

Ιδιότητες της ολοκληρωτικής καμπύλης άπορροής και έτησια ρύθμισις λιμνών ύδροηλεκτρικών σταθμών

Στυλιανού Μαγείριος*

Περίληψις

Μετά σόντομον είσαγωγήν, εις τό δεύτερον μέρος της παρούσης έργασίας εκτίθεται οι γενικοί όρισμοι της ολοκληρωτικής καμπύλης άπορροής. Είς τόν τον μέρος αναλύονται αι ιδιότητες ταύτης εις τό όδρογώνιον σύστημα των συντεταγμένων, ενώ εις τό φον μέρος εκτίθεται ή μετατροπή της ολοκληρωτικής καμπύλης άπορροής εκ του όδρογώνιου συστήματος εις τό πλάγιον σύστημα των συντεταγμένων.

Είς τό τον μέρος εξετάσσονται δύο θέματα έχοντα σχέσηιν μέ την έτήσιαν ρύθμισιν, ήτοι τό ελάχιστον καθαρόν έτος πτώσεως και τό εκμεταλλεύσιμον βάθος της λίμνης.

Τελικώς εις τό τον μέρος δίδεται αναλυτικώς παράδειγμα έτήσιας ρυθμίσεως και τό εκ τούτης ρυθμίσεως συμπέρασμα.

1. Είσαγωγή

Η έπιδικώς δημιουργία λιμνών έτησιας ρυθμίσεως κατά την μελέτην ύδροηλεκτρικών σταθμών, αποτελεί μίαν εκ των βασικών προσαθετών του μελετητού.

Η Ελλάδα εις την Έλληνικην τεχνικήν βιβλιογραφίαν έτεταμένως εκθέσεως του βασικού τούτου θέματος και των βασικών άρχών τούτης ρυθμίσεως, παρακινεί εις μίαν προσκόβαλαν συντόμου εκθέσεως τούτων, ήτις θα βοηθήσῃ γενικώς εις την πληρusterήν κατανόησιν του, εκτός των γνωστών γενικών θέσεων περι της έτησιας ρυθμίσεως.

2. Ολοκληρωτική καμπύλη άπορροής

Βάσει των διεξαγομένων ύδρολογικων παρατηρήσεων, προκειμένου να εκπονηθῇ ή μελέτη ενός ύδροηλεκτρικού σταθμού, δίδεται τό άπαιτούμενον ύδρογράφημα διά την δοθείσαν θέσιν του φράγματος. Όσον μικροτερα είναι τα χρονικά διαστήματα, διά τα οποία δίδεται ή καρχή, τόσο ή άκρίβεια είναι μεγαλύτερα διά τό εκλεγέν ύδρογράφημα εκ της κοινού ενοχς σειράς των παρατηρήσεων. Έάν ή καρχή του ποταμού είναι άνευ ούσιωδων διακυμάνσεων, τότε, τα χρονικά διαστήματα δύνανται να ληφθώσιν άρκετά μεγάλα. Καί αντίθετως, κατά την περίοδον των ύψηλών υδάτων, είναι άναγκαία ή λήψις μικρών χρονικών διαστημάτων.

Συνήθως, τα χρονικά διαστήματα του ύδρογραφήματος όταν λαμβάνονται κατά δεκαήμερον, είδουν άρκετήν άκρίβειαν δι' έτησιαν ρύθμισιν.

Βάσει, λοιπόν, του έν λόγω ύδρογραφήματος, είναι δυνατόν εφκόλως να υπολογισθῇ ο όγκος του ύδατος άπορροής δι' έν πλήρη έτος άρχής γενομένης από δοθέντα χρόνον, όποτε αυτός θα δοθῇ υπό του ολοκληρωμένου.

$$W = \int Qdt$$

Τό έν λόγω ολοκλήρωμα παριστφ ως είναι σφέας καμπύλην γραμμής. Πρακτικώς όμως, λόγω της λίψεως χρονικων δια-

στημάτων Δι διά την μέσην παρχήν Q_μ γίνεται άντικατάστασις του ολοκληρώματος υπό του άδροτόματος.

$$W = \sum_{\theta} Q_{\theta} \Delta t$$

ένθα T — τό σύνολον των χρονικων διαστημάτων Δι δι' έν έτος.

Επειδή ή παρχή Q_μ εκφράζεται εις M³/δλ., διά τόν υπολογισμόν του συνολικού όγκου άπορροής, τα διαστήματα Δι, πρέπει να εκφράζονται εις δευτερολέπτα.

Έάν εις τόν όριζόντιον άξονα των X, τοποθετήσωμεν τόν χρόνον T — εις την προκειμένην περίπτωση έντος — και εις τόν άξονα των Y τόν όγκον της άπορροής W (βλ. σχ. 1α), τότε τα τμήματα 1 — 4, 2 — 4, κ.λ.π. θα εκφράζουιν τόν λαμβανόμενον διδοχικώς όγκον ύδατος και ή τελική απόστασις δ · T, θα εκφράζῃ εις την ληφθείσαν κλίμακα, τόν συνολικόν όγκον άπορροής διά τό ληφθέν έτος.

Η ληφθείσα τολουτοτρόπος καμπύλη 0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6, ονομάζεται «όλοκληρωτική καμπύλη άπορροής».

Διά τούς υπολογισμούς έτησιας ρυθμίσεως, δεν λαμβάνεται υπ' όψη τό ήμερολογιακόν ή τό ύδρολογικόν έτος, άλλα τό λεγόμενον ρυθμισικόν έτος, με άρχικόν χρόνον, την άρχήν έκάρξεως των ύψηλών υδάτων. Ούτω, κατά την έναρξιν του ρυθμισικού έτους, ή στάθμη της λίμνης εφρίσκειται εις την κατωτάτην αήθην θέσιν. Μετά τήν λήξιν του ρυθμισικού έτους, ή στάθμη της λίμνης επανέρχεται εις την άρχικήν αήθην θέσιν.

3. Ιδιότητες της ολοκληρωτικής καμπύλης άπορροής

(α) Έάν ενώσωμεν διά μιάς εθείας τα σημεια 0 και 6 και ονομάσωμεν λ - την ληφθείσαν κλίμακα διά τούς όγκους άπορροής και μ - την ληφθείσαν κλίμακα διά τόν χρόνον, ως επίσης και α_μ — την σχηματισμένην γωνίαν μεταξύ του άξονος του χρόνου και της εθείας 0 - 6, θα έχομεν:

$$\epsilon\phi \alpha_{\mu} = \frac{W_{\theta}}{T} \cdot \frac{\mu}{\lambda} = Q_{\theta} \cdot \frac{\mu}{\lambda}$$

όποτε: Q_θ = εφ α_μ · $\frac{\lambda}{\mu}$

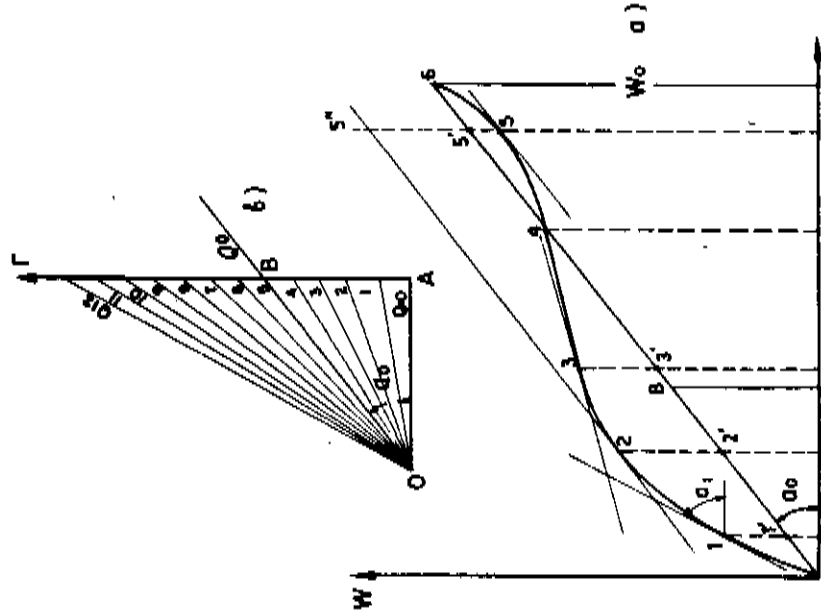
Άρα ή κλίσις της εθείας 0 - 6, χαρακτηρίζει την τιμήν της μέσης παρχής και αντίστροφως, ή μέση έτησια παρχή είναι άνάλωτος της εφαπτομένης της γωνίας α_μ.

