

Υδραυλικές Μηχανές και Ενέργεια

- Διάλεξη 13 - Υδροηλεκτρικά έργα
- Ασκήσεις επανάληψης

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

hskoulik@civil.auth.gr

Ανασκόπηση 12^{ου} μαθήματος

- *Ανακεφαλαίωση: Σύγκριση μεταξύ υδροστροβίλων δράσεως και αντιδράσεως*
- *Διατάξεις υδροηλεκτρικών έργων, Ενέργεια-Ισχύς και Ύψη πτώσης, Υδρογράφημα παροχής, καμπύλη διάρκειας παροχών, αθροιστική καμπύλη, Ασκήσεις*

Περιεχόμενα 11^{ου} μαθήματος

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

Συγγράμματα/Εκπαιδευτικό υλικό

ΥΔΡΑΥΛΙΚΑΙ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΑΙ Μηχανική Ρευστών ΠΡΩΤΟΣ ΤΟΜΟΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

Υπό
Ιωάννου Βασιλείου Σούλη
Αναπληρωτού Καθηγητού
Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης



ΞΑΝΘΗ

εκδόσεις - ΑΙΒΑΖΗΣ - Θεσσαλονίκη

ΥΔΡΑΥΛΙΚΑΙ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΑΙ Μηχανική Ρευστών ΤΡΙΤΟΣ ΤΟΜΟΣ ΛΥΜΕΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Υπό
Ιωάννου Βασιλείου Σούλη
Αναπληρωτού Καθηγητού
Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης



ΞΑΝΘΗ 2007

εκδόσεις: ΑΙΒΑΖΗΣ 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

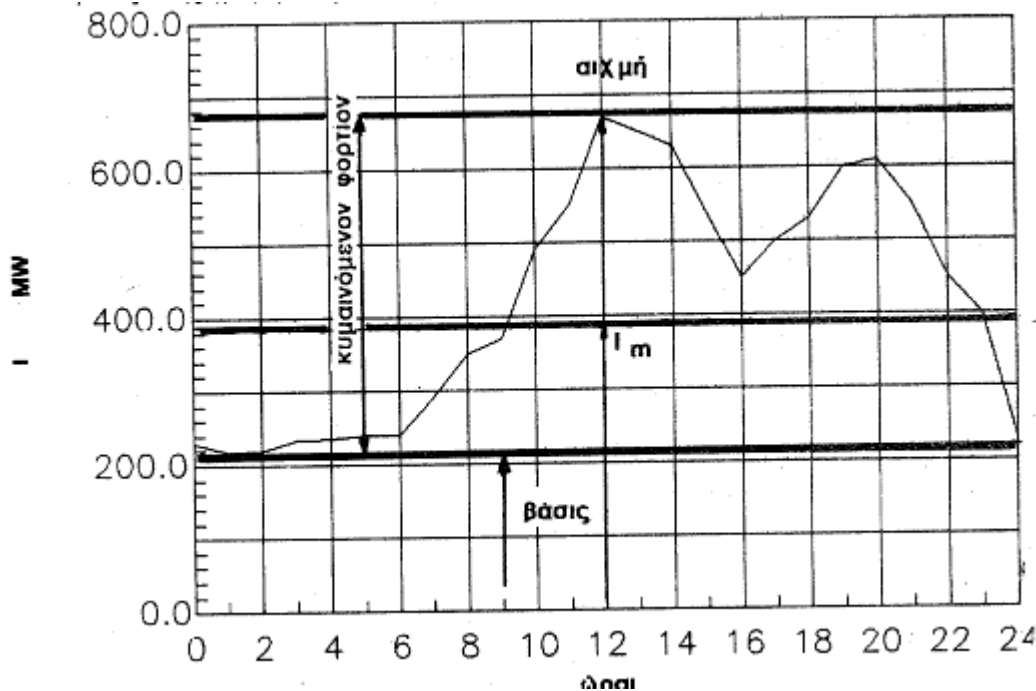
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ

4.4 Φορτίο, καμπύλη διάρκειας φορτίου, καμπύλη ποσοστών αιχμής

4.4.1 Φορτίο

Φορτίο καλείται η ισχύς που αναφέρεται στην παραγωγή ή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε οποιοδήποτε χρονικό διάστημα του συστήματος.

Καμπύλη φορτίου συστήματος είναι το διάγραμμα εκείνο το οποίο έχει ως τετμημένη το χρόνο (ώρα, ημέρες κτλ) και ως τεταγμένη τις αντίστοιχες τιμές του φορτίου (συνήθως εκφράζονται σε MW).



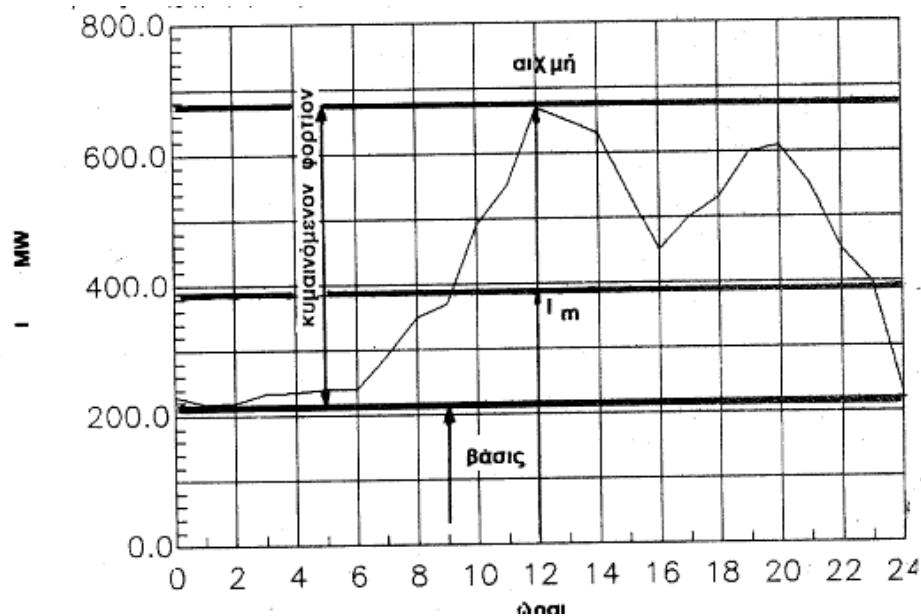
Σχήμα 4.12 Ημερησία καμπύλη φορτίου συστήματος

4.4 Φορτίο, καμπύλη διάρκειας φορτίου, καμπύλη ποσοστών αιχμής

4.4.1 Φορτίο

Οι καμπύλες φορτίου χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό λειτουργίας ενός συστήματος και για την μακροπρόθεσμη ανάπτυξη των φορτίων ενός συστήματος. Σε κάθε καμπύλη διακρίνεται:

