 2\rho g H Q n \times t$$

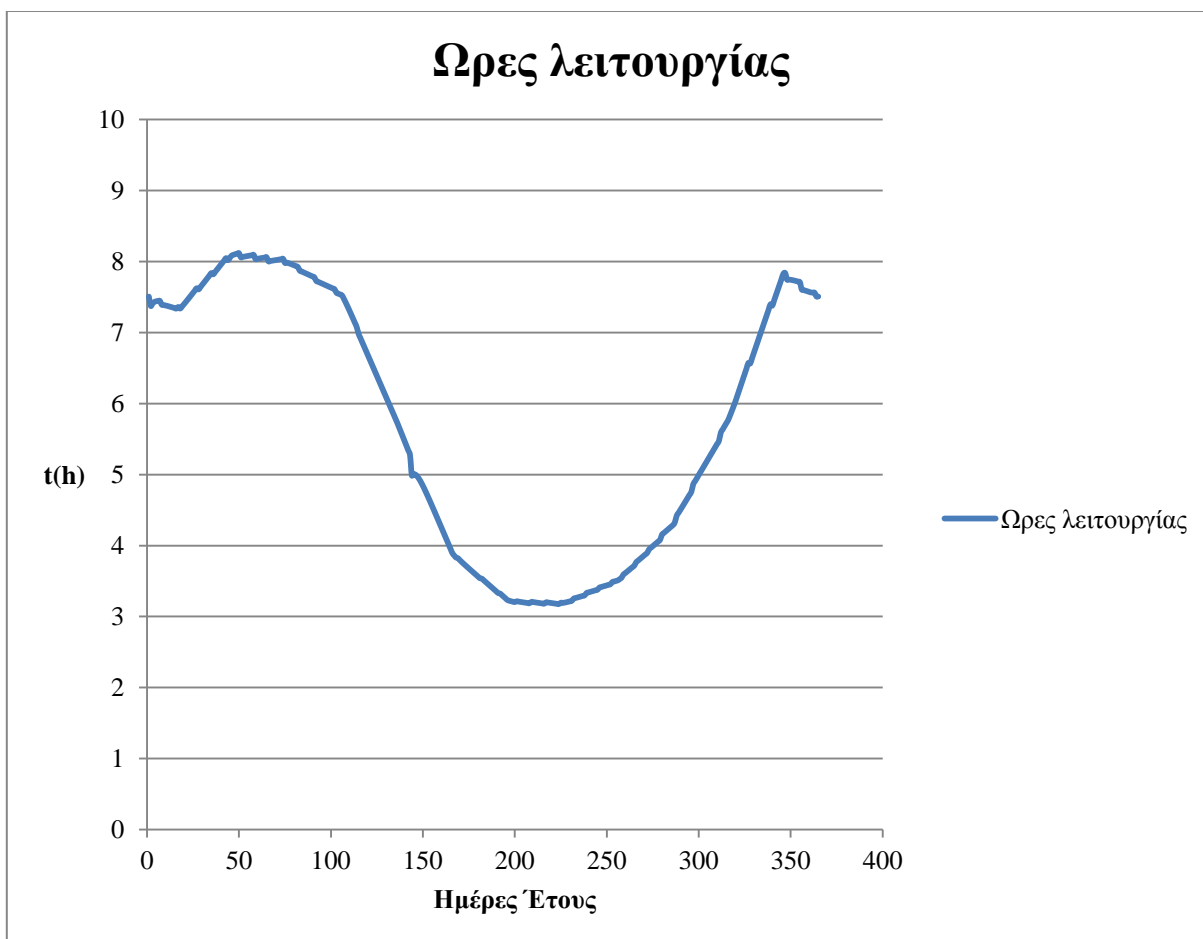
Στην συνέχεια, υπολογίζεται ο νέος όγκος νερού  $V_{day-new} = V_{day} + V_{in} - V_{κατ}$  που περιέχει ο ταμιευτήρας, προσθέτοτας τις **εισροές** και **αφαιρόντας** τις καταναλώσεις, και αντιστοιχείται το νέο ύψος στάθμης, συνεχίζοντας τον υπολογισμό για την επόμενη μέρα:

$$H_{day-new} = 12.49 \times \ln V_{day-new}$$

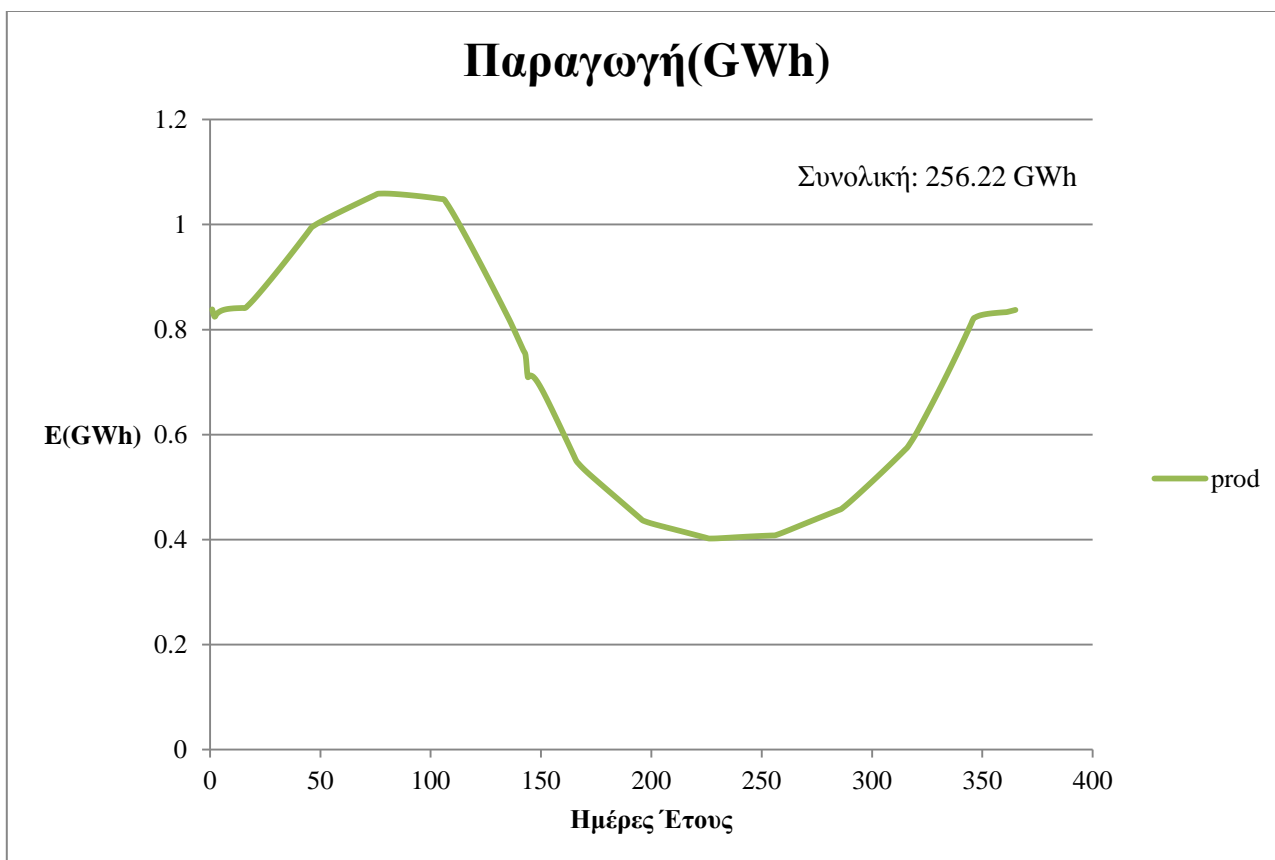
Αρχικά, προκειμένου να υπάρχει μια βασική αναφορά, εκτελείται το μοντέλο για **εισερχόμενες παροχές ίσες με την μέση διακύμανση**, ώστε να παρουσιαστεί η εξέλιξη των ωρών λειτουργίας των στροβίλων και η παραγόμενη ενέργεια, στην διάρκεια ενός 'ιδανικού' έτους.