(β) Βάσει της άνωτέρω ιδιότητος της ολοκληρωτικής καμπύλης άπορροής, δύναμεθα να ερωμεν την τιμήν της στιγμιαίας παρχής, δι' οιαδήποτε χρονικήν θέσιν 1, 2, 3, 4, 5 (βλ. σχ. 1), εάν εις τα σημεια 1, 2, 3, 4, 5 εφωμεν εφαπτομένην προς την ολοκληρωτικήν καμπύλην άπορροής και καθορίσωμεν την εφαπτομένην της γωνίας κλίσεως α₁ (π.χ. εις σημειον 1).

$$Q_1 = \frac{dW_1}{dt} = \epsilon\phi \alpha_1 \cdot \frac{\lambda}{\mu}$$

* Εργαστή εις Αθήσιν τό 1923. Άριστούχος του Ένωστικού Ίνστιτούτου της Μόσχας (Moskowsky Energetichesky Institut) της Σχολής Ύδροηλεκτρικών Σταθμών, 1929 M.Sc. Από Μάρτιον 1960 ως Σεπτέμβριον 1967, εις Εταιρείαν Μελέτων & Κατασκευών ύδροηλεκτρικών

σταθμών (Gyrdarproiect) έν Ρουσία εις έναπόρος θέσιν. Τελουταίως 1966-67, εις Γενικός εθείας (Glavn Specialist) Κάτοχος πολλών ένοικίσεων και έργων επί τού ύδροηλεκτρικά. Επισκευολογή τόν Σεπτέμβριον 1967. Από Μάρτιον 1968 ως σημερον εις Α.Ε.Γ.Ε.



Σχ. 1: α) Ολοκληρωτική καμπύλη απορροφής. β) άκτινωτή κλίμαξ.

Η ιδιότης αυτή είναι λίαν σημαντική, διότι δίνει την δυνατότητα, εις οιαδήποτε στιγμήν νά γνωρίζωμεν την στιγμιαία παροχήν.

Διά τόν καθορισμόν τών στιγμιαίων παροχών, χρησιμοποιείται ή λεγόμενη άκτινωτή κλίμαξ, ήτις κατασκευάζεται είτε επί της ίδιας ολοκληρωτικής καμπύλης με άφετηρίαν τόν 0 ή έκτός αυτής (βλ. σχ. 1β).

Πρός τούτο λαμβάνεται όριζόντιον τμήμα O - A εις την κλίμακα τού χρόνου, άντιστοιχόν με 3 - 4 μήνας, όνομαζόμενον κολική άπόστασις. Η άπόστασις A - B, επί της καθέτου πρός τόν άξονα τού χρόνου, άντιστοιχεί με την μέση έτησίαν παροχήν Q, ήτις συνήθως παριστάται και ως Q₀. Αι όπόλοιποι υποδιαιρέσεις επί της καθέτου A - Γ, ίσοδυναμοῦν με τās διαφόρου τιμάς τού Q.

Ούτω, διά τόν χρόνον t₁, ή φρακτομένη εις τó σημεῖον 1 είναι ποσάλληλος πρός την τιμήν Q₀. Η στιγμιαία παροχή διά τόν χρόνον t₁ ίσοῦται με την τιμήν Q₁, ήτοι, συμπίπτει με την μέσην έτησίαν παροχήν. Διά τόν χρόνον t₂, έχομεν παροχήν κειμένην μεταξύ τών τιμών Q₁ και Q₀. Χαράσσονται επί της άκτινωτής κλίμακος, την παράλληλον πρός την φρακτομένην εις τó σημεῖον 3, εύρισκομεν την τιμήν αυτής κ.ο.κ. δι' οιαδήποτε στιγμην.

4. Πλάγιον σύστημα συντεταγμένων

Η ολοκληρωτική καμπύλη άπορροφής, ως αυτή έδόθη εις τó όρθογώνιον σύστημα τών συντεταγμένων (σχ. 1), έχει τó μέγιστόν σκέπημα όπι, διά μακράν σειράν έτών υδρολογικών παρατηρήσεων, θα άπηγείτο διάγραμμα μεγάλων διαστάσεων διά τόν άξονα τών ψ, ή θα έμεινότο ή άκρίβεια τών όγκων άπορροφής, εάν αυτή έχοραστοσε εις κωνικόν μέγεθος χάρτου.

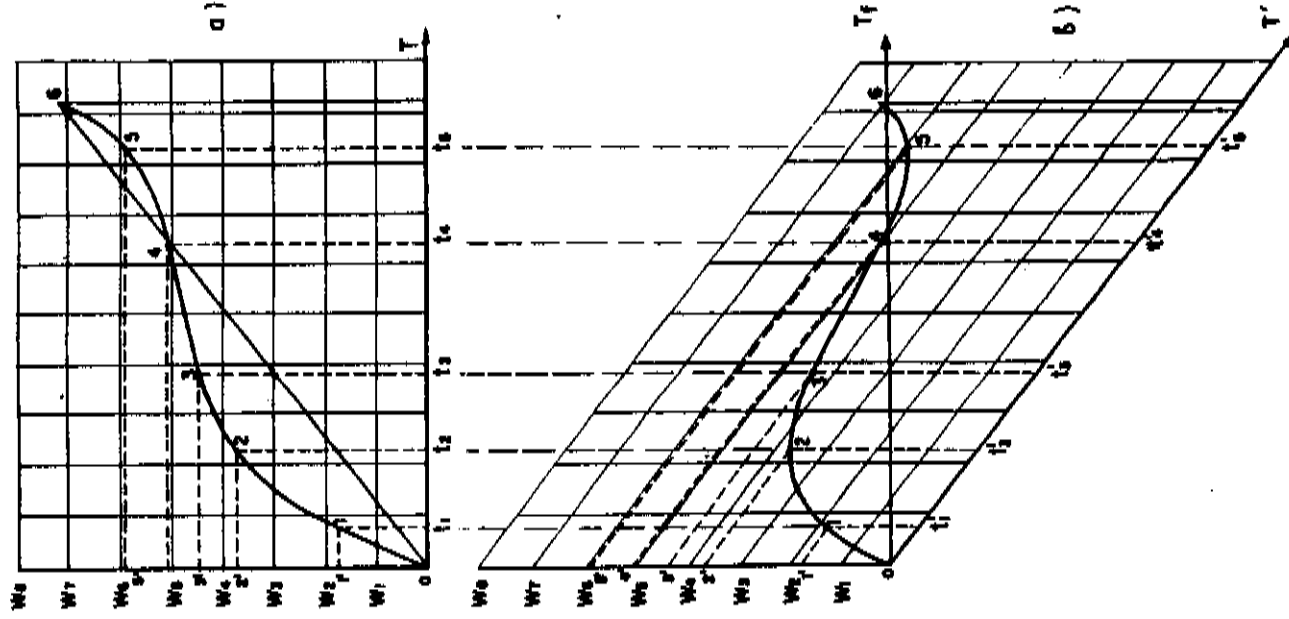
Διά τόν λόγον τούτον, χρησιμοποιείται τó κλίγιον σύστημα τών συντεταγμένων, τó όποσον έπιτρέπει αύξησαν της κλίμακος τών όγκων άπορροφής.