- η μέγιστη τιμή του φορτίου ή αιχμή, και
- η ελάχιστη τιμή του φορτίου ή βάση



Το μέσο φορτίο χρονικής περιόδου ορίζεται ως:

$$I_m = \frac{\int_0^t I dt}{t} \quad (4.20)$$

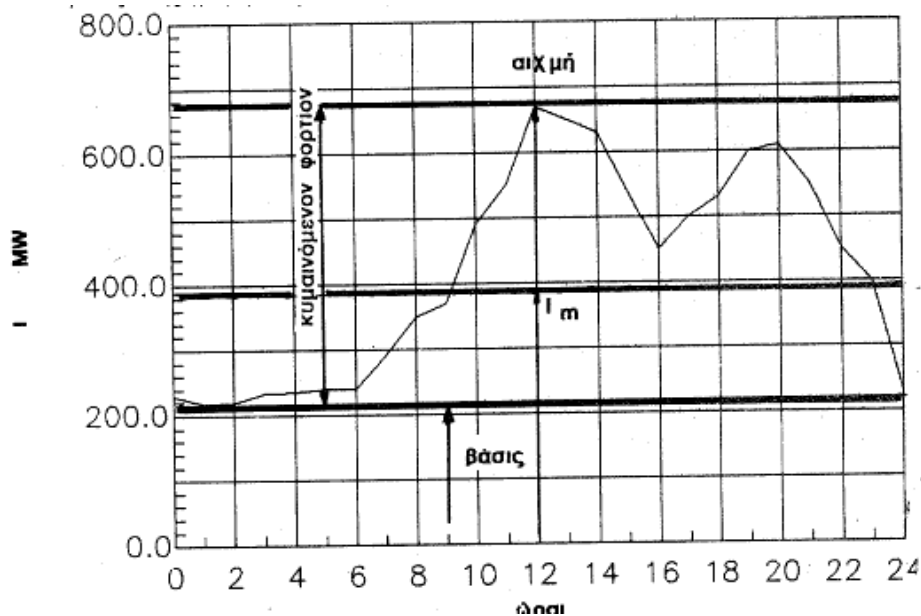
Και η μέση ενέργεια υπολογίζεται ως:

$$E_t = I_m t \quad (4.21)$$

4.4 Φορτίο, καμπύλη διάρκειας φορτίου, καμπύλη ποσοστών αιχμής

4.4.1 Φορτίο

Η περιοχή του διαγράμματος της καμπύλης του φορτίου που βρίσκεται πάνω του μέσου φορτίου I_m ονομάζεται ζώνη αιχμής. Η περιοχή του διαγράμματος που βρίσκεται μεταξύ της αιχμής και της βάσης του φορτίου ονομάζεται ζώνη κυμαινόμενης ισχύος και η περιοχή κάτω της ελάχιστης τιμής φορτίου ονομάζεται βάση ισχύος.



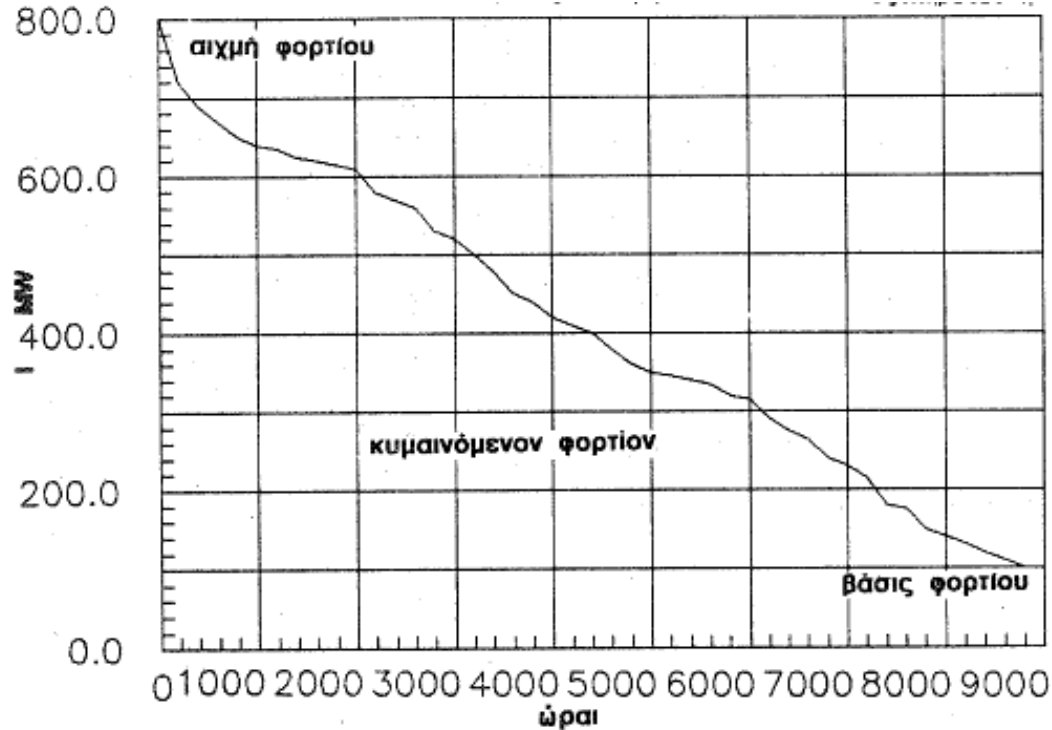
Οι έντονες διακυμάνσεις που παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια της ημέρας οφείλονται στις διαφορετικές ανάγκες κατανάλωσης ισχύος κατά τη διάρκεια του 24^{ου}.

Έντονη διακύμανση του φορτίου υφίσταται επίσης επίσης μεταξύ χειμερινής και θερινής περιόδου του έτους.

4.4 Φορτίο, καμπύλη διάρκειας φορτίου, καμπύλη ποσοστών αιχμής

4.4.2 Φορτίο

Καμπύλη διάρκειας φορτίου καλείται το διάγραμμα το οποίο έχει ως τετμημένη το χρόνο όπου τα φορτία ισούνται ή υπερβαίνουν ορισμένη τιμή, και ως τεταγμένη τις τιμές του φορτίου σε διατεταγμένη σειρά μεγέθους.

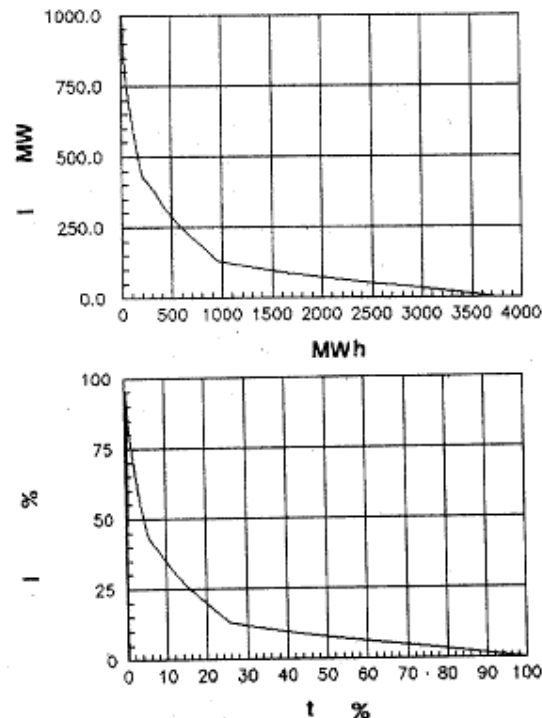


Σχήμα 4.13 Ετήσια καμπύλη διάρκειας φορτίου συστήματος

4.4 Φορτίο, καμπύλη διάρκειας φορτίου, καμπύλη ποσοστών αιχμής

4.4.3 Καμπύλη ποσοστών αιχμής

Καμπύλη ποσοστών αιχμής καλείται το διάγραμμα το οποίο έχει ως τετμημένη τις τιμές της παραγόμενης ενέργειας ως επί τις εκατό ποσοστό της συνολικής παραγόμενης ενέργειας, και ως τεταγμένη τις τιμές του φορτίου ως επί τις εκατό ποσοστό του μέγιστου φορτίου αιχμής.