Προφανώς σε αυτήν την περίπτωση η πραγματική καμπύλη ακολουθεί ακριβώς την οδηγό, και το  $DV=0$  σε κάθε περίπτωση.

Παρατίθενται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του αλγορίθμου για το ιδανικό έτος:



Σχήμα 26: Ωρες Λειτουργίας Στροβίλων (μέσο έτος)



Σχήμα 27: Παραγωγή Στροβίλων (μέσο έτος)

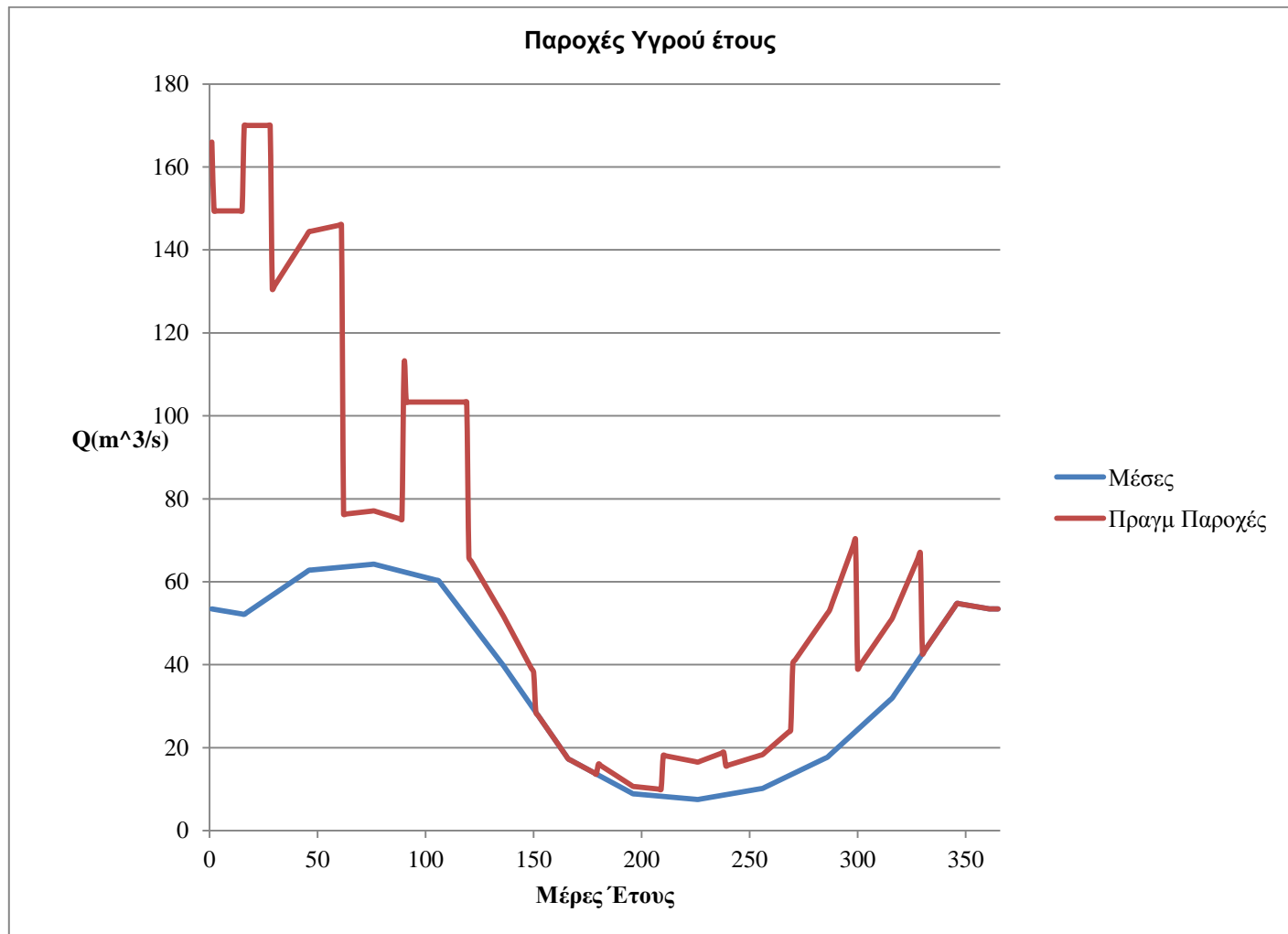
Προκύπτει συνολική παραγωγή ενέργειας  $E_{tot} = 256.22 GWh$ , δηλαδή ένας συντελεστής ενεργειακής αξιοποίησης  $\alpha=0,21$ .

Παρουσιάζονται τώρα παρακάτω επίσης τα αποτελέσματα λειτουργίας για **2 διαφορετικές συνθήκες παροχών** κατά την διάρκεια 2 ετών, ένα πολύ υγρό έτος, και ένα πολύ ξηρό.

Για κάθε περίπτωση, παρατίθενται τα αποτελέσματα του μοντέλου λειτουργίας ως γραφήματα εξέλιξης των **εισροών**, των **ωρών λειτουργίας**, της **παραγόμενης ενέργειας**, και της **πραγματικής καμπύλης στάθμης**