Έστω εις τó σχ. 2α, ή ίδία ολοκληρωτική καμπύλη άπορροφής τού σχ. 1.

Διά περιστροφήν τού άξονος τών πραγματικών τιμών τού χρόνου T περί τó σημείον O, λαμβάνομεν την νέαν θέσιν τού άξονος T'. Ο άξων O - T', όνομάζεται εικονικός (Fictif) άξων χρόνου. Ο άξων όμως τών όγκων άπορροφής (W) παραμένει άκίνητος. Έάν ή περιστροφή αύτη πραγματοποιηθή ούτως όποτε ή εθεία O - 6 τών μέσων έτησίαν παροχών νά καλύβη όριζόντιαν θέσιν ή σχεδόν όριζόντιαν, ταυτο σημαίνει ότι ή ολοκληρωτική καμπύλη άπορροφής θα λάβη άνέλγιον θέσιν περί τόν όριζόντιον άξονα.

Ούτως, εις έπιπέδικον φύλλον χάρτου, δυνάμεθα ήδη νά έργασθώμεν με μακράν σειράν έτών υδρολογικών μετρήσεων άνευ μειώσεως της κλίμακος τών όγκων και συνεπώς της άκρίβειας τών υπολογισμών.

Εις τά σχ. 1 και 2 δίδεται ή κλασική μορφή της καμπύλης άπορροφής. Αύτη όμως θύναται νά έχη διάφορον μορφήν, άνάλογως της γεωγραφικής και τοπογραφικής θέσεως της λεκάνης άπορροφής, τών χαρακτηριστικών ιδιοτήτων τού διαρρέοντος ταύτην ποταμού, τού βαθμού έκμεταλλευστάς του πρός τά άνάντι, ήτοι τού βαθμού ρυθμίσεως του κ.λ.κ.



Σχ. 2: Σύστημα συντεταγμένων: α) όρθογώνιον, β) κλίγιον.

5. Έκμεταλλεύσιμον βάθος λίμνης

Διά την εξέτασιν της έτησις ρυθμίσεως, είναι απαραίτητον προκαταρκτικώς, όπως εξέτασθη το έκμεταλλεύσιμον βάθος της λίμνης, όσαρ είναι συνυφασμένον με δύο βασικά ζητήματα, ήτοι:

- (α) Τοῦ ελάχιστου καθαροῦ ὕψους πτώσεως καί
- (β) Τοῦ χρησίμου ὄγκου τῆς λίμνης.

Τά ἐν λόγω θέματα θά ἐξετασθῶσιν ἀναλυτικώτερον.

(α) Ἐλάχιστον καθαρὸν ὕψος πτώσεως

Υποθέτομεν ὅτι ἔχομεν ὑπὸ μελέτην ὑδροηλεκτρικὸν σταθμὸν, διαθέτονα ὑψηλὸν φράγμα, σήραγγα προσαγωγῆς, κύριον ἐξώσεως καί ἀγωγὸν πτώσεως.

Τὸ ὑψηλὸν φράγμα κατ' ἀρχὴν ἐπιτρέπει μέγα έκμεταλλεύσιμον βάθος τῆς λίμνης. Τοῦτο ὅμως δέν σημαίνει ὅτι πάντοτε διά τὴν ἀποθήκευσιν ὀλοκλήρου τοῦ ὄγκου ἀποροῆς καί τὴν ἀποφυγὴν ἀπωλείων ὕδατος, ὅτι δυνάμεθα νὰ πραγματοποιήσωμεν τοιαυτὸν τι, καθ' ὅσον, ὅταν ἡ ταχύτης ροῆς τοῦ ὕδατος (υ) ἔντος τῆς ὑδατίνης ἀρτηρίας (σήραγγ) προσταγῆς καί ἀγωγῆς πτώσεως) ὑπερβῇ τὴν καλυμμένην κρίσιμον ταχύτητα ροῆς $V_{κρ}$, τότε ἡ ἰσχύς ἀρχίζει νὰ μειωθῆται. Ὅταν δὲ θὰ εἶναι $υ = \sqrt{3} \cdot V_{κρ}$, τότε ἡ ἰσχύς θὰ ἰσοῦται μὲ μηδέν.

Ἐν συντομίῃ τὸ ἀνωτέρω ἀποδεικνύεται ὡς ἑξῆς:

Γνωστὸν ὅτι αἱ ἀπώλειαι ὕψους πτώσεως λόγω τριβῶν (Δh) ἰσοῦνται μὲ $\Delta h = \frac{L \cdot υ^3}{C^3 \cdot R}$ (1), βάσει τοῦ τύπου

$$\text{Chezy } υ = C \sqrt{Ri}$$

Ἐνθα υ — ταχύτης ροῆς τοῦ ὕδατος

C — συντελεστῆς ἀντιστάσεως τοῦ Chezy

$$R = \text{ὀδραυλικὴ ἀκτίς } \left(R = \frac{D}{4} \right)$$

i — κλίσις ἀγωγοῦ

L — μήκος ἀγωγοῦ

Ἡ ἰσχύς (P) ἰσοῦται μὲ:

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot \eta \cdot (H_0 - \Delta h) = 9,81 \cdot \eta \cdot F \cdot υ \left(H_0 - \frac{L \cdot υ^3}{C^3 R} \right) \quad (2)$$

Ἐνθα H_0 — στατικὸν ὕψος πτώσεως

η — συντελεστῆς ἀποδόσεως

Q — παροχὴ εἰς M3/δλ.

F — διατομὴ ἀγωγοῦ εἰς M2

Ἐξισώντες μὲ μηδέν τὴν παράγωγον τῆς ἰσχύος (2) θὰ ἔχωμεν:

$$\frac{dP}{dυ} = 9,81 \cdot \eta \cdot F \cdot \left(H_0 - \frac{3L \cdot υ^2}{C^3 R} \right) = 0 \quad (3)$$

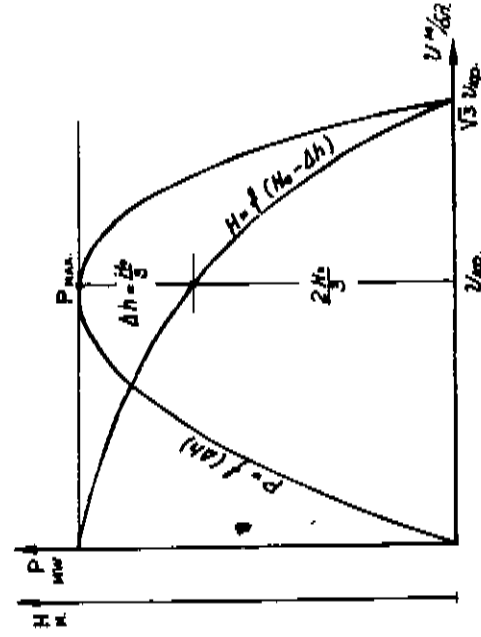
ὅποτε τὴν μέγιστην τιμὴν ἡ ἰσχύς P λαμβάνει, ὅταν $\Delta h = \frac{H_0}{3}$ ἦτοι, ὅταν εἰς τριβὸς καταναλωθῆται τὸ 1/3 τοῦ στατικοῦ ὕψους πτώσεως. Διὰ τὴν περίπτωσιν ταύτην, ἡ ταχύτης ροῆς τοῦ ὕδατος ὀνομάζεται «κρίσιμος ταχύτης» $υ_{κρ}$ καί ἰσοῦται αὐτὴ μὲ

$$υ_{κρ} = \sqrt{\frac{H_0 C^3 R}{3L}} \quad (4)$$

Ἐκ τῆς ἐξίσωσως δὲ (4), καθίσταται φανερόν, ὅτι ἐὰν ἡ ταχύτης ροῆς τοῦ ὕδατος θὰ ἰσοῦται μὲ $υ = \sqrt{3} \cdot υ_{κρ}$, τότε ἡ ἰσχύς θὰ κατέλθῃ εἰς τὸ μηδέν. Τὰ ἀνωτέρω γραφικῶς παρασθῶνται εἰς τὸ στ. Νο 3.