Σχήμα 4.14 Διάγραμμα ποσοστών αιχμής συστήματος τινός

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

Πρόβλημα 4.1

Υδροδυναμικών έργων διαθέτει ταμειυτήραν επτασίας ρυθμίσεως ο οποίος τροφοδοτείται εκ του παρακειμένου ποταμού του οποίου αι μέσαι μηνιαίαι συσσωρεύσεις όγκων ύδατος δίδονται εκ του κάτωθι Πίνακος 1:

Μην	Όγκοι 10^6 m^3
Ιανουάριος	7.46
Φεβρουάριος	4.35
Μάρτιος	6.56
Απρίλιος	19.35
Μάιος	24.70
Ιούνιος	19.45
Ιούλιος	15.56
Αύγουστος	10.24
Σεπτέμβριος	8.31
Οκτώβριος	6.56
Νοέμβριος	7.80
Δεκέμβριος	8.46

Πίναξ 1 Μηνιαίαι συσσωρεύσεις ύδατος

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

Κάθε μην θεωρείται ως έχων 30 ημέρας. Ζητείται να υπολογισθούν : α) η αθροιστική καπύλη των εισροών ύδατος του ταμιευτήρος, β) η καμπύλη των καταναλώσεων ύδατος (η κατανάλωσις του ύδατος υπό των υδροστροβίλων πρέπει να θεωρηθή ότι γίνεται υπό σταθεράν παροχήν και εις το τέλος του έτους δεν πρέπει να γίνεται ουδεμία εκχείλισις διά μέσου των διαθεσίμων εκχειλιστών του ταμιευτήρος) και κατά συνέπειαν η παροχή του ύδατος προς τους υδροστροβίλους, γ) η ελαχίστη χωρητικότητα του ταμιευτήρος διά να χρησιμοποιείται το όλον υπάρχον ύδωρ προς παραγωγήν υδροηλεκτρικής ενεργείας (ισχύουν αι προϋποθέσεις της β), δ) το ποσόν του ύδατος το οποίον πρέπει να εναποθηκευθή αρχικώς εις τον ταμιευτήραν ώστε να υπάρχη η δυνατότης να ικανοποιηθή η ανωτέρω κατανάλωσις.

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

Λύσεις

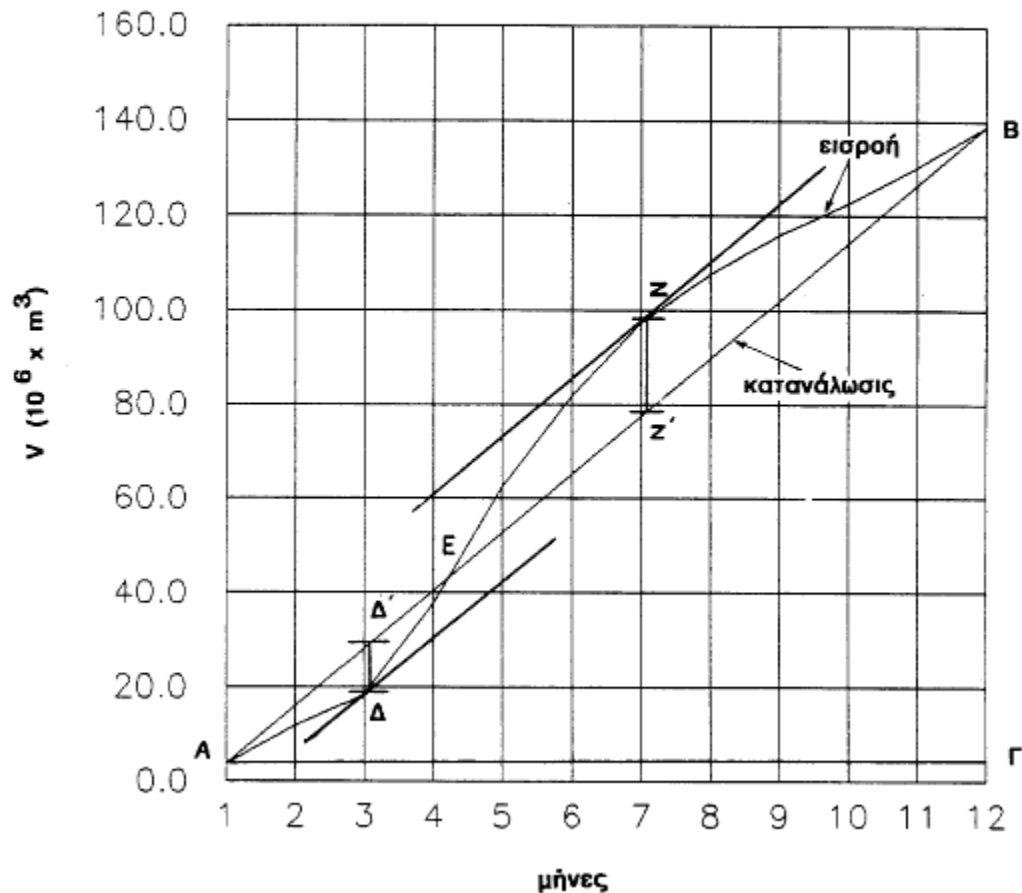
α) Ο κάτωθι Πίναξ 2 δίδει τας τιμάς της αθροιστικής καμπύλης.

Μήν	Μηνιαία εισροή 10^6 m^3	Ολική εισροή 10^6 m^3
Ιανουάριος	7.46	7.46
Φεβρουάριος	4.35	11.81
Μάρτιος	6.56	18.37
Απρίλιος	19.35	37.72
Μάιος	24.70	62.42
Ιούνιος	19.45	81.87
Ιούλιος	15.56	97.43
Αύγουστος	10.24	107.67
Σεπτέμβριος	8.31	115.98
Οκτώβριος	6.56	122.54
Νοέμβριος	7.80	130.34
Δεκέμβριος	8.46	138.80

Πίναξ 2 Αθροιστική εισροή

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

Εις το Σχήμα 18 δεικνύεται η αθροιστική καμπύλη των εισροών του ύδατος εις τον ταμιευτήρα.



