

## Υδραυλικές Μηχανές και Ενέργεια

- Διάλεξη 12 - Σύγκριση μεταξύ υδροστροβίλων δράσεως και αντιδράσεως
- Υδροηλεκτρικά έργα

Σκουληκάρης Χαράλαμπος  
*Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχ. Η/Υ, MSc,  
PhD*

[hskoulik@civil.auth.gr](mailto:hskoulik@civil.auth.gr)

# Ανασκόπηση 10<sup>ου</sup> και 11<sup>ου</sup> μαθήματος

- *Υδροστροβίλοι μικτής ροής, Κύρια μέρη υδροστροβίλου Francis, Βασικές εξισώσεις βαθμίδος μικτής ροής, Σπειροειδές κέλυφος, Αγωγοί φυγής, Ασκήσεις*
- *Σπηλαίωση, Τοποθέτηση υδροστροβίλων αντιδράσεως, Διαδικασία επιλογής υδροστροβίλων αντιδράσεως, Ασκήσεις*

# Περιεχόμενα 11<sup>ου</sup> μαθήματος

A/A	Τρόπος διδασκαλίας	Μάθημα	Περιγραφή	Ώρες
11	Διάλεξη	Υδροστροβίλοι αντιδράσεως	<ul style="list-style-type: none"><li>- Σηλαιώση, Τοποθέτηση υδροστροβίλων αντιδράσεως, Διαδικασία επιλογής υδροστροβίλων αντιδράσεως</li><li>- Ασκήσεις</li></ul>	3
12	Διάλεξη	Υδροηλεκτρικά έργα	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ανακεφαλαίωση: Σύγκριση μεταξύ υδροστροβίλων δράσεως και αντιδράσεως</li><li>- Διατάξεις υδροηλεκτρικών έργων,</li><li>- Ενέργεια-Ισχύς και Ύψη πτώσης,</li><li>- Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη</li><li>- Φορτίο, καμπύλη διάρκειας φορτίου, καμπύλη ποσοστών αιχμής, συντελεστές φορτίου-εκμεταλλεύσης</li></ul>	3

# Συγγράμματα/Εκπαιδευτικό υλικό

## ΥΔΡΑΥΛΙΚΑΙ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΑΙ Μηχανική Ρευστών ΠΡΩΤΟΣ ΤΟΜΟΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

Υπό  
Ιωάννου Βασιλείου Σούλη  
Αναπληρωτού Καθηγητού  
Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης

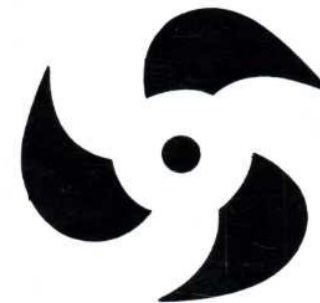


ΞΑΝΘΗ

εκδόσεις - ΑΪΒΑΖΗΣ - Θεσσαλονίκη

## ΥΔΡΑΥΛΙΚΑΙ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΑΙ Μηχανική Ρευστών ΤΡΙΤΟΣ ΤΟΜΟΣ ΛΥΜΕΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Υπό  
Ιωάννου Βασιλείου Σούλη  
Αναπληρωτού Καθηγητού  
Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης



ΞΑΝΘΗ 2007

εκδόσεις: ΑΪΒΑΖΗΣ Θεσσαλονίκη

# Πληροφορίες για εξέταση μαθήματος

Η γραφτή εξέταση του μαθήματος «Υδραυλικές Μηχανές & Ενέργεια» θα πραγματοποιηθεί την **Τετάρτη, 25 Ιαν 2017.**

**Η εξεταστέα ύλη είναι:**

α) τα 4 Κεφάλαια του βιβλίου «Υδραυλικά Στροβιλομηχαναί, Πρώτος Τόμος, Υδροστρόβιλοι, Καθ. Ιωάννη Σούλη»

β) τα 4 πρώτα Κεφάλαια του βιβλίου «Υδραυλικά Στροβιλομηχαναί, Τρίτος Τόμος, Λυμένα Προβλήματα, Καθ. Ιωάννη Σούλη»

**Οι εξετάσεις θα πραγματοποιηθούν με ανοικτά βιβλία θεωρίας και ασκήσεων.**

*Παρακαλείστε να έχετε μαζί σας κομπιουτεράκι*

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Σύγκριση μεταξύ υδροστροβίλων *Pelton και Francis***

## 3.3 Σύγκριση υδροστροβίλων

### 3.3 Σύγκριση μεταξύ υδροστροβίλων δράσεως και αντιδράσεως

#### Σύγκριση μεταξύ υδροστροβίλων Francis και Pelton:

- Ο υδροστόβιλος Francis εκμεταλλεύεται πλήρως το διαθέσιμο ύψος πτώσης μέσω χρήσης του αγωγού εξόδου (draft tube). Ο Pelton πρέπει να τοποθετηθεί σε θέση ψηλότερα από το μέγιστο ύψος της ελεύθερης επιφάνειας ύδατος της διώρυγας φυγής, άρα εισάγονται απώλειες καθαρού ύψους.
- Ο υδροστόβιλος Francis μπορεί να εκμεταλλευτεί μεταβολές ύψους πτώσης σε ικανοποιητικότερο βαθμό σε σχέση με τον υδροστόβιλο Pelton. Ειδικότερα, για τον Francis για ύψος πτώσης της τάξης των 300.0 m, μεταβολές της περιφερειακής ταχύτητας της τάξης μέχρι  $\pm 20.0\%$  της κανονικής ταχύτητας δεν προκαλούν αισθητές μεταβολές στην απόδοση λειτουργίας. Για τους υδροστροβίλους Pelton, οι μεταβολές μπορεί να είναι της τάξεως του  $\pm 10.0\%$ .
- Ο Pelton είναι ευαίσθητος στη διάμετρο του εκρέοντος ύδατος από το ακροφύσιο. Σε ακροφύσιο της τάξης των 10.0 cm, μεταβολή της τάξης του 1.0 mm μπορεί να προκαλέσει μείωση της απόδοσης λειτουργίας μέχρι και 10.0%.
- Για το συγκεκριμένο ύψος πτώσης οι διαστάσεις της γεωμετρίας του Francis είναι μικρότερες του Pelton.

## 3.3 Σύγκριση υδροστροβίλων

### 3.3 Σύγκριση μεταξύ υδροστροβίλων δράσεως και αντιδράσεως

#### Σύγκριση μεταξύ υδροστροβίλων Francis και Pelton:

- Οι υδροστρόβιλοι Pelton μπορούν να επισκευαστούν ευκολότερα σε περίπτωση προβλήματος. Αυτό γίνεται γιατί ο δρομέας και τα υπόλοιπα μέρη που απαρτίζουν τον στρόβιλο είναι εύκολα αποσπόμενα και έχουν καλύτερη πρόσβαση για να λαβούν χώρα οι εργασίες συντήρησης ή/και αντικατάστασης φθαρμένων εξαρτημάτων.
- Οι μηχανισμοί ελέγχου των υδροστροβίλων Pelton είναι ευκολότεροι των αντιστοίχων Francis.
- Η απόδοση λειτουργίας του υδροστρόβιλου Francis, μεταξύ του 50.0% και 100.0% του φορτίου, είναι μεγαλύτερη σε σχέση του Pelton.
- Οι υδροστρόβιλοι Francis δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεγάλα ύψη πτώσης λόγω του φαινομένου της σπηλαίωσης, το οποίο συνεπάγεται φθορά των υλικών, ταλαντώσεις και απώλεια απόδοσης.



## 3.3 Σύγκριση υδροστροβίλων

### 3.3 Σύγκριση μεταξύ υδροστροβίλων δράσεως και αντιδράσεως

#### Σύγκριση μεταξύ υδροστροβίλων Francis και Kaplan:

- Οι υδροστρόβιλοι Kaplan χρησιμοποιούνται ευρέως για μικρά ύψη πτώσης διότι είναι οι πλέον αποδοτικοί από πλευράς απωλειών ενέργειας και μπορούν να λειτουργήσουν με υψηλό βαθμό απόδοσης και για μικρά ύψη πτώσης.
- Οι υδροστρόβιλοι Kaplan δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεγάλα ύψη πτώσης λόγω εμφάνισης του φαινομένου της σπηλαίωσης.
- Οι μηχανισμοί ελέγχου των υδροστροβίλων Francis γίνεται μόνο μέσω των οδηγών πτερυγίων και όχι των πτερυγίων του δρομέα. Στους υδροστρόβιλους Kaplan, ο μηχανισμός ελέγχου ελέγχει τόσο τα οδηγά πτερύγια όσο και τα πτερύγια του δρομέα. Το γεγονός αυτό επιτρέπει τη διασφάλιση υψηλής απόδοσης λειτουργίας (Kaplan) αλλά ταυτόχρονα αυξάνει την πολυπλοκότητα του μηχανισμού ελέγχου με προφανή μειονεκτήματα.

## 3.3 Σύγκριση υδροστροβίλων

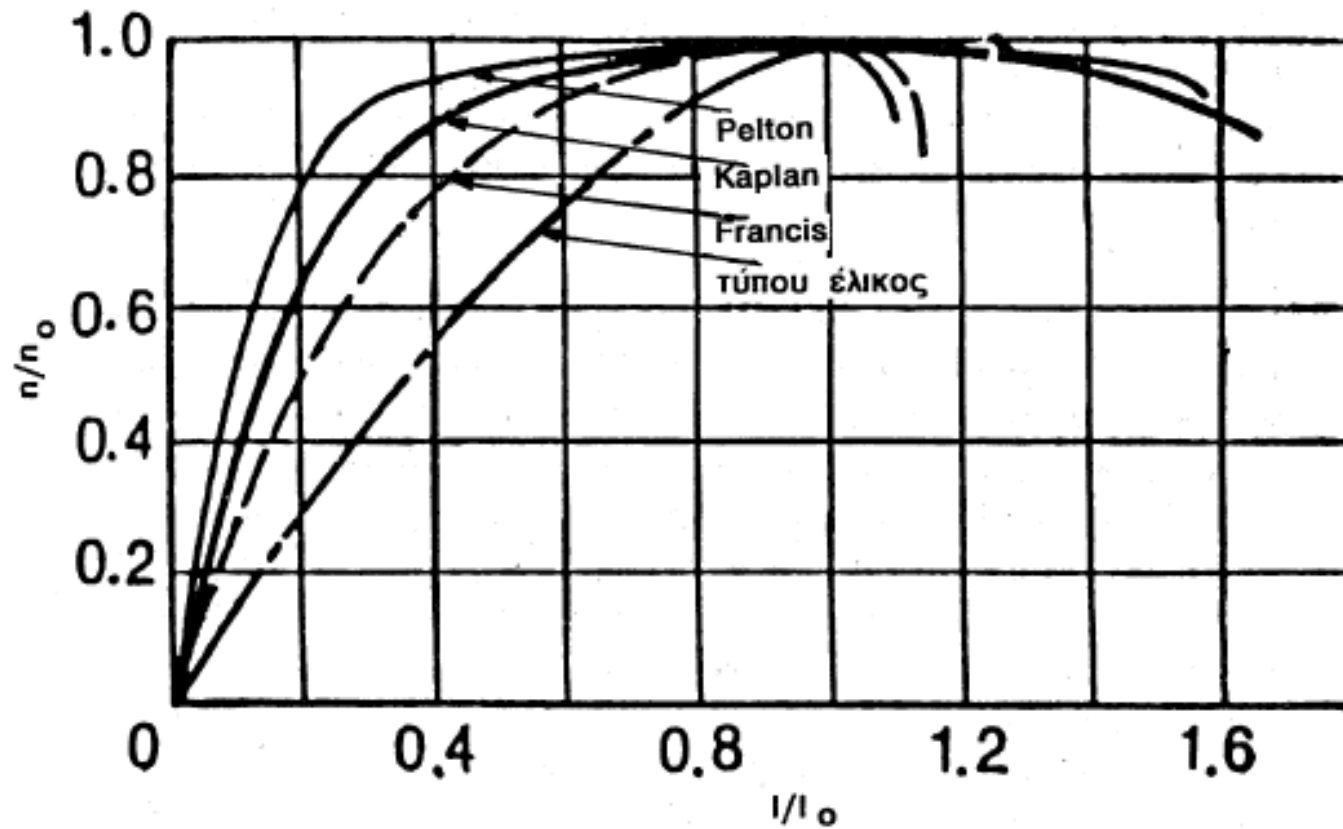
### 3.3 Σύγκριση μεταξύ υδροστροβίλων δράσεως και αντιδράσεως

Σε όλους τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς οι συνθήκες λειτουργίας σχετικά με τους υδροστροβίλους μεταβάλλονται. Η αποδιδόμενη ισχύς μεταβάλλεται εντός συγκεκριμένων ορίων και η μεταβολή αυτή εξαρτάται από τη διαθέσιμη παροχή και από το φορτίο που απαιτεί το σύστημα στο οποίο είναι συνδεδεμένος ο σταθμός.

