

VÍZHOZAM—HULLÁMKÉPEK MEGHATÁROZÁSA VALÓSZÍNŰSÉGELEMÉLETI ALAPON

I. Előzmények

A *Vízgyógyászati Tudományos Kutató Intézetben* két éve folynak vizsgálatok a *K. IV. öntözőfürt-főcsatorna* műszaki színvonalának emelése, üzemének javítása, egyszóval *műszaki hatásfokának növelése érdekében*.

Ezeknek keretében vetődött fel az a feladat, hogy — a felülről vezérlés elvét szem előtt tartva — módszert dolgozzunk ki a *fővízkivétel szabályozási programjának meghatározására*. Ennek kapcsán meg kellett állapítani, hogy a csaknem 20 km-es főcsatorna mentén különböző időpontokban jelentkező vízigények maradéktalan kielégítése, illetve az egyes vízkivételi művek zárása következtében a főcsatornában előálló vízhozamtöbbletek minél gyorsabb megszüntetése érdekében mikor és milyen mértékben kell módosítani a fővízkivétel vízszállítását.

A feladat rendkívül bonyolult, hiszen a főcsatorna menti vízkivétel szakaszos üzeme következtében a fővízkivétel vízhozamát naponta többször kell változtatni. Ennek következtében a főcsatornán a fővízkivételtől kiinduló gyakori nyitási és zárási hullámok vonulnak végig, amelyeknek alakulását a főcsatorna menti vízkivételi művek nyitása és zárása következtében kialakuló további hullámok befolyásolják.

Ugyanakkor *elsőrendű követelményként jelentkezett az is*, hogy a vizsgálatok végeredményeként olyan segédleteket készítsünk, amelyek alapján a *fővízkivétel vízhozamszabályozásának programját a technikusai képzettségű fürtvezető is meg tudja állapítani*.

Az első tájékozódás után rögtön nyilvánvalóvá vált, hogy ezt a feladatot a hidromechanika klasszikus eljárásaival megoldani nem lehet.

Ekkor hívta fel a szerző figyelmét *Vágás István* arra, hogy minden biztonnal ezen a területen is gyümölcsözően használhatná fel a *Muszkalay Lászlóval*, az ülepítőmedencék áramlástanai hatásfokának meghatározása érdekében kidolgozott *átfolyási elméletüket* [1—10].

Javaslatára rendkívül termékenynek bizonyult, s a következő fejtegetések és maga az ezek alapján kidolgozott „*átvonulási elmélet*” is tulajdonképpen a *Muszkalay—Vágás-féle átfolyási elméletnek egy új területen történő felhasználását*, ennek kapcsán statisztikus alapjainak tisztázását és az eljárás finomítását, továbbfejlesztését jelenti.

Fel kell külön is hívni a figyelmet arra, hogy a következőkben — kitűzött célunknak megfelelően — csupán a vízfolyásokon levonuló „azonos irányú pozitív s negatív vízhozam-hullámok” jellemzőinek számítására vonatkozó új elméletet foglaljuk össze. Az eredmények azonban, magától értetődő módon, bármely más, hasonló nem permanens jelenségre is átvihetők.

II. Az elmélet

2. Az átvonulási elmélet valószínűségelméleti alapja

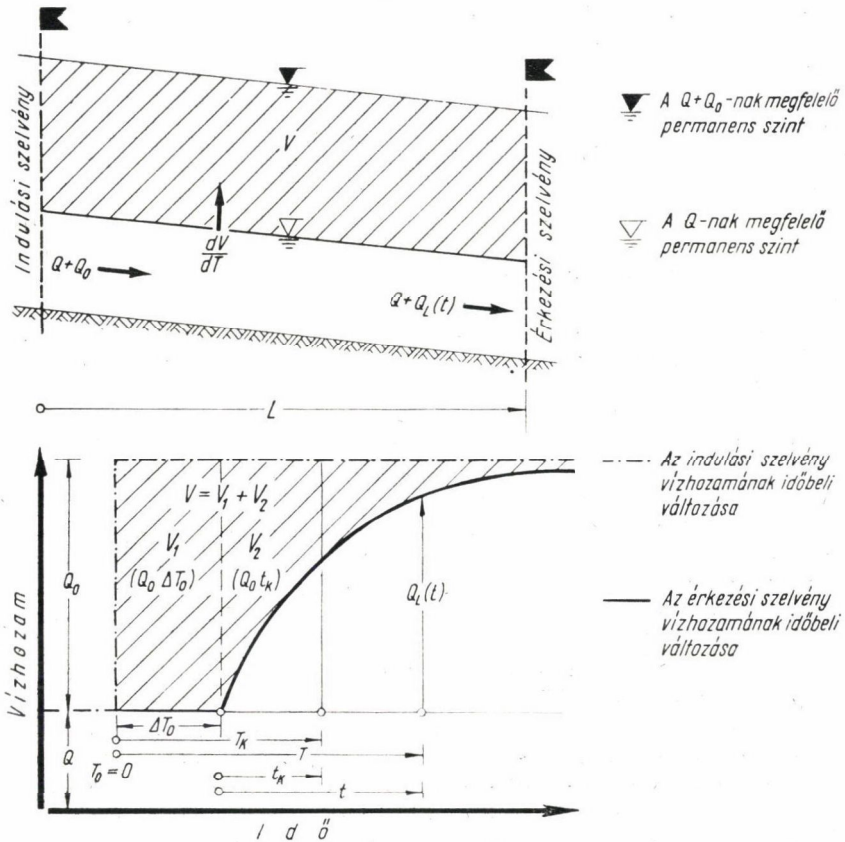
Vizsgálódásaink alapjául vegyük egy természetes, vagy mesterséges vízfolyás olyan — egyébként tetszőlegesen választható — szakaszát, amelybe csak a szakasz felső szelvényén keresztül érkezhethet, és amelyből csak az alsó szelvényén keresztül távozhathat a víz.

A szakaszba beépített műtárgyak okozta duzzasztás, illetve leszívás legyen az azokon átfolyó vízhozam folytonos és monoton növekvő függvénye.

Nevezzük a vizsgált szakasz felső szelvényét a vízhozam-változás „indulási”, míg az alsót az „érkezési” szelvényének.

Jelölje az indulási és az érkező szelvény közötti távolságot L , s a megfigyelés előtt legyen a szakaszon permanens vízmozgás, vagyis legyen bármely időpontban az oda belépő és kilépő „alaphozam” azonos.

Válasszuk ezek után az észlelés kezdő időpontjául azt a $T_0 = 0$ időpontot, melyben az indulási szelvényen belépő Q_0 vízhozamváltozás megbontja a kialakult permanens állapotot (1 ábra).



1. ábra. A folyásirányú, egyszerű, pozitív vízhozam-hullám levonulásának jellemző adatai

A hirtelen vízhozamváltozás eredményeként fokozatosan ellapuló lökeshullám fut végig a szakaszon. Szorítkozzunk arra az esetre, melynél a vizsgált szakasz hidraulikai adottságai és a Q_0 és az L viszonya következtében az érkezési szelvényben a lökeshullám meredek homlokfala már nem észlelhető, s nevezzük az ily módon értelmezett vízmozgást „egyszerű” hullámnak.

A kikötött feltételek teljesülése esetén ΔT_0 idő elteltével megindul tehát a vízhozamváltozás folyamata az érkezési szelvényben is; mégpedig úgy, hogy az érkezési szelvény vízhozama folytonos módon változó áradással, illetve apadással, eleinte rohamosan, majd lassabban, de állandóan monoton egyirányban növe, vagy csökkenve tart az indulási szelvény Q_0 -lal megváltozott vízhozamához, mint határértékhez.

Más megfogalmazásban: $T_0 = 0$ időpontban a 0 szelvénytől elinduló Q_0 vízhozamváltozás elemi részei az L hosszat különböző idők alatt teszik meg. *Bármely elemi vízhozamváltozáshoz tartozó átvonulási idő valószínűségi változóként viselkedik*; oly módon, hogy azok közül a leggyorsabban haladó $T = \Delta T_0$, míg a leglassabb $T \rightarrow \infty$ idő elteltével érezteti hatását az érkezési szelvényben, a nedvesített terület megváltoztatása révén.

Jelölje most egy képzeletben kiválasztott, s valamiképpen megjelölt elemi vízhozamváltozás ΔT_0 -tól számított „relatív” átvonulási idejét, mint valószínűségi változót τ (vagyis legyen $\tau = T - \Delta T_0$), s legyen a τ eloszlásfüggvénye

$$F(t) = P(\tau < t). \quad (1)$$

Az $F(t)$ tehát annak a valószínűségét adja meg, hogy a tetszőlegesen kiválasztott elemi vízhozamváltozás τ relatív átvonulási ideje kisebb, mint $t = T - \Delta T_0$; vagyis hogy az a t időpontig az észlelési szelvénybe megérkezik.

Ismeretes viszont, hogy a valószínűség azonos a relatív gyakoriság (jelen esetben az érkezési szelvénybe a t időpontig megérkező $Q_L(t)$ összes elemi vízhozamváltozás és a Q_0 teljes lehetséges vízhozamváltozás hányadosának) stochasztikus határértékével.

Így jó közelítéssel felírható, hogy

$$\frac{Q_L(t)}{Q_0} = F(t), \quad (2)$$

ahonnan

$$Q_L(t) = Q_0 \cdot F(t), \text{ ha } t = T - \Delta T_0 \quad (3)$$

A relatív átvonulási idő $F(t)$ eloszlásfüggvényének és az indulási szelvény $T_0 = 0$ időpontban jelentkező Q_0 hirtelen vízhozamváltozásának az ismeretében tehát a vízhozamváltozás időbeli lefolyása egyértelműen meghatározható.