Σχήμα 18 Αθροιστική καμπύλη εισροών - καταναλώσεων

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

β) Η καμπύλη των καταναλώσεων του ύδατος είναι η ευθεία γραμμή AB η οποία ενώνει την αρχήν A με το πέρας B (ουδεμία εκχειλίσεις) της καμπύλης των εισροών. Η κλίσις της ευθείας αυτής γραμμής είναι η παροχή του ύδατος. Είναι,

$$Q = \epsilon\phi\phi = \frac{B\Gamma}{A\Gamma} = \frac{131.34 \times 10^6}{30 \times 12} = 0.3648 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ημέραν} = 4.222 \text{ m}^3/\text{s}$$

γ) Εκ της καμπύλης εισροών του Σχήματος 18 και εκ του σημείου A προς το Δ η κατανάλωσις ύδατος είναι μεγαλύτερα της των εισροών και η περιεκτικότης του ταμιευτήρος εις το σημείον Δ έχει φθάσει εις το ελάχιστον δυνατόν (η απόστασις ΔΔ' είναι ο όγκος που υπολείπεται διά να καλύψη την κατανάλωσιν). Εις το σημείον E η κατανάλωσις είναι ίση προς την εισροήν και εκ του σημείου τούτου και εκείθεν αυξάνει ο όγκος των υδάτων εντός του ταμιευτήρος. Εις το σημείον Z υπάρχει η μεγαλύτερα περιεκτικότης εις πλεονάζονταν όγκον ύδατος (ο όγκος ισούται προς την απόστασιν ZZ'). Εκ των ανωτέρω ΔΔ' είναι ο μέγιστος όγκος υδάτων ο οποίος απαιτείται κάτωθεν της καμπύλης καταναλώσεων AB και ZZ' είναι ο μέγιστος επιπλέον όγκος ο απαιτούμενος διά να αποθηκευθή υπεράνω της καμπύλης AB. Επομένως, η ελαχίστη χωρητικότης του ταμιευτήρος διά να ικανοποιηθή την ανωτέρω κατανάλωσιν είναι,

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

$$\text{ελάχιστη χωρητικότης} = \Delta\Delta' + \text{ZZ}' = (10.63 + 19.20) \times 10^6 = 29.83 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Πρακτικώς τα ανωτέρω επιτυγχάνονται διά παραλλήλου μετατοπίσεως της καμπύλης καταναλώσεως AB ώστε να εφάπτεται εις το ελάχιστον Δ και το μέγιστον Z της καμπύλης των εισροών ύδατος εις τον ταμιευτήραν διά το υπ' όψιν χρονικόν διάστημα. Το άθροισμα των συνολικών παραλλήλων μετατοπίσεων ΔΔ' και ZZ' εκ της αρχικής θέσεως της AB δίδει το τελικόν ελάχιστον ποσόν χωρητικότητος του ταμιευτήρος διά την ικανοποίησιν της καταναλώσεως.

δ) Το ποσόν του ύδατος το οποίον πρέπει να εναποθηκευθή αρχικώς εις τον ταμιευτήραν ώστε να υπάρχη η δυνατότης να ικανοποιηθή η ανωτέρω κατανάλωσις παρίσταται διά της ποσότητος ΔΔ'. Είναι δηλαδή το επιπλέον ποσόν ύδατος το οποίον πρέπει να υπάρχη κατά την αρχικήν κατάστασιν προκειμένου να δυνηθούν οι υδροστρόβιλοι να λειτουργήσουν αποτελεσματικώς. Προφανώς εκ του σημείου A προς το σημείον Δ η κατανάλωσις των υδροστροβίλων υπολείπεται των διαθεσίμων παροχών ύδατος (η κλίσις AB είναι μεγαλύτερα της κλίσεως ΑΔ). Επομένως,

$$\text{αρχικός όγκος προς εναποθήκευσιν} = 10.63 \times 10^6 \text{ m}^3$$

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

Πρόβλημα 4.2

Εις υδροηλεκτρικός σταθμός λειτουργεί υπό ύψος πτώσεως 35.5 m, ο συντελεστής ολικής αποδόσεως είναι 0.845 και αναπτύσσει 13.5 MW. Ο ταμιευτήρ ο οποίος τροφοδοτεί τον σταθμό με ύδωρ δέχεται τα κάτωθι ποσά ύδατος ιδέ Πίνακαν 3, κατά την διάρκειαν ενός έτους (έκαστος μην θεωρείται ως έχων 30 ημέρας),

Ζητείται να υπολογισθούν : α) η ελαχίστη χωρητικότητα του ταμιευτήρος ώστε να ικανοποιηθήσασ αιτήσεις της καταναλώσεως με την παραδοχήν ότι ο ταμιευτήρ είναι πλήρης κατά τον πρώτον μήναν (Ιανουάριον) λειτουργίας, β) η ολική ποσότης ύδατος η οποία δαπανάται ασκόπως κατά το υπ' όψιν χρονικόν διάστημα.

Μην	Όγκοι 10^6 m^3
Ιανουάριος	119.5
Φεβρουάριος	125.3
Μάρτιος	134.6
Απρίλιος	137.2
Μάιος	183.5
Ιούνιος	125.6
Ιούλιος	113.7
Αύγουστος	86.9
Σεπτέμβριος	95.8
Οκτώβριος	94.5
Νοέμβριος	98.8
Δεκέμβριος	95.7

Πίναξ 3 Μηνιαία συσσωρεύσεις ύδατος

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

Λύσις

α) Εκ της εξισώσεως,

$$I = \eta \rho g Q H_n$$

είναι,

$$Q = \frac{I}{\eta \rho g H_n} = \frac{13500000.0}{0.845 \times 1000.0 \times 9.81 \times 35.5} = 45.875 \text{ m}^3/\text{s}$$
$$= 118.9 \times 10^6 / \text{μήναν}$$

Καθώς αι μηνιαίοι εισροαί και η κατανάλωσις είναι γνωσταί, είναι δυνατόν να δημιουργηθή ο κάτωθι Πίναξ 4,

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

1	2	3	4	5	6	7	8
Μην	Εισροαί (μηνιαία) 10^6 m^3	Κατανάλωσις (μηνιαία) 10^6 m^3	Πλεόνασμα (μηνιαίον) 10^6 m^3	Αύξησις όγκου 10^6 m^3	Ισοζύγιον (έλλειμμα) 10^6 m^3	Απώλειαι (μηνιαία) 10^6 m^3	Ολικαί απωλ. 10^6 m^3
Ιαν.	119.5	118.9	0.6	0.0	0.0	0.6	0.6
Φεβ.	125.3	118.9	6.4	0.0	0.0	6.4	7.0
Μάρ.	134.6	118.9	15.7	0.0	0.0	15.7	22.7
Απρ.	137.2	118.9	18.3	0.0	0.0	18.3	41.0
Μάιο	183.5	118.9	64.6	0.0	0.0	64.6	105.6
Ιούν	125.6	118.9	6.7	0.0	0.0	6.7	112.3
Ιούλ	113.7	118.9	-5.2	-5.2	5.2	0.0	112.3
Αύγ.	86.9	118.9	-32.0	-32.0	37.2	0.0	112.3
Σεπτ	95.8	118.9	-23.1	-23.1	60.3	0.0	112.3
Οκτ.	94.5	118.9	-24.4	-24.4	84.7	0.0	112.3
Νοέμ	98.8	118.9	-20.1	-20.1	104.8	0.0	112.3
Δεκ.	95.7	118.9	-23.2	-23.2	128.0	0.0	112.3