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου το καθαρό φορτίο μεταβάλλεται σημαντικά λόγω της εξάρτησης του από το ύψος της ελεύθερης επιφάνειας της διώρυγας απαγωγής και των απωλειών στους αγωγούς προσαγωγής του νερού στον υδροστρόβιλο. Επομένως η κατανόηση της επίδρασης αυτών των μεταβολών είναι σημαντική για τη λειτουργία των υδροστροβίλων.

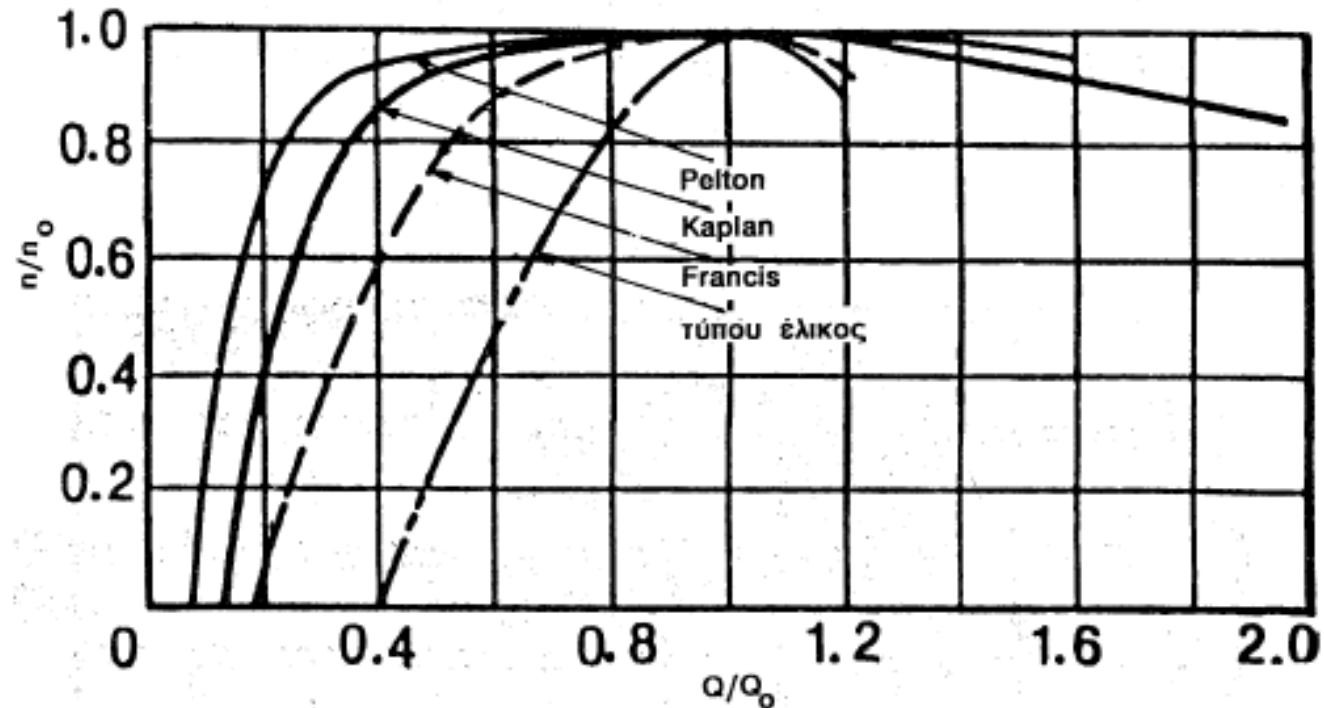
Εάν δηλωθούν με δείκτη “ο” οι συνθήκες λειτουργίας σε περίπτωση βέλτιστης απόδοσης λειτουργίας τότε στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται οι μεταβολές της σχετικής απόδοσης  $\eta/\eta_0$  ως προς τη σχετική ισχύ  $I/I_0$  και σχετική παροχή  $Q/Q_0$  αντίστοιχα.

### 3.3 Σύγκριση υδροστροβίλων



Σχήμα 3.65 Μεταβολή της σχετικής αποδόσεως εν αναφορά με την σχετική ισχύν διά διαφόρους τύπους υδροστροβίλων

## 3.3 Σύγκριση υδροστροβίλων



Σχήμα 3.66 Μεταβολή της σχετικής αποδόσεως εν αναφορά με την σχετική παροχήν διά διαφόρους τύπους υδροστροβίλων

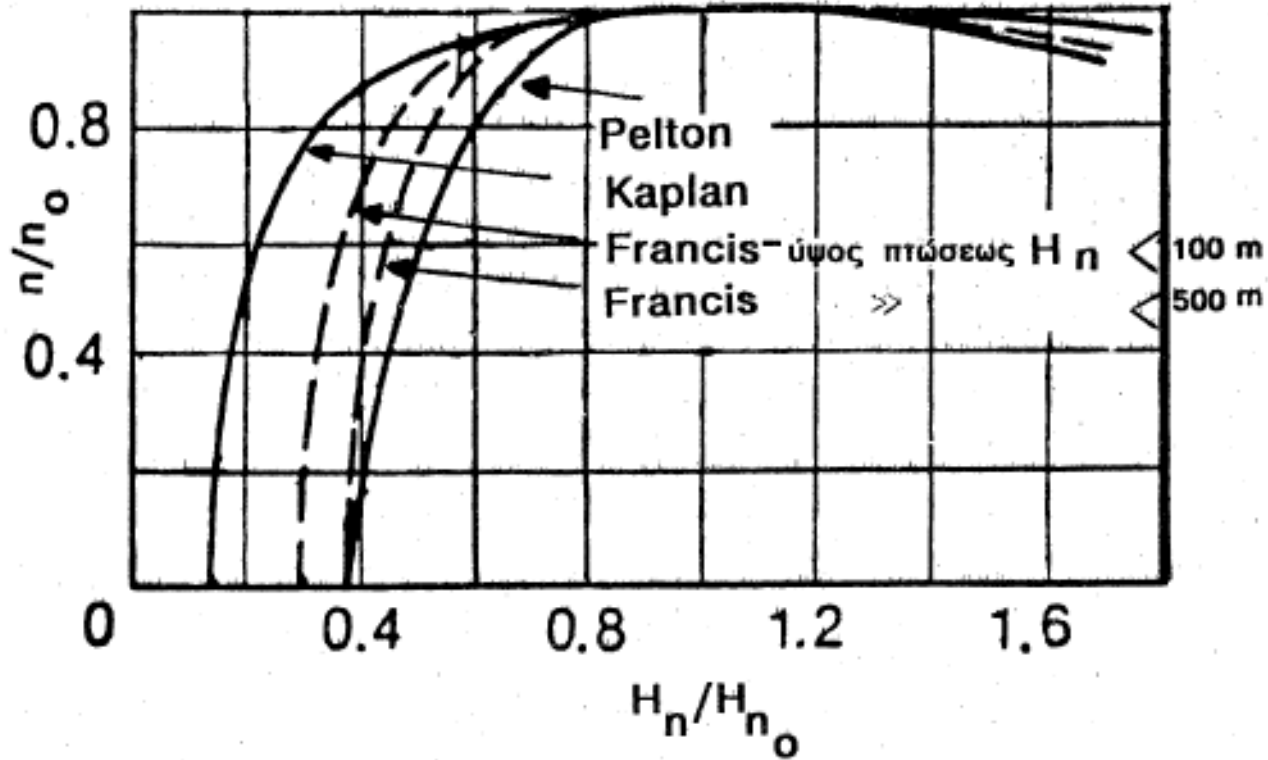
## 3.3 Σύγκριση υδροστροβίλων

### 3.3 Σύγκριση μεταξύ υδροστροβίλων δράσεως και αντιδράσεως

Από τα σχήματα είναι προφανές ότι οι πλέον ευνοϊκές καμπύλες ανήκουν στους υδροστρόβιλους Pelton και στους υδροστρόβιλους κινητών πτερυγίων Kaplan. Οι λιγότερες ευνοϊκές καμπύλες είναι αυτές του στροβίλου Francis, όπου οι μεταβολές στο φορτίο επιφέρουν μεγάλες μεταβολές στην απόδοση λειτουργίας. Η πλέον προβληματική περίπτωση είναι των υδροστροβίλων τύπου έλικα, όπου τόσο τα οδηγία πτερύγια όσο και τα πτερύγια του δρομέα παραμένουν ακίνητα καθ' όλη την κλίμακα λειτουργίας. \

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζονται οι μεταβολές της σχετικής απόδοσης ως προς το σχετικό ύψος πτώσης  $H_n/H_{n_0}$ . Οι χαρακτηριστικές καμπύλες δείχνουν ότι για ύψη πτώσης μεγαλύτερα του  $H_{n_0}$  οι τιμές της σχετικής απόδοσης δεν επηρεάζονται. Από την άλλη μεριά, για ύψη πτώσης μικρότερα του  $H_{n_0}$  ( $<0.8$ ) η απόδοση πέφτει απότομα και έντονα.

### 3.3 Σύγκριση υδροστροβίλων



Σχήμα 3.67 Μεταβολή της σχετικής αποδόσεως εν αναφορά με το σχετικό ύψος πτώσεως διά διαφόρους τύπους υδροστροβίλων

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ**

# 4.1 Διατάξεις υδροηλεκτρικών έργων

Οι υδροστροβίλοι αποτελούν το υπόβαθρο των σύγχρονων συστημάτων υδροηλεκτρικής παραγωγής.

- Εντός ελάχιστου χρόνου μπορούν να αναλάβουν ή να απορρίψουν φορτία χωρίς φθορά του μηχανισμού τους.
- Γίνεται αξιοποίησης υδροδυναμικών θέσεων για ύψη πτώσης από ελάχιστα μέτρα μέχρι και 2000.0 m.
- Η διαφοροποίηση της παροχής επιτρέπει η εγκατεστημένη ανά μονάδα ισχύς να κυμαίνεται από 100.0 KW έως και 300.0 MW

Η θέση εγκατάστασης των υδροστροβίλων, γεννητριών κτλ ονομάζεται υδροηλεκτρικός σταθμός, και τα προτερήματα των υδροηλεκτρικών έργων είναι:

- a) Τα λειτουργικά έξοδα είναι αισθητά μειωμένα σε σχέση με τα αντίστοιχα έξοδα για παραγωγή ενέργειας με χρήση άλλων μέσων, όπως π.χ θερμοηλεκτρική ενέργεια κτλ
- b) Για τη λειτουργία ενός υδροηλεκτρικού έργου απαιτείται μικρός αριθμός προσωπικού.



## 4.1 Διατάξεις υδροηλεκτρικών έργων

- c) Δεν έχουν προϊόντα καύσης οπότε δε ρυπαίνουν τον περιβάλλοντα χώρο.
- d) Χαμηλά έξοδα συντήρησης
- e) Εντός ελάχιστου χρονικού διαστήματος (σε λίγα λεπτά της ώρας), μπορεί να γίνει ένταξη της μονάδας στο σύστημα.
- f) Η απόδοση λειτουργίας διατηρείται σε υψηλά επίπεδα ακόμα και σε συνεχώς μεταβαλλόμενο φορτίο.
- g) Δεν απαιτείται διάταξη για αποθήκευση καυσίμων αλλά και λειτουργικά έξοδα για μεταφορά αυτού.
- h) Η χρηματική αξία της γης είναι χαμηλή λόγω του απομονωμένου της περιοχής εγκατάστασης του σταθμού

Τα μειονεκτήματα εστιάζουν στα:

- a) Το αρχικό κόστος κατασκευής είναι υψηλό.
- b) Η λειτουργία του σταθμού εξαρτάται άμεσα από τις βροχοπτώσεις.
- c) Η κατασκευή υδροηλεκτρικών έργων γίνεται σε μέρη τα οποία διαθέτουν άφθονες ποσότητες ύδατος.
- d) Λόγω του απόμακρου του υδροηλεκτρικού σταθμού, τα έξοδα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι σχετικά υψηλά.