2. Az átvonulási idő eloszlásfüggvénye

Az eloszlásfüggvény alakjának levezetésénél induljunk ki abból a tényből, hogy (3) összefüggés értelmében az érkezési szelvény t időpontban észlelt vízhozama — a Q_0 konstanstól eltekintve — azonos az eloszlásfüggvény t időponthoz tartozó értékével, s így a vízhozam alakulásának jellegét az eloszlásfüggvény jellemzi — és viszont.

Mindezek következtében abból a körülményből, hogy a tapasztalat szerint az érkezési szelvényben a vízhozam a $t = 0$ időponttól monoton, differenciálható függvénnyel jellemezhető módon tart az indulási szelvény Q_0 -kal megváltozott vízhozamához, mint végérintőhöz, *levonhatók a további következtetések:*

a) Valamely tetszőlegesen kiválasztott elemi vízhozamváltozás relatív átvonulási ideje a zérus és a plusz végtelen között bármely értéket felvehet:

$$0 \leq \tau < +\infty. \quad (4)$$

b) Az eloszlásfüggvény a $t = 0$ időpontban veszi fel a zérus értéket' s $t \rightarrow +\infty$ esetén konvergál az egységhez:

$$F(0) = 0, \lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1 \quad (5)$$

c) Az eloszlásfüggvény a $(0, +\infty)$ intervallumban monoton növekvő:

$$F(t_1) < F(t_2), \text{ ha } 0 \leq t_1 < t_2 < +\infty. \quad (6)$$

d) Az eloszlásfüggvény a $(0, +\infty)$ intervallumban differenciálható, így létezik az $f(t)$ sűrűségfüggvénye, s az — az előző pontot figyelembe véve — mindenhol pozitív véges érték:

$$0 < f(t) < +\infty, \text{ ha } f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \text{ és } 0 \leq t < +\infty. \quad (7)$$

Ugyanakkor magától értetődőnek látszik az a feltevés is, hogy ha egy elemi vízhozamváltozás a kiválasztott L hosszúságú szakaszon valamely $t_1 \geq 0$ időpontig még nem haladt végig, úgy annak a valószínűsége, hogy az az észlelési szelvénybe a t_1 -t követő t időpontig megérkezék (adott hidraulikai viszonyok mellett) csak a $t-t_1$ időköz hosszától függ:

$$F(t | \tau \geq t_1) = F(t - t_1), \quad 0 \leq t_1 < t < +\infty. \quad (8)$$

Bebizonyítható most már, hogy az eloszlásfüggvény tulajdonságait rögzítő (4)–(8) összefüggés egyúttal azt egyértelműen meg is határozza, s ilyen körülmények között az az

$$\boxed{F(t) = 1 - e^{-\lambda t}} \quad (9)$$

eloszlásfüggvénnyel jellemezhető, úgynevezett exponenciális eloszlással azonos [11., 120 o.], melynek egyetlen paramétere:

$$\boxed{\lambda = \frac{1}{t_k}} \quad (10)$$

a legrövidebb, ΔT_0 átvonulási idővel csökkentett átlagos átvonulási idő, a

$$\boxed{t_k = T_k - \Delta T_0} \quad (11)$$

redukált átlagos átvonulási idő reciprok értéke, amely nyilvánvalóan a meder hidraulikai adottságától függ.

3. Az átvonulási idő eloszlásának megállapítása a mederszakaszt jellemző hidraulikai adatok alapján

a) A legrövidebb átvonulási idő, a ΔT_0 meghatározása

Az előzőekben láttuk, hogy az érkezési szelvényben a $T_0 = 0$ időponttól kezdve a vízhozam változatlan marad egészen a $T = \Delta T_0$ időpontig (*I. ábra*) — amikor is a szelvénybe a lökéshullám sebességével megérkezik a legrövidebb átvonulási idővel jellemezhető elemi vízhozamváltozás —, majd ettől az időponttól kezdve az eloszlásfüggvénnyel jellemzett módon megindul a vízhozam fokozatos változása.

Ahhoz tehát, hogy az érkezési szelvényben egy tetszőleges T időpontban meg tudjuk határozni az indulási szelvény T_0 időpontban előálló, Q_0 hirtelen vízhozamváltozásának hatására jelentkező, s a megelőző permanens állapot alapvízhozamához viszonyított vízhozamváltozást, két adatra van szükség: $T_0 + \Delta T_0$ időpontra és az eloszlásfüggvényt jellemző egyetlen paraméterre, a λ értékre ((9) képlet).

Tekintettel arra, hogy a szakasz hidraulikai viszonyait ismertnek tetelezzük fel, az ott kialakuló lökéshullám v_0 sebessége igen jó közelítéssel meghatározható, s így a szakasz L hosszának ismeretében a

$$\Delta T_0 = \frac{L}{v_0} \quad (12)$$

képlet alapján a ΔT_0 értéke meghatározható.

Igy különlegesebb feladatot egyedül csak a λ értékének meghatározása jelent. Ennek érdekében foglalkozunk először a tározódó vízmennyiség és az átlagos átvonulási idő kapcsolatával.

b) Az átlagos átvonulási idő és a tározódó vízmennyiség kapcsolata

Ismeretes, hogy a kontinuitás tétele értelmében valamely zárt, szakadásmentes felülettel körülfogott térfogatra, ha azon belül forrás, vagy nyelő nincs, érvényes az

$$\int_f \bar{v} \cdot d\bar{f} = 0 \quad (13)$$

összefüggés.

Ennek felhasználása érdekében az általunk vizsgált mederszakasznál válasszuk úgy az f felületet, hogy az álljon az indulási és az érkezési szelvény nedvesített felületéből, az ezek által közrefogott szakasz medréből és abból a felületből, amely a Q_0 vízhozamváltozás megindulása előtti permanens állapotban a vízfelszint képezte.

Ilyen kikötéssel viszont a (13) képlet az *I. ábra* jelölései szerint a következőképpen módosul.

$$\int_f \bar{v} \cdot d\bar{f} = (Q + Q_0) - [Q + Q_L(t)] - \frac{dV}{dt} = 0, \quad (14)$$

hol tehát az eddigiekben használt jelölések mellett a Q a Q_0 vízhozamváltozás megindulása előtti permanens „alap”-vízhozamot, $\frac{dV}{dT}$ a mederszakaszban a dT időközben tározódott vízmennyiséget jelenti.

Ezt az egyenletet rendezve és a szükséges összevonásokat elvégezve a

$$dV = [Q_0 - Q_L(t)] \cdot dT \quad (15)$$

összefüggésre juthatunk, melyet zérustól végtelenig integrálva nyilván a mederszakaszban tározódott teljes vízmennyiséget kapjuk meg:

$$V = \int_0^{\infty} dV = \int_0^{\infty} [Q_0 - Q_L(t)] \cdot dT. \quad (16)$$

Más oldalról ez viszont nem más, mint az 1. ábrán az indulási szelvény (vastag eredményvonallal jelölt) és az érkezési szelvény (vastag folytonos vonallal jelölt) vízhozam-idő „görbéjével” közrezárt terület. Az utóbbit figyelembe véve az integrált a

$$V = \int_0^{T_0 + \Delta T_0} Q_0 \cdot dT + \int_{T_0 + \Delta T_0}^{\infty} [Q_0 - Q_L(t)] \cdot dT \quad (17)$$

alakban célszerű két részre bontani. Végül tekintetbe véve azt, hogy Q_0 konstans, s hogy a (3) és (9) képlet összevonásával, s a $t = T - \Delta T_0$ bevezetésével

$$Q_L(t) = Q_0(1 - e^{-\lambda t}); \quad (18)$$

a (17) összefüggés a

$$V = Q_0 \int_0^{T_0 + \Delta T_0} dT + Q_0 \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} \cdot dt \quad (19)$$

alakba írható. A kijelölt műveleteket elvégezve végeredményül a

$$V = Q_0 \cdot \Delta T_0 + Q_0 \cdot \frac{1}{\lambda} \quad (20)$$

egyenletet kapjuk, azaz figyelembe véve a (10) és a (11) összefüggést,

$$V = Q_0 \cdot \Delta T_0 + Q_0 \cdot t_k = Q_0 \cdot T_k. \quad (21)$$

Az átlagos átvonulási idő tehát az előbbi képletből adódó

$$T_k = \frac{V}{Q_0} \quad (22)$$

összefüggéssel egyértelműen meghatározható; ahol tehát Q_0 a $T = T_0 = 0$ időpontban az indulási szelvény hirtelen vízhozamváltozása, s V az indulási és az érkezési szelvény között a $T_0 = 0$ időponttól az új permanens szint beálltáig tározódott vízmennyiség (a Q és $Q + Q_0$ vízhozamnak megfelelő permanens szintek közötti térfogat).

c) Az eloszlásfüggvény paraméterének megállapítása

Az átlagos átvonulási idő és a tározódó vízmennyiség közötti összefüggés ismeretében most már könnyen meghatározható az eloszlásfüggvény paraméterének számszerű értéke is.