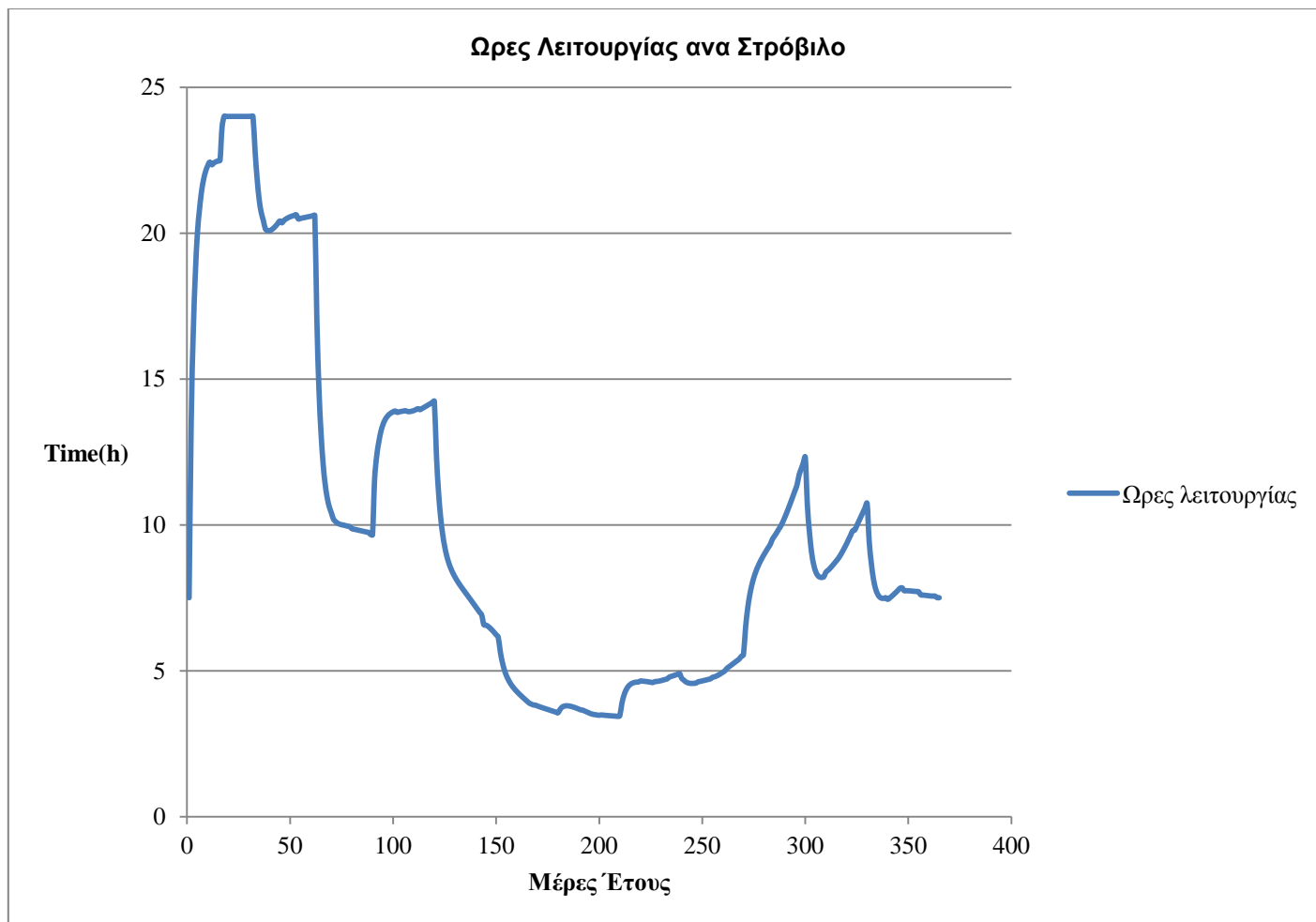
1. Υγρό έτος (παροχές κοντά σε αυτές του 2003)

Φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα οι αυξημένες σε σχέση με την μέση διακύμανση παροχές του 2003.