## 4.1 Διατάξεις υδροηλεκτρικών έργων

- Υδροδυναμικό έργο: Το σύνολο των τεχνικών έργων που απαιτούνται για εκμετάλλευση του υδροδυναμικού σε συγκεκριμένη θέση.
- Υδροδυναμική θέση: Εννοείται συγκεκριμένη θέση ή τοποθεσία επί ποταμού η οποία προσφέρει τη δυνατότητα αξιοποίησης αυτής για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Υδροηλεκτρικό έργο: Όταν η σκοπιμότητα του υδροδυναμικού έργου είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τότε επικρατούσα έκφραση είναι «υδροηλεκτρικό έργο».

Η υδραυλική ενέργεια μιας φυσικής υδατόπτωσης η οποία δεν αξιοποιείται, καταναλώνεται κατά το μεγαλύτερο μέρος για τα ξεπεράσει τις αντιστάσεις της τριβής της ροής. Σκοπός της υδροδυναμικής εγκατάστασης είναι η επιτόπια δέσμευση της υπάρχουσας ενέργειας προς παραγωγή ωφέλιμου μηχανικού έργου.

Η δέσμευση της ενέργειας γίνεται σε συγκεκριμένο τμήμα της διαδρομής του ρεύματος μέσω της δημιουργίας μιας πτώσης, η οποία επιτυγχάνεται μέσω:

- a) Υπερύψωση της στάθμης του ρευστού εντός της κοίτης του υπάρχοντος υδατορρεύματος
- b) Παροχέτευσης του ρευστού, εκτός της φυσικής κοίτης μέσω αγωγού

# 4.1 Διατάξεις υδροηλεκτρικών έργων

Κατά συνέπεια οι υδροδυναμικές εγκαταστάσεις διακρίνονται σε **εγκαταστάσεις υπερύψωσης** και **παροχέτευσης**.

- Τα έργα υπερύψωσης έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ταμιευτήρων με σύνηθες φαινόμενο την υπερετήσια ρύθμιση της ροής
- Στα έργα παροχέτευσης η φυσική ρύθμιση της ροής είναι αμελητέα, και τα έργα αυτά ορίζονται ως έργα χωρίς ταμιευτήρα ή επί ρου ποταμού (run of river).

Οι κύριοι παράγοντες μιας υδατόπτωσης είναι οι:

1. Η παροχή του υδατορρεύματος
2. Το ύψος πτώσης της υδροδυναμικής θέσης

Και οι 2 άνωθεν παράγοντες εξαρτώνται άμεσα από τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης. Μεγαλύτερες αυξομειώσεις δέχεται η παροχή παρά το ύψος πτώσης.

Ένα υδροηλεκτρικό έργο αποτελείται από:

- a) Τα έργα αποθήκευσης του νερού
- b) Τα έργα παραγωγής ενέργειας.

# 4.1 Διατάξεις υδροηλεκτρικών έργων

Η ταξινόμηση των υδροηλεκτρικών έργων μπορεί να γίνει βάση των:

**A. Φυσικών χαρακτηριστικών της υδροηλεκτρικής εγκατάστασης**

**B. Τεχνικών χαρακτηριστικών εκμεταλλεύσεως**

Η διάκριση ως προς τα **φυσικά χαρακτηριστικά** στηρίζεται στο ολικό ύψος πτώσης και συνήθως υπάρχουν οι ακόλουθες 3 κατηγορίες:

A<sub>1</sub>) Υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις μικρού ύψους πτώσης (<20.0 - 30.0m)

A<sub>2</sub>) Υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις μέσου ύψους πτώσης (20.0 - 30.0m έως και 180.0 - 200.0m)

A<sub>3</sub>) Υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις μεγάλου ύψους πτώσης (>180.0-200.0m)

Η διάκριση ως προς τα **τεχνικά χαρακτηριστικά εκμεταλλεύσεως** μπορεί να γίνει ως:

B<sub>1</sub>) Υδρολογικών-υδραυλικών χαρακτηριστικών

B<sub>2</sub>) Ενεργειακών παραγόντων

Στην περίπτωση των υδρολογικών-υδραυλικών χαρακτηριστικών διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

B<sub>11</sub>) χωρητικότητας του ταμιευτήρα

B<sub>12</sub>) σκοπιμότητα εκμεταλλεύσεως

## 4.1 Διατάξεις υδροηλεκτρικών έργων

Στην περίπτωση των χωρητικότητας ταμιευτήρα διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

$B_{11\alpha}$ ) με ταμιευτήρα

$B_{11\beta}$ ) με ταμιευτήρα μικρής χωρητικότητας

$B_{11\gamma}$ ) χωρίς ταμιευτήρα

Στην περίπτωση της σκοπιμότητας εκμετάλλευσης διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

$B_{12\alpha}$ ) απλής

$B_{12\beta}$ ) πολλαπλής εκμετάλλευσης (Multipurpose): για παραγωγή ενέργειας, ύδρευση, γεωργικές αρδεύσεις, ναυσιπλοΐα, αντιπλημμυρική προστασία, αναψυχή

Στην περίπτωση διαχωρισμού βάση των ενεργειακών παραγόντων υπάρχουν οι εξής διαιρέσεις:

$B_{21}$ ) βάσεως και αιχμής

$B_{22}$ ) αξιοποίησεως των διαθέσιμων υδάτων

$B_{23}$ ) μεγέθους εγκατεστημένης ισχύς

Στην περίπτωση διαχωρισμού βάση και αιχμής υπάρχουν οι εξής διαιρέσεις:

$B_{21\alpha}$ ) βάσης, δηλαδή τα υδροηλεκτρικά έργα που παράγουν ενέργεια σχεδόν υπό συνεχή λειτουργία

$B_{21\beta}$ ) αιχμής, δηλαδή τα έργα που παράγουν ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών αιχμής του συστήματος, π.χ το καλοκαίρι.

# 4.1 Διατάξεις υδροηλεκτρικών έργων

Από άποψη αξιοποίησης των διαθέσιμων υδάτων οι εγκαταστάσεις διακρίνονται σε:

B<sub>22α</sub>) συμβατικές εγκαταστάσεις αξιοποίησης της φυσικής παροχής ποταμών ή και λιμνών

B<sub>22β</sub>) εγκαταστάσεις αντλήσεως - ταμιεύσεως

B<sub>22γ</sub>) παλιρροιακές εγκαταστάσεις

Τέλος στην περίπτωση του μεγέθους της εγκατεστημένης ισχύς διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

B<sub>23α</sub>) εγκατεστημένη ισχύς μεγαλύτερη των 10.0 MW (μεγάλες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις)

B<sub>23β</sub>) εγκατεστημένη ισχύς μεταξύ 2.0 και 10.0 MW (μεσαίες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις)

B<sub>23γ</sub>) εγκατεστημένη ισχύς μεταξύ 0.1 και 2.0 MW (μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις)

## 4.2 Ενέργεια, ισχύς και ύψη πτώσεως

Εάν ορισθεί ως ύψος πτώσης η διαφορά της στάθμης του ύδατος μεταξύ της υδροληψίας και της διώρυγας φυγής, τότε το καθαρό ύψος πτώσης  $H_n$  είναι το ύψος πτώσης μείον τις απώλειες φορτίου λόγω τριβών της ροής στο αγωγό προσαγωγής από την υδροληψία μέχρι τον υδροστρόβιλο.

Κατά τη μετακίνηση μάζας ύδατος  $m$  κατά την απόσταση  $H_n$  δύναται να παραχθεί ενέργεια  $E_n$  ίση με  $m g H_n$ . Επειδή η μάζα είναι το γινόμενο της πυκνότητας  $\rho$  επί τον όγκο  $V$ , τότε η ενέργεια  $E_n$  θα ισούται με:

$$E_n = \eta \rho V g H_n \quad (4.1)$$

όπου  $\eta$  ο συντελεστής απόδοσης της μηχανής η οποία μετατρέπει την ενέργεια του νερού σε ωφέλιμο έργο. Στο ωφέλιμο παραγόμενο έργο στη μονάδα του χρόνου, δηλαδή η ισχύς  $I$ , θα είναι:

$$I = \frac{dE}{dt} = \eta \rho g \frac{dV}{dt} H_n \quad (4.2)$$

Αλλά εξ' ορισμού η παροχή  $Q$  ισούται με  $dV/dt$ , άρα η παραπάνω εξίσωση γράφεται:

$$I = \eta \rho g Q H_n \quad (4.3)$$

## 4.2 Ενέργεια, ισχύς και ύψη πτώσεως

Ο συντελεστής  $\eta$  ισούται με το γινόμενο των απωλειών των επί μέρους μονάδων δηλαδή:  
α) του υδροστροβίλου, β) της ηλεκτρογεννήτριας και γ) του μετασχηματιστή. Είναι δηλαδή:

$$\eta = \eta_{\text{στρ}} \cdot \eta_{\text{γεν}} \cdot \eta_{\text{μετ}} \quad (4.4)$$

Οι σύνηθες τιμές των παραπάνω είναι:

$$\eta_{\text{στρ}} = 0.70 - 0.94$$

$$\eta_{\text{γεν}} = 0.96 - 0.97$$

$$\eta_{\text{μετ}} = 0.98 - 0.99$$

Ειδικότερα, οι αποδόσεις λειτουργίας των υδροστροβίλων Kaplan είναι μεταξύ 0.80 και 0.93, των υδροστροβίλων Francis μεταξύ 0.70 και 0.94 και τέλος των υδροστροβίλων Pelton μεταξύ 0.82 και 0.91.

Η παροχή  $Q$  παριστά τη μέση διαθέσιμη παροχή προς το στρόβιλο της υδροδυναμικής εγκατάστασης.

Το φορτίο  $H_n$  αναφέρεται επίσης στη μέση τιμή μιας χρονικής περιόδου και εκφράζεται σε m. Επομένως η αναπτυσσόμενη ισχύς του υδροστροβίλου θα είναι εκφρασμένη σε Watts (W).



## 4.2 Ενέργεια, ισχύς και ύψη πτώσεως

Επομένως η διαθέσιμη ενέργεια προκύπτει με την ολοκλήρωση της εξίσωσης της ισχύς στο διαθέσιμο χρόνο  $t$ , δηλαδή:

$$E_n = \int_0^{t_{\max}} I dt \quad (4.5)$$

Όταν η ισχύς εκφράζεται σε KW και ο χρόνος σε ώρες,  $h$ , τότε η ενέργεια θα εκφράζεται σε KWh.

Ως **εγκατεστημένη ισχύς** σταθμού παραγωγής εννοείται η μέγιστη ωφέλιμη ισχύς η οποία είναι δυνατόν να διατεθεί από το σταθμό.

**Εγγυημένη ισχύς** σταθμού παραγωγής είναι η ανα πάσα στιγμή διαθέσιμη ισχύς που εξασφαλίζει τις απαιτήσεις του φορτίου των καταναλωτών.

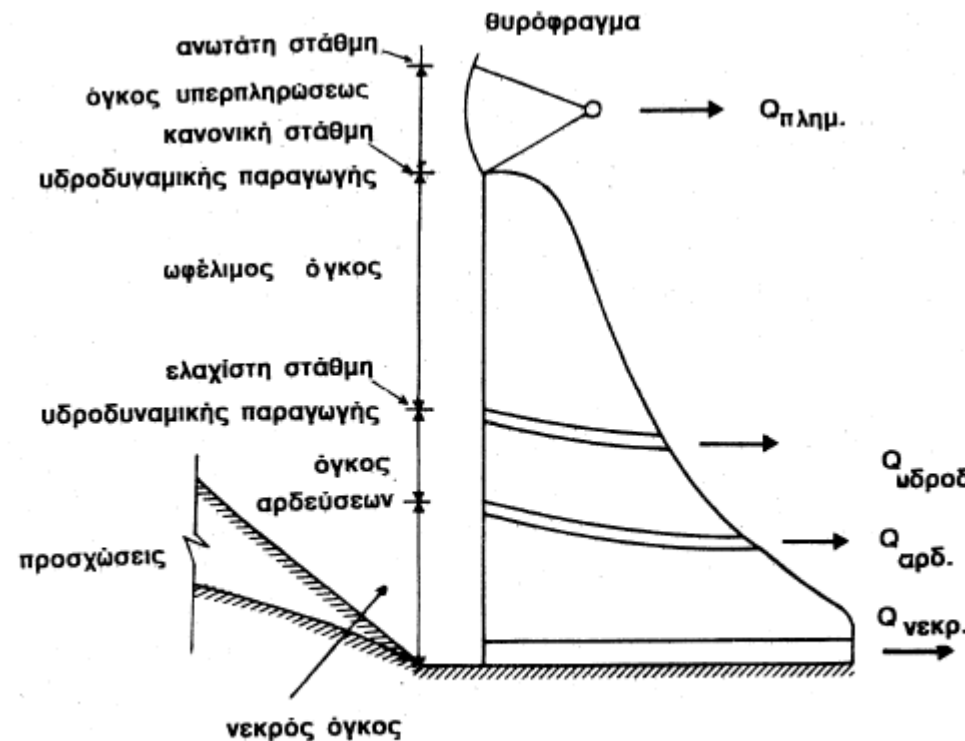
**Πρωτεύουσα ενέργεια** ονομάζεται η ενέργεια που ετησίως θα δώσει το ΥΗΕ, ανεξάρτητα από τις συνθήκες υδραυλικότητας του υδρολογικού έτους, είναι δηλαδή η ενέργεια που εγγυημένα θα παραχθεί από το υδροηλεκτρικό έργο.