Πίναξ 4 Πίναξ ισοζυγίου και ολικών απωλειών ύδατος λόγω εκχειλίσεως

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

Το μηνιαίο πλεόνασμα, στήλη 4, προκύπτει εκ της διαφοράς των αντιστοιχών τιμών των στηλών 2 και 3. Η στήλη 5 αναφέρεται εις την αύξηση του όγκου των υδάτων του ταμιευτήρος. Το έλλειμμα του ύδατος, στήλη 6, υπολογίζεται αθροιστικώς εκ των τιμών της στήλης 5. Η στήλη 7 αναφέρεται επί των μηνιαίων εκχειλίσεων και υπολογίζεται δι' απλής παρατηρήσεως των τιμών της στήλης 4. Τέλος, η στήλη 8 προκύπτει δι' αθροίσεως των μηνιαίων τιμών της στήλης 7. Επειδή ο ταμιευτήρ είναι πλήρης κατά τον Ιανουάριον, το επιπλέον ύδωρ του ποταμού κατά τους έξ πρώτους μήνας πρόκειται να εκχειλίση. Κατά τον μήναν Ιούλιον η κατανάλωσις είναι μεγαλύτερα των εισροών και επομένως ο όγκος του ταμιευτήρος εις ύδωρ πίπτει. Εις το τέλος του Δεκεμβρίου χρειάζονται ακόμη $128.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ προκειμένου να διατηρηθή η λειτουργία των υδροστροβίλων. Ούτος είναι και απαιτούμενος όγκος τον οποίον πρέπει να έχη ο ταμιευτήρ προκειμένου να ικανοποιήση την κατανάλωσιν.

β) Η ολική άσκοπος χρήσις του ύδατος, η εκχειλίζουσα δηλαδή ποσότης ύδατος, ισούται προς, ιδέ Πίνακαν 4, $112.3 \times 10^6 \text{ m}^3$.

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

Πρόβλημα 4.4

Υδροηλεκτρικού έργου η επιφάνεια του ταμιευτήρος είναι ίση προς $15.55 \times 15.55 \text{ Km}^2$. Η αποδοσιμένη υπό εκάστου των υδροστροβίλων ισχύς είναι ίση προς 15.0 MW όταν το μέσον ωφέλιμον ύψος πτώσεως είναι 135.5 m και η απόδοσις λειτουργίας είναι 0.875 . Ο υδροηλεκτρικός σταθμός διαθέτει δύο μονάδας ηλεκτροπαραγωγής. Η πρώτη μονάδα λειτουργεί καθ' όλον το έτος ενώ η δεύτερα μονάδα λειτουργεί μεν επίσης καθ' όλον το έτος αλλά με μόνον το 60.0% της παροχής της πρώτης μονάδος. Αι μέσαι μηνιαίαι παροχαί του παρακειμένου ποταμού του τροφοδοτούντος με ύδωρ τον ταμιευτήραν δίδονται υπό του κατωτέρω αναφερομένου Πίνακος 11, ένθα σημειούνται και αι μέσαι μηνιαίαι τιμαί των υψών βροχοπτώσεως και εξατμίσεως καθώς και αι ανάγκαι δι' ύδρευσιν και άρδευσιν δεδομένου ότι ο ταμιευτήρ είναι πολλαπλής σκοπιμότητος. Ζητείται να υπολογισθούν : α) η καμπύλη των εισροών, β) η καμπύλη καταναλώσεων (παραγωγή ενεργείας), γ) ο ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρος διά την ανωτέρω τεθείσαν λειτουργίαν, δ) ο υπερχειλίζων όγκος κατά την διάρκειαν του ανωτέρω έτους, ε) το ποσοστόν αυξήσεως του νέου ωφελίμου όγκου προκειμένου να μην γίνεται υπερχειλίσις του ύδατος, στ) η κατά συνέπειαν αύξησις της ισχύος των υδροστροβίλων προκειμένου να γίνη χρήσις του νέου ωφελίμου όγκου,

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

Μην	Παροχαί $m^3/μήναν$ 10^6	Εξάτμησις mm	Βροχόπτωσης mm	Υδρευσις m^3/s	Άρδευσις m^3/s
Ιανουάριος	134.9	75.0	50.5	23.5	0.0
Φεβρουάριος	98.6	85.0	156.9	23.5	0.0
Μάρτιος	145.4	65.8	276.9	23.5	0.0
Απρίλιος	175.8	56.7	426.5	28.5	35.5
Μάιος	165.6	89.3	629.5	28.5	55.5
Ιούνιος	154.5	98.9	302.6	45.0	75.0
Ιούλιος	110.5	110.5	78.5	55.0	75.0
Αύγουστος	89.5	150.8	55.4	65.0	105.0
Σεπτέμβριος	76.2	138.3	45.2	55.0	110.0
Οκτώβριος	75.0	89.4	78.2	45.0	55.0
Νοέμβριος	89.1	76.7	85.9	35.0	15.0
Δεκέμβριος	95.2	45.2	149.2	25.0	0.0

Πίναξ 11 Μέσα μηνιαία υδρολογικά στοιχεία και απαιτήσεις προς ύδρευση και άρδευση περιοχής κλειμένης πέριξ του υδροηλεκτρικού σταθμού

Μην	Φορτίον MW
Ιανουάριος	230.0
Φεβρουάριος	248.0
Μάρτιος	256.4
Απρίλιος	254.3
Μάιος	231.8
Ιούνιος	226.3
Ιούλιος	207.4
Αύγουστος	196.3
Σεπτέμβριος	195.5
Οκτώβριος	199.8
Νοέμβριος	230.4
Δεκέμβριος	245.7

Πίναξ 12 Φορτίον του τοπικού συστήματος

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

Λύσεις

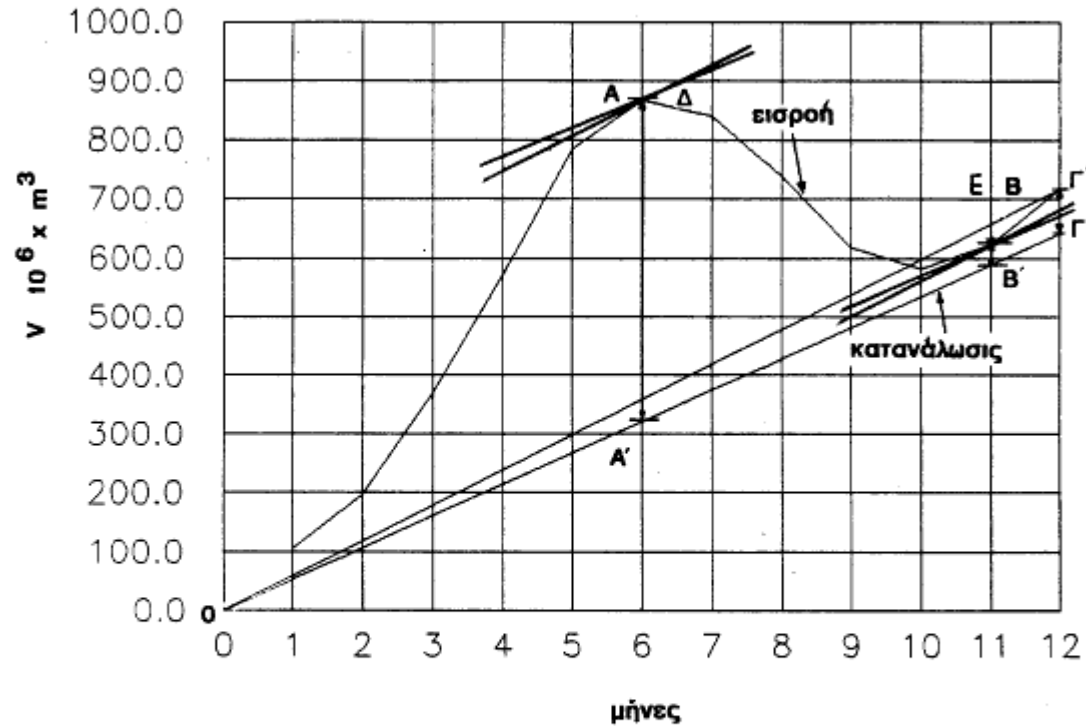
α) Προκειμένου να χαραχθή η καμπύλη των εισροών είναι απαραίτητον να μεταραπούν όλα οι φυσικά ποσότητες παροχής, εξατμίσεως, βροχοπτώσεως, υδρεύσεως, και αρδεύσεως εις m^3 ανά μήναν. Συντάσσεται λοιπόν ο κάτωθι Πίναξ 13.