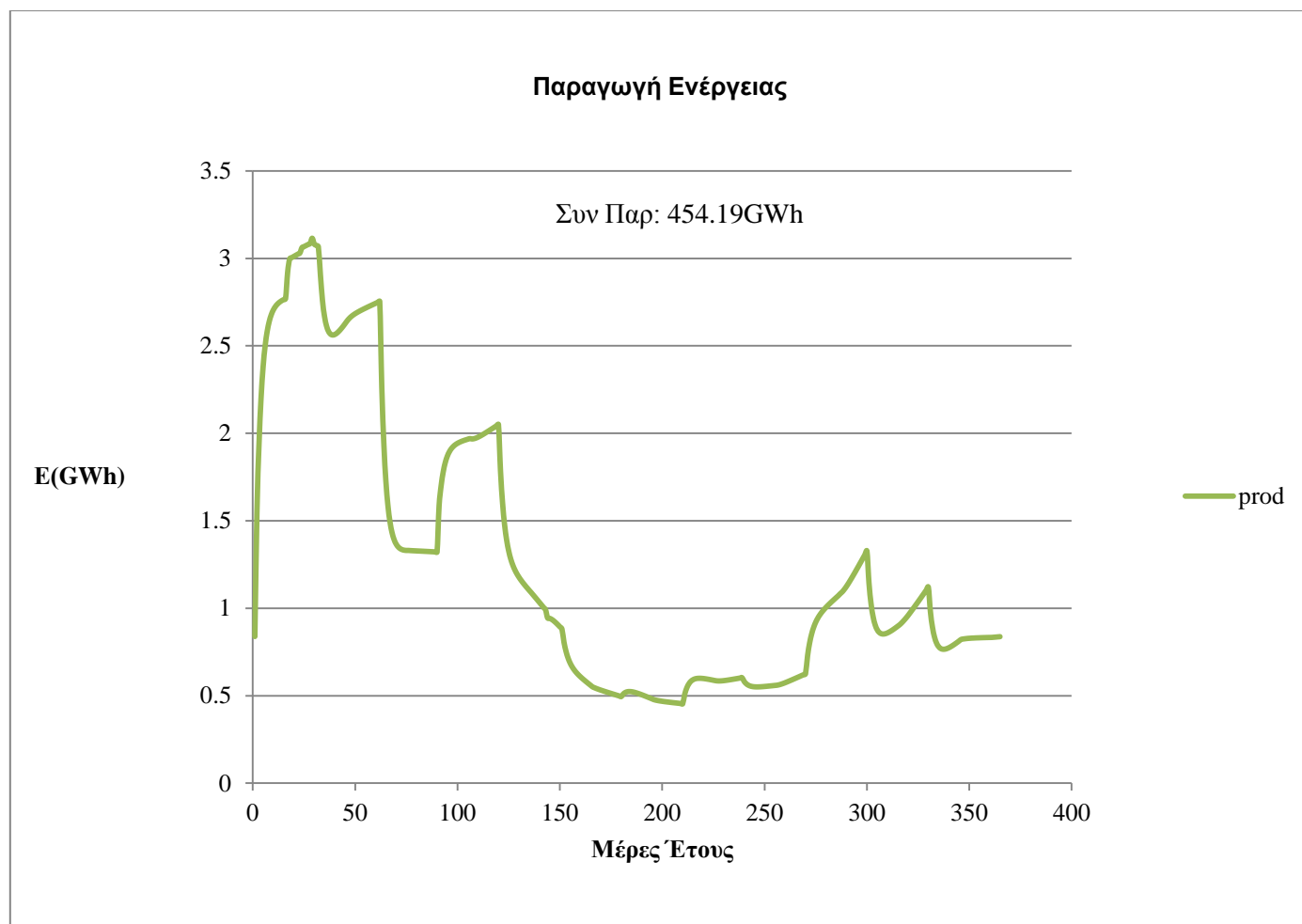


Σχήμα 28: Παροχές Υγρού έτους

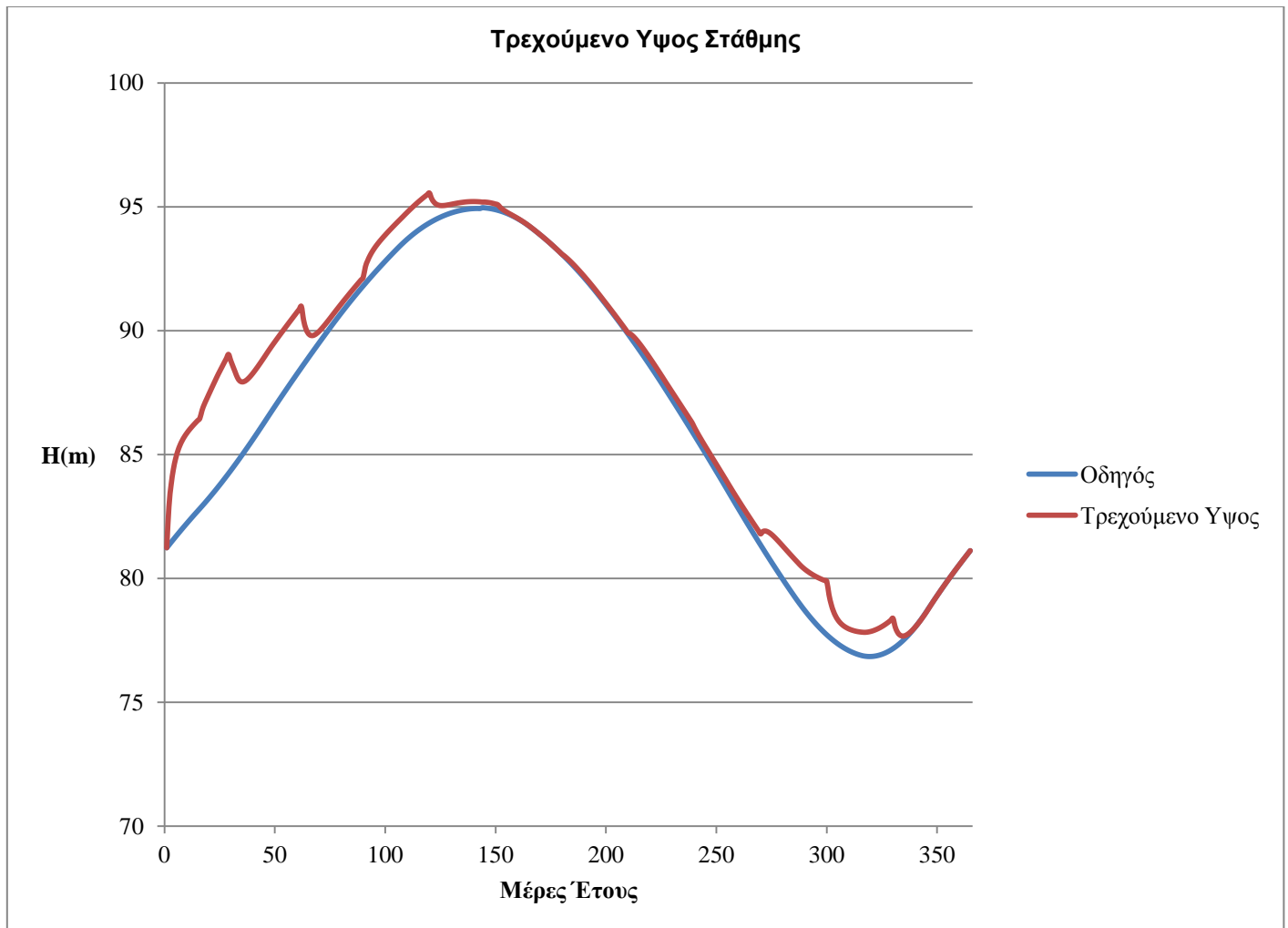
Όπως είναι λογικό, για να ανταπεξέλθει το σύστημα τις αυξημένες παροχές και την αντίστοιχη διαφορά μεταξύ πραγματικής και ιδανικής στάθμης, αυξάνονται οι ώρες λειτουργίας των στροβίλων, με αντίστοιχη αύξηση της παραγόμενης ενέργειας.



Σχήμα 29: Ωρες Λειτουργίας ανα Στρόβιλο (υγρό έτος)



Σχήμα 30: Παραγωγή Ενέργειας (υγρό έτος)



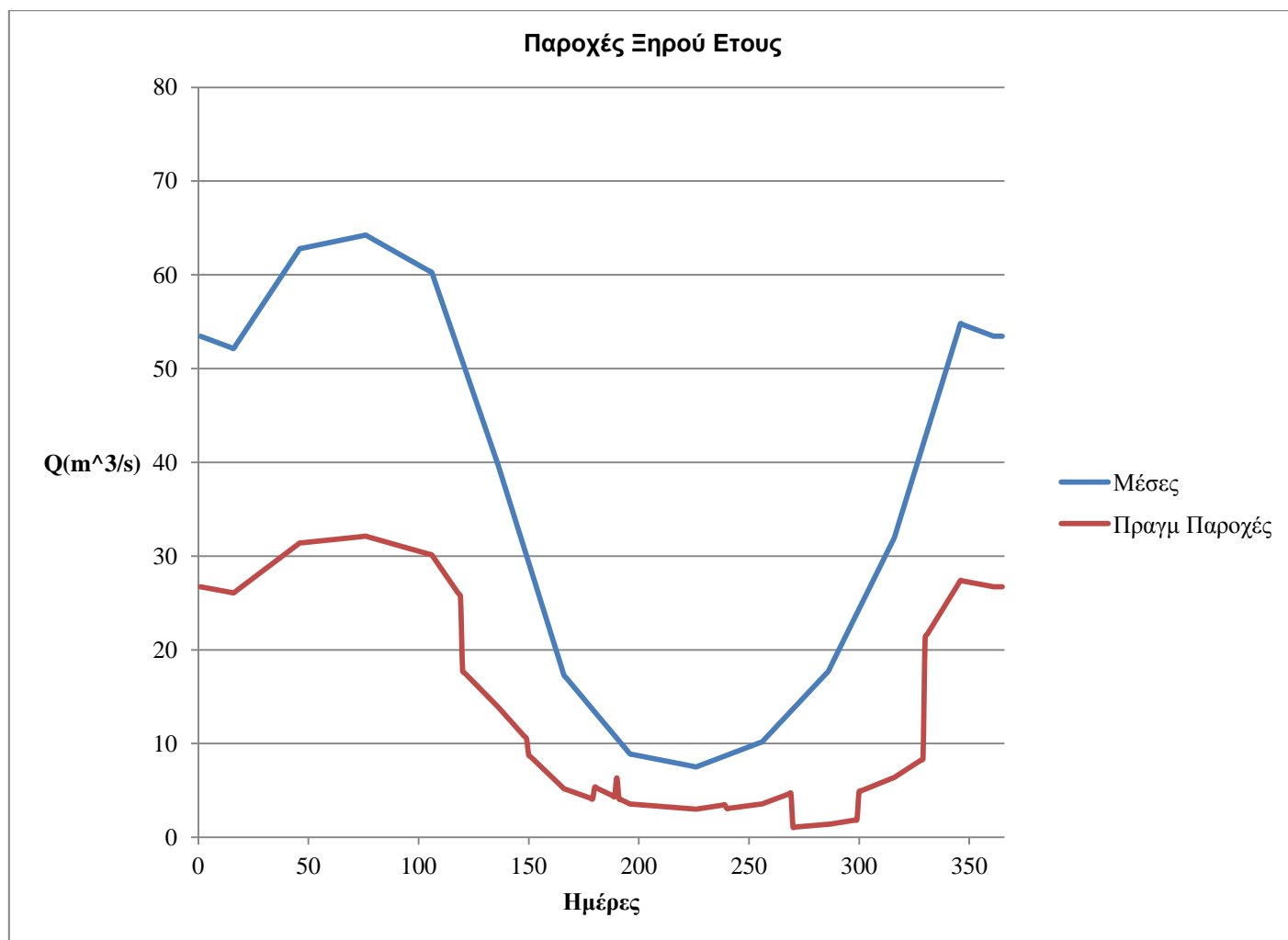
Σχήμα 31: Τρεχούμενο Υψος Στάθμης (υγρό έτος)

Αξίζει να παρατηρηθεί ότι κατά την διάρκεια του τελευταίου μισού του πρώτου μήνα, οι στρόβιλοι λειτουργούν στην μέγιστη δυνατότητα λειτουργίας τους, οπότε οι παροχές είναι τόσο μεγάλες που προκύπτει κάποια υπερχείλιση του ταμιευτήρα

Προκύπτει συνολική Παραγόμενη Ενέργεια  $E_{συν} = 454.19 GWh$ , δηλαδή ένας συντελεστής ενεργειακής αξιοποίησης  $\alpha = 0.37$ .