**Δευτερεύουσα ενέργεια** ονομάζεται η ενέργεια που θα παραχθεί επιπλέον της πρωτεύουσας από το ΥΗΕ και που το μέγεθός της εξαρτάται τις διακυμάνσεις της υδραυλικότητας που ανακύπτουν ανάμεσα στα υδρολογικά έτη.

**Συντελεστής χρησιμοποίησης** είναι ο λόγος της παραγόμενης ενέργειας σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο προς τη διαθέσιμη ενέργεια η οποία θα μπορούσε να παραχθεί κατά την ίδια χρονική περίοδο.

## 4.2 Ενέργεια, ισχύς και ύψη πτώσεως

Στο παρακάτω σχήμα δείχνεται ταμιευτήρας πολλαπλής σκοπιμότητας, ο οποίος διαθέτει τα απαραίτητα τεχνικά έργα ανάσχεσης των πλημμυρών, και υδρεύσεως αστικών περιοχών.



Σχήμα 4.1 Ταμιευτήρ πολλαπλής σκοπιμότητας εμφανίων τας στάθμας λειτουργίας

Η κύρια σκοπιμότητα του έργου είναι η παραγωγή ενέργειας. Ο όγκος του ταμιευτήρα μεταξύ της κανονικής και ελάχιστης στάθμης λειτουργίας διατίθεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ονομάζεται ωφέλιμος όγκος.

Κάτω της ελάχιστης στάθμης λειτουργίας ο όγκος του ταμιευτήρα χαρακτηρίζεται ως νεκρός όγκος.

Πάνω από την κανονική στάθμη λειτουργίας και κάτω της ανώτατης στάθμης, η οποία συμπίπτει προς το ύψος της στέψεως των θυροφραγμάτων, ο όγκος του ταμιευτήρα καλείται όγκος υπερπλήρωσης.

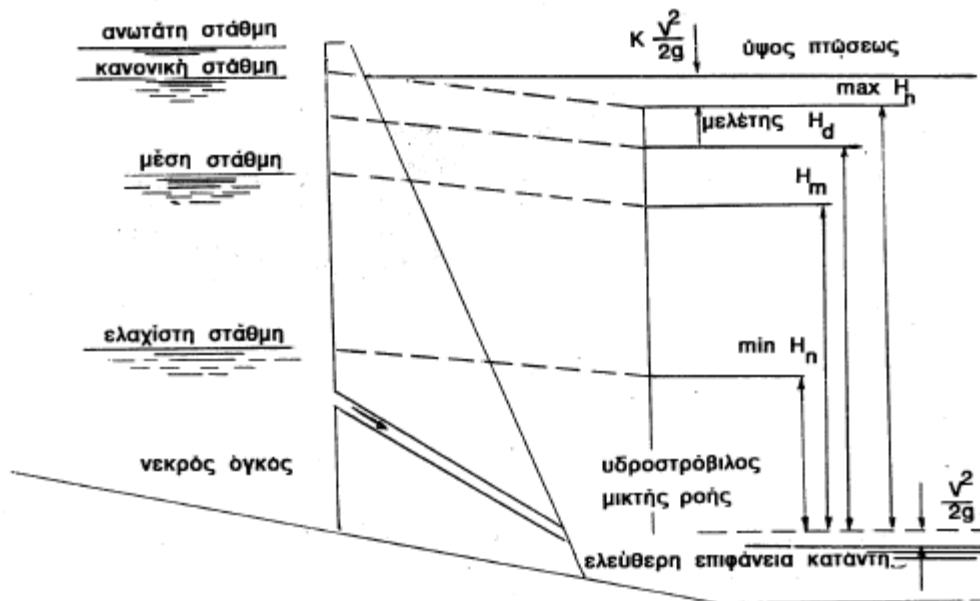
Είναι προφανές ότι η μεταβολή της στάθμης του ταμιευτήρα, συνεπάγεται τη μεταβολή των καθαρών υψών πτώσης, άρα ένα ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας γίνεται με πολύ μικρά ή πολύ μεγάλα ύψη πτώσης.

## 4.2 Ενέργεια, ισχύς και ύψη πτώσεως

Κατά συνέπεια, η μέσος όρος της στάθμη του ταμιευτήρα κατά τη διάρκεια χρονικής περιόδου  $T$  δίνεται από την εξίσωση:

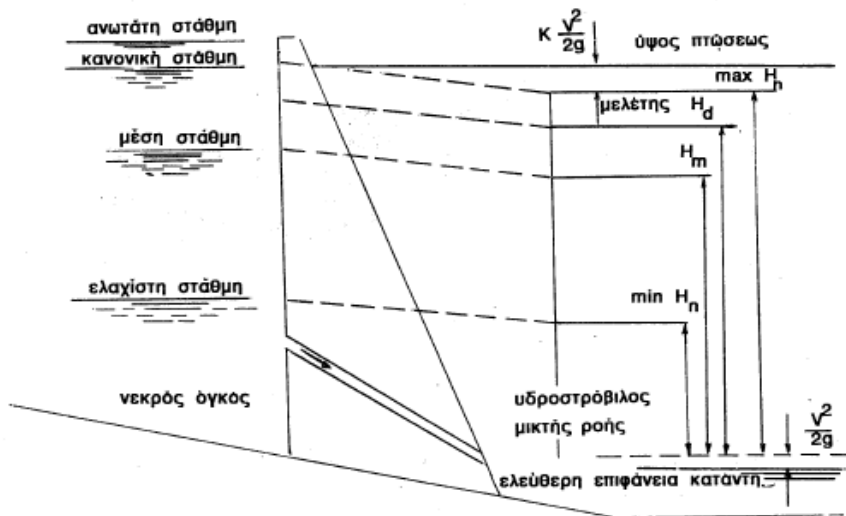
$$h_{\mu\sigma} = \frac{\int_0^T h(t) dt}{T} \quad (4.6)$$

Στο ακόλουθο σχήμα δίνεται τυπική διάταξη εγκατάστασης ταμιευτήρα απλής σκοπιμότητας.



Σχήμα 4.2 Χαρακτηριστικά καθαρά ύψη πτώσεως τυπικής υδροδυναμικής εγκαταστάσεως

## 4.2 Ενέργεια, ισχύς και ύψη πτώσεως



**Μέσο ύψος πτώσεως  $H_m$**  καλείται το καθαρό ύψος πτώσεως μεταξύ της στάθμης του ταμιευτήρα και της στάθμης της διώρυγας φυγής.

**Ύψος πτώσεως μελέτης  $H_d$**  καλείται το καθαρό ύψος για τη λειτουργία του στροβίλου για τον αριθμό στροφών του δρομέα και για το μέγιστο βαθμό απόδοσης λειτουργίας για τους οποίους έχει σχεδιαστεί.

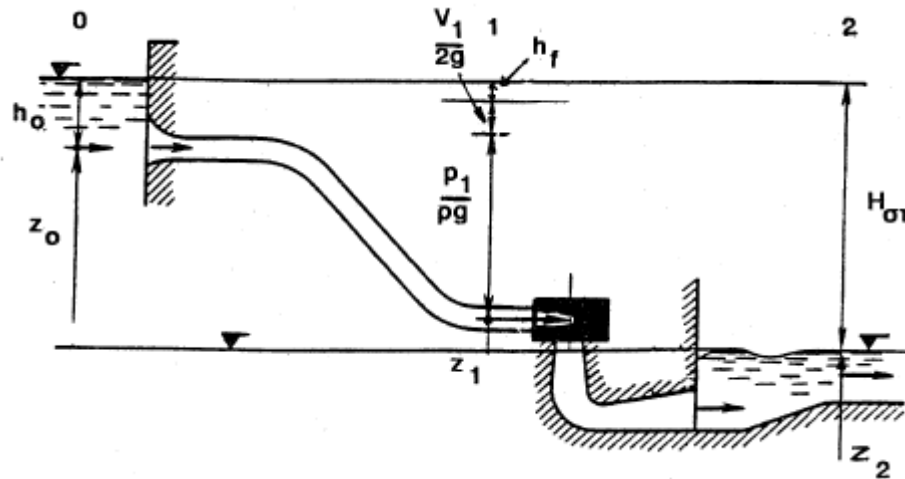
**Ελάχιστο ωφέλιμο ύψος πτώσεως,  $\min H_n$** , καλείται το καθαρό ύψος πτώσεως μεταξύ της ελάχιστης στάθμης του ταμιευτήρα και της στάθμης της διώρυγας φυγής για λειτουργία όλων των μονάδων υπό πλήρες άνοιγμα των ρυθμιστικών πτερυγίων.

**Μέγιστο ωφέλιμο ύψος πτώσεως,  $\max H_n$** , καλείται το καθαρό ύψος πτώσεως μεταξύ της ανώτατης στάθμης του ταμιευτήρα και της στάθμης της διώρυγας φυγής για λειτουργία όλων των μονάδων υπό πλήρες άνοιγμα των ρυθμιστικών πτερυγίων.

**Ονομαστικό ύψος πτώσεως,  $H_r$** , είναι το καθαρό ύψος πτώσεως για το οποίο σε πλήρες άνοιγμα των ρυθμιστικών πτερυγίων του υδροστροβίλου παράγεται η μέγιστη ισχύς της γεννήτριας.

## 4.2 Ενέργεια, ισχύς και ύψη πτώσεως

Το Σχήμα 4.3 παρουσιάζει την εγκατάσταση ενός υδροστροβίλου υδροηλεκτρικού έργου.



Το νερό ρέει από τον ταμιευτήρα προς τον υδροστρόβιλο μέσω των αγωγών προσαγωγής. Από τον υδροστρόβιλο το νερό ρέει μέσω του αγωγού φυγής προς τη διώρυγα απαγωγής.