A (21) képletből kiindulva, s a (11) egyenlőséget figyelembe véve ugyanis:

$$t_k = \frac{V}{Q_0} - \Delta T_0, \quad (23)$$

majd figyelembe véve a (12) összefüggést:

$$t_k = \frac{V}{Q_0} - \frac{L}{v_0}, \quad (24)$$

amit behelyettesítve a (10) képletbe, s az egyszerűsítések érdekében szükséges átrendezést elvégezve:

$$\lambda = \frac{v_0 \cdot Q_0}{V \cdot v_0 - L \cdot Q_0}. \quad (25)$$

4. A hirtelen vízhozamváltozásból adódó azonos irányú „egyszerű” hullámok ellapulása

a) A vizsgált szakasz hidraulikai viszonyainak hatása a hullám ellapulására

Az egyszerű vízhozam-hullám ellapulása az egymásalatti szelvényekben, a tetszőlegesen felvett

$$Q_L(t) = Q_c \quad (26)$$

vízhozamérték környékén észlelhető vízhozamváltozás mértékének csökkenésével azonos. A hullám ellapulását így egyértelmű módon jellemzi a $Q_L(t)$ függvény adott Q_c vízhozamértékhez tartozó idő szerinti első differenciálhányadosa, vagyis a (18) összefüggésből meghatározható

$$Q'_L(t) = \frac{dQ_L(t)}{dt} = Q_0 \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda t}; \quad 0 \leq Q_L(t) = Q_c < Q_0 \quad (27)$$

függvénykapcsolat.

Az adott Q_c -hez tartozó differenciálhányados értékének meghatározása érdekében adjunk hozzá és vonjunk ki a (27) képlet jobb oldalából $\lambda \cdot Q_c$ -értékét. Így megfelelő átalakítás után a

$$Q'_L(t) = \lambda \cdot Q_0 - \lambda \cdot Q_0(1 - e^{-\lambda t}) \quad (28)$$

egyenletet kapjuk, mely a (18) és a (26) összefüggés figyelembevételével az egyszerű

$$Q'_L(t) = \frac{Q_0 - Q_c}{t_k} \quad (29)$$

alakba megy át.

Kötött vízhozamértékek esetén a vízhozamváltozás sebességének értéke tehát fordítva arányos a redukált átlagos átvonulási idővel; más szóval: *a vizsgált szakaszon átvonuló hullám annál jobban ellapul, minél nagyobb a redukált átlagos átvonulási idő hossza.*

Igy a felvetődő kérdés eldöntéséhez tökéletesen elég a redukált átlagos átvonulási időre kapott (24) képletből adódó következtetések levonása.

Az alapelv szolgáló (24) összefüggés szerint tehát

$$t_k = \frac{V}{Q_0} - \frac{L}{v_0},$$

ahol a jelenlegi vizsgálatok szempontjából a szakasz L hosszát és a Q_0 vízhozamváltozást az előzőek szerint állandónak kell tekinteni.

Igy minden további számítási művelet nélkül azonnal megállapítható, hogy a t_k hossza — s így az ellapulás — annál nagyobb, minél nagyobb a Q_0 átvonulása során a szakaszon tározódó V vízmennyiség, illetve az azon végfutó lökéshullám v_0 sebessége:

$$t_{k2} > t_{k1}, \text{ ha } V_2 > V_1, \text{ illetve } v_{02} > v_{01}. \quad (30)$$

Tudjuk viszont, hogy a Q és a $Q + Q_0$ -nak megfelelő permanens szintek közötti térfogat a meder érdességével és a beépített műtárgyak duzzasztó hatásával egyenesen, míg a meder esésével fordítva arányos.

Ugyanakkor a lökéshullám v_0 sebességének nagyságát az általában jó közelítésnek tekinthető

$$v_0 = \sqrt{g \cdot m_k} \quad (31)$$

(g a nehézségi gyorsulás, m_k a középmedélység)

képlet szerint elsősorban a középmedélység határozza meg, mely ugyancsak az érdességgel egyenesen, s az eséssel fordítva arányos.

Így tehát — mindent összevetve — a levezetett összefüggésekből *a hidraulikai szemlélettel megegyező alábbi következtetés* vonható le:

Az indulási szelvényben jelentkező hirtelen vízhozamváltozás az érkezési szelvényben annál elnyúltabban vonul le, a hullám annál inkább ellapul, minél nagyobb a két szelvény közötti szakasz érdessége, minél nagyobb az oda beépített műtárgyak duzzasztó hatása, és minél kisebb a mederszakasz esése.

b) *A vizsgált szakasz hosszának hatása a hullám ellapulására.*

Az előzőkkel teljesen analóg módon az alap természetesen ennél a vizsgálatnál a

$$t_k = \frac{V}{Q_0} - \frac{L}{v_0}$$

alakú (24) összefüggés, azzal a módosítással, hogy jelenleg a Q_0 -t és v_0 -t kell állandónak tekinteni, s a következtetések levonásánál figyelembe kell venni azt, is, hogy a V térfogat függvénye a hosszának is:

$$V = V(L). \quad (32)$$

Így a (24) képlet céljainknak megfelelően átalakítva a

$$t_k = L \left[\frac{V(L)}{L} \cdot \frac{1}{Q_0} - \frac{1}{v_0} \right] \quad (33)$$

alakra írható át, hol a $\frac{V(L)}{L}$ az egységnyi hosszra eső távozódott vízmennyiséget jelenti, mely a tapasztalat szerint csak kis mértékben ingadozó érték.

Így általában igaznak kell elfogadnunk azt a megállapítást, hogy a redukált átlagos átvonulási idő a szakasz hosszának függvényében nő, vagyis az indulási szelvény és az érkezési szelvény közötti távolság növekedésével a vízhozamváltozási hullám is mind jobban ellapul.

*

Ez a csupán átlagos körülmények között érvényes megállapítás azonban egészen határozott, egyértelmű formát ölt a prizmatikus, állandó esésű, állandó érdességű, vízzáró anyagú, duzzasztást okozó műtárgyakkal nem keresztezett mederszakaszoknál.

Ezek között a feltételek között ugyanis a Q_0 vízhozamváltozás eredményeként minden szelvény nedvesített területe ugyanazzal az „ f ” területtel változik meg; s így a (32) összefüggés a

$$V = L \cdot f \quad (34)$$

alakba megy át.

Így a (34) képlet is módosul a

$$t_k = L \left(\frac{f}{Q_0} - \frac{1}{v_0} \right) \quad (35)$$

formában, vagyis a (29) összefüggés is átalakítható a

$$Q'_L(t) = \frac{Q_0 - Q_c}{\frac{f}{Q_0} - \frac{1}{v_0}} \cdot \frac{1}{L} = \frac{K}{L} \quad (36)$$

módon.

Az ellapulás további törvényszerűségeinek felderítése érdekében, az előbbi feltételek mellett határozzuk meg most a $T_0 = 0$ ponton átmenő, s a Q tengellyel párhuzamos egyenesen a Q_c értéke, továbbá az érintő által kimetszett két pont távolságát.

A 2. ábrán folytonos vonallal kihúzott hasonló háromszögeket, továbbá az érintő iránytangensére érvényes (29) összefüggést szemügyre véve nyilvánvaló, hogy igaz a

$$\frac{Q_0 - Q_c}{t_k} = \frac{K}{\Delta T_0 + t} \quad (37)$$

arány, ahonnan

$$K = (Q_0 - Q_c) \frac{\Delta T_0 + t}{t_k} \quad (38)$$

Tudjuk viszont, hogy a (12) összefüggés szerint

$$\Delta T_0 = \frac{L}{v_0},$$

5 Az azonos irányú „összetett” (pozitív és negatív hullámokból álló) vízhozam-hullámok levonulásának elmélete

Az előzőekben azt az alapesetet vizsgáltuk, amikor az indulási szelvényben egyszerre bekövetkező hirtelen vízhozamváltozás eredményeként létrejövő egyszerű hullám vonul végig a vizsgált szakaszon.

Az indulási szelvényben azonban a vízhozam rövidebb vagy hosszabb időközökben egyirányban többször is megváltozhat, sőt bekövetkezhet ott folyamatos egyirányú vízhozamváltozás is. Ilyen körülmények között tehát az azonos előjeli vízhozamváltozást okozó hullámok összegződhetnek, s azonosan összetett hullámként vonulhatnak végig a szakaszon.

Továbbmenve: a gyakorlatban szükségképpen előfordul az az eset is, hogy az indulási szelvény vízhozama nemcsak egyirányban változik: a pozitív és a negatív azonosan összetett hullámok is kombinálódnak vegyesen összetett hullámmot képezve.

Kérdés, hogy az egyszerű hullámok levonulásának törvényszerűségeit ismerve hogyan határozzuk meg az azonosan összetett, majd a vegyesen összetett hullámok levonulása során kialakuló hullámképeket.

Lássuk mindenekelőtt a folyamat lejátszódásának valószínűségelméleti alapjait.

a) Az „azonosan összetett” hullámképek meghatározásának valószínűségelméleti alapjai

A korábbiakban láttuk (1. ábra), hogy az indulási szelvény T_0 ($T_0 = 0$) időpontban bekövetkező Q_0 hirtelen vízhozamváltozása végtelen sok elemi vízhozamváltozás összegének fogható fel oly módon, hogy azok közül a leggyorsabb a $T_0 + \Delta T_0$ ($T_0 = 0$) időpontban érkezik meg az érkezési szelvénybe, míg a többi átvonulási ideje – exponenciális eloszlással jellemzett valószínűségi változóként viselkedve – a $T_0 + \Delta T_0$ és a végtelen között bármely értéket felvehet:

$$T_0 + \Delta T_0 \leq \tau < +\infty.$$

Magától értetődő, hogy hasonló jellegű folyamat kell, hogy lejátszódjék akkor is, ha az indulási szelvényben egymásután több azonos értelmű vízhozamváltozás jelentkezik.