1	2	3	4	5	6	7	8
Μην	Παροχαί $m^3/μήναν$ 10^6	Εξατμίσεις $m^3/μήναν$ 10^6	Βροχόπτωσης $m^3/μήναν$ 10^6	Υδρεύσεις $m^3/μήναν$ 10^6	Αρδεύσεις $m^3/μήναν$ 10^6	Εισροή $m^3/μην$ 10^6	Αθροισ εισροή 10^6
Ιαν	134.9	18.1	12.2	23.5	0.0	105.5	105.5
Φεβ	98.6	20.6	37.9	23.5	0.0	92.4	197.9
Μάρ	145.4	15.9	66.9	23.5	0.0	172.9	370.8
Απρ	175.8	13.7	103.1	28.5	35.5	201.2	572.0
Μάι	165.6	21.6	152.2	28.5	55.5	212.2	784.2
Ιού	154.5	23.9	73.2	45.0	75.0	83.8	868.0
Ιού	110.5	26.7	19.0	55.0	75.0	-27.2	840.8
Αύγ	89.5	36.5	13.4	65.0	105.0	-103.6	737.2
Σεπ	76.2	40.7	10.9	55.0	110.0	-118.6	618.6
Οκτ	75.0	31.3	18.9	45.0	55.0	-37.4	581.2
Νοέ	89.1	18.5	20.8	35.0	15.0	41.4	622.6
Δεκ	95.2	10.9	36.1	25.0	0.0	95.4	718.0

Αι τιμαί της στήλης 3 προκύπτουν διά μετατροπής των μηνιαίων εξατμίσεων εκ του ταμιευτήρος, τιμή εκφρασθείσα εις mm, εις m^3/s . Τούτον υπολογίζεται, διά π.χ. τον μήναν Ιανουάριον, ως εξής: 75 mm ή 0.075 m εξατμίσεως εξ επιφανείας 15.55 x 15.55 (Km x Km) ισούνται προς 0.075 x 15550.0 x 15550.0 $m^3/μήναν$ = 18.135 x $10^6 m^3/μήναν$. Η ίδια διαδικασία υπολογισμών ισχύει διά την στήλην 4. Αι τιμαί της στήλης 7 υπολογίζονται διά προσθαιρέσεως των αναλόγων φυσικών ποσοτήτων. Η στήλη 8 δίδει τας αθροιστικές τιμάς των εισροών.

Πίναξ 13 Μέσα μηνιαία υδρολογικά στοιχεία και απαιτήσεις προς ύδρευσιν και άρδευσιν περιοχής κειμένης περίξ του υδροηλεκτρικού σταθμού

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις



Σχήμα 26 Αθροιστική καμπύλη εισροών - καταναλώσεων

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

β) Η καμπύλη των καταναλώσεων υπολογίζεται εκ των απαιτήσεων προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπό των υδροστροβίλων. Ούτως, ο μεν πρώτος υδροστρόβιλος λειτουργεί καθ' όλον το έτος με παροχήν υπολογιζομένην εκ της εξισώσεως,

$$Q = \frac{I}{\eta \rho g H_{\eta}} = \frac{15000000.0}{0.875 \times 1000.0 \times 9.81 \times 135.5} = 12.896 \text{ m}^3/\text{s}$$

ο δε δεύτερος υδροστρόβιλος λειτουργεί επίσης καθ' όλον το έτος αλλά με το 60.0% της παροχής του πρώτου ήτοι: 7.738 m³/s. Συντάσσεται λοιπόν ο κάτωθι Πίναξ 14 με την προϋπόθεσιν ότι,

$$\text{κατανάλωσις} = 12.896 + 7.738 = 20.634 \text{ m}^3/\text{s}$$

και διά χρονικήν περίοδον ενός μηνός (εις μην λαμβάνεται ως ίσος προς 30 ημέρας) θα είναι, $20.634 \times 3600.0 \times 24 \times 30 = 53.48 \times 10^6 \text{ m}^3$. Τον δεύτερον μήνα το σύνολον των καταναλωθεισών όγκων ύδατος θα είναι $(53.48 + 53.48) \times 10^6 = 106.96 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Μην	Κατανάλωσις $10^6 \times \text{m}^3/\text{μήναν}$	Αθροιστική καταν. $10^6 \times \text{m}^3$
Ιανουάριος	53.48	53.48
Φεβρουάριος	53.48	106.97
Μάρτιος	53.48	160.45
Απρίλιος	53.48	213.93
Μάιος	53.48	267.42
Ιούνιος	53.48	320.89
Ιούλιος	53.48	374.38
Αύγουστος	53.48	427.87
Σεπτέμβριος	53.48	481.35
Οκτώβριος	53.48	534.83
Νοέμβριος	53.48	588.32
Δεκέμβριος	53.48	641.79

Πίναξ 14 Κατανάλωσις ύδατος

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

γ) Ο ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρος διά την ανωτέρω τεθείσαν λειτουργίαν των υδροστροβίλων υπολογίζεται διά παραλλήλου μετατοπίσεως της καμπύλης ζητήσεως (καταναλώσεως) ώστε να εφάπτεται εις τα ακρότατα σημεία Α και Β της καμπύλης των εισροών, ιδέ Σχήμα 26.

$$\text{ωφέλιμος όγκος} = AA' - BB' = (547.11 - 34.28) \times 10^6 = 512.83 \times 10^6 \text{ m}^3$$

δ) Ο υπερχειλίζων όγκος κατά την διάρκειαν του έτους θα είναι η ποσότης ύδατος η ενυπάρχουσα εις το τέλος του έτους, ιδέ Σχήμα 26, υπεράνω της τιμής της καμπύλης καταναλώσεων και μέχρι της τιμής της αντιστοίχου εισροής. Είναι δηλαδή η απόστασις ΓΓ' και ισούται προς $60.0 \times 10^6 \text{ m}^3$.