Η διαφορά μεταξύ των ελεύθερων επιφανειών, του ανάντη ταμιευτήρα και της διώρυγας φυγής, ονομάζεται στατικό ύψος  $H_{στ}$  και είναι:

$$H_{στ} = z_0 - z_2 + h_0 \quad (4.7)$$

## 4.2 Ενέργεια, ισχύς και ύψη πτώσεως

Το ολικό ύψος  $H_{ολ}$  ορίζεται ως η διαφορά των διαθέσιμων ενεργειών, ανά μονάδα βάρους, στις θέσεις 0 και 2, και δίνεται ως:

$$H_{ολ} = H_{στ} + \frac{v_0^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \quad (4.8)$$

Το καθαρό ύψος του υδροτροβίλου  $H_n$  είναι η διαφορά των διαθέσιμων ενεργειών, ανά μονάδα βάρους, στις θέσεις 1 και 2, και δίνεται ως:

$$H_n = \frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \quad (4.9)$$

Ο υπολογισμός του  $p_1/\rho g$  γίνεται με εφαρμογή της εξίσωσης του Bernoulli μεταξύ των θέσεων 0 και 1. Είναι λοιπόν

$$\frac{p_0}{\rho g} + z_0 + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_{f0-1} \quad (4.10)$$

Όπου  $h_{f0-1}$  οι απώλειες της ροής από τη θέση 0 ως τη θέση 1. Άρα:

$$\frac{p_1}{\rho g} = H_{στ} - z_1 + \frac{v_0^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} - h_{f0-1} \quad (4.11)$$

## 4.2 Ενέργεια, ισχύς και ύψη πτώσεως

Άρα η εξίσωση 4.9 γίνεται:

$$H_n = H_{στ} - h_{f0-1} + \frac{v_o^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \quad (4.12)$$

Οι απώλειες της ροής διαμέσου του σπειροειδούς κελύφους του δρομέα και του αγωγού εξόδου της μονάδας συμπεριλαμβάνονται στο βαθμό απόδοσης του στροβίλου, Εξ. 4.4. Επότις Εξ. 4.8 και 4.12 προκύπτει:

$$H_n = H_{ολ} - h_{f0-1} \quad (4.13)$$

Εάν  $h_R$  είναι οι απώλειες ενέργειας του στροβίλου (δρομέας + σπειροειδές κέλυφος + αγωγός εξόδου), τότε το καθαρό φορτίο δύναται να εκφρασθεί ως:

$$H_n = H_R + h_R \quad (4.14)$$

Όπου  $H_R$  το φορτίο (εσωτερικό) που αναπτύσσεται από το δρομέα του υδροστροβίλου. Ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης είναι:

$$\eta_h = \frac{H_R}{H_n} \quad (4.15)$$

ή

$$\eta_h = \frac{H_R}{H_R + h_R} \quad (4.16)$$

## 4.2 Ενέργεια, ισχύς και ύψη πτώσεως

Και επειδή λόγω της εξίσωσης του Euler για τις στροβιλομηχανές είναι:

$$H_R = \frac{U_1 V_{t1} - U_2 V_{t2}}{g} \quad (4.17)$$

τότε

$$\eta_h = \frac{U_1 V_{t1} - U_2 V_{t2}}{g H_n} \quad (4.18)$$



## 4.2 Ενέργεια, ισχύς και ύψη πτώσεως

Παράδειγμα : Υδροηλεκτρικού σταθμού τινός η διαφορά ύψους μεταξύ της ελεύθερας επιφανείας του ύδατος του ταμιευτήρος και της ελεύθερας επιφανείας του ύδατος της διάφυγος φυγής είναι 250.0 m. Κατά την κανονική φάσιν λειτουργίας του υδροστροβίλου η διερχομένη παροχή είναι  $3.4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Η απώλεια ενέργειας κατά την ροή του ύδατος μέσω του σωλήνος προσαγωγής είναι 35.5 m και το τελικόν ύψος ύδατος το οποίον χρησιμοποιείται υπό του υδροστροβίλου είναι 180.5 m. Η μηχανική απώλεια της μηχανής είναι 105.0 KW, και η ογκομετρική απόδοσις είναι 0.975. Ο συντελεστής απωλείας ενέργειας εις την γεννήτριαν είναι 0.035. Ο σταθμός έχει σχεδιασθή να παράγη ενέργειαν, με τας ανωτέρω προουθέσεις, διά 5600.0 ώρας ετησίως. Ζητούνται να υπολογισθούν α) η υδραυλική απόδοσις του υδροστροβίλου, β) η ποσότης ύδατος η οποία διαρρέει χωρίς να παράγη χρήσιμον ενέργειαν, γ) η ισχύς η αναπτυσσομένη επί του άξονος του υδροστροβίλου, δ) η τελική ισχύς η προσδιδομένη εις την γεννήτριαν ε) η ισχύς η προσφερομένη υπό της γεννητριάς εις το σύστημα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας στ) η ετησίως παραγομένη ενέργεια.

## 4.2 Ενέργεια, ισχύς και ύψη πτώσεως

Λύσις : α) Η υδραυλική απόδοσις του υδροστροβίλου δίδεται εκ της εξισώσεως 4.15 και είναι  $\eta_h = H_R/H_n$  όπου  $H_R$  είναι 180.5 m και  $H_n$  είναι το καθαρόν ύψος πτώσεως το οποίον εκ της εξισώσεως 4.13 είναι (ολικόν ύψος μείον τας απωλείας ενεργείας εκ του ταμιευτήρος μέχρι και της εισόδου του ύδατος εις τον υδροστρόβιλον)

$$H_n = H_{ολ} - h_{f0-1} \quad \text{με} \quad H_{ολ} = 250.0 \text{ m} \quad \text{και} \quad h_{f0-1} = 35.5 \text{ m}$$

$$\text{άρα, } H_n = 214.5 \text{ m.}$$

$$\text{Επομένως, } \eta_h = 180.5/214.5 = 0.8415 \quad \text{ή} \quad 84.15 \%$$

## 4.2 Ενέργεια, ισχύς και ύψη πτώσεως

β) Η ογκομετρική απόδοσις  $n_v$  είναι 0.975 και βάσει της εξισώσεως 3.90 είναι,

$$n_v = (Q - Q_v)/Q$$

Δοθέντος ότι η παροχή  $Q$  είναι  $3.4 \text{ m}^3/\text{s}$  τότε η διαρρέουσα ποσότης  $Q_v$  είναι,

$$Q_v = (1.0 - n_v) Q = (1.0 - 0.975) \times 3.4 = 0.085 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ή } 85 \text{ lit/s.}$$

γ) Η ισχύς ή αναπτυσσομένη επί του άξονος του υδροτροβίλου δίδεται εξ εξισώσεως παρομοίας της 4.3. Είναι λοιπόν,

$$\begin{aligned} I_R &= \rho g (Q - Q_v) H_R = 1000.0 \times 9.81 \times (3.4 - 0.085) \times 180.5 \\ &= 5869.89 \text{ KW.} \end{aligned}$$

## 4.2 Ενέργεια, ισχύς και ύψη πτώσεως

δ) Η τελική ισχύς η προσδιδόμενη εις την γεννήτριαν ισούται με την προσδιδόμενην ισχύν εις τον άξονα του υδροτροβίλου, η οποία ισούται με 5869.89 KW μείον τας μηχανικάς απωλείας του υδροτροβίλου αι οποίαι ισούνται με 105.0 KW άρα 5764.89 KW.

ε) Η ισχύς η προσφερομένη υπό της γεννητρίας εις το σύστημα διανομής της ηλεκτρικής ενεργείας υπολογίζεται εκ του συντελεστού αποδόσεως της γεννητρίας, οποίος είναι  $1.0 - 0.035 = 0.965$ . Επομένως η προσφερομένη ενέργεια υπό της γεννητρίας ισούται με  $0.965 \times 5764.89 = 5563.12$  KW.

στ) Τέλος, ή ετησίως παραγομένη ενέργεια διά 5800.0 ώρας λειτουργίας είναι  $5563.12 \times 5800.0 = 31153466.0$  KWh = 31.153 GWh.

## 4.3 Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη

Οι ταμιευτήρες στα υδροηλεκτρικά έργα έχουν σκοπό την αποθήκευση νερού για παραγωγή ενέργειας. Η χρήση του ταμιευτήρα επιτρέπει την διάθεση του αποθηκευμένου νερού σε χρονικές περιόδους όπου οι βροχοπτώσεις είναι μηδαμικές (π.χ. καλοκαίρι), αλλά και τη συγκράτηση των νερών των πλημμυρών.

Τα υδρογραφήματα παροχής, η καμπύλη διάρκειας παροχών και οι αθροιστικές καμπύλες επιτρέπουν τη συστηματοποιημένη μελέτη των ταμιευτήρων για αποθήκευση του νερού και κατά συνέπεια την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

### 4.3.1 Υδρογράφημα παροχής

Για την ορθή μελέτη και διαστασιολόγηση των ταμιευτήρων υδροηλεκτρικών έργων απαιτείται η μέτρηση των απορροών στη θέση στην οποία πρόκειται να κατασκευαστεί το τεχνικό έργο.

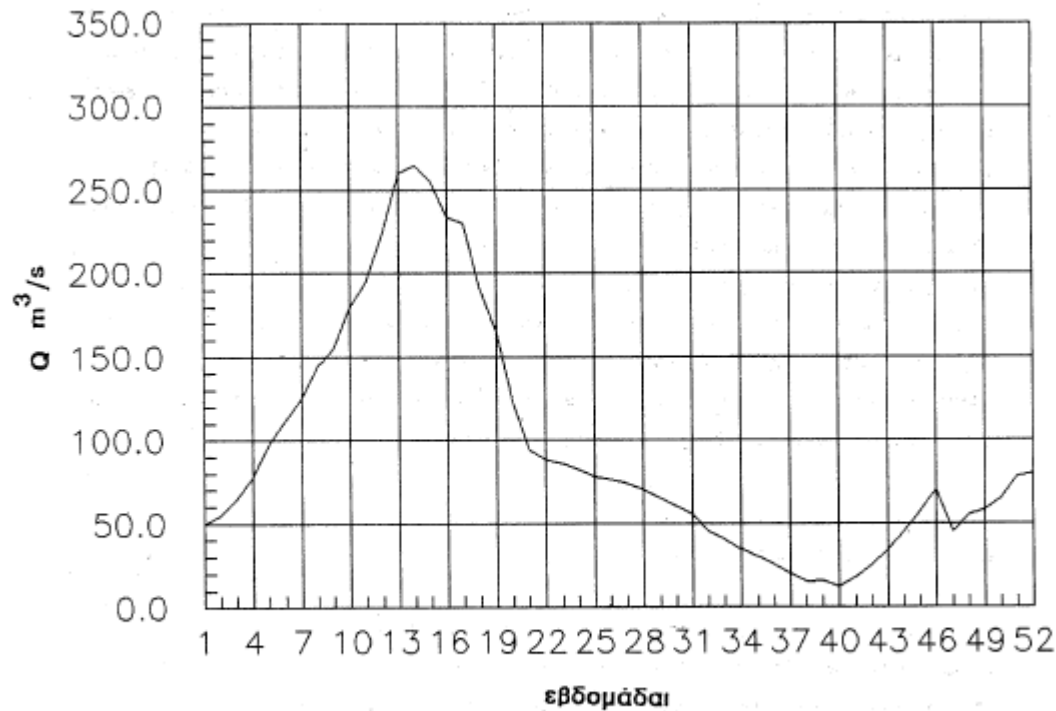
Οι μετρήσεις των παροχών πραγματοποιούνται με μέτρηση της ταχύτητας του νερού ανά τακτά χρονικά διαστήματα (ημερήσια) σε χαρακτηριστικά σημεία της διατομής του ποταμού.

Μέσω της υποδιαίρεσης της διατομής σε χαρακτηριστικά τμήματα γίνεται αποτελεσματικός ο υπολογισμός των παροχών.

## 4.3 Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη

### 4.3.1 Υδρογραφήμα παροχής

Υδρογράφημα παροχής ποταμού είναι το διάγραμμα αυτό που έχει ως τετμημένη το χρόνο (ώρα, ημέρα, μήνα, έτος) και ως τεταγμένη τις αντίστοιχες τιμές της παροχής.



Το υδρογράφημα των μέσων ημερησίων παροχών κατά την περίοδο ενός έτους παρουσιάζεται στο διπλανό σχήμα.

Το ελάχιστο των παροχών παρουσιάζεται κατά το μήνα Σεπτέμβριο ενώ το μέγιστο κατά το μήνα Μάρτιο.