Az utóbbi részletesebb vizsgálata érdekében (a korábbi jelölési módhoz igazodva, de azt némileg módosítva) jelölje most a permanens szintet megbontó első vízhozamváltozás adatait a

$$dQ_{00} \equiv Q_0, T_0 \equiv T_0 = 0, \Delta T_0 \equiv \Delta T_0, \tau_0 = \tau$$

szimbólum (3. ábra).

Vizsgáljunk egyelőre csak két egymásután következő, azonos értelmű vízhozamváltozást.

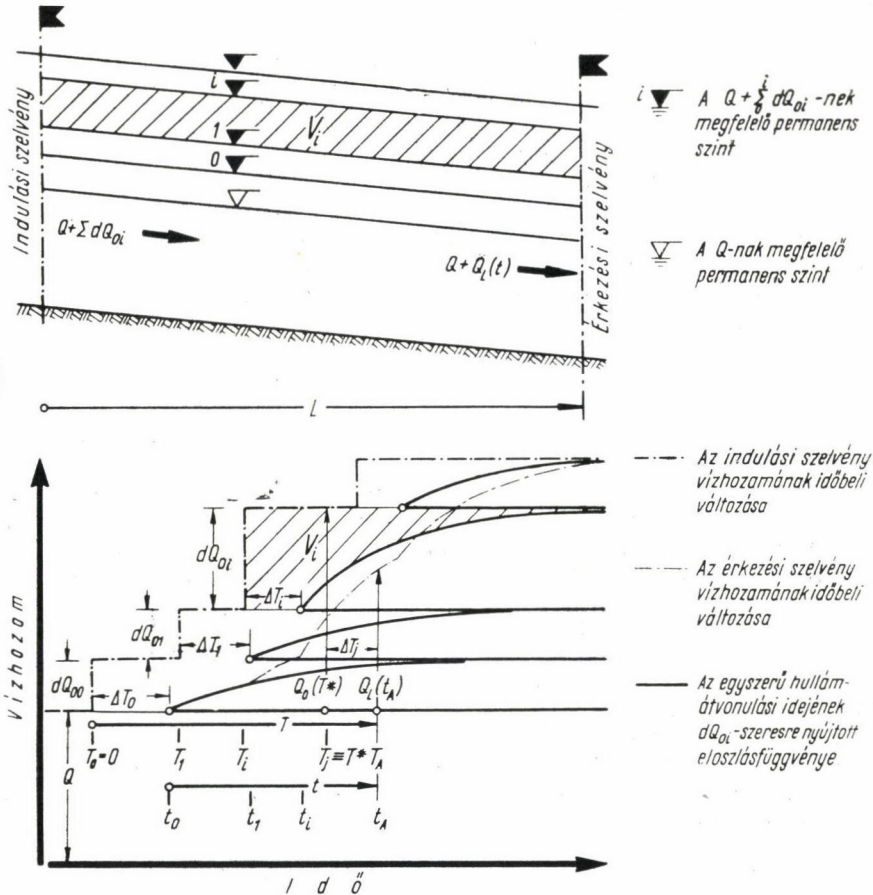
Mindenekelőtt nyilvánvaló, hogy ha az indulási szelvényben a T_0 időpontban bekövetkező dQ_{00} vízhozamváltozás után egy T_1 időpontban egy azonos értelmű dQ_{01} vízhozamváltozás jelentkezik, úgy az is csak egy bizonyos ΔT_1 idő elmúltával érezteti hatását az érkezési szelvényben. Ekkor érkezik oda az abból származó leggyorsabban haladó elemi vízhozamváltozás, míg a többi átvonulási ideje a $T_1 + \Delta T_1$ és a végtelen közé esik:

$$T_1 + \Delta T_1 \leq \tau_1 < +\infty.$$

Ilyen körülmények között tehát az érkezési szelvényben a

$$T_0 + \Delta T_0 \leq T < T_1 + \Delta T_1$$

időpontok között jelentkező vízhozamváltozások mind a dQ_{00} vízhozamváltozás elemi részeitől tevődnek össze, míg a $T_1 + \Delta T_1$ időpont utáni vízhozamváltozások épp úgy származhatnak a dQ_{00} mint a dQ_{01} változásból.



3. ábra. A folyásirányú, azonosan összetett, pozitív vízhozamhullám levonulásának jellemző adatai

Az indulási szelvény T_0 időpontban bekövetkező dQ_{00} és a T_1 időpontban jelentkező, azonos értelmű dQ_{01} vízhozamváltozásának eredményeként tehát az érkezési szelvénybe a két egymásutáni vízhozamváltozás elemi összetevőiből adódó (s bizonyos feltételeknek eleget tevő) keverék érkezik.

Az elemi vízhozamváltozások keveredése azonban természetesen maga után vonja az azokhoz tartozó átvonulási idők keveredését is.

Más szóval: az adott feltételek mellett az átvonulási idők új eloszlása a korábbi két eloszlás keveréke lesz [11., 239. o.].

Mindez természetesen éppen úgy igaz akkor is, ha egymásután nem két, hanem több, egyértelmű, akár tetszőleges kicsiny, hirtelen vízhozamváltozás jelentkezik az indulási szelvényben.

Ha most még ehhez a tényhez hozzávesszük azt a két logikusnak tűnő feltevést is, hogy

1. egy adott T_A időpontban az érkezési szelvény $Q_L(t_A)$ vízhozamában az indulási szelvénytől egymásután elinduló $dQ_0(T)$ vízhozamváltozások elemi részei, s így a T_A időpontban észlelt átvonulási idők is a

$$\frac{dQ_0(T)}{Q_0(T^*)}$$

viszony számnak megfelelő módon keverednek, hol

$$T \leq T^*, \text{ továbbá}$$

T^* azon $T = T_j$ idők legnagyobbika, melyekre igaz a $T_j + \Delta T_j = T_A$ összefüggés, azaz:

$$T^* = \text{sup } T_j, \text{ ha } T_j + \Delta T_j \leq T_A, \text{ és } Q_0(T^*) \text{ a } T_0 \leq T < T^*$$

időpontok között bekövetkező teljes vízhozamváltozás (3. ábra);

2. a $Q_0(T)$ függvény

a) korlátos (vízhozamváltozás csak bizonyos korlátok között lehet séges),

b) monoton nem csökkenő (a vízhozamváltozás folyamata egyirányú),

c) véges időszakban csak végezzámú pontban rendelkezik szakadással (véges időszakban csak véges számmal fordul elő véges nagyságú hirtelen vízhozamváltozás), s

d) $Q_0(T - 0) = 0$ és $Q_0(T + 0) < 0$, ha $T = T_0 = 0$ és $\Delta T \rightarrow 0$, de $\Delta T \neq 0$ (az indulási szelvényben a T_0 időpontban következik be a permanens állapot megbontása);* úgy a valószínűségi számítás megfelelő tétele értelmében [11., 247. o.] a keverékeloszlás keresett eloszlásfüggvényét az

$$F(t) = \mathbf{P}(\tau < t) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(t, T) \frac{dQ_0(T)}{Q_0(T^*)} \quad (42)$$

Stieltjes integrál [11., 244. o.] szolgáltatja.

*

Vizsgáljuk most meg részletesebben az előbbi integrál értelmezését.

Kezdjük a t vizsgálatával. Az egyszerű hullámok levonulásának vizsgálatánál, az átvonulási idő eloszlásfüggvényének meghatározásával kapcsolat-

* A $Q_0(T-0)$, illetve a $Q_0(T+0)$ a $Q_0(T)$ függvény T pontbeli balról, illetve jobbról vett határértékét szimbolizálja.

ban már láttuk, hogy az eloszlásfüggvény θ pontja ebben az egyszerű esetben a $T_0 + \Delta T_0 (T_0 = \theta)$ időponttal lesz azonos, s így (3) összefüggés szerint

$$t = T - \Delta T_0 \cdot \quad (43)$$

Nyilvánvaló azonban, hogy ezen a helyzeten mitsem változtat az, ha a dQ_{00} vízhozamváltozás után később újabb vízhozamváltozás következik, s így a t definíciója az összetett hullámoknál is változatlan marad.

Lássuk ezek után a $Q_0(T^*)$ tagot. Az 1. feltevésekből következik, de a 3. ábrát szemügyre véve egyszerű szemlélet alapján is könnyen belátható, hogy az érkezési szelvényen a $T, (T = T_A)$ időpontig áthaladó elemi vízhozamváltozások átvonulási idejének szempontjából a $Q_0(T^*)$ állandó értéknek számít. A folyamat fizikai oldaláról nézve a kérdést: ez az a vízhozamváltozás, melyhez az érkezési szelvény vízhozamváltozása konvergál akkor, ha az indulási szelvény vízhozama a T^* időpontban a $Q + Q_0(T^*)$ értékkel állandósul.