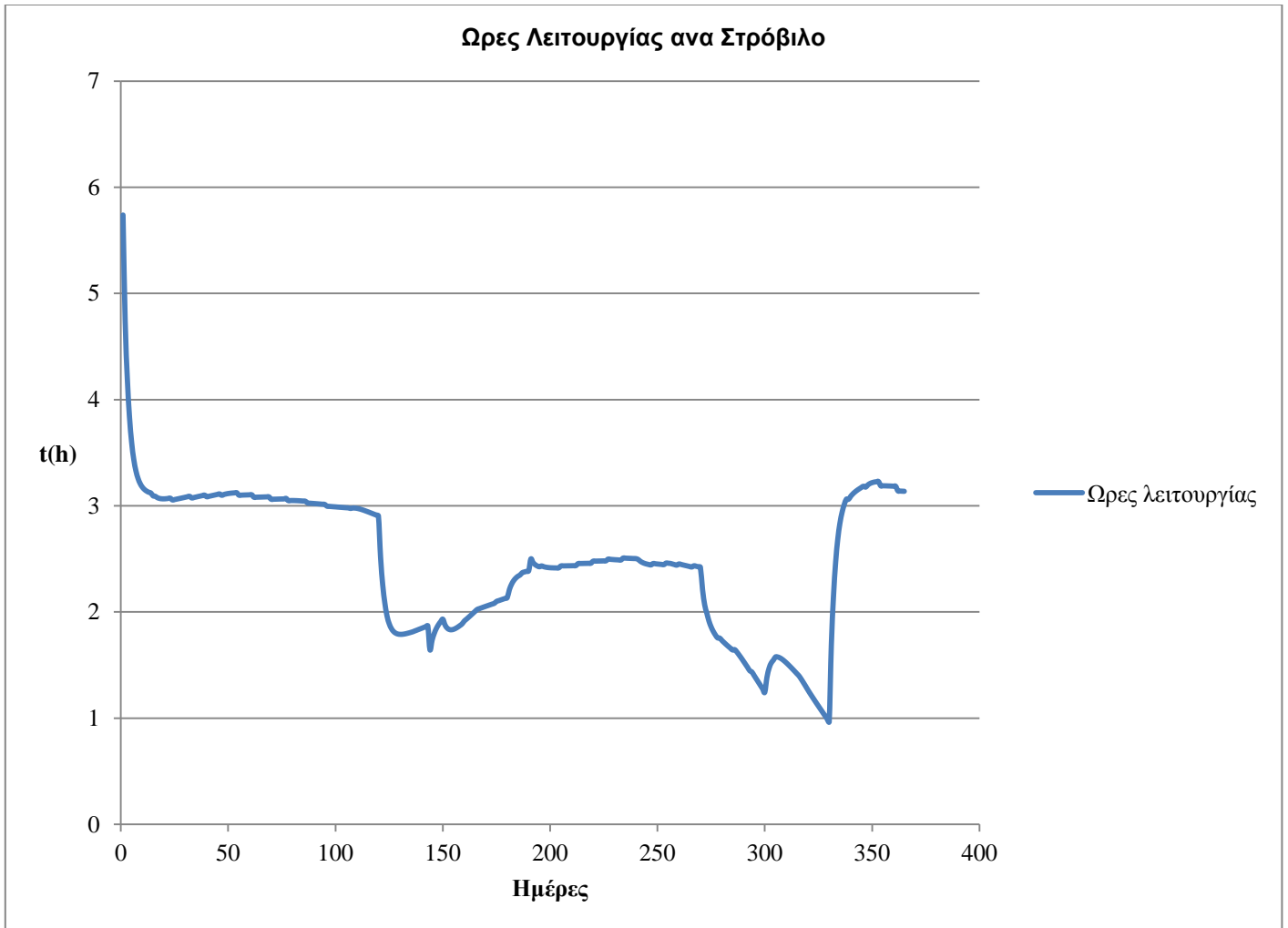


## 2. Ξηρό Έτος(παροχές κοντά σε αυτές του 2001)

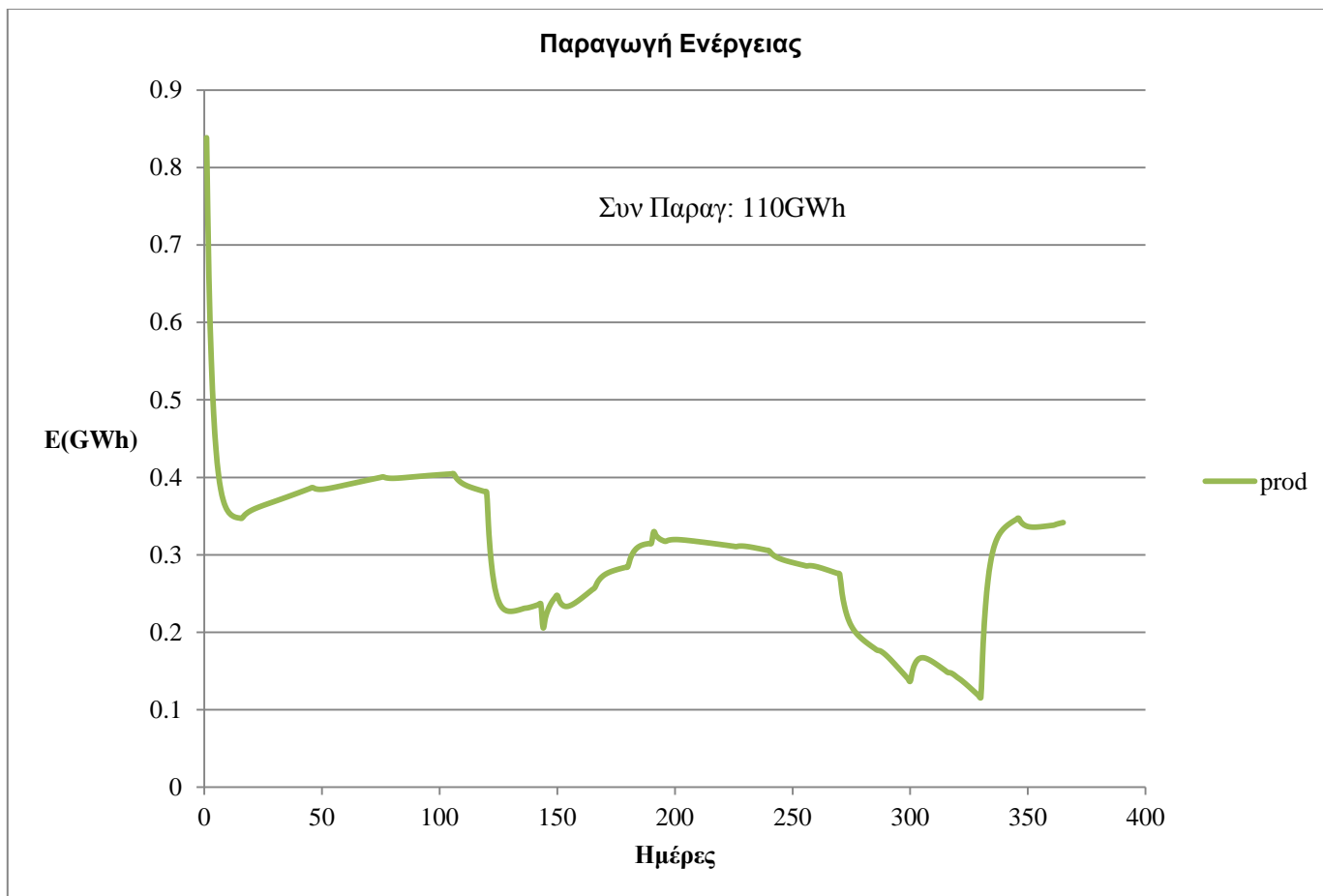


Σχήμα 32: Παροχές ξηρού έτους

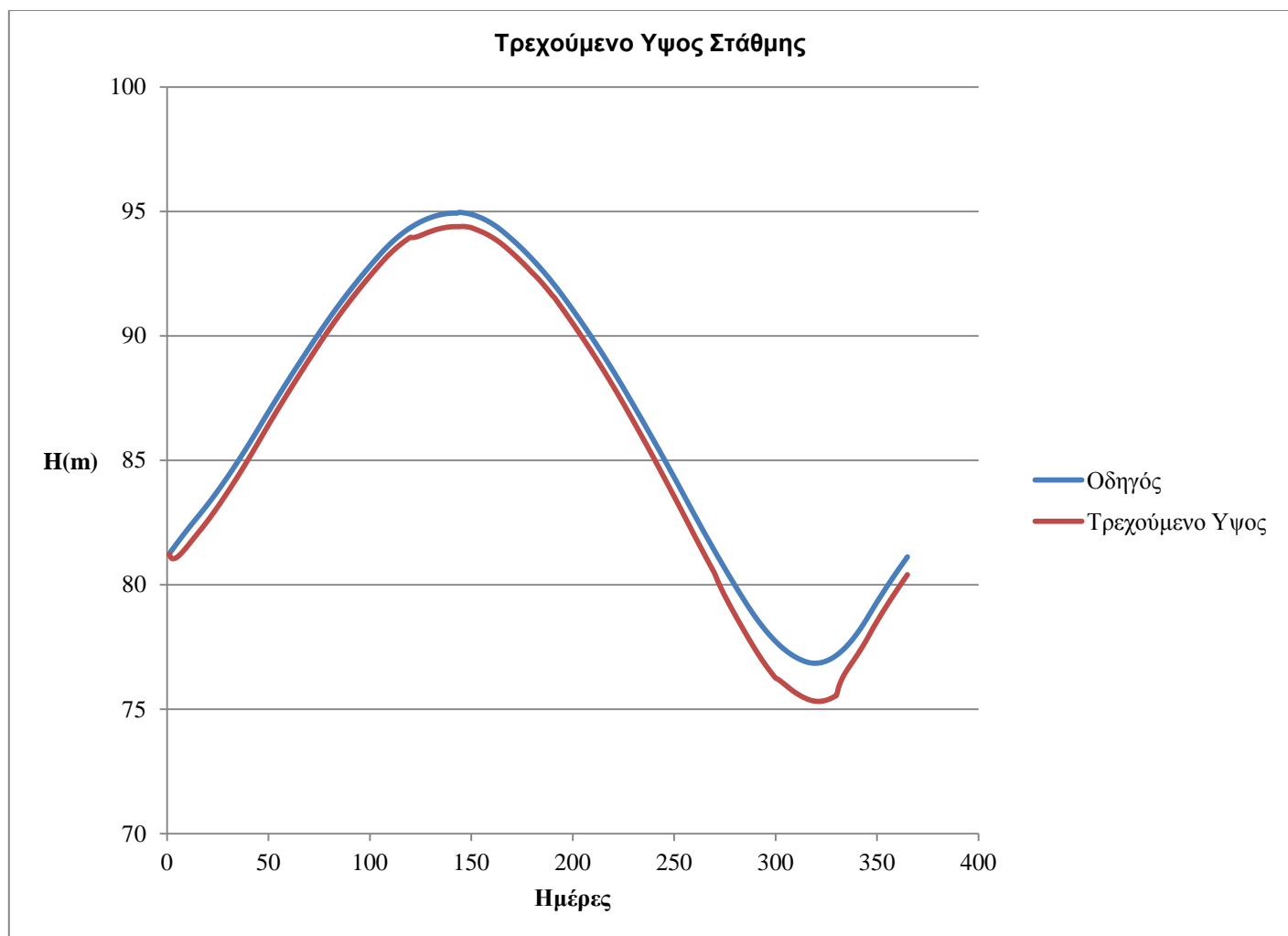
Εδώ οι παροχές είναι κατά πολύ μικρότερες της μέσης διακύμανσης, είναι δηλαδή ένα πολύ ξηρό έτος. Προφανώς θα μειωθούν οι ώρες λειτουργίας των στροβίλων με αντίστοιχη μείωση της παραγόμενης ενέργειας από το έργο.



Σχήμα 33: Ωρες Λειτουργίας ανα Στρόβιλο (ξηρό έτος)



Σχήμα 34: Παραγωγή Ενέργειας (ξηρό έτος)



Σχήμα 35: Τρεχούμενο Υψος Στάθμης (ξηρό έτος)

Στο σχήμα 7 παρατηρείται παροχή κατά πολύ μειωμένη από την μέση, ειδικά την περίοδο του καλοκαιριού όπου υπάρχει και ο κίνδυνος μείωσης της στάθμης κάτω από τα επιτρεπτά όρια λειτουργίας.

Όπως είναι λογικό, φαίνεται στο σχήμα 12 η μείωση του χρόνου λειτουργίας των στροβίλων, ώστε να κατακρατηθεί όσο το δυνατόν όγκος νερού, λόγω των μειωμένων παροχών, και να επιτευχθεί ομαλή επιστροφή στην οδηγό καμπύλη.

Προκύπτει συνολική Παραγόμενη Ενέργεια  $E_{\text{συν}} = 110\text{GWh}$ , δηλαδή ένας συντελεστής ενεργειακής αξιοποίησης  $a = 0.09$

## 6 Συμπεράσματα

Οι δύο βασικοί σκοποί αυτής της διπλωματικής μελέτης ήταν η χάραξη της οδηγού καμπύλης, και η πρόταση μοντέλου λειτουργίας για το ΥΗΕ του Ιλαρίωνα(ΔΕΗ).