Οι διαφοροποιήσεις μεταξύ μεγίστων και ελαχίστων είναι σημαντικές

Σχήμα 4.4 Υδρογράφημα μέσω ημερησίων παροχών ποταμού τινός

## 4.3 Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη

### 4.3.1 Υδρογραφήμα παροχής

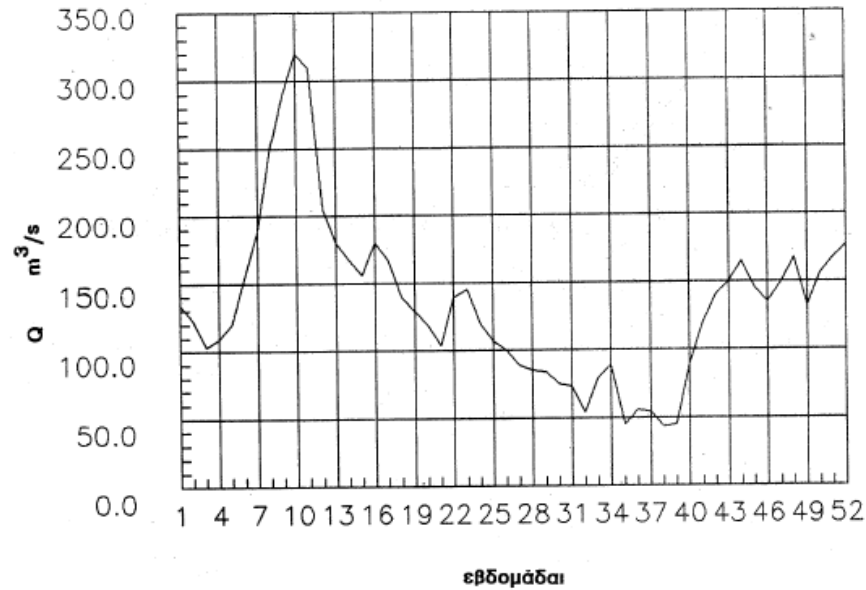
Συγκεντρωτικά για την επαρκή και ασφαλή μελέτη των ταμιευτήρων υδροηλεκτρικών έργων απαιτείται η γνώση των :

- Α) της μέσης ετήσιας απορροής
- Β) της μέσης μηνιαίας απορροής
- Γ) της μέγιστης και ελάχιστης τιμής για κάθε μήνα και κάθε έτος
- Δ) της μέγιστης απορροής κατά τη διάρκεια πλημμύρας
- Ε) της διάρκειας και συχνότητας πλημμυρών

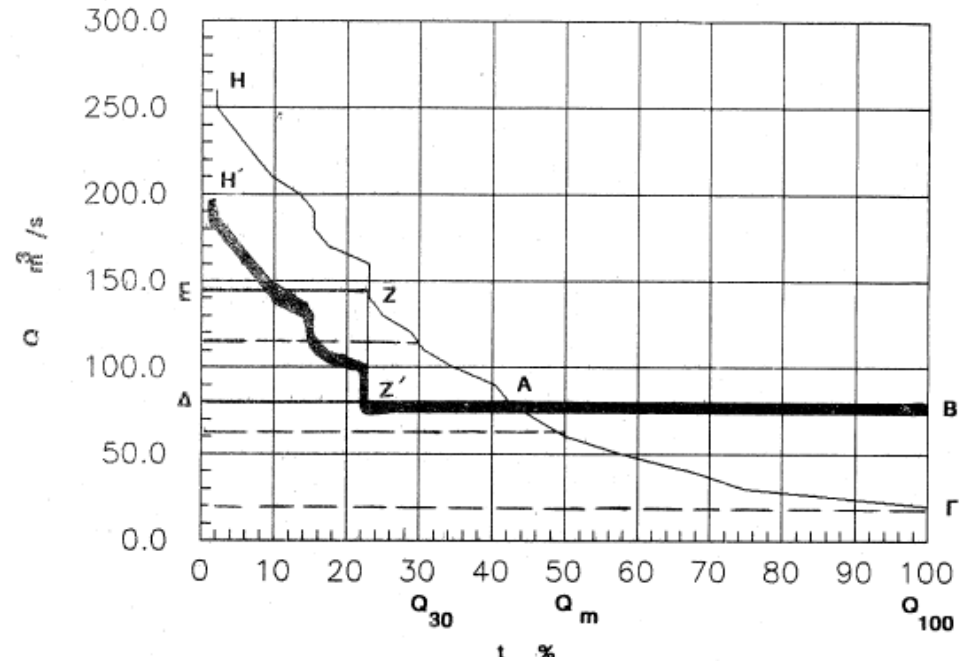
# 4.3 Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη

## 4.3.2 Καμπύλη διάρκειας παροχών

Καμπύλη διάρκειας παροχών καλείται το διάγραμμα το οποίο έχει ως τετμημένη το χρόνο στον οποίο οι παροχές ισούνται ή υπερβαίνουν μια ορισμένη τιμή (ποσοστό χρόνου υπέρβασης), και ως τεταγμένη τις παροχές τοποθετημένες κατά σειρά μεγέθους



Σχήμα 4.5 Υδρογράφημα μέσων μηνιαίων παροχών ποταμού



Σχήμα 4.6 Καμπύλη διάρκειας μέσων μηνιαίων παροχών ποταμού

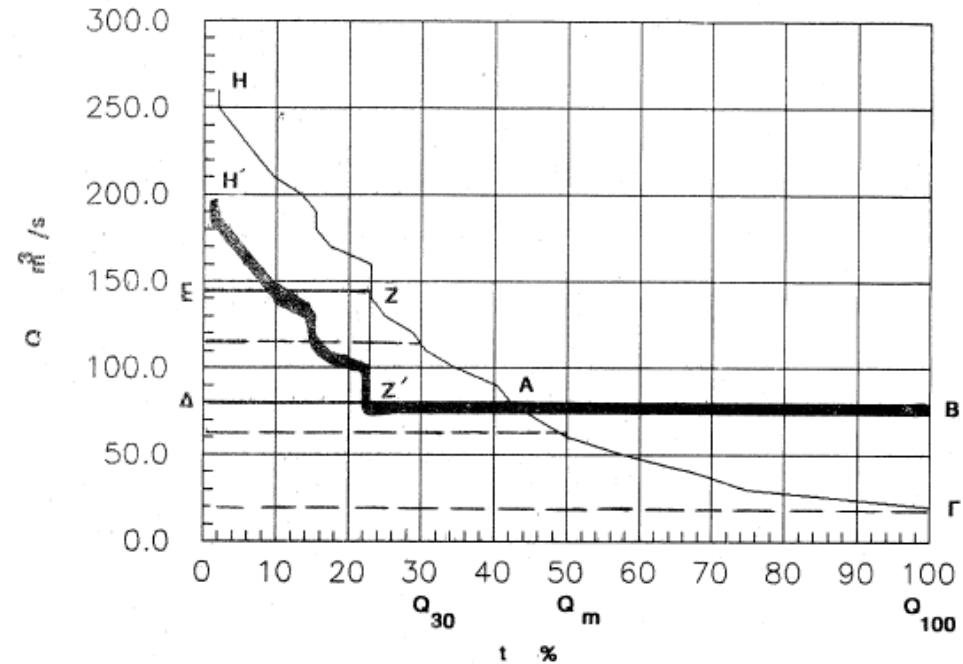


## 4.3 Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη

### 4.3.2 Καμπύλη διάρκειας παροχών

Με τον όρο  $Q_{30}$  δηλώνεται το 30% του χρόνου κατά τον οποίο η παροχή ισούται ή υπερβαίνει την παροχή που αντιστοιχεί στο  $Q_{30}$ .

Από το διπλανό σχήμα συνεπάγεται ότι η τιμή αυτή είναι ίση με  $115.0\text{m}^3/\text{s}$ .  
Άρα, σύμφωνα με τα δεδομένα, μόνο το 30% του χρόνου η παροχή ήταν μεγαλύτερη από την τιμή των  $115.0\text{m}^3/\text{s}$ .



Σχήμα 4.6 Καμπύλη διάρκειας μέσω μηνιαίων παροχών ποταμού

# Flow duration curve

- A cumulative frequency curve that shows the percentage of time that specified discharges are equaled or exceeded.

## ■ Steps

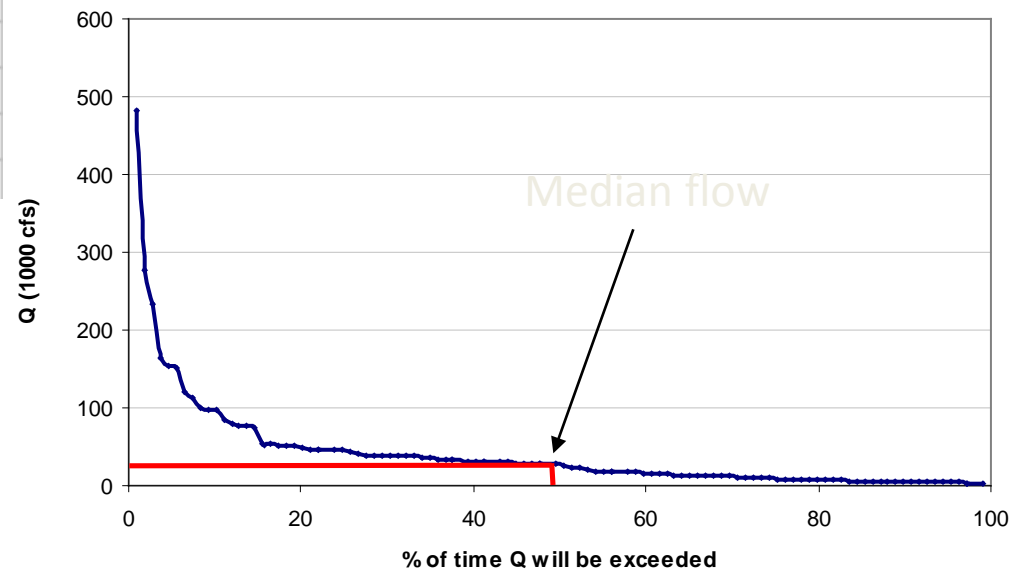
- Arrange flows in chronological order
- Find the number of records (N)
- Sort the data from highest to lowest
- Rank the data (m=1 for the highest value and m=N for the lowest value)
- Compute exceedance probability for each value using the following formula

$$p = 100 \times \frac{m}{N + 1}$$

- Plot p on x axis and Q (sorted) on y axis

# Flow duration curve in Excel

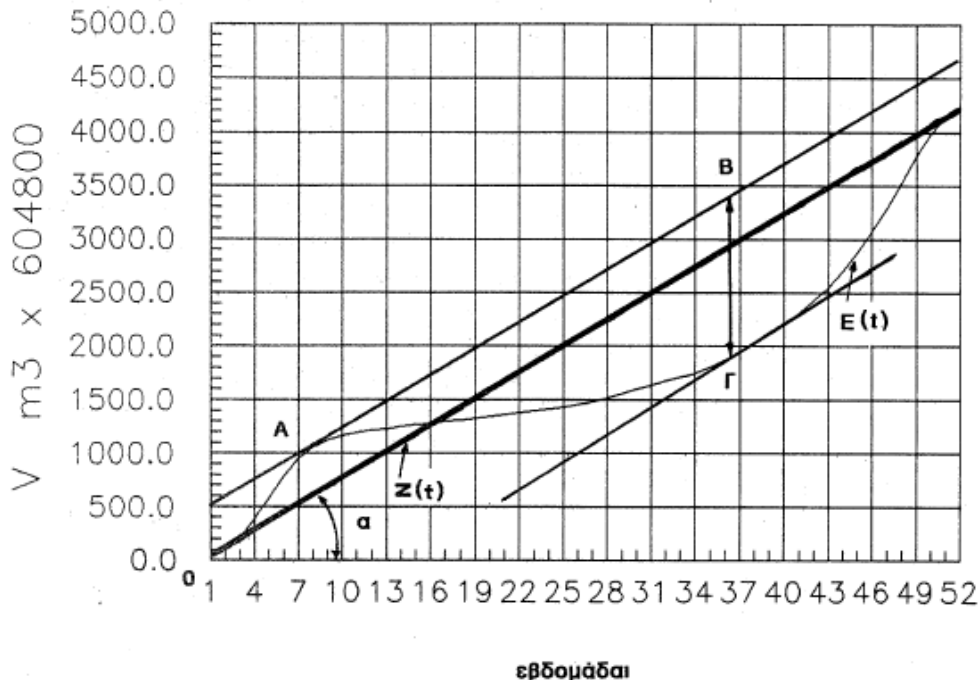
	A	B	C	D	E
1	Year	Q	Q <sub>sorted</sub>	Rank	p
2	1905	30.2	481	1	0.92
3	1905	113	276	2	1.83
4	1900	151	234	3	2.75
5	1901	28.7	164	4	3.67
6	1902	35.9	154	5	4.59
7	1903	33.7	151	6	5.50
8	1904	31.5	120	7	6.42
9	1905	52.9	113	8	7.34
10	1906	78.5	100	9	8.26
11	1907	28.1	98.2	10	9.18
12	1908	100	97.6	11	10.10
13	1909	29.7	84	12	11.02
14	1910	27.4	78.5	13	11.94



## 4.3 Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη

### 4.3.3 Αθροιστική καμπύλη

Ως αθροιστική καμπύλη φυσικής παροχής ποταμού εννοείται το διάγραμμα εκείνο το οποίο έχει ως τετμημένη το χρόνο και ως τεταγμένη το αντίστοιχο άθροισμα των όγκων των απορροών για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.