Így tehát

$$F(t) = \frac{1}{Q_0(T^*)} \int_{-\infty}^{+\infty} F(t, T) \cdot dQ_0(T) \cdot \quad (44)$$

Térjünk át az integrálási határookra. A (44) összefüggés értelmében a keverék eloszlás eloszlásfüggvényét meghatározó integrál csak olyan időközökre ad zérustól különböző értéket, melyeken belül változik az indulási szelvény vízhozama. Ugyanakkor a 2d) feltevés értelmében a $(-\infty, \theta)$ intervallumban vízhozamváltozás nem lehet, s éppen a megelőző fejtt getések során mutatunk rá arra, hogy az indulási szelvény $T = T^*$ időpont után bekövetkező vízhozamváltozásai nem befolyásolhatják az érkezési szelvény $t(t = t_A)$ időpontig bekövetkező vízhozamváltozásait. Így tehát a (44) képlet integrálját célszerű felbontani a következő módon:

$$F(t) = \frac{1}{Q_0(T^*)} \int_{-\infty}^0 F(t, T) \cdot dQ_0(T) + \frac{1}{Q_0(T^*)} \int_0^{T^*} F(t, T) \cdot dQ_0(T) + \frac{1}{Q_0(T^*)} \int_{T^*}^{+\infty} F(t, T) \cdot dQ_0(T) \cdot \quad (45)$$

hol az első és az utolsó integrál értéke zérust ad, vagyis

$$F(t) = \frac{1}{Q_0(T^*)} \int_0^{T^*} F(t, T) \cdot dQ_0(T) \cdot \quad (46)$$

Így a keverék eloszlás eloszlásfüggvényének meghatározásánál utolsó lépésként már csak az $F(t, T)$ eloszlásfüggvény megállapítása marad hátra.

Ezzel kapcsolatban célszerű kiindulni abból a tényből, hogy a (46) képlet nyilvánvaló módon a (9) összefüggés általánosításának tekinthető, vagy más-képpen fogalmazva: a (9) képlet a (46) összefüggésnek azt a különleges esetét szolgáltatja, melynél a vizsgált szakaszon egy olyan egyszerű hullám vonul

végig, melyet a $T_0 = 0$ időpontban az indulási szelvényben jelentkező $dQ_{00} = Q_0$ vízhozamváltozás hoz létre. Így a *Stieltjes* integrálra vonatkozó műveleti szabályok értelmében a fenti feltételek mellett a (46) összefüggés integrálja az

$$F(t) = \frac{1}{Q_0} F(t, 0) \cdot Q_0 = F(t, 0) \quad (47)$$

alakra egyszerűsödik, melyet a (9) képlettel összehasonlítva azonnal adódik a

$$F(t, 0) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (48)$$

összefüggés.

Ebből, mint alábból kiindulva jogosnak látszik a feltevés, hogy az eloszlásfüggvény típusa abban az esetben is exponenciális függvény marad, ha az indulási szelvényben a $T = T_i$ időpontban bekövetkező $dQ_0(T)$ vízhozamváltozást már több, hasonló értelmű vízhozamváltozás előzte meg, csupán a λ értéke változik meg valamilyen $\lambda = \lambda_T$ -re, s a t értéke helyébe kerül valamilyen $t = t_T$ érték:

$$F(t, T) = 1 - e^{-\lambda_T t} \quad (49)$$

Kérdés, hogyan határozzuk meg a λ_T és a t_T értékét?

Kezdjük a t_T értékkel:

A (46) összefüggés levezetése során rámutattunk már arra, hogy a $T = T_0 = 0$ időpontban jelentkező hirtelen vízhozamváltozásból származó leggyorsabban haladó elemi vízhozamváltozás ΔT_0 idővel eltolva érkezik az észlelési szelvénybe, s hogy minden további $T = T_i$ időpontban bekövetkező vízhozamváltozásnál is hasonló a helyzet, csak a ΔT_0 helyett valami más, ΔT_i idő szükséges a leggyorsabban haladó hatás megérkezéséhez.

Másképpen fogalmazva: a T_i időpontban jelentkező vízhozamváltozás-hoz tartozó eloszlásfüggvény „0” pontja nem a $T = T_0 + \Delta T_0$, hanem a $T = T_i + \Delta T_i$ időpontban lesz, s így az utóbbi helyzetét a 3. ábra jelölései szerint a következő egyenlőség határozza meg:

$$\Delta T_0 + t_i = T_i + \Delta T_i, \quad (50)$$

ahonnan

$$t_i = T_i + \Delta T_i - \Delta T_0 \quad (51)$$

és

$$\Delta T_i = \frac{L}{v_{0T}}, \quad (52)$$

ahol (az eddigi jelölések mellett) v_{0T} magától értetődő módon az indulási szelvénytől a $T = T_i$ időpontban elinduló és az érkezési szelvénybe befutó lökeshullám átlagos sebességét jelöli.

Ha tehát — mint láttuk — a t kezdőpontját az érkezési szelvényben jelentkező valamennyi vízhozam-hullámra azonosan a t_0 időpontban jelöljük meg, akkor

$$t_T = t - t_i = t - T_i - \Delta T_i + \Delta T_0, \quad (53)$$

illetve ha most már a T_i értékét futó koordinátapontként kezeljük:

$$t_T = t - T - \Delta T + \Delta T_0, \quad (54)$$

s így

$$F(t, T) = 1 - e^{-\lambda_T(t - T - \Delta T + \Delta T_0)}. \quad (55)$$

A t_T értéknek meghatározása után hátra van még a λ_T értelmezése. Nem okoz azonban különösebb nehézséget ennek a meghatározása sem, ha a (22) képlet levezetése során elmondottakat szem előtt tartva *feltételezzük*, hogy a $0 \leq T < T^*$ intervallumon belül az indulási szelvényben jelentkező valamilyen $dQ_0(T)$ vízhozamváltozás eredményeként létrejövő hullám az L szakaszon a Q és a $Q + Q_0(T^*)$ vízhozamnak megfelelő permanens szintek közötti V tározótérfogatból a $[Q + Q_0(T)]$ és a $[Q + Q_0(T) + dQ_0(T)]$ vízhozamoknak megfelelő permanens szintek közötti V_T tározótérfogatot tölti fel. (Ez a térfogat, melyet a szakaszos vízhozamváltozás esetét bemutató 3. ábrán dQ_{0i} vízhozamváltozásnak megfelelő, sraffozással jelölt V_i terület ábrázol.) Ilyen körülmények között ugyanis a (25) képlethez teljesen hasonlóan a λ_T értéke is meghatározható a

$$\lambda_T = \frac{v_{0T} \cdot dQ_0(T)}{V_T \cdot v_{0T} - L \cdot dQ_0(T)} \quad (56)$$

képlet alapján.

*

Az előzőekben elmondottak szerint, az (55) képletet figyelembe véve a (44) képlet végleges formája tehát ez lesz:

$$F(t) = \frac{1}{Q_0(T^*)} \int_0^{T^*} [1 - e^{-\lambda_T(t-T-\Delta T+\Delta T_0)}] \cdot dQ_0(T), \quad (57)$$

hol a λ_T értékét az (56) képlet definiálja.

Az eloszlásfüggvény alakjának és paramétereinek ismeretében nincs most már semmi akadálya sem annak, hogy a (3) képlet levezetése során alkalmazott gondolatmenetet szóról szóra megismételve, s figyelembe véve azt, hogy a t időpontban átvonuló vízhozamváltozások keveréke szempontjából a vízhozamváltozás lehetséges maximális értéke $Q_0(T^*)$, felírjuk a

$$Q_L(t) = Q_0(T^*) \cdot F(t) \quad (58)$$

összefüggést, majd ebbe az $F(t)$ értékét az (57) képletből behelyettesítve meghatározzuk az *érkezési szelvény t időpontbeli $Q_L(t)$ vízhozamát*:

$$Q_L(t) = \int_0^{T^*} [1 - e^{-\lambda_T(t-T-\Delta T+\Delta T_0)}] \cdot dQ_0(T), \quad (59)$$

ahol tehát a t , T , T^* , ΔT , ΔT_0 és $dQ_0(T)$ értékét a 3. ábra jelölései szerint (a T_A -t futó koordináta pontként tekintve) kell értelmezni, míg a λ_T értékét, ugyancsak a 3. ábra értelmezése szerint az (56) képlet határozza meg.

b) A „*vegyesen összetett*” hullámképek meghatározása, az $\varphi [Q_0(T)]$ operátor értelmezése

A kombinált hullámok levonulása során létrejövő hullámképek meghatározása érdekében célszerű, ha most az (59) összefüggést, valószínűségi alapjaitól eltekintve, csak mint egy adott szerkezetű képletet vizsgáljuk, s levonjuk annak a szerkezeti sajátosságából adódó következtetéseket.

Ilyen szemszögből elemezve összefüggésünket mindenekelőtt meg kell állapítanunk azt, hogy az lényegében egy olyan *függvénytranszformációt* értelmez, mely az előírt — s korábban részletezett — feltételek teljesülése esetén a $Q_0(T)$ függvényt a $Q_L(t)$ függvénybe képezi le.

Így a jelölések egyszerűsítése szempontjából indokoltnak látszik a következőkben az

$$\varphi [Q_0(T)] = \int_0^{T^*} [1 - e^{-\lambda_T(t-T-\Delta T+\Delta T_0)}] \cdot dQ_0(T) \quad (60)$$

Stieltjes integrállal értelmezett szimbólumot, mint *operátort* bevezetni, mely tehát abban az esetben, ha a $Q_0(T)$ függvény a $0 \leq T < T^*$ intervallumban *szaggatott*, az

$$\varphi [Q_0(T)] = \sum_{T_i < T^*} [1 - e^{-\lambda_T(t-T_i-\Delta T_i+\Delta T_0)}] \cdot [Q_0(T_i + 0) - Q_0(T_i - 0)], \quad (61)$$

míg ha a $Q_0(T)$ a $0 \leq T < T^*$ intervallumban mindenütt *differenciálható*, s ugyanott λ_T és ΔT folytonos, az

$$\varphi [Q_0(T)] = \int_0^{T^*} [1 - e^{-\lambda_T(t-T-\Delta T+\Delta T_0)}] \cdot q_0(T) \cdot dT, \quad (62)$$

$$q_0(T) = \frac{dQ_0(T)}{dT}$$

alakba megy át.