Συμπεράσματα

1. Κατὸ τὴν μελέτην ἑνὸς ὑδροηλεκτρικοῦ ἔργου, δέν πρέπει κατέ αἱ ἀπώλειαι τριβῆς νὰ εἶναι μεγαλύτεραι τοῦ 1/3 τοῦ στατικοῦ ὕψους πτώσεως.



Στ. 3: Περιορισμοὶ ἀπωλείων τριβῆς.

2. Ὅσον μικρότερον εἶναι τὸ στατικὸν ὕψος πτώσεως H_0 καί μεγαλύτερον τὸ μήκος τῆς ὑδατίνης ἀρτηρίας, τόσοι μικρότερα λαμβάνεται ἡ κρίσιμος ταχύτης ροῆς τοῦ ὕδατος ἔντος αὐτῆς.

Συνήθως ἡ μέγιστη δυνατὴ ταχύτης ροῆς τοῦ ὕδατος (V_{max}) ἔντος τῆς ὑδατίνης ἀρτηρίας, (σήραγγος) πρέπει νὰ λαμβάνηται ἰση μὲ

$$V_{max} = 0,4 \cdot \sqrt{\frac{H_0 C^3 R}{L}}$$

β) Χρήσιμος ὄγκος λίμνης

Ὁ πλήρης ὄγκος (V) τῆς λίμνης, περιλαμβάνει τὸν λεγόμενον «νεκρὸν» ὄγκον, τὸν χρησίμου ὄγκον V_{cr} καί τὸν ὄγκον ἀνασώσεως πλημμυρῶν. Ὁ χρήσιμος ὄγκος τῆς λίμνης, περιλαμβάνεται μεταξύ τῆς ἀνωτατῆς στάθμης λειτουργίας (ΑΣΣ) τῆς λίμνης καί τῆς κατωτάτης τοιαύτης (ΣΚΛ).

Εἰς ἐκ τῶν παραγόντων, οἵτινες καθορίζουν τὴν στάθμην τοῦ «νεκροῦ» ὄγκου τῆς λίμνης, εἶναι καί ὁ ἀναμενόμενος ὄγκος φερτῶν ὕλων, οὗτος ὅστε διὰ τὸ λιγθὲν χρονικὸν διάστημα λειτουργίας τοῦ σταθμοῦ, τὸ ὄγκομετρον τοῦ διὰ τῶν φερτῶν ὕλων πληρωθέντος πυθμένου, νὰ ἐπίσκειται ἀρκετὰ κάτω τῆς ὑδροληψίας. Ἡ στάθμη δὲ τοῦ «νεκροῦ» ὄγκου τῆς λίμνης, ἐπίσκειται συνήθως κατὰ μιστὴν διάμετρον τῆς σήραγγος προσαγωγῆς ἄνωθεν τῆς ὑδροληψίας. Καί τοῦτο πρὸς ἀποφυγὴν ἀναρροφήσεως ὕδατος κατὰ τὴν λειτουργίαν τοῦ σταθμοῦ ὑπὸ τὴν χαμηλοτάτην στάθμην έκμεταλλεύσεως.

Ἐπειδὴ ὅμως ἡ στάθμη τοῦ «νεκροῦ ὄγκου», καθορίζεται τὸ έκμεταλλεύσιμον βάθος τῆς λίμνης, δέν εἶναι κυρίως ἡ ποσότης τῶν ἀναμενόμενων φερτῶν ὕλων, ἤτις καί καθορίζει τὴν στάθμην ταύτην, ἀλλὰ ἐνεργειακοί καί οικονομιοτεχνικοί ὁπολοισμοί.

Θὰ ἐξετάσωμεν κατ' ἀρχὴν τὸ πρόβλημα τῆς ἐπιδόσεως τοῦ έκμεταλλεύσιμου βάθους τῆς λίμνης εἰς τὴν παραγωγὴν ἐνεργείας τοῦ ὑδροηλεκτρικοῦ σταθμοῦ.

Εἰς ἐκείτην δόξισαν στιγμὴν, ἡ παροχὴ τοῦ ὑδροηλεκτρικοῦ σταθμοῦ $Q_{ΥΗΣ}$, δίδεται εἰς γενικὰς γραμμάς ὡς κατέθι:

$$Q_{ΥΗΣ} = Q_k - \Delta Q_u - Q_{out} \pm \frac{dW}{dt}$$

Ἐνθα Q_k — ἡ παροχὴ τοῦ ποταμοῦ τὴν δόξισαν στιγμὴν

ΔQ_u — ἀπώλεια τῶν ἀνάτην (διαρροαί, ἐξαιρέσεις κ.λ.π.)

Q_{out} — Παροχὴ ὑπερχειλίσεως

$\frac{dW}{dt}$ — παροχὴ ἀεοθήκευομένη εἰς λίμνην (-), ἡ λαμβανόμενη ἐκ τῆς λίμνης (+)

Τὸ καθαρόν δὲ ὕψος πτώσεως (H_k) ἀντιστοίχως θὰ εἶναι:

$$H_k = \Delta \Sigma A - b - \Sigma K - \Delta H$$

Ἐνθα ΑΣΛ — ἀνωτάτη στάθμη λειτουργίας

h — ἐκμεταλλευθὲν βάθος λίμνης εἰς τὴν δοθεῖσαν στιγμήν

ΣΚ — στάθμη κατάντη διὰ $Q_{ΥΗΣ} - Q_{οκ}$

ΔΗ — σύνολον ἀπωλειῶν

Συνεπῶς εἰς κάθε δοθεῖσαν στιγμήν, ἡ ἰσχύς θά ἴσουςται μὲ:

$$P_{ΥΗΣ} = 9,81 \left(Q_k - \Delta Q_o - Q_{οκ} \pm \frac{dW}{dt} \right) \cdot (ASL - h - \Sigma K - \Delta H) \cdot \eta_{ΥΗΣ} \text{ [KW]}$$

Ἐνθα $\eta_{ΥΗΣ}$ — συντελεστής ἀποδόσεως ΥΗΣ γενικῶς

Καὶ διὰ χρόνον Τ, ἡ λαμβανομένη ἐνέργεια Ε θά εἶναι:

$$E = 9,81 \int_0^T \left(Q_k - \Delta Q_o - Q_{οκ} \pm \frac{dW}{dt} \right) \cdot (ASL - h - \Sigma K - \Delta H) \cdot \eta \cdot dt \text{ [KWh]}$$

Τὸ ἀνωτέρω δίδεται διὰ στιγμήν ὑπερχείλισης ($Q_{οκ}$). Ἐὰν τὴν δοθεῖσαν στιγμήν, δὲν λαμβάνη χώραν ὑπερχείλισις, τότε τὸ ἐν λόγω μέλος ($Q_{οκ}$) ἀκρίβηται τῆς ἐξίσωσως.