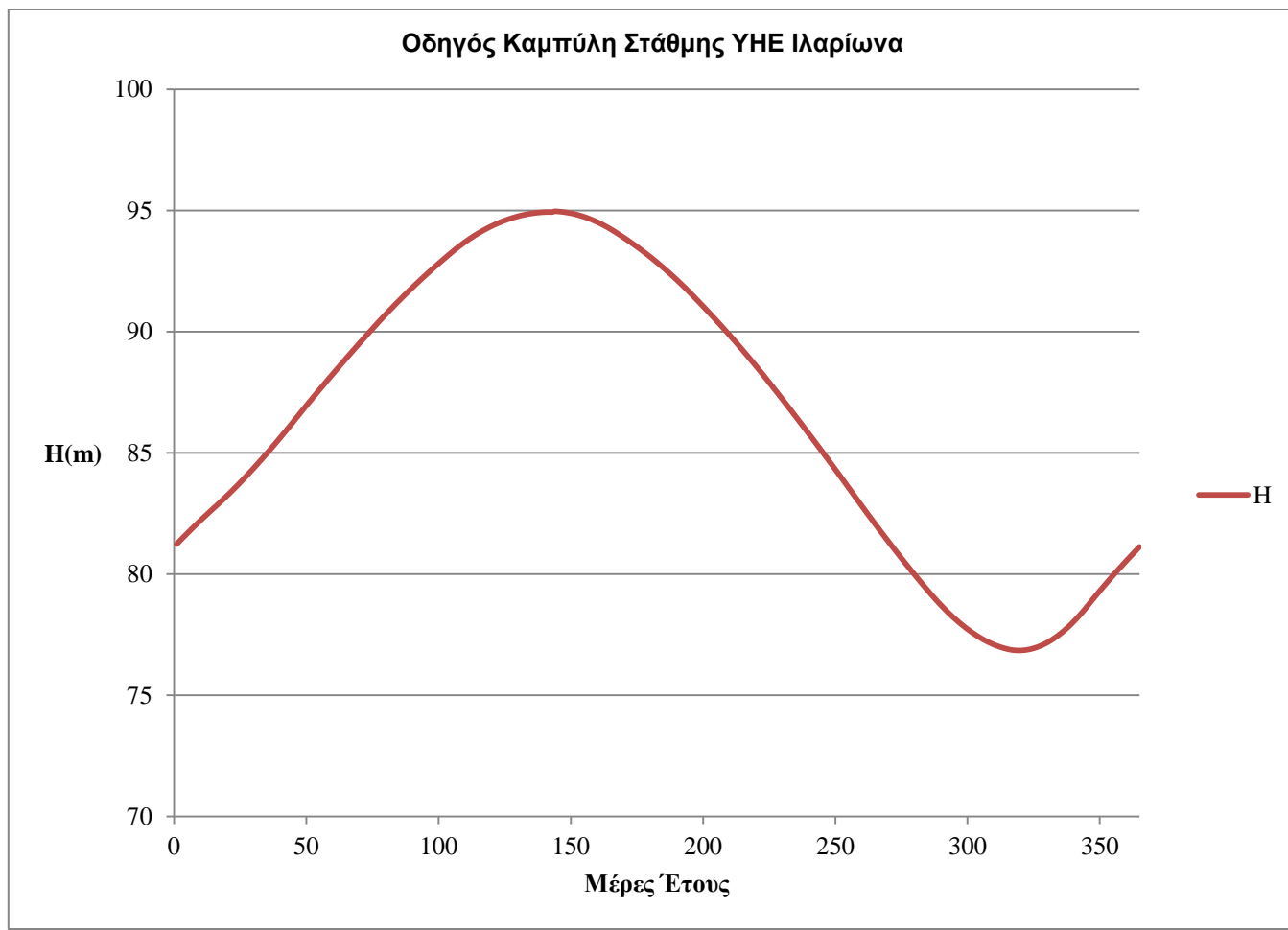
### Οδηγός Καμπύλη

Με βάση τα στατιστικά στοιχεία των παροχών του ποταμού, και τα απαιράιτητα στοιχεία που αφορούν το έργο, χαράχθηκε η πρότυπη (οδηγός) καμπύλη στάθμης του ταμιευτήρα κατά την διάρκεια του έτους. Η καμπύλη αυτή όφειλε:

- Να έχει την βέλτιστη μορφή 'λοφίου', που είναι η απαραίτητη μορφή για να πληρεί και τον λόγο ύπαρξης του ταμιευτήρα, δηλαδή την αποταμίευση νερού κατά τις περιόδους αυξημένων παροχών για χρησιμοποίηση κατά τις ξηρότερες περιόδους
- Να είναι επαναληπτική
- Να είναι εντός των επιβαλόμενων ορίων στάθμης.

Με τους υπολογισμούς και τις διαδικασίες που παρουσιάστηκαν αναλυτικά στα προηγούμενα κεφάλαια, δημιουργήθηκε η οδηγός καμπύλη η οποία πληρεί βέλτιστα τις παραπάνω προϋποθέσεις.

Επιλέχθηκε για λόγους ασφαλείας ως ελάχιστο σημείο της το  $H_{min} \cong 77m$ , και για μέγιστο το σημείο  $H_{max} \cong 95m$ .



Σχήμα 36: Οδηγός Καμπύλη Στάθμης

## **Μοντέλο Λειτουργίας**

Πέραν της χάραξης της οδηγού καμπύλης, αναπτύχθηκε και προτεινόμενο μοντέλο για την λειτουργία του έργου με πραγματικές παροχές. Αυτό ουσιαστικά αφορά τον τρόπο προσέγγισης της οδηγού καμπύλης σε περιπτώσεις αποκλίσεων, που προφανώς θα υπάρχουν, λόγω της διαφοράς των πραγματικών παροχών από τις μέσες διακυμάνσεις.

Προτάθηκε μοντέλο το οποίο για κάθε μέρα αντιστοιχεί την υψομετρική διαφορά της οδηγού από την πραγματική στάθμη για την συγκεκριμένη μέρα σε διαφορά όγκου νερού, και υπολογίζει την αντίστοιχη αύξηση ή μείωση της κατανάλωσης σε σχέση με την 'βέλτιστη' της συγκεκριμένης μέρας, για να επιτυγχάνεται επιστροφή στην οδηγό σε διάρκεια 3 ημερών. Έτσι, η διόρθωση της κατανάλωσης είναι δυναμική, ανάλογη της απόστασης της πραγματικής στάθμης από την οδηγό.

Το συγκεκριμένο μοντέλο έφερε απολύτως αποδεκτά αποτελέσματα σε 2 αντιδιαμετρικά αντίθετες περιπτώσεις εισερχόμενων παροχών, για ένα πολύ ξηρό και ένα πολύ υγρό έτος.

## **Περαιτέρω Ανάπτυξη/Έρευνα**

-Κατά την διάρκεια της μελέτης βασικό μέλημα ήταν η διατήρηση της λειτουργίας του έργου σε ασφαλή επίπεδα. Θα μπορούσε να εξεταστεί βαθύτερα η αύξηση του 'κινδύνου' λειτουργίας του έργου με σκοπό την αύξηση της παραγόμενης ενέργειας και του συντελεστή ενεργειακής αξιοποίησης.

-Πλυμμηρικές Παροχές: Δοκιμάστηκε το μοντέλο για περιπτώσεις πλυμμηρικών παροχών 50ετίας.