*

A (60) összefüggésben definiált operátor szimbólumot bevezetve, s ezt az (59) képletbe behelyettesítve felírható tehát, hogy

$$Q_L(t) = \varphi [Q_0(T)]. \quad (63)$$

Ezekután pedig lássuk az operátor két fontos sajátosságát:

1. *tétel:*

A $Q_0(T)$ függvényt a $0 \leq T < T^*$ intervallumban n darab T_i osztópont felvételével a

$$Q_{0i}(T), \begin{cases} Q_{0i}(T) = Q_0(T) - Q_0(T_i), & \text{ha } T_i \leq T < T_{i+1} \\ Q_{0i}(T) = 0, & \text{ha } T_i > T \geq T_{i+1} \end{cases}$$

függvények

$$Q_0(T) = \sum_{i=1}^n Q_{0i}(T)$$

összegére bontva a transzformált $\varphi [Q_0(T)]$ függvény azonos lesz a transzformált $\varphi [Q_{0i}(T)]$ függvények

$$\varphi [Q_0(T)] = \sum_{i=1}^n \varphi [Q_{0i}(T)] \quad (64)$$

összegével.

Bizonyítás:

Mivel a $T_i \leq T < T_{i+1}$ intervallumban $Q_0(T) = Q_0(T_i) + Q_{0i}(T)$, s így a $dQ_0(T) = dQ_{0i}(T)$, tehát

$$\begin{aligned} \varphi [Q_0(T)] &= \int_0^{T^*} [1 - e^{-\lambda_T(t-T-\Delta T+\Delta T_0)}] \cdot dQ_0(T) = \\ &= \sum_{i=1}^n \int_{T_i}^{T_{i+1}} [1 - e^{-\lambda_T(t-T-\Delta T+\Delta T_0)}] \cdot dQ_{0i}(T) = \sum_{i=1}^n \varphi [Q_{0i}(T)]. \end{aligned}$$

Megjegyzés

Az indulási szelvény egymás utáni vízhozamváltozásai által az érkezési szelvényben előidézett vízhozamváltozások tehát csupán annyiban függenek egymástól, amennyiben a λ_T és ΔT értékét a mindenkori mederteltség határozza meg, s e megkötés figyelembevételével az érkezési szelvény vízhozamváltozásai egymásra szuperponálódnak (3. ábra grafikonján a vékony eredményvonallal kihúzott görbe).

2. tétel:

Az érkezési szelvényben a vízhozamváltozás intenzitása (az áradás, vagy apadás sebessége) meghatározható a

$$\frac{dQ_L(t)}{dt} = \lambda_T \cdot Q_0(T^*) - \lambda_T \cdot \varphi [Q_0(T)] \quad (65)$$

összefüggéssel.

Bizonyítás:

Az integrál alatt a t szerinti differenciálás végrehajtható, s így

$$\begin{aligned} \frac{dQ_L(t)}{dt} &= \lambda_T \cdot \int_0^{T^*} e^{-\lambda_T(t-T-\Delta T+\Delta T_0)} \cdot dQ_0(T) = \\ &= -\lambda_T \cdot \int_0^{T^*} dQ_0(T) + \lambda_T \cdot \int_0^{T^*} e^{-\lambda_T(t-T-\Delta T+\Delta T_0)} \cdot dQ_0(T) + \lambda_T \int_0^{T^*} dQ_0(T) = \\ &= -\lambda_T \int_0^{T^*} [1 - e^{-\lambda_T(t-T-\Delta T+\Delta T_0)}] \cdot dQ_0(T) + \lambda_T \int_0^{T^*} dQ_0(T) \\ &Q_L(t) = \lambda_T Q_0(T^*) - \lambda_T \varphi [Q_0(T)]. \end{aligned}$$

*

Az φ operátorral értelmezett függvénytranszformáció két lényeges sajátosságának ismeretében térjünk most már rá a vegyesen összetett hullámok hullámképezésének meghatározására.

A vegyesen összetett hullámoknak az azonosan összetett hullámokkal szemben jellemző sajátosságuk az, hogy a $dQ_0(T)$ a $0 \leq T < T^*$ intervallumban előjelet vált, vagyis a $Q_0(T)$ függvény nem monoton nem csökkenő, s így nem teljesül az a feltevés, melyet a keverékeloszlások eloszlásfüggvényének meghatározhatósága érdekében tettünk.

Másoldalról viszont a (64) és a (65) képletből kiderül az is, hogy a φ transzformáció az azonosan összetett hullámok hullámképezés meghatározása során a $dQ_0(T)$ vízhozamváltozások eredményeként létrejövő hatásokat szuperponálja.

Igy logikusnak látszik az a feltevés, hogy az azonosan összetett pozitív és negatív hullámoknál egyaránt tapasztalható, s azonos szabályok szerint lejátszódó szuperpozíció ugyanolyan módon jelentkezik akkor is, ha az indulási szelvényben a pozitív és negatív vízhozamváltozások váltakozva jelentkeznek.

Ebből viszont már magától adódik az a következmény, hogy a (63) összefüggés minden további változtatás nélkül megadja a vegyesen összetett hullámok hullámképezés transzformálási szabályát is.

III. Az elmélet néhány gyakorlati alkalmazása

1. Az φ^* függvénytranszformáció

Mielőtt a következőkben rátérünk az eddigiek során vázolt elmélet kísérleti ellenőrzésével kapcsolatos vizsgálatok ismertetésére, néhány példa keretében nézzük meg azt, hogy milyen hullámképek adódnak az φ operátorral történő számítás során.

Tekintettel arra, hogy az φ transzformációnál a ΔT és λ_T értéke a vizsgált szakasz hidraulikai sajátosságaihoz igazodva a teltség függvényében különbözőképpen változhat, ezeknél a következő példáknál — amennyiben azonosan, vagy vegyesen összetett hullámok részletes elemzéséről lesz szó — induljunk ki abból az egyszerű esetből, melynél a vízhozamváltozások olyan tartományba esnek, illetve olyan körülmények között játszódnak le, hogy a lökéshullám v_0 sebessége, és az egységnyi vízhozamváltozásra eső $V_T/dQ_0(T)$ tározótérfogat állandó szám:

$$v_{0T} = v_0 = \text{konstans}, \quad \frac{V_T}{dQ_0(T)} = \frac{V}{dQ_0} = \text{konstans}. \quad (66)$$

Ilyen körülmények között tehát az (50), az (51) és az (52) képlet alapján, $\Delta T_i = \Delta T$ behelyettesítéssel:

$$\frac{L}{v_{0T}} = \Delta T = \frac{L}{v_0} = \Delta T_0,$$

tehát a II. 5. a) rész 1. feltevése, illetve a (3) összefüggés alapján

$$T^* = T - \Delta T_0 = t,$$

továbbá az (54) képletből

$$t_T = t - T$$

és az (56) egyenlőségéből

$$\lambda_T = \frac{1}{\frac{V}{dQ_0} - \frac{L}{v_0}} = \lambda = \text{konstans}.$$

Mindezt a (60) képletbe behelyettesítve:

$$Q_L(t) = \varphi * [Q_0(T)] = \int_0^t [1 - e^{-\lambda(t-T)}] \cdot dQ_0(T). \quad (67)$$

Lássuk most az $\varphi *$ transzformáció három igen lényeges tulajdonságát:

1. *tétel:*

Ha a $Q_0(T)$ függvény felbontható n darab $c_i \cdot Q_{0i}(T)$ függvény

$$Q_0(T) = \sum_{i=1}^n c_i \cdot Q_{0i}(T) \quad (68)$$

lineáris kombinációjára, akkor az $\varphi * [Q_0(T)]$ transzformált függvény is egyenlő az $\varphi * [c_i \cdot Q_{0i}(T)]$ transzformált függvények hasonló lineáris kombinációjával:

$$\varphi * \left[\sum_{i=1}^n c_i \cdot Q_{0i}(T) \right] = \sum_{i=1}^n c_i \cdot \varphi * [Q_{0i}(T)]. \quad (69)$$

Bizonyítás:

$$\begin{aligned} \varphi * [Q_0(T)] &= \varphi * \sum_{i=1}^n c_i \cdot Q_{0i}(T) = \int_0^t \sum_{i=1}^n [1 - e^{-\lambda(t-T)}] c_i \cdot dQ_{0i}(T) = \\ &= \sum_{i=1}^n c_i \cdot \int_0^t [1 - e^{-\lambda(t-T)}] \cdot dQ_{0i}(T) = \sum_{i=1}^n c_i \varphi * [Q_{0i}(T)]. \end{aligned}$$

2. *tétel*

Ha a $Q_0(T)$ a $0 \leq T < t$ intervallumban folytonos és differenciálható függvény, akkor a $Q_L(t)$ függvény előállítható a

$$g_1(t) = 1 - e^{-\lambda t} \text{ és } g_2(t) = \frac{dQ_0(T)}{dT} = Q'_0(T)$$

függvény úgynevezett konvolúciójaként:

$$\int_0^t (1 - e^{-\lambda(t-T)}) \cdot Q'_0(T) \cdot dT = g_1(t) * g_2(t). \quad (70)$$

Bizonyítás:

A konvolúció definíciója értelmében [12., 42. o.]:

$$g_1(t) * g_2(t) = \int_0^t g_1(t - T) \cdot g_2(T) \cdot dT,$$

s így a $g_1(t)$ és a $g_2(t)$ értékeit behelyettesítve valóban a (70) összefüggést kapjuk.