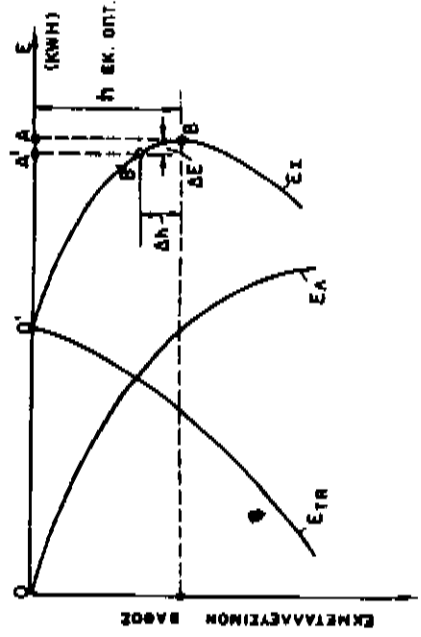
Πάντως, καθίσταται προφανές ὅτι διὰ τὸ δοθὲν χρονικὸν διάστημα ὅσον μεγαλύτερα ποσότης ὕδατος λαμβάνεται ἐκ τῆς λίμνης, προστιθεμένη εἰς τὴν παροχὴν τοῦ κατανοῦ, τόσον περισσότερο δύναται νὰ ἀξιοθῆ ἡ ἰσχύς καὶ συνεπῶς ἡ ἐνέργεια.

Ἡ ἀπόληψις ὁμοῦ ὕδατος ἐκ τῆς λίμνης, αἰξάνει τὸ ἐκμεταλλευσιμον βάθος καὶ συνεπῶς μειώνει τὸ χρησιμοποιούμενον ὕψος πτώσεως.

Μὲ τὴν αἰξήσιν τοῦ ἐκμεταλλευσιμου βάθους τῆς λίμνης, οἱ ἔξωθεν ἰσχυροί, οἵτινες καθορίζουν τὴν παραγομένην ἐνέργειαν ἐπὶ τὴν ἐπιπέδον τῆς λίμνης καὶ τὸ ὕψος πτώσεως, μεταβάλλονται πρὸς ἀντιστάτους καταθύνσεις.

Εἰς τὴν ἄρχην τῆς ἐκμεταλλεύσεως τῆς λίμνης, ἡ αἰξήσις $\frac{dW}{dt}$ σημαντικῶς ὑπερτερεῖ τῆς μειώσεως τοῦ ὕψους πτώσεως καὶ συνεπῶς ἡ ἰσχύς καθὼς καὶ ἡ ἐνέργεια τοῦ ὑδροηλεκτρικοῦ σταθμοῦ, αἰξάνουν. Ἡ αἰξήσις ὁμοῦ αὐτῆ λαμβάνει χώραν ἕως ὀρισμένου σημείου, διότι μὲ τὴν αἰξήσιν τοῦ ἐκμεταλλευσιμου βάθους τῆς λίμνης, ἀρχίζει νὰ ὑπερτερῆ ἡ ἀκόλεια τοῦ ὕψους πτώσεως. Τὸ maximum τῆς καμπεύης καθορίζεται τὸ h εκ. οπτ. ἴσται, τὸ ἐκμεταλλευσιμον βάθος τῆς λίμνης optimum.

Εἰς τὸ σχ. Νο 4, τὰ ἀνωτέρω παρίστανται γραφικῶς. Ἐὰν π.χ. ἡ μέση ἔτησια παροχὴ ἑνὸς κατανοῦ χρησιμοποιηθῆται ὑπὸ συνεχῶς μειούμενον ὕψος πτώσεως, ἀναλογικῶς τοῦ ἐκμεταλλευσιμου βάθους τῆς λίμνης, αὐτὴ θά διδῆ συνεχῶς μειούμενην ἐνέργειαν E_{TR} (διερχομένη ἐνέργεια ἢ Transiit), ἐνθὲ ἡ αἰξήσις τοῦ ἐκμεταλλευσιμου βάθους λίμνης, αἰξάνει τὸν χρησιμοποιηθῆσαν τῆς καμπεύης καὶ συνεπῶς ἡ ἐνέργεια τῆς λίμνης E_A ἐκ τοῦ ἀποθηκευθέντος ὕγκου, θά αἰξάνη.



Σχ. 4: Καθορισμὸς βελτίστου ἐκμεταλλευσιμου βάθους λίμνης ὑδροηλεκτρικοῦ σταθμοῦ.

Ἡ γενικὴ καμπύλη ἐνέργειας E_Z , παρουσιάζει τὴν κόψιν εἰς τὸ σημειον Β. Ἄρα τὸ ἐκμεταλλευσιμον βάθος optimum τῆς λίμνης hopt θά εἶναι τὸ βάθος A — Β.

Πρακτικῶς ὁμοῦ δὲν λαμβάνεται τὸ hopt, ἀλλὰ μικρότερον ἐκμεταλλευσιμον βάθος, τὸ A' - Β', διὰ τοὺς ἑξῆς κυρίως λόγους.

α) Ὅταν ἐκ τῆς λίμνης ἀρχεται σήραγγη προσπηγῆς, αἱ ἀκόλεια ὑδατος ἐκ τῶν ραγῶν τῆς σήραγγας, εὑρίσκονται ὑπὸ ἀναλογίαν τινά, συναρτῆσει τοῦ βάθους ταύτης ἐκ τῆς ἐπιφανείας τῆς λίμνης.

β) Ὅσον μεγαλύτερον εἶναι τὸ ἐκμεταλλευσιμον βάθος, τόσον δαπανηρότερα εἶναι ὑδροληψία (ὁσχάρα καὶ καθαρισμὸς ταύτης, βορύτερα θυροφράγματα, ἀνοηφτικοὶ μηχανισμοὶ κ.λπ.).

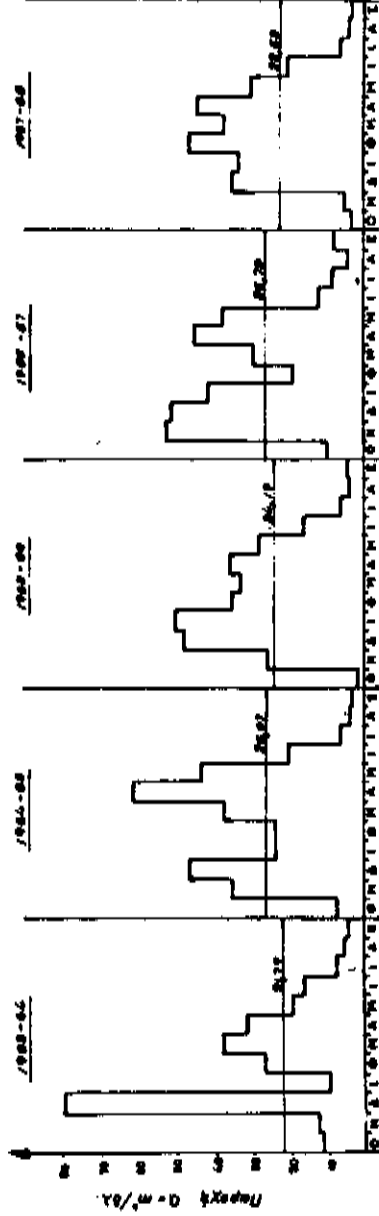
γ) Διὰ μεγάλη σχετικάς ἐκμεταλλεύσιμα βάθη, ἡ κατασκευὴ τῆς ἰδίας ὑδροληψίας, καθίσταται προβληματικὴ.

Πλείστοι ὅσοι ἀκόμη παράγοντες ἐπιδρῶν εἰς τὴν ἐπιλογὴν τοῦ ἐκμεταλλευσιμου βάθους τῆς λίμνης.