Η κλίση της εφαπτομένης της αθροιστικής καμπύλης εισροών από το σημείο  $t=0$  μέχρι του σημείου  $t=T$  εκφράζει τη μέση παροχή για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

$$\epsilon\varphi \alpha_{0-T} = Q_{0-T} = \frac{V_{0-T}}{T} \quad (4.19)$$

Εάν η ζήτηση της παροχής εκφράζεται με την ευθεία  $Z(t)$ , τότε ο ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρα μπορεί να υπολογιστεί ως: Από την έναρξη της ξηράς περιόδου (σημείο A), σχεδιάζεται ευθεία παράλληλη προς την  $Z(t)$ . Η μέγιστη απόσταση, ΒΓ, μεταξύ της νέας ευθείας που περνάει από το A και της καμπύλης εισροών  $E(t)$  είναι ο απαιτούμενος ωφέλιμος όγκος.

Σχήμα 4.7 Διάγραμμα αθροιστικής καμπύλης εισροών ταμιευτήρος

## 4.3 Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη

Παράδειγμα: Οι μέσαι εβδομαδιαίαι παροχαί ποταμού υδροηλεκτρικού έργου, το οποίον διαθέτει ταμιευτήραν ετησίας ρυθμίσεως, δίδονται υπό του κάτωθι Πίνακος 4.1. Το υδροηλεκτρικόν έργον διαθέτει 2 (δύο) μονάδας υδροστροβίλων με ωφέλιμον ύψος πτώσεως 40.0 m, ενώ οι ολικοί συντελεσταί αποδόσεως εκάστου των υδροστροβίλων είναι 0.85. Η εγκατεστημένη ισχύς εκάστης μονάδος είναι 20.0 MW και η πρώτη μονάς λειτουργεί συνεχώς καθ' όλον το έτος ενώ η δευτέρα μονάς λειτουργεί από την 4<sup>ην</sup> μέχρι την 8<sup>ην</sup> εβδομάδαν και από την 35<sup>ην</sup> μέχρι την 52<sup>αν</sup> εβδομάδαν συμπεριλαμβανομένων. Ζητείται να υπολογισθούν : α) το υδρογράφημα των παροχών του ποταμού, β) η αθροιστική καμπύλη εισροών του ταμιευτήρος, γ) ο ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρος διά την ως ανωτέρω λειτουργίαν των μονάδων, δ) η καμπύλη διάρκειας των μέσων εβδομαδιαίων φυσικών παροχών, και ε) η συνολική ενέργεια η παραγομένη υπό των υδροστροβίλων.

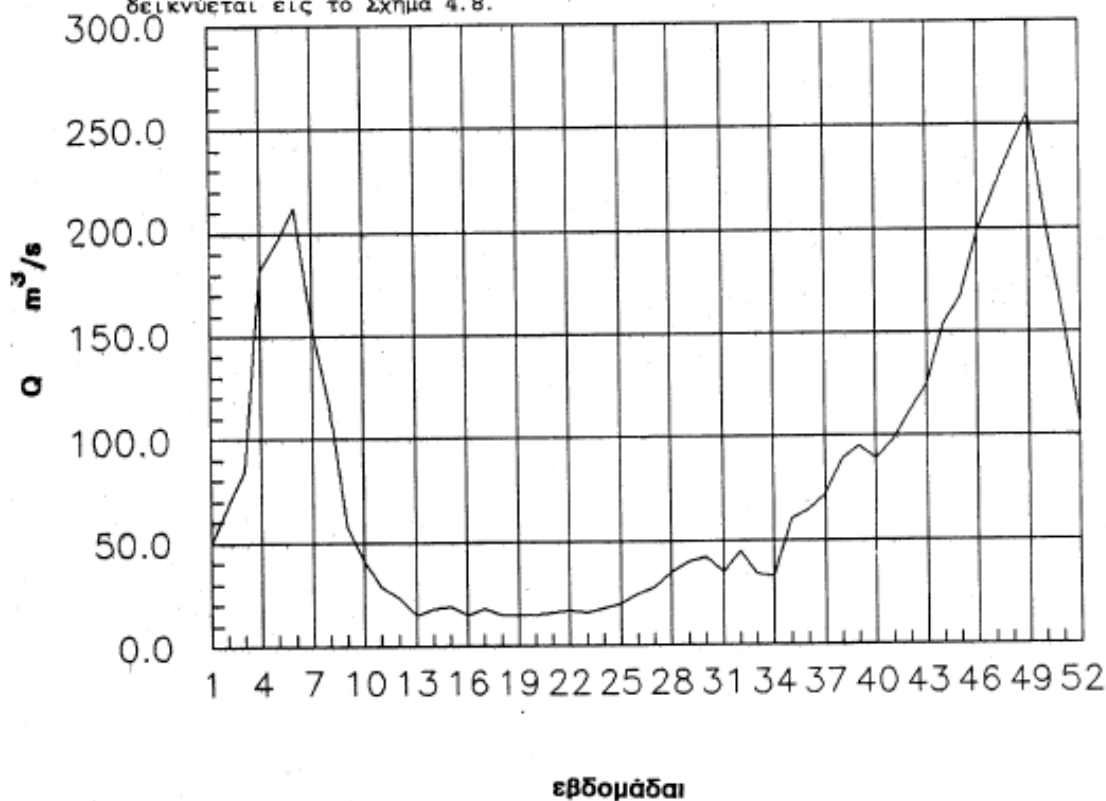
## 4.3 Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη

εβδομάς α/α	παροχή m <sup>3</sup> /s	εβδομάς α/α	παροχή m <sup>3</sup> /s
1	50.0	27	28.0
2	68.0	28	35.0
3	85.0	29	40.0
4	182.0	30	42.0
5	195.0	31	35.0
6	212.0	32	45.0
7	155.0	33	34.0
8	116.0	34	33.0
9	58.0	35	60.0
10	41.0	36	65.0
11	29.0	37	72.0
12	23.0	38	89.0
13	15.0	39	95.0
14	18.0	40	89.0
15	19.0	41	98.0
16	15.0	42	112.0
17	18.0	43	125.0
18	15.0	44	154.0
19	15.0	45	167.0
20	15.0	46	198.0
21	16.0	47	220.0
22	17.0	48	239.0
23	16.0	49	255.0
24	18.0	50	202.0
25	20.0	51	156.0
26	25.0	52	105.0

Πίναξ 4.1 Μέσαι εβδομαδιαίαι παροχαί ποταμού υδροηλεκτρικού έργου

## 4.3 Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη

Λύσις: α) Διά την χάραξιν του διαγράμματος του υδρογραφήματος του ποταμού λαμβάνονται ως τετμημένοι αι χρονικά περίοδοι (εβδομάδες), ως τεταγμένοι δε αι μέσαι παροχαί εκφραζόμεναι εις  $\text{m}^3/\text{εβδομάδαν}$ . Αι μέσαι τιμαί της παροχής του πίνακος εμφανίζονται ως  $\text{m}^3/\text{s}$ , επομένως η μέση παροχή ανά εβδομάδαν είναι το εκ του πίνακος αναγραφόμενον ποσόν πολλαπλασιασθέν επί 604800.0 ( $= 60.0 \times 60.0 \times 24.0 \times 7.0$ ), όσα είναι δηλαδή τα δευτερόλεπτα μιάς εβδομάδος. Το υδρογράφημα των παροχών δεικνύεται εις το Σχήμα 4.8.



Σχήμα 4.8 Υδρογράφημα του ποταμού

## 4.3 Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη

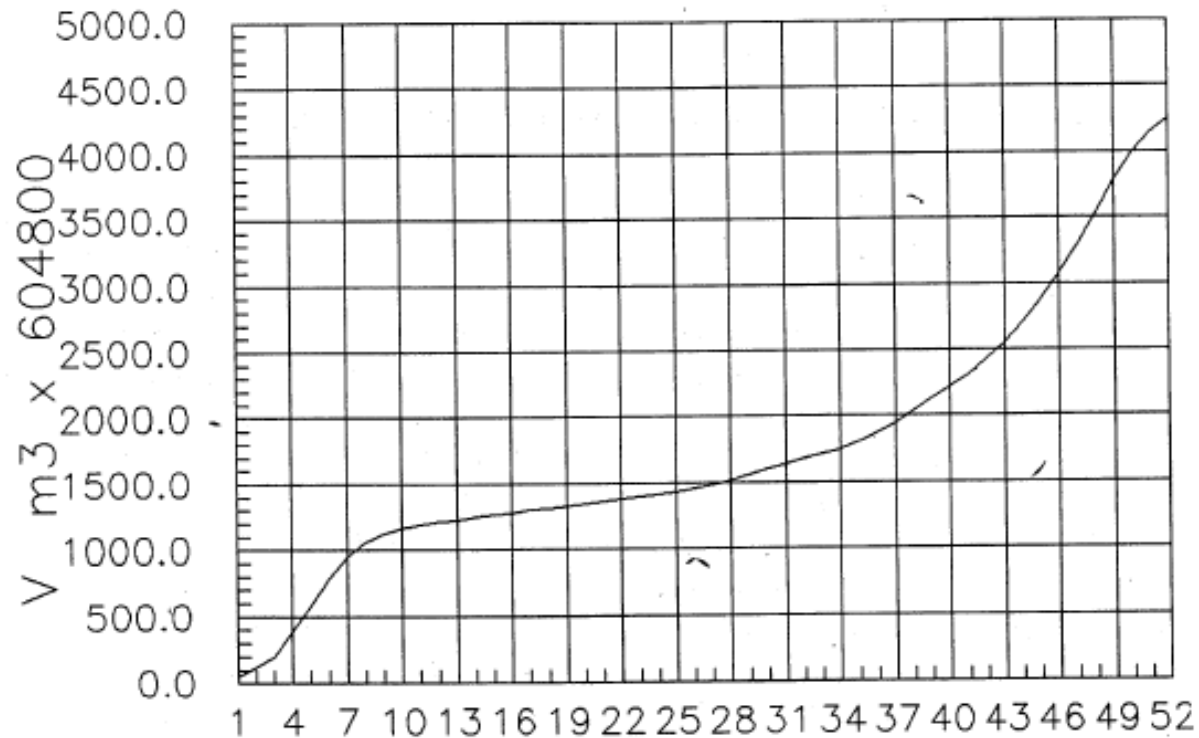
β) Διά την χάραξιν της αθροιστικής καμπύλης εισροών του ταμιευτήρος λαμβάνονται ως τετμημένα αι χρονικά περίοδοι (εβδομάδαι) και ως τεταγμένα οι όγκοι του εισερχομένου εις τον ταμιευτήρα ύδατος ανά εβδομάδαν, αθροιζομένων όλων των προηγουμένων όγκων. Ο παρακάτω, Πίναξ 4.2, δίδει τας τιμάς της αθροιστικής καμπύλης των εισροών.

Επί παραδείγματι, η τιμή των  $118.0 \times 604800.0 \text{ m}^3$ , διά τον υπολογισμόν των εισροών μέχρι και την 2<sup>αν</sup> εβδομάδαν ευρίσκεται ως το άθροισμα των  $(50.0 + 68.0) \text{ m}^3/\text{s} \times 604800.0 \text{ s}$  (δευτερολέπτων ανά εβδομάδα) =  $118.0 \times 604800.0 \text{ m}^3$ , κ.ο.κ. Εις το Σχήμα 4.9 δεικνύεται το διάγραμμα της αθροιστικής καμπύλης των εισροών.