ε) Προκειμένου να μην πραγματοποιηθή ουδεμία υπερχειλίσις ύδατος θα πρέπει να χαραχθή η νέα καμπύλη καταναλώσεων η οποία είναι η ευθεία γραμμή ΟΓ'. Ο νέος ωφέλιμος όγκος προκύπτει διά παραλλήλου μετατοπίσεων της ευθείας ΟΓ' ώστε να εφάπτεται της καμπύλης των εισροών εις τα σημεία Δ και Ε τα οποία ταυτίζονται προς τα σημεία Α και Β αντιστοίχως. Ο ωφέλιμος όγκος ισούται λοιπόν προς $512.83 \times 10^6 \text{ m}^3$ και κατά συνέπειαν είναι ίσος προς την τιμήν του αρχικού ωφελίμου όγκου.

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

στ) Η νέα ισχύς των υδροστροβίλων υπολογίζεται εκ της νέας συνολικής παροχής η οποία είναι $Q_{\text{νέα}} = 23.083 \text{ m}^3/\text{s}$. Αλλά επειδή η λειτουργία των δύο μονάδων πρέπει να παραμείνη ως έχει δηλαδή η μεν πρώτη να λειτουργή καθ' άπαν το έτος με παροχήν ίσην προς Q_1 η δε δευτέρα Q_2 επίσης καθ' άπαν το έτος αλλά με το 60.0% της παροχής της πρώτης θα είναι,

$$Q_{\text{νέα}} = Q_1 + Q_2 = Q_1 + 0.6 Q_1 = 23.083 \text{ m}^3/\text{s}$$

άρα $Q_1 = 14.427 \text{ m}^3/\text{s}$ και επομένως η νέα εγκατεστημένη ισχύς εκάστης μονάδος θα είναι,

$$\begin{aligned} I &= \eta \rho g Q H_n = 0.875 \times 1000.0 \times 9.81 \times 14.427 \times 135.5 = 16780487.0 \text{ W} \\ &= 16780.5 \text{ KW} \end{aligned}$$

Η νέα τιμή της εγκατεστημένης ισχύος σχετικώς με την παλαιάν θα είναι μεγαλύτερα κατά 11.867 % δι' εκάστην μονάδαν υδροστροβίλου.

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

Πρόβλημα 4.5

Ο Πίναξ 16 δίδει τας μέσας μηνιαίας παροχάς, επί χρονικόν διάστημα ενός έτους, ποταμού υδροδυναμικής θέσεως. Εις την θέσιν ταύτην πρόκειται να κατασκευασθή ταμιευτήρ και η συνολικώς εγκατεστημένη ισχύς των υδροστροβίλων θα είναι 80.0 MW. Η μέση στάθμη του ύδατος εις τον ταμιευτήραν θα είναι 175.5 m και η μέση στάθμη της διώρυγος απαγωγής 32.5 m. Η απόδοσις λειτουργίας των υδροστροβίλων και των μετασχηματιστών είναι 0.88. Ο συντελεστής τριβών f του ύδατος εντός των αγωγών προσαγωγής διαμέτρου $D = 1.1$ m και μήκους $L = 150.0$ m, ισούται προς 0.022 και όταν η παροχή είναι η ελαχίστη εκ των τιμών των αναφερομένων εις τον Πίνακαν 16. Ζητείται να υπολογισθούν: α) αι απώλειαι φορτίου υπό την ελαχίστην παροχήν του έτους εντός των αγωγών προσαγωγής, β) αι ετήσαι απώλειαι ενεργείας εις GWh υπό την ελαχίστην παροχήν, γ) η καμπύλη διάρκειας των παροχών, δ) η πρωτεύουσα ενέργεια η οποία δύναται να παραχθή κατά την διάρκειαν ενός έτους ε) η δευτερεύουσα ενέργεια η οποία επίσης δύναται να παραχθή κατά την διάρκειαν ενός έτους.

Μην	Παροχάι m^3/s
Ιανουάριος	30.1
Φεβρουάριος	80.3
Μάρτιος	56.5
Απρίλιος	54.3
Μάιος	91.9
Ιούνιος	96.3
Ιούλιος	57.3
Αύγουστος	18.7
Σεπτέμβριος	15.8
Οκτώβριος	39.5
Νοέμβριος	30.1
Δεκέμβριος	45.1

Πίναξ 16 Μέσαι μηνιαία παροχάι ποταμού

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

Λύσις

α) Οι απώλειες φορτίου εντός των αγωγών προσαγωγής αντιστοιχούν προς τας απωλείας φορτίου κατά την ροήν του ύδατος υπό την ελαχίστην παροχήν κατά την διάρκειαν του αναφερομένου έτους και τούτο διότι η παροχή είναι ανάλογος της ταχύτητος και αι απώλειαι φορτίου είναι ανάλογαι του τετραγώνου της ταχύτητος. Η παροχή αυτή ισούται προς $15.8 \text{ m}^3/\text{s}$ και αντιστοιχεί προς τον μήναν Σεπτέμβριον. Είναι,

$$Q = A V = \frac{\pi D^2}{4.0} V \quad \text{άρα,}$$

$$V = \frac{4.0 Q}{\pi D^2} = \frac{4.0 \times 15.8}{3.14 \times 1.1^2} = 16.634 \text{ m/s}$$

Επίσης,

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = 0.022 \times \frac{150.0}{1.1} \times \frac{16.634^2}{2.0 \times 9.81} = 42.307 \text{ m}$$

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

β) Οι ετήσιες απώλειες ενέργειας εις kWh δύνανται να υπολογισθούν εκ της απώλειας φορτίου ως εξής: η απώλεια ισχύος η αντιστοιχούσα εις ύψος απωλειών φορτίου είναι,

$$\begin{aligned}\text{απώλεια ισχύος} &= \rho g Q h_f = 1000.0 \times 9.81 \times 15.8 \times 42.307 = 6557551.4 \text{ W} \\ &= 6557.6 \text{ KW} = 6.56 \text{ MW}\end{aligned}$$

Οι απώλειες ενέργειας οι αντιστοιχούσαι εις μίαν ώραν είναι 6557.6 kWh και επομένως οι ετήσιες απώλειες είναι,

$$\begin{aligned}\text{ετήσιες απώλειες φορτίου} &= 6557.6 \times 24 \times 365.0 = 57444576.0 \text{ kWh} \\ &= 57.45 \text{ GWh}\end{aligned}$$

γ) Ο υπολογισμός της καμπύλης διάρκειας των παροχών του ποταμού γίνεται διά της υποδιαίρεσης του φάσματος των παροχών εις διαστήματα π.χ. των $10.0 \text{ m}^3/\text{s}$ και διά καταγραφής των συχνοτήτων εμφάνισης των αντιστοιχών παροχών δι' απλής παρατηρήσεως εκ του Πίνακος 16.