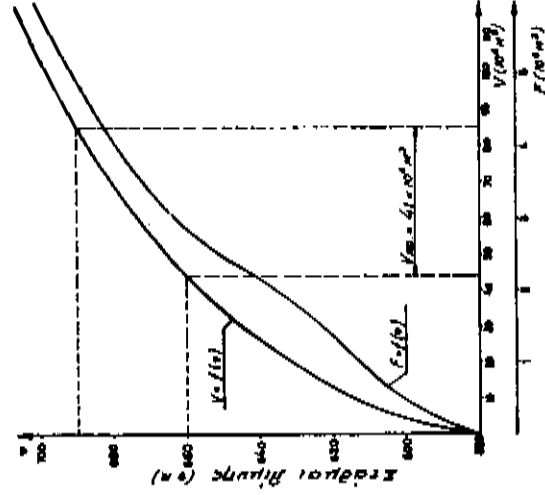
Ἐπειδὴ, λοιπὸν, δὲν εἶναι δυνατόν νὰ ἐκφραθοῦν ἀναλυτικῶς ὅλοι οἱ ἀνωτέρω παράγοντες, ὁμοῦ μετὰ τῶν μελῶν, οἵτινες ὑπεσιέργονται εἰς τὸν ὑπολογισμὸν τῆς ἐνέργειας κατὰ τὴν ἀνωτέρω δοθεῖσαν παράστασιν, εἶναι ἀδύνατον νὰ εὑρεθῆ ἡ μεγίστη τιμὴ τῆς ἐν λόγω ἐξίσωσως διὰ τῆς παραγομένης ἐνέργειας.

Ἐξ ὅλων τῶν ἀνωτέρω ἀναφερθέντων συνοπτικῶς, μόνον ἐν μέλῳ δὲν ἐξαρτῆται ἐκ τοῦ ἐκμεταλλευσιμου βάθους, ἡ παροχὴ τοῦ κατανοῦ Q_k , καὶ μέχρι σήμερον, ἡ ἐπιλογή τοῦ εἰσπαικτοῦ ἐκμεταλλευσιμου βάθους γίνεται διὰ διαδοχικῶν προσκαθεῶν διαφόρων ἐκμεταλλευσιμων βαθῶν h_1, h_2, h_3 κ.λπ.

Ἐν συνεχείᾳ ὑπολογίζεται ἡ ρύθμισις τοῦ ὕγκου ἀπορροφῆς καὶ ἡ τελικὴ ἀπόφασις λαμβάνεται βάσει ἐνεργηοικονομικῆς ἀναλύσεως.



Σχ. 5: Ὑδρογράφημα κατανοῦ.



Σχ. 6: Καμπύλη «Στάθμη-όγκος-επιφανειακή λίμνη».

Διά να καταστή κατανοητή η μέθοδος της ετήσιας ρυθμίσεως θα χρησιμοποιήσουμε το υδρογράφημα ενός ποταμού, δεδομένου εις το σχ. 5. Εις το σχ. 6 δίδεται η συνάρτησις του όγκου και της επιφανείας της τεχνητής λίμνης εκ της στάθμης αυτής. Η μέθοδος της ετήσιας ρυθμίσεως δίδεται κατωτέρω.

4. Ετήσια ρυθμίσις υδροηλεκτρικού Σταθμού

Σκοπός της ετήσιας ρυθμίσεως είναι η κληροστάρα χρησιμοποίησης του όγκου άποροφής, βάσει προμελετημένης κατανομής τούτου κατά δεδομένα χρονικά διαστήματα διά την αύξησιν της ισχύος και της ενέργειας.

Γνωστόν όντος το όγκον άποροφής, βάσει του εκλεγέντος χαρακτηριστικού υδρολογικού έτους, πρέπει κατ' άρχήν να ελεγχθ ή άκαταύμενος χρόνιος όγκος της λίμνης, διά την εξοφάρισιν της ετήσιας ρυθμίσεως.

Εις το σχ. 1 και κατά τό χρονικόν διάστημα t_1 , θα έχωμεν άποθηκευσιν εις την λίμνην όγκου 1 - Γ' πλέον του φρχικού.

Όμοίως εις τούς χρόνους t_2 και t_3 , ή επί πλέον άποθήκευσις θα άνέρχεται εις τούς όγκους 2 - 2' και 3 - 3'. Προφανώς ή μεγαλύτερα άποθήκευσις θα είναι κατά τόν χρόνον t_2 .

Εις τό σημείον 4, είναι ίσος ό όγκος άποροφής με τόν όγκον άπολήψεως, ήτοι ή στάθμη της λίμνης επανήλθεν εις την άρχικήν της θέσιν. Αντίθετως, κατά τό χρονικόν διάστημα t_4 , ελήφθη εκ της λίμνης όγκος 5 - 5' εκ του άρχικού άποθέματος. Κατά τό διάστημα δε Γ' (σημείον 6), ή στάθμη επανήλθεν εις την άρχικήν αυτής θέσιν, ήτοι συνεκληρώθη πλήρως ρυθμιστήν έτος.

Επί τών άνωτέρω χρήζει ή έξης εκεξήγησις. Οί όγκοι, άνω της εθέτας 0 - 6, είναι, ως άνεφέρθη, ή άποθηκευόμενοι όγκοι, ενώ οί κάτω αυτής, ήτοι από σημείον 4 έως 6, είναι οί άπολήφθεντες όγκοι ύδατος εκ της λίμνης, οί προστεθησόμενοι εις τήν άπόδότησιν της φυσικής ροής του ποταμού.

Βάσει τών άποθηκευόμενων ή άπολαμβάνομένων όγκων ύδατος καταστράνεται τό διάγραμμα διακυμάνσεων της λίμνης από τήν στάθμη της κανονικής λειτουργίας έως τήν κατωτάτην στάθμη του «κεκροθ όγκου». Η άνωτάτη στάθμη της λίμνης λαμβάνει υπ' όφιν ένα άκαταύμενον έπι πλέον όγκον, άνω της στάθμης κανονικής λειτουργίας, διά τήν άποθήκευσιν όγκων μεγάλων άποροφών (πλημμυρών).

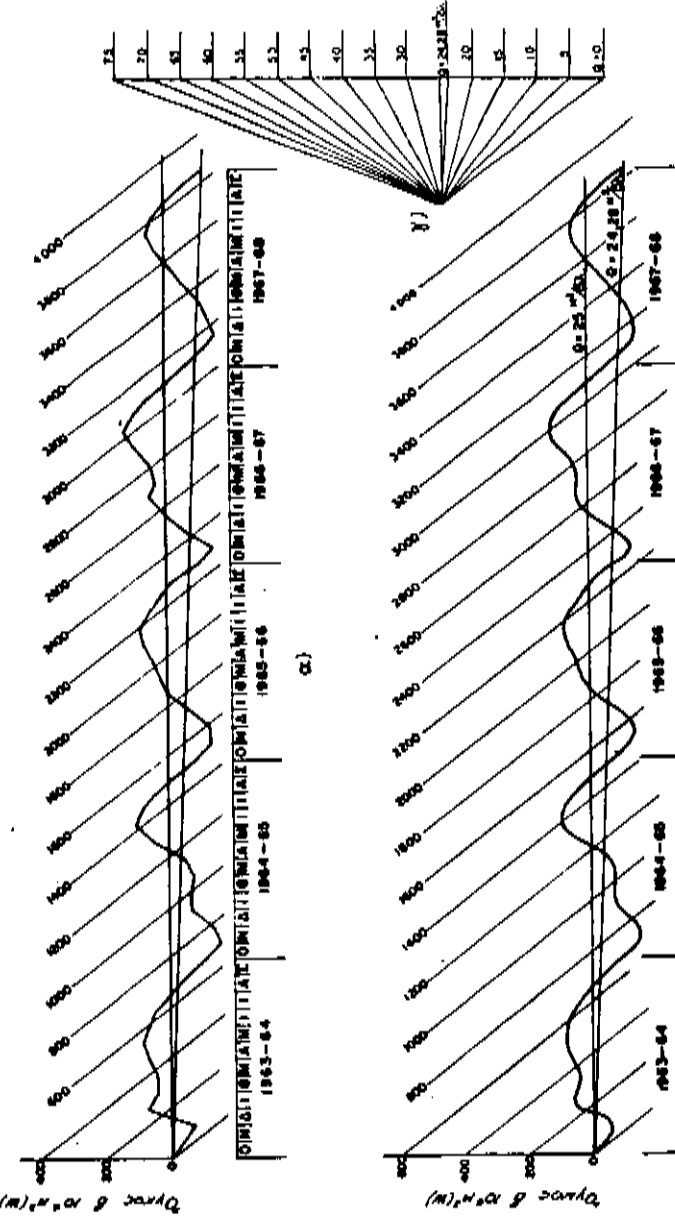
Εάν εκ τών σημείων 2 και 5 φέρομεν άφαπτομένες, παράλληλους προς τήν εθέταν 0 - 6, (σχ. 1) τότε ή μεταξύ τούτων κατακόρυφος άπόστασις 5 - 5', δίδει τόν ζητούμενον χρησίμου όγκον της λίμνης, τόν άκαταύμενον διά κλήρη έτησίαν ρυθμιστήν.

Διά τούς λόγους όμοις, οφτινες άνεφέρθησαν εις τήν παράγραφον 5, συνήθως ό χρόνιος όγκος της λίμνης είναι μικρότερος του άκαταύμενου όγκου διά κλήρη έτησίαν ρυθμιστήν.

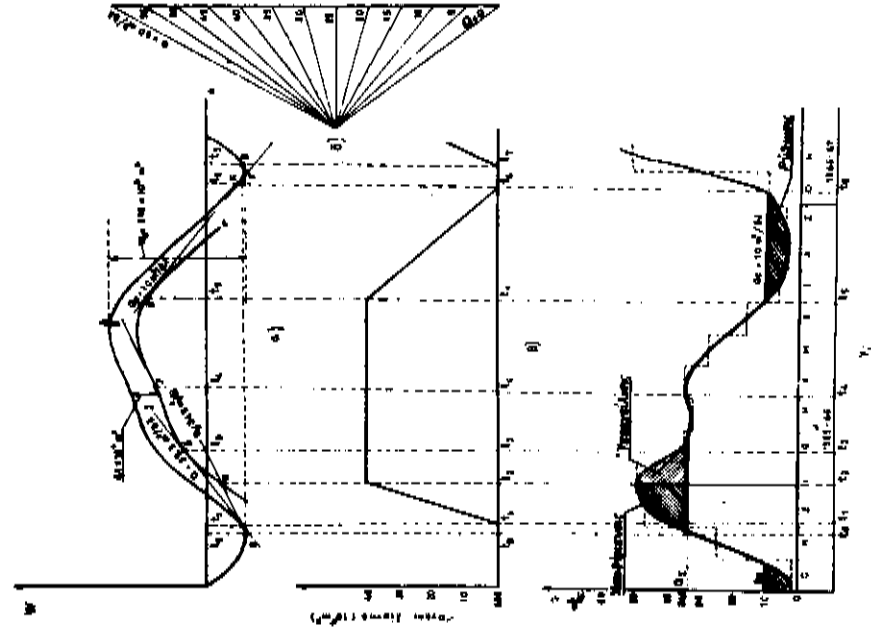
Θά εξετάσωμεν τέρα άναλυτικότερον τό άνωτέρω εις τό λήφθεν υδρογράφημα (σχ. 5).

Η μετατροπή του εν λόγω υδρογραφήματος διά τά έτη 1963-68 εις ολοκληρωτική καμπύλην άποροφής εις τό σύστημα τών κλαρίων συντεταγμένων δίδεται εις τό σχ. 7β άφοδ προηγούμενος εις τό σχ. 7α. Ελήφθη τοτρό ως τεθλασμένη γραμμή μηνιαίων παρατηρήσεων. Εις δε τό 7γ, δίδεται ή άκτινωτή κλίμακ, ήτις εκτρέπεται άνά πάσαν στιγμήν και εις οτιονδήποτε έτος, να γνωρίζομεν τήν στιγμιαίαν άποροφήν.

Εις τό στάδιον της όριστικής μελέτης, ή ρυθμίσις πραγματικο-



Σχ. 7: Ολοκληρωτική καμπύλη άποροφής περιόδου 1963-68 λιγνιτέος ποταμού.



Σχ. 8: Έτησία φθμίσις λίμνης.

ποιείται δι' έκαστον έτος. Έάν δε ληφθ' όπ' όθιν, ότι κολλώδης τό ύδρογράφημα δίδεται διά πολλάς δεκαετίας παρατηρήσεων, καθίσταται κατανοητός ό όγκος τής έργασίας, όστις άπαιτείται διά τήν εύνοικότεραν έπίλυσιν τού έν λόγω προβλήματος. Οι ηλεκτρονικοί έγκέφαλοι έπιλοκοιούν σημαντικές τούς όκολογισμούς, όμως πάλιν ό προκαταρκτικός όγκος έργασίας παραμένει σεβυστός και ή κτήσις τής έν λόγω μεθόδου είναι άναγκαία.

Η άνάλυσις θα γίνη διά τό έτος 1965 - 66, τό όποϊόν θα ληφθ' ύφ' ήμών ός παράδειγμα.

Τό σημείον 0 είναι ή άρχή τού ρυθμιστικού έτους (βλ. σχ. 8α) και τό σημείον Β τό τέλος. Η κατεύθυνσις τής εδθέσις 0 - Β, μεταφερομένη εις τήν άκτινωτήν κλίμακα (8β), δίδει τήν μέσην έτησιαν ρυθμιστικήν παροχήν. Έάν εκ τών σημείων Δ και Γ φέρωμεν παράλληλους κοός τήν εδθέσιαν 0 - Β, τότε ή κατακόρυφος άπόστασις μεταξύ τούτων θα δώση τόν άπαιτούμενον χρήσιμον όγκον τής λίμνης διά πλήρη έτησιαν ρύθμισιν. Ούτος θα ίσούται με $210 \times 10^6 \mu^3$, διά τό ληφθέν παράδειγμα.

Έάν ύπέρβην ή δυνατότης δημιουργίας παρομοίας χωρητικό-ητικος, τότε τό πρόβλημα θα ήτο άπλοον. Βάσει όμως τών κομπίλων όγκου και έπιφανείας (βλ. σχ. 6), και τών όσων άνεφέρθησαν στερητικός άνωτέρω, ό διαθέσιμος χρήσιμος όγκος τής λίμνης, δέν έπάρκει πλήρη έτησιαν ρύθμισιν παρά μόνον $41 \times 10^6 \mu^3$. Αύτη είναι ή πλέον συχνά συναντούμένη περίοδος τών ύψηλων υδάτων (ελημμυρών), όλη ή άπορορή δέν δύναται νά ρυθμισθ' και θα ύπάρξη ύπερχείλισις, ή δε μέση έτησια ρυθμιζόμενη παροχή, θα είναι μικρότερα τής άρχικής ληφθέσις.

Κάτωθεν τής ολοκληρωτικής καμπύλης άπορορής, λαμβάνομεν άπόστασιν, ίσην με τόν διαθέσιμον χρήσιμον όγκον τής λίμνης ήτοι $41 \times 10^6 \mu^3$. Ούτω, σχηματίζεται μία δεύτερα καμπύλη, ή α-β-γ-δ-ε. Η κατακόρυφος άπόστασις μεταξύ τής καμπύλης άπορορής I - Δ - Γ και τής έν λόγω α - β - γ - δ - ε, δείκνυει τόν ύπάρχοντα χρήσιμον όγκον ύδατος τής λίμνης

δι' έκίστην δεδομένην στιγμήν. Η καμπύλη α - β - γ - δ - ε, άνομάζεται «καμπύλη στάθμης κλήρους λίμνης».