3. *tétel*

A 2. tételben lerögzített feltételek mellett az $\varphi *$ operátorral történő számítás elvégezhető a Laplace transzformáció segítségével is a

$$\mathcal{L}[g_1(t) * g_2(t)] = \mathcal{L}[g_1(t)] \cdot \mathcal{L}[g_2(t)] \quad (71)$$

összefüggés felhasználásával, hol \mathcal{L} a Laplace transzformáció műveletét jelölő szimbólum.

Megjegyzés:

A tétel különösebb bizonyításra nem szorul, hiszen a (71) összefüggés azonos a konvolúciók Laplace transzformálására vonatkozó ismert matematikai szabállyal [12., 42. o.].

2. Példák a vegyesen összetett hullámok levonulásának számítására

a) Két egymást követő, pozitív és negatív egyszerű magányos hullám levonulása
Jellemezze az indulási szelvény vízhozamváltozását a következő függvénykapcsolat:

$$\begin{aligned} Q_0(T) &= Q_0 & \text{ha } T &= T_1, \\ Q_0(T) &= Q_0 - c \cdot Q_0, & \text{ha } T &= T_2, \\ Q_0(T) &= 0, & \text{ha } T &\neq T_1 \neq T_2. \end{aligned}$$

legyen

$$Q_0 = 1 \text{ m}^3/\text{s}, T_1 = 1,50 \text{ óra}, T_2 = 5,16 \text{ óra},$$

s legyen a vizsgált szakaszra jellemző a

$$\Delta T_0 = 1 \text{ óra}, t_k = 4 \text{ óra}, \text{ vagyis } \lambda = 1/4 = 0,25 \text{ érték.}$$

Figyelembe véve a (67) és a (69) összefüggést, a vizsgált érkezési szelvény vízhozama tehát így alakul (4. ábra):

$$Q_L(t) = \varphi * [Q_0(T)] = \begin{cases} 0, & \text{ha } t < T_1, \\ Q_0[1 - e^{-\lambda(t-T_1)}] & \text{ha } T_1 \leq t < T_2, \\ Q_0[1 - e^{-\lambda(t-T_1)}] - c \cdot Q_0[1 - e^{-\lambda(t-T_2)}] & \text{ha } T_2 \leq t. \end{cases}$$

$$\text{és } \lambda = 0,25, T_1 = 1,50, T_2 = 5,16, Q_0 = 1,00.$$

Vizsgáljuk most meg, hogy a $T_2 < t$ intervallumban a c értéktől függően hogyan alakul $Q_L(t)$ értéke. Első lépésként nézzük meg, lehetséges-e az, hogy a $t = T_2$ időpont után a vízhozam egy adott értéken állandósuljon, vagyis, hogy

$$Q_L(t) = Q_0 \cdot [1 - e^{-\lambda(t-T_1)}] - c \cdot Q_0 [1 - e^{-\lambda(t-T_2)}] \text{ konstans legyen,}$$

illetve, hogy

$$Q_0 \cdot [1 - c - e^{-\lambda(t-T_1)} + c \cdot e^{-\lambda(t-T_2)}] = \text{konstans, ha } T_2 \leq t.$$

Ez az utóbbi kikötés tehát valóban teljesülhet akkor, ha

$$e^{-\lambda(t-T_1)} = c \cdot e^{-\lambda(t-T_2)},$$

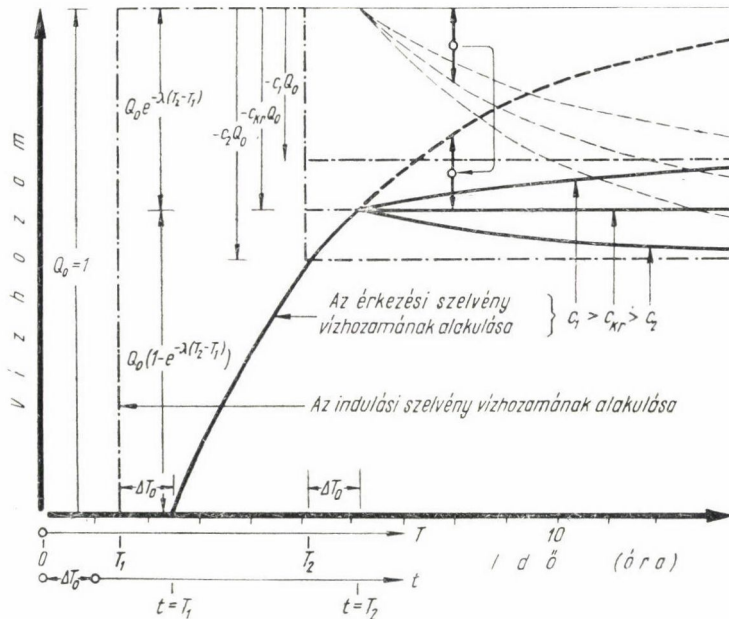
azaz

$$c = c_{kr} = \frac{e^{-\lambda(t-T_1)}}{e^{-\lambda(t-T_2)}} = e^{-\lambda(T_2-T_1)} = \frac{Q_0 - Q_L(T_2)}{Q_0}.$$

Vagyis, ha a Q_0 hirtelen vízhozamváltozásból adódó egyszerű pozitív hullám emelkedő ágára az érkezési szelvényben egy másik, $-c_{kr} \cdot Q_0$ nagyságú hirtelen vízhozamváltozásból származó egyszerű negatív hullám úgy superponálódik, hogy megérkezésének t_0 időpontjában az első hullámból adódó további vízhozamnövekedés lehetséges legnagyobb értéke megegyezik a negatív hullámból származó lehetséges legnagyobb vízhozamcsökkenéssel:

$$Q_0 - Q_L(t_0) = c_{kr} \cdot Q_0,$$

akkor az észlelési szelvényben a t_0 időponttól kezdve a vízhozam $Q_L(t_0)$ értékkel állandósul.



1. ábra. Két egymást követő pozitív és negatív egyszerű vízhozam-hullám levonulása

Vagy a következtetést általánosítva (4. ábra):

ha egy egyszerű pozitív hullámra t_0 időponttól kezdve egy egyszerű negatív hullám superponálódik, akkor a $t \geq t_0$ intervallumban

$$\left. \begin{array}{l} \text{A vízhozam tovább növekszik,} \\ \text{a vízhozam állandósul,} \\ \text{a vízhozam csökkeni kezd,} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{ha } c < c_{kr} \\ \text{ha } c = c_{kr} \\ \text{ha } c > c_{kr} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{A vízhozam tovább növekszik,} \\ \text{a vízhozam állandósul,} \\ \text{a vízhozam csökkeni kezd,} \end{array}} \right\} c_{kr} = \frac{Q_0 - Q_L(t_0)}{Q_0}$$

Könnyen belátható, hogy teljesen hasonló törvényszerűség jellemzi a vízhozamok levonulását akkor is, ha a pozitív és negatív hullám sorrendje felcserélődik.

b) Két egymást követő, s az indulási szelvényben lineáris vízhozamváltozást okozó pozitív és negatív vízhozamváltozási hullám levonulása

Jellemezze az indulási szelvény vízhozamváltozását a következő függvénykapcsolat:

$$Q_0(T) = Q_0 \frac{T - T_1}{T_2 - T_1}, \text{ ha } T_1 \leq T < T_2;$$

$$Q_0(T) = Q_0 \cdot \left(1 - \frac{T - T_2}{T_3 - T_2}\right), \text{ ha } T_2 \leq T < T_3,$$

$$Q_0(T) = 0, \text{ ha } T < T_1 \text{ és } T \geq T_3.$$

Legyen

$$Q_0 = 1 \text{ m}^3/\text{s}, T_1 = 2 \text{ óra}, T_2 = 5 \text{ óra}, T_3 = 8 \text{ óra}$$

s legyen a vizsgált szakaszra jellemző a

$$\Delta T_v = 1 \text{ óra és } t_k = 3 \text{ óra, vagyis } \lambda = 1/3 = 0,33 \text{ érték.}$$

A $Q_L(t)$ függvény meghatározásánál használjuk fel azt a körülményt hogy a $Q_0(T)$ függvény előállítható két más függvény lineáris kombinációja ként a következő módon:

$$Q_0(T) = Q_{01}(T) + Q_{02}(T),$$

hol

$$Q_{01}(T) = 0, \text{ ha } T < T_1 \quad Q_{02}(T) = 0, \text{ ha } T < T_2$$

$$Q_{01}(T) = Q_0 \frac{T - T_1}{T_2 - T_1}, \text{ ha } T_1 \leq T < T_2 \text{ és } Q_{02}(T) = -Q_0 \frac{T - T_2}{T_3 - T_2}, \text{ ha } T_2 \leq T < T_3$$

$$Q_{01}(T) = Q_0, \text{ ha } T \geq T_2 \quad Q_{02}(T) = -Q_0, \text{ ha } T \geq T_3.$$

Így a (67) és a (69) összefüggés értelmében

$$Q_L(t) = Q_{L1}(t) + Q_{L2}(t) = \varphi * [Q_{01}(T)] + \varphi * [Q_{02}(T)],$$

vagyis a keresett végeredményt a $Q_{01}(T)$ és a $Q_{02}(T)$ függvény transzformációjának összege adja.