Προφανώς παρόλο που οι στρόβιλοι έθεσαν την λειτουργία τους στο μέγιστο, δηλαδή στις 24h/ ημέρα, υπήρξε υπερχείλιση καθώς η στάθμη λόγω του μεγέθους των εισερχομένων παροχών ξεπέρασε το επιτρεπόμενο όριο των 100m. Αυτή η



υπερχείληση αντιστοιχεί σε χαμένη ενέργεια, αλλά από σύντομους υπολογισμούς που έγιναν φάνηκε ότι δεν είναι συμφέρουσα η μείωση της στάθμης της οδηγού καμπύλης για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου, καθώς κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε μειωμένη παραγόμενη ενέργεια κατά την διάρκεια όλων των υπόλοιπων ετών.

Παρόλα αυτά, η συσχέτιση του φαινομένου πλυμμηρικών παροχών με την βελτίωση της οδηγού καμπύλης και του μοντέλου λειτουργίας θα μπορούσε να μελετηθεί βαθύτερα.

-Ιδιαίτερο ενδιαφέρον επίσης θα είχε η ανάπτυξη μοντέλου μεγαλύτερης σοφιστικότητας, το οποίο θα έχει την δυνατότητα να δέχεται ως εισερχόμενο δεδομένο προβλέψεις για τις εισερχόμενες παροχές των επόμενων ημερών, και να μεταβάλλει ανάλογα την λειτουργία.

## 7 Βιβλιογραφία

1. World Population Historical Data. *The World Bank*. [Ηλεκτρονικό] 2012. <http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>.
2. Per Capita Energy Consumption. *gailtheactuary*. [Ηλεκτρονικό] <http://gailtheactuary.files.wordpress.com/2012/03/per-capita-world-energy-by-source.png>.
3. World Energy Consumption Data. *The Oil Drum*. [Ηλεκτρονικό] <http://www.theoil Drum.com/node/9023>.
4. *Energy Information Administration*. [Ηλεκτρονικό] <http://www.eia.gov/forecasts/ieo/>.
5. World Energy Consumption Historical Data. *Energy Information Administration*. [Ηλεκτρονικό] <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=6&pid=29&aid=12&cid=ww,&syid=1980&eyid=2011&unit=BKWH>.
6. [Ηλεκτρονικό]
7. **ΔΕΗ**. *Δεδομένα Εργου*. 2012.
8. [Ηλεκτρονικό]
9. **ΛΑΓΗΕ**. [Ηλεκτρονικό] **ΛΑΓΗΕ**.
10. **ΛΑΓΗΕ**. *ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΣΗΘΥΑ Συνοπτικό Πληροφοριακό Δελτίο*.
11. **ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ**. [Ηλεκτρονικό] <http://www.ppcr.gr/>.
12. **Γεώργιος, Λαζαρίδης**. *Ενεργειακό Ζήτημα*.
13. Energy Use Historical Data. *The World Bank*. [Ηλεκτρονικό] 2012. <http://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.PCAP.KG.OE>.
14. **ΛΑΓΗΕ ΑΕ**, *Λειτουργός της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας*. **ΛΑΓΗΕ**. [Ηλεκτρονικό] <http://www.lagie.gr/>.

## 8 Παραρτήματα

Παρατίθενται οι κώδικες που χρησιμοποιήθηκαν για τις διαδικασίες της διπλωματικής. Οι κώδικες είναι γραμμένοι σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN 77

### -Χάραξη Οδηγού Καμπύλης

```
PROGRAM KAMPILI_H
DIMENSION Q(365), H(365), A(365), QOUT(365)
OPEN(UNIT=21, FILE='3.EISR_ILAR.DAT')
OPEN(UNIT=22, FILE='12.KAMPILI_HDAILY.DAT')
OPEN(UNIT=23, FILE='A.DAT')
OPEN(UNIT=24, FILE='EKROESODIGOU.DAT')

READ(21,*) Q
AVG=34.9113

C   PREPEI THN MERA I=143 NA EXW H=95M

H(143)=95
V=3.5028*EXP(0.0447*H(143))

DO I=144,365
C   KALOKAIRI
IF (I.LT.320) THEN
V=V+0.465*(Q(I)-AVG)*3600*24/1000000
QOUT(I)=0.535*Q(I)+0.465*AVG
H(I)=LOG(V/3.508)/0.0447
C   XEIMWNAS
ELSE
V=V+0.42*(Q(I)-AVG)*3600*24/1000000
QOUT(I)=0.58*Q(I)+0.42*AVG
```

```
H(I)=LOG(V/3.508)/0.0447
ENDIF
ENDDO

DO I=1,143
V=V+0.42*(Q(I)-AVG)*3600*24/1000000
QOUT(I)=0.58*Q(I)+0.42*AVG
H(I)=LOG(V/3.508)/0.0447
ENDDO

WRITE (22,*) 'YPSOS (H) ANA MERA'
WRITE (22,20) H
WRITE (24,*) 'EKROES APO IDANIKI'
WRITE (24,20) QOUT

20    FORMAT (F20.5)

END
```

### **-Λειτουργία**

```
PROGRAM LEITOURGIA
  DIMENSION
HGUIDE(365),QSTR(31),H(365),QREAL(365),QNORM(365)
  REAL N,NOT
  OPEN(UNIT=21, FILE='12.KAMPILI_HDAILY.DAT')
  OPEN(UNIT=22, FILE='H-Q.DAT')
  OPEN(UNIT=23, FILE='QSEIRES.DAT')
  OPEN(UNIT=24, FILE='HRUNNING.DAT')
  OPEN(UNIT=25, FILE='EKROESODIGOU.DAT')

  READ (21,*)
  READ (21,*)HGUIDE
  READ(22,*)
  READ(22,*)QSTR
  READ(23,*)
```

```
READ(23,*)QREAL
READ(25,*)
READ(25,*)QNORM

H(1)=HGUIDE(1)
V=3.5028*EXP(0.0447*H(1))

DO I=1,365
VNORM=QNORM(I)*3600*24/1000000

K=H(I)
J=ABS(K)-69
NTOT=0

IF(H(I).GT.HGUIDE(I)) THEN
DV=(3.5028*EXP(0.0447*H(I))-3.5028*EXP(0.0447*HGUIDE(I)))
VDAYOUT=VNORM*10**6+(DV*10**6)/(3)
VDAYMAX=2*QSTR(J)*3600*24
IF (VDAYOUT.GT.VDAYMAX) THEN
VDAYOUT=VDAYMAX
ENDIF
ELSE
DV=3.5028*EXP(0.0447*HGUIDE(I))-3.5028*EXP(0.0447*H(I))
VDAYOUT=VNORM*10**6-(DV*10**6)/(3)
VDAYMIN=0
IF (VDAYOUT.LE.VDAYMIN) THEN
VDAYOUT=VDAYMIN
ENDIF
ENDIF

TIME=VDAYOUT/(2*QSTR(J)*3600)

WRITE(24,*) TIME
N=2*1000*9.81*H(I)*QSTR(J)*0.96*TIME/10**9
```

```
WRITE(24,*)N
NTOT=NTOT+N

VDAYIN=QREAL(I)*3600*24
V=V+(VDAYIN-VDAYOUT)/10**6

H(I+1)=LOG(V/3.508)/0.0447
TIMEOLD=TIME
IF (H(I+1).GT.100) THEN
    H(I+1)=100
ENDIF
ENDDO
WRITE (24,*) 'H TREXOUMENO'

WRITE (24,20) H
20  FORMAT (F20.5)

END
```