Έάν οι ύδροστροβίλοι τού ύδροηλεκτρικού σταθμού έργάζωνται με συνολικήν παροχήν Q_2 , ήτις εις τήν άκτινωτήν κλίμακα (σχ. 8β) δίδει $34,5 \mu^3/\delta\lambda.$, τότε μετά τό σημείον α, άρχίζει ή ύπερχείλισις (εις χρόνον t_4). Η άπόστασις τής εδθέσις I - α από τής καμπύλης άπορορής (I - Δ) δεικνύει άνά πλάσιν στιγμήν τούς ύπάρχοντας έν άποθιγκούσει εις τήν λίμνην όγκους, ότινες μεταφερόμενοι εις τό σχ. 6 τής καμπύλης «στάθμη - όγκος» δίδουν τήν στάθμην τής λίμνης εις τήν εδθέσιον στιγμήν. Οι διαθέσιμοι όγκοι δίδονται εις τό σχ. 8β. Εις έκαστην στιγμήν, π.χ. (σημείον γ) μεταξύ τών σημείων β και δ, δύνασθε νά εδρωσιν τήν παροχήν, φέροντες άπαιτούμενην ($\gamma - 3$), όποτε εις τήν άκτινωτήν κλίμακα εφίπσκομεν τήν ζητούμενην παροχήν.

Τό σημείον δ, δέν είναι τυχαίον. Ός έλέχθη άνωτέρω, ή εδθέσις I - β, είναι ή έσπερατική έσπεριζόμενη κατά τήν άρχήν τής ρυθμίσεως. Η εδθέσις δ - Κ, ήτοι ή έσπεριζόμενη εις τό σημεία δ και κ είναι ή ρυθμιστική παροχή $Q_p = 10 \mu^3/\delta\lambda.$, διά τό χρονικόν διάστημα από t_4 έως t_6 , ήτοι άνόν ό ύδροηλεκτρικός σταθμός έργάζεσθαι με παροχήν $10 \mu^3/\delta\lambda.$, από τό σημείον δ έως τό σημείον κ, ή λίμνη θα έχη έκκενωθή έως τήν στάθμην τού νεκρού όγκου.

Από τό σημείον Κ έως τό Β, ή παροχή θα είναι μεγαλύτερα τής άνωτέρω εφειθέσις ρυθμιστικής τής πάξως τών $10 \mu^3/\delta\lambda.$, διότι εις όποιήσπεσ σημείον, μεταξύ τούτων, ή έσπεριζόμενη θα έχη μικρότερον κλίσην και εις τήν έριζοντίαν σχεδόν όθειον (σημείον Γ), ή παροχή θα κυμαίνεται περί τήν $25 \mu^3/\delta\lambda.$

Από τό σημείον Β, θα άρχιση ή ρυθμιστική περίοδος τού έπομένου έτους κ.ο.κ.

Η γραμμή I-α-β-γ-δ-κ-Γ-Β, όνομάζεται «ετησιμή ρυθμιστικός παροχής» και αύτη καθιστάται εις τό σχ. 8γ, καζυτέρα.

Η σχέση τής έν λόγω ρυθμιστικής παροχής Q_p (εις τήν προκειμένην περίπτωσιν $Q_p = 10 \mu^3/\delta\lambda.$) προς τήν μέσην έτησιαν παροχήν Q_0 εις τήν προκειμένην περίπτωσιν $Q_0 = 24,19$) άνομάζεται συντελεστής ρυθμίσεως, ήτοι:

$$a = \frac{Q_p}{Q_0} = \frac{10}{24,19} = 0,413$$

Είναι άπτόνότηον ότι όσον ύψηλότερος είναι ό συντελεστής ούτος, τόσο η ρύθμις είναι πληροτέρα και συνεκός πληροτέρα ή χρησιμοποιήσις τού όγκου τής λίμνης.

Ανωτέρω έξηρασθή μόνον ή διά παρατηρήν ενεργείας χρησιμοποίησης τού ύδατος τής λίμνης. Ένωσिता, ότι όταν μέρος τού ύδατος τής λίμνης προορίζεται δι' άπόθιγκούς σκοπούς άνευ ενεργειακής χρησιμοποίησις, ή και δι' άλλους άκομη σκοπούς, τότε από τόν όπό χρησιμοποιήσιν όγκον τής λίμνης άφαιρείται ούτος και τό διάγραμμα ρυθμίσεως έν τό σχ. 8α, λαμβάνει τήν άνάλογον μορφήν.

Γενωδόν συμπίρασμα

Η δυνατότης πραγματοποιήσεως έτησις ρυθμίσεως, αύξήνουςα τό ποσοτόν χρησιμοποιήσεως τής άπορορής, αύξήνεται τήν ενεργείαν, έπιλύουσα ταυτόχρονας γενικότερα προβλήματα άπολήγως ύδατος διά κολλωδώς άνάγκας τής Έθνικής Οικονομίας. Η προσπάθεια συνίσταται εις τό ότι τό ποσοτόν τής έτησις ρυθμίσεως άφείλει νά πραγματοποιη-

ται υπό μικρότερον δυνατόν εκμεταλλεύσιμον βάθος τής λίμνης.

Γενικώς, δύνανται να λεχθή ότι εάν ό χρήσιμος όγκος μιάς λίμνης είναι περίπου 20 - 30% του συνολικού έκτασιου όγκου άπορροής του μέσου υδρολογικού έτους, δύνανται έν τούτοις περιπτώσει να πραγματοποιηθή πλήρης έπισητά ρύθμιση. Τούτο φυσικά εξαρτάται και έκ τής παραχτετακτής δυνατότητος τών υδροτροβίλων του υδροηλεκτρικού σταθμού.

Βιβλιογραφία

1. Shtarretf D. S.: Ispol'sovanie vodnoi energii, Moskva 1965.
2. Agronof P. P.: Gidroelectrostantsii, Kief 1960.
3. Nisilin S. N.: Osnovi Gidroeenergeticheskikh rasisiotof. Moskva 1959.
4. Stokh M. A.: Aménagements des chutes d'eau, 1959.
5. Μεγαρίας Σ.: Παχιαρά έργασια Μόσχα 1959.

Proprietes d'une courbe integrale de volume versant et regulation annuelle des lacs des stations Hydroelectriques

Par S. MagNirias *

Resumé

Aprés une introduction du premier chapitre, dans le deuxième chapitre sont exposés les principes généraux d'une courbe integrale de volume versant.

Dans le chapitre 3, sont analysées les proprietés de cette courbe dans un système de coordonnées orthogonables, tandis que dans le chapitre 4, sont exposées les principes

de transformation de la courbe integrale du système orthogonal à un système d'axes de référence obliques.

Dans le chapitre 5, sont examinées deux questions relatives à la régulation annuelle, l'une concernant la chute nette et l'autre la profondeur d'exploitation d'un lac.

Enfin, dans le chapitre 6, sont donnés un exemple de régulation annuelle, les conclusions et la bibliographie.

* Né à Larissa (1923). Diplômé de l'Institut Energétique de Moscou Ecole Supérieure des Stations Hydrauliques (1960). M. Sc. De Mars 1960 jusqu'à Septembre 1967, auprès de l'Entreprisse d'Etudes et Constructions de Stations Hydrauliques (Ghidroproiect) en Russie. De 1966 à 1967, il y occupa le poste de Spécialiste - en - Chef (Glarny

Specialist). Possesseur de plusieurs brevets d'inventions et de travaux sur des questions des Stations Hydroélectriques. Repatrié en Septembre 1967. De Mars 1968 jusqu'à présent, à l'Entreprisse Publique d'Electricité.