A transzformációt igen megkönnyíti továbbá az a körülmény is, hogy a $T_2 - T_1 = T_3 - T_2$ egyenlőség következtében *esetünkben* a két transzformált függvény csupán az előjelben, illetve a $T_1 \neq T_2$ kapcsán a $Q_L(t) = 0$ pont helyében különbözik.

Így célszerűnek látszik mindenekelőtt tisztázni azt, hogy az indulási szelvényben a $T_i (= T_1)$ és $T_j (= T_2)$ időpontok között lineárisan 0-ról Q_0 -ra növekvő vízhozamváltozás milyen hullámképet eredményez az érkezési szelvényben.

Mivel a $Q_0(T)$ függvény a (T_i, T_j) intervallum belsejében differenciálható, a transzformált függvény meghatározására a (67) összefüggés

$$Q_L(t) = \int_0^t [1 - e^{-\lambda(t-T)}] \cdot \frac{dQ_0(T)}{dT} \cdot dT$$

alakját kell alkalmaznunk, mely természetesen a

$$Q_0(T) = Q_0 \frac{T - T_i}{T_j - T_i}$$

összefüggés következtében

$$\frac{dQ_0(T)}{dT} = \frac{Q_0}{T_j - T_i}$$

miatt a

$$Q_L(t) = \frac{Q_0}{T_j - T_i} \cdot \int_0^t (1 - e^{-\lambda(t-T)}) dT$$

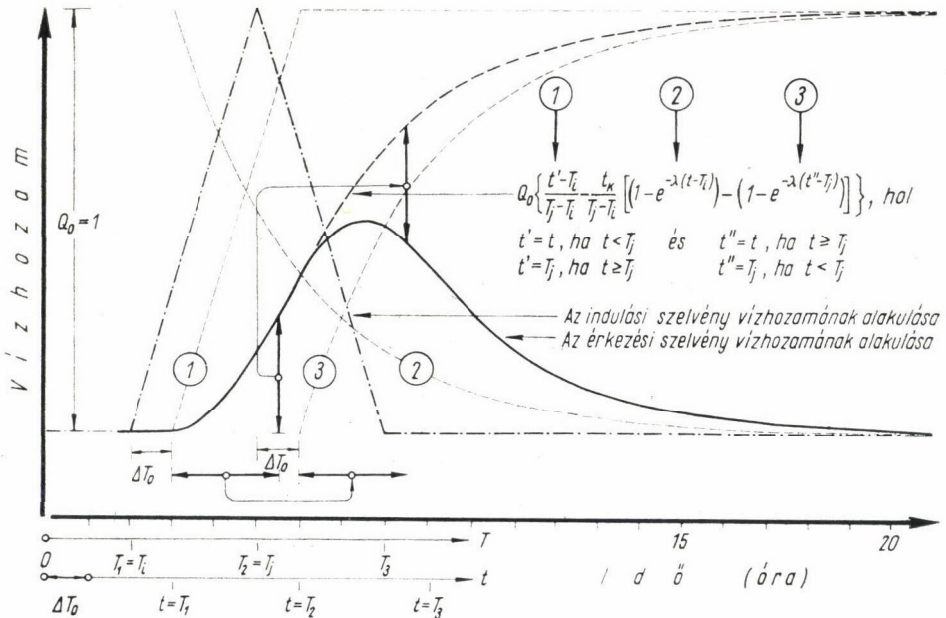
alakba megy át. Innen az integrálás elvégzése, a megfelelő határok behelyettesítése és a szükséges összevonások elvégzése után:

$$Q_L(t) = Q_0 \left\{ \frac{t' - T_i}{T_j - T_i} - \frac{t_k}{T_j - T_i} [(1 - e^{-\lambda(t-T)}) - (1 - e^{-\lambda(t''-T_i)})] \right\},$$

hol

$$\begin{aligned} t' = t, & \text{ ha } t < T_j & \text{ és } t'' = t, & \text{ ha } t \geq T_j \\ t' = T_j, & \text{ ha } t \geq T_j & t'' = T_j, & \text{ ha } t < T_j \end{aligned}$$

----- (5. ábra)



5. ábra. Két egymást követő, s az indulási szelvényben lineáris vízhozamváltozást okozó pozitív és negatív vízhozam-hullám levonulása

Talán nem felesleges rámutatni arra, hogy ennek a viszonylag bonyolult összefüggésnek az ábrázolását igen megkönnyíti, hogy az — az 5. ábra jelöléseit figyelembe véve — egy Q_0 — szorosra nyújtott egyenes és két egymás tükörképeként előállítható

$$\frac{Q_0 \cdot t_k}{T_j - T_i} - \text{szeresen torzított}$$

s az egyszerű hullámok vizsgálatánál már jól ismert (vékony szaggatott vonallal ábrázolt) függvény szuperponálásaként, szerkesztéssel határozható meg.

Az így kapott összefüggés birtokában nem jelent most már semmi nehézséget a vegyesen összetett hullámkép meghatározása, megszerkesztése sem. Ehhez ugyanis nem kell mást tennünk, mint a $t = T_1$ pontból kiinduló görbét a $t = T_2$ pontba eltolnunk, s az így nyert új görbe függvényértékeit az eredeti függvény függvényértékeiből levonnunk (5. ábra, vastag nyilakkal jelölt művelet).

A végeredményt az 5. ábra vastag folytonos vonallal kihúzott görbéje ábrázolja.

Összehasonlítva végül az indulási és az érkezési szelvény vízhozam időgörbéjét, megállapítható, hogy az mindenben megfelel a klasszikus hidraulika szemléletének, ugyanis:

1. a tetőző vízhozamérték úgy lapul el, hogy a vízhozamidősor mindenhol differenciálható görbévé válik,
2. az áradás hevessege nagyobb, mint az apadásé,
3. az érkezési szelvény vízhozama az eredeti értékre elméletileg csak végtelen, gyakorlatilag csak igen hosszú idő elteltével áll be.

c) *A szivárgás hatása a vízáteresztő mederben levonuló hullámok hullámképének alakulására*

A gyakorlati eseteket szem előtt tartva vizsgáljuk meg, hogy a szivárgás miképpen módosítja a vízáteresztő mederben levonuló vízhozam-hullámok képét.

Célszerű módon, az alapesetből kiindulva foglalkozzunk először az egyszerű hullámokkal.

A vízhozamváltozás irányától függően itt két lehetőség merült fel; az, amikor a Q_0 vízhozamváltozás pozitív és az amikor az negatív.

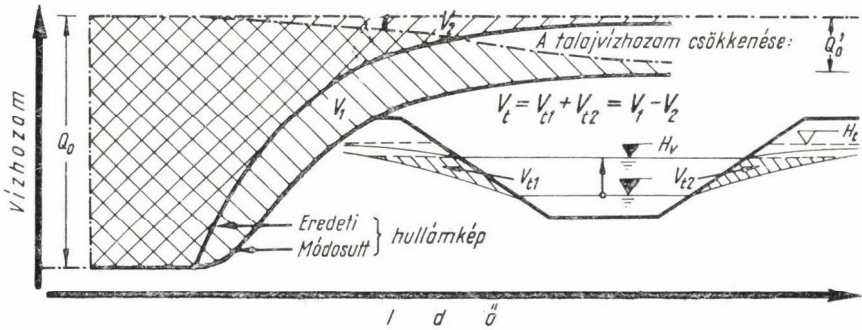
*

A pozitív vízhozamváltozás jellemzője az, hogy a mederben a víz megemelkedik, s így a vízfolyás szelvényeiben növekszik a felvízszín (H_v) és a környező, — s a ki-, vagy beszivárgó víztől már gyakorlatilag nem befolyásolt — „zavartalan” talajvízszintmagasság (H_t) közötti előjelhelyes

$$H_v - H_t$$

magasságkülönbség.

Következésképpen a két vízfelszín egymáshoz viszonyított helyzetétől függően, a vízhozamváltozás levonulásával egyidőben, a mederbe irányuló szivárgás is csökken, megszűnik, esetleg átcsap az ellenkező értelmű szivárgásba, illetve (alacsony talajvízszint esetén) növekszik a vízfolyásból a talajba irányuló szivárgás intenzitása.



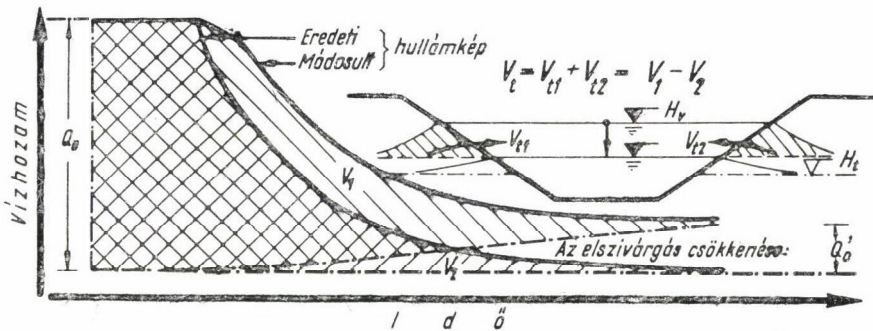
6. ábra. Az egyszerű pozitív vízhozam-hullám képének módosulása vízáteresztő meder esetén