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

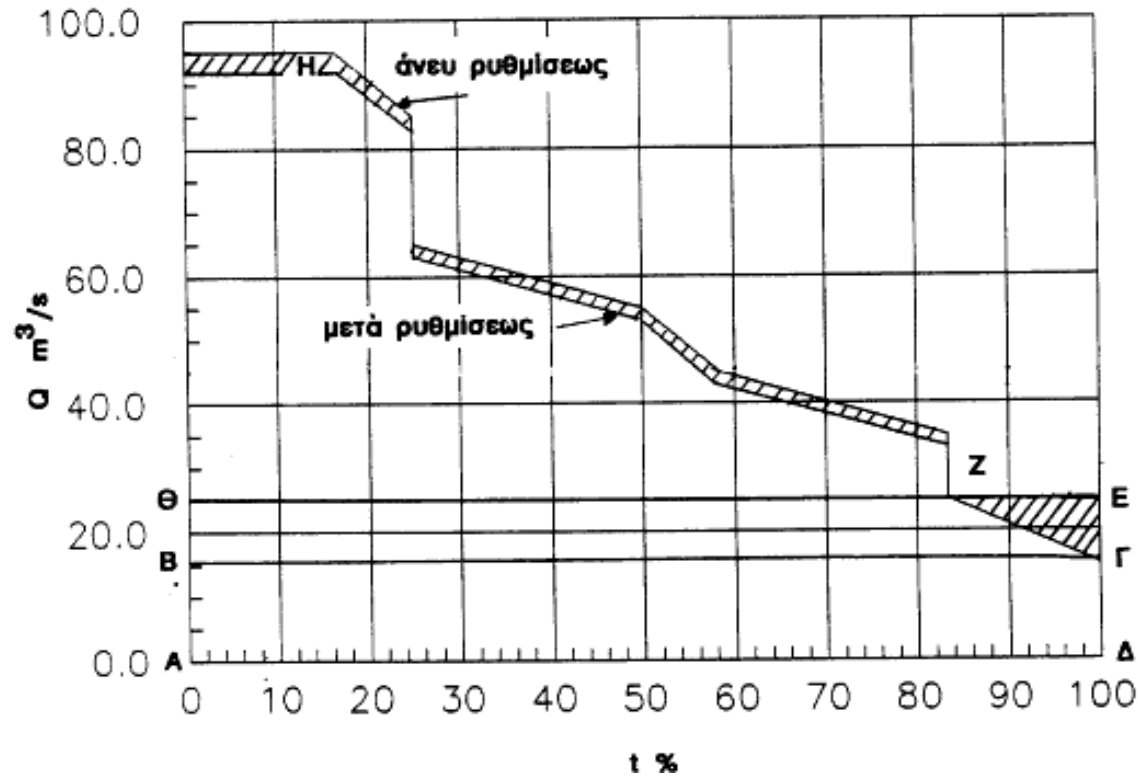
Σχηματίζεται λοιπόν ο Πίναξ 17 με φθινούσας τας τιμές των παροχών.

Διάστημα παροχών m^3/s	Αριθμός εμφανίσεων	Ποσοστόν χρόνου %
100.0-90.0	2	16.67
90.0-80.0	1	25.00
80.0-70.0	0	25.00
70.0-60.0	0	25.00
60.0-50.0	3	50.00
50.0-40.0	1	58.33
40.0-30.0	3	83.33
30.0-20.0	0	83.33
20.0-10.0	2	100.00

Πίναξ 17 Υπολογισμός της καμπύλη διαρκείας

Το ποσοστόν χρόνου της εμφανίσεως μιας τιμης είναι 1 προς 12 (οσος ο συνολικός αριθμός των τιμών του πίνακος), δηλαδή είναι 8.33 %. Επομένως, διά π.χ. 2 εμφανίσεις εις την περιοχήν της κλίμακος μεταξύ 100.0 και 90.0 m^3/s , το ποσοστόν του χρόνου θα είναι $2 \times 8.33 = 16.67$ %. Εις το Σχήμα 29 δεικνύεται η καμπύλη διαρκείας των παροχών διά το συνολικόν χρονικόν διάστημα.

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις



Σχήμα 29 Καμπύλη διαρκείας των παροχών του ποταμού

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

δ) Η πρωτεύουσα ενέργεια η οποία δύναται να παραχθή κατά την διάρκεια ενός έτους ισούται προς την ενέργειαν την οποίαν δύναται να παράξη η υδροδυναμική θέσις υπό την ελαχίστην παροχήν ήτις είναι $15.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Εις το Σχήμα 29 αυτή γραφικώς ισούται προς το εμβαδόν του ορθογωνίου παραλληλογράμμου ΑΒΓΔ. Το καθαρόν φορτίον υπό το οποίον λειτουργεί το σύνολον των υδροστροβίλων είναι η διαφορά των μέσων υψών των ελευθέρων επιφανειών του ανάντη ταμιευτήρος εκ της διώρυγος απαγωγής μείον τας απωλείας φορτίου εντός των αγωγών προσαγωγής,

$$H_n = 175.5 - 32.5 - 42.37 = 100.63 \text{ m}$$

Είναι λοιπόν,

$$\begin{aligned} E_{\text{πρωτ}} &= \eta \rho g Q H_n t = 0.88 \times 1000.0 \times 9.81 \times 15.8 \times 100.63 \times 24 \times 365.0 \\ &= 120237600.0 \text{ KWh} = 120.238 \text{ GWh} \end{aligned}$$

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

ε) Η δευτερεύουσα ενέργεια η οποία δύναται να παραχθή κατά την διάρκεια του ανωτέρω έτους ισούται προς την ενέργειαν την οποίαν δύναται να παράξη η υδροδυναμική θέσις υπεράνω της πρωτευούσης ενεργείας. Πλην όμως πρέπει να υπολογισθή, το πρώτον, η ανωτάτη τιμή της παροχής η οποία δύναται να χρησιμοποιηθή υπό των υδροστροβίλων, δεδομένου ότι οι υδροστρόβιλοι έχουν εγκατεστημένην συνολικὴν ισχύν ίσην προς 80.0 MW. Είναι,

$$I_E = n \rho g Q H_n \quad \text{άρα,}$$

$$Q = \frac{I_E}{n \rho g H_n} = \frac{80000000.0}{0.88 \times 1000.0 \times 9.81 \times 100.63} = 92.089 \text{ m}^3/\text{s}$$

Επομένως, η ετησία δευτερεύουσα ενέργεια είναι,

$$E_{\text{δευτ}} = n \rho g \sum_{i=1}^{10} (Q_i H_n t_i) = (n \rho g H_n t \sum_{i=1}^{10} Q_i) / 12$$

ένθα 1 (= 10) ο δείκτης των μηνών του έτους και Q_i δηλοί την παροχήν εκάστου μηνός η οποία έχει τιμάς υπεράνω της $15.8 \text{ m}^3/\text{s}$ και μικροτέρας

4. Υδροηλεκτρικά έργα - Ασκήσεις

των $92.089 \text{ m}^3/\text{s}$. Είναι,

$$\begin{aligned} E_{\text{δευτ}} &= \{0.88 \times 1000.0 \times 9.81 \times 100.63 \times 365 \times 24 \times [(30.1 - 15.8) \\ &+ (80.3 - 15.8) + (56.5 - 15.8) + (54.3 - 15.8) + (91.9 - 15.8) \\ &+ (57.3 - 15.8) + (18.7 - 15.8) + (39.5 - 15.8) + (30.1 - 15.8) \\ &+ (45.1 - 15.8)]\} / 12 = 219611200.0 \text{ kWh} = 219.61 \text{ GWh} \end{aligned}$$

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!