εβδομάς ι/α	Όγκοι εισροών $\text{m}^3 \times 604800$	εβδομάς α/α	Όγκοι εισροών $\text{m}^3 \times 604800$
1	50.0	27	1484.0
2	118.0	28	1519.0
3	203.0	29	1559.0
4	385.0	30	1601.0
5	580.0	31	1636.0
6	792.0	32	1681.0
7	947.0	33	1715.0
8	1063.0	34	1748.0
9	1121.0	35	1808.0
0	1162.0	36	1873.0
1	1191.0	37	1945.0
2	1214.0	38	2034.0
3	1229.0	39	2129.0
4	1247.0	40	2218.0
5	1266.0	41	2316.0
6	1281.0	42	2428.0
17	1299.0	43	2552.0
18	1314.0	44	2707.0
19	1329.0	45	2874.0
20	1344.0	46	3072.0
21	1360.0	47	3292.0
22	1377.0	48	3531.0
23	1393.0	49	3786.0
24	1411.0	50	3988.0
25	1431.0	51	4144.0
26	1456.0	52	4249.0



## 4.3 Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη



Σχήμα 4.9 Διάγραμμα της αθροιστικής καμπύλης των εισροών

## 4.3 Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη

γ) Ο ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρος διά την λειτουργίαν των μονάδων προκύπτει ως εξής : το πρώτον απαιτείται η εύρεσις της παροχής διά την λειτουργίαν κάθε μιάς μονάδος. Είναι,

$$I = n \rho g Q H_n,$$

άρα η παροχή  $Q$  είναι,

$$Q = I / (n \rho g H_n)$$

$$\text{οπότε, } Q = 20000000.0 / (0.85 \times 1000.0 \times 9.81 \times 40.0) = 59.96 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Όταν τίθενται εν λειτουργία άπασαι αι μονάδαι τότε προφανώς η απαιτουμένη παροχή είναι  $2.0 \times 59.96 = 119.92 \text{ m}^3/\text{s}$ . Προφανώς όμως αυτό δεν συμβαίνει πάντοτε. Ούτως, μεταξύ της 1<sup>ης</sup> και της 3<sup>ης</sup> εβδομάδος (συμπεριλαμβανομένων) η απαιτουμένη παροχή είναι  $59.96 \text{ m}^3/\text{s}$ , μεταξύ της 4<sup>ης</sup> και της 8<sup>ης</sup> η παροχή είναι  $119.92 \text{ m}^3/\text{s}$ , μεταξύ της 9<sup>ης</sup> και της 34<sup>ης</sup> η παροχή είναι  $59.96 \text{ m}^3/\text{s}$ , και τέλος μεταξύ της 35<sup>ης</sup> και της 52<sup>ας</sup> η παροχή είναι  $119.92 \text{ m}^3/\text{s}$ . Κατασκευάζεται λοιπόν η αθροιστική καμπύλη των καταναλώσεων διά κάθε εβδομάδαν, ιδέ Πίνακαν 4.3. Την 2<sup>αυ</sup> εβδομάδαν η κατανάλωσις ύδατος υπό των στροβίλων του υδροηλεκτρικού έργου είναι:  $(59.96 + 59.96) \times 604800.0 \text{ m}^3 = 119.92 \times 604800.0 \text{ m}^3$ . Την 8<sup>ην</sup> εβδομάδαν τίθεται εν λειτουργία και ο δεύτερος υδροστρόβιλος οπότε η απαιτουμένη κατανάλωσις είναι:  $(659.56 + 119.92) \times 604800.0 \text{ m}^3 = 779.48 \text{ m}^3$ , κ.ο.κ.

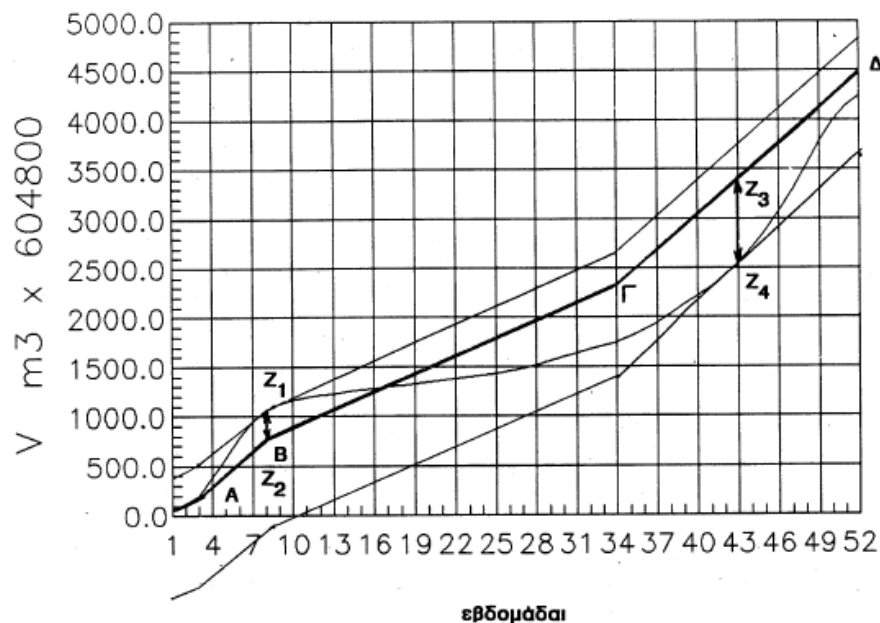
## 4.3 Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη

εβδομάς α/α	κατανάλωσις m <sup>3</sup> x 604800.0	εβδομάς α/α	κατανάλωσις m <sup>3</sup> x 604800.0
1	59.96	27	1918.72
2	119.92	28	1978.68
3	179.88	29	2038.64
4	299.80	30	2098.60
5	419.72	31	2158.56
6	539.64	32	2218.52
7	659.56	33	2278.48
8	779.48	34	2338.44
9	839.44	35	2458.36
10	899.40	36	2578.28
11	959.36	37	2698.20
12	1019.32	38	2818.12
13	1079.28	39	2938.04
14	1139.24	40	3057.96
15	1199.20	41	3177.88
16	1259.16	42	3297.80
17	1319.12	43	3417.72
18	1379.08	44	3537.64
19	1439.04	45	3657.56
20	1499.00	46	3777.48
21	1558.96	47	3897.40
22	1618.92	48	4017.32
23	1678.88	49	4137.24
24	1738.84	50	4257.16
25	1798.80	51	4377.08
26	1858.76	52	4497.00

Πίναξ 4.3 Τιμαί της αθροιστικής καμπύλης, καταναλώσεων

## 4.3 Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη

Εις το διάγραμμα του Σχήματος 4.10 δεικνύεται η αθροιστική καμπύλη εισροών και η καμπύλη καταναλώσεως ύδατος υπό των στροβίλων ΑΒΓΔ. Διά να υπολογισθή ο ωφέλιμος όγκος ο οποίος απαιτείται διά την κατανάλωσιν αυτήν μετατοπίζεται παράλληλως προς τον εαυτόν της η ΑΒΓΔ προς τα άνω και προς τα κάτω ώστε να εφάπτεται της αθροιστικής καμπύλης των εισροών. Προφανώς, ο απαιτούμενος ωφέλιμος όγκος του ταμειυτήρος υπολογίζεται εκ των αθροίσματος των αποστάσεων  $Z_1Z_2$  και  $Z_3Z_4$ . Ο όγκος αυτός είναι ίσος με  $1200.0 \times 604800 \text{ m}^3$



Σχήμα 4.10 Υπολογισμός του ωφέλιμου όγκου

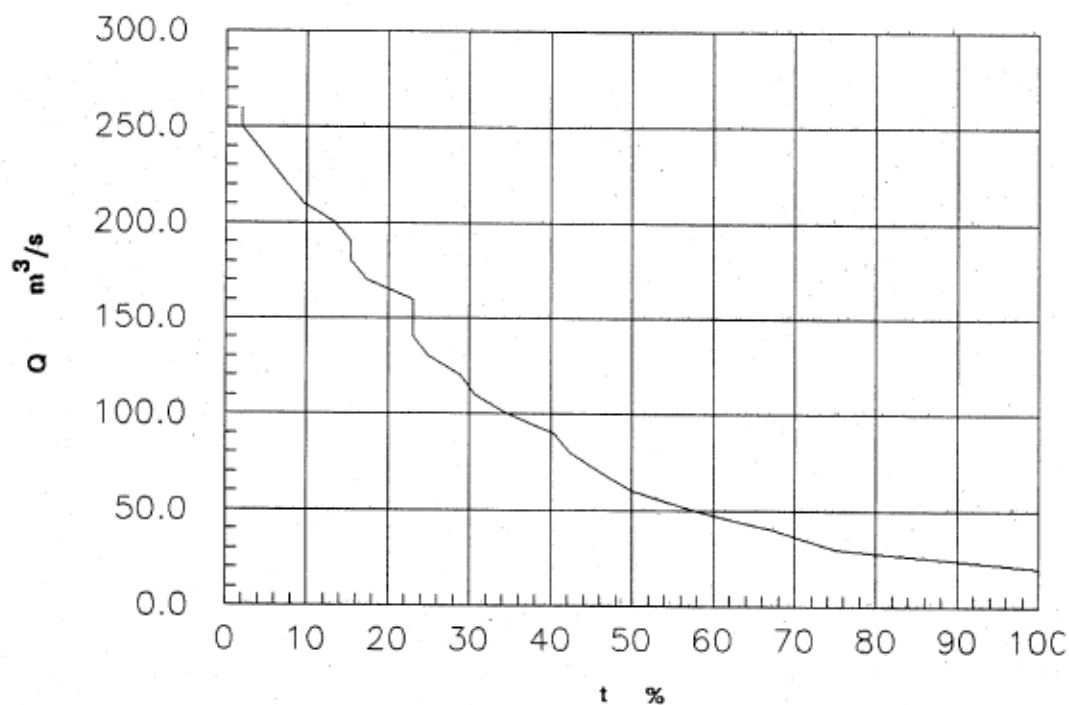
## 4.3 Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη

δ) Η καμπύλη διάρκειας των παροχών, η οποία εκφράζει το ποσοστόν του χρόνου διά τον οποίον εμφανίζεται παροχή ίση ή μεγαλύτερα μιάς δεδομένης τιμής, υπολογίζεται εις τον Πίνακα 4.4. Η όλη κλίμαξ των παροχών υποδιαιρείται εις διαστήματα π.χ. των  $10.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Η διάταξις των διαστημάτων των παροχών άρχεται εκ της μεγαλύτερας παροχής. Παραπλεύρως σημειούται ο αριθμός των εμφανίσεων των παροχών. Ο αριθμός αυτών των εμφανίσεων λαμβάνεται εκ του Πίνακος 4.1 δι' απλής παρατηρήσεως. Το ποσοστόν του χρόνου, επί τοις εκατόν, υπολογίζεται διά διαιρέσεως του

Διάστημα παροχών $\text{m}^3/\text{s}$	αριθμός εμφανίσεων	ποσοστόν χρόνου %	Διάστημα παροχών $\text{m}^3/\text{s}$	αριθμός εμφανίσεων	ποσοστόν χρόνου %
260-250	1	1.923	130-120	1	25.000
250-240	0	1.923	120-110	2	28.846
240-230	1	3.846	110-100	1	30.769
230-220	1	5.769	100-90	2	34.615
220-210	1	7.692	90-80	3	40.385
210-200	1	9.615	80-70	1	42.308
200-190	2	13.462	70-60	2	46.154
190-180	1	15.385	60-50	2	50.000
180-170	0	15.385	50-40	4	57.692
170-160	1	17.307	40-30	5	67.308
160-150	3	23.077	30-20	4	75.000
150-140	0	23.077	20-10	13	100.000
140-130	0	23.077			

## 4.3 Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη

αριθμού των εμφανίσεων, εις έν ωρισμένον διάστημα, παροχών προς τον συνολικόν αριθμόν των εμφανίσεων. Εις το διάγραμμα του Σχήματος 4.11 δεικνύεται η καμπύλη διάρκειας των μέσων εβδομαδιαίων φυσικών παροχών.



Σχήμα 4.11 Καμπύλη διάρκειας μέσων εβδομαδιαίων φυσικών παροχών

## 4.3 Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη

ε) Η συνολική ενέργεια η οποία παράγεται υπό των υδροστροβίλων κατά την διάρκεια ενός πλήρους έτους ισούται με τα άθροισμα των ενεργειών αι οποίαι παράγονται υφ' ενός εκάστου των υδροστροβίλων. Ούτως, η μὲν πρώτη μονάς ευρίσκεται εν συνεχή λειτουργία καθ' όλον το έτος, επομένως η ενέργεια (KWh) είναι :  $E_1 = I \Delta t$  όπου  $\Delta t$  είναι το χρονικόν διάστημα λειτουργίας εκπεφρασμένον εις ώρας. Είναι,

$$E_1 = 20000.0 \times 24.0 \times 7.0 \times 52.0 \text{ (ώραι, ημέραι εβδομάδος, εβδομάδαι έτους)}$$

$$\text{άρα, } E_1 = 174.72 \times 10^6 \text{ KWh}$$

η δε δευτέρα μονάς ευρίσκεται εν λειτουργία από την 4<sup>η</sup> μέχρι 8<sup>η</sup> και από την 35<sup>η</sup> μέχρι και την 52<sup>α</sup> συμπεριλαμβανομένων ήτοι :  $5.0 + 18.0 = 23.0$  εβδομάδας άρα η ενέργεια  $E_2$  είναι,

$$E_2 = 20000.0 \times 24.0 \times 7.0 \times 23.0 = 77.28 \times 10^6 \text{ KWh}$$

επομένως, η ολική ενέργεια  $E$  είναι,

$$E = E_1 + E_2 = (174.72 + 77.28) \times 10^6 = 252.0 \times 10^6 \text{ KWh}$$

***Ευχαριστώ για την προσοχή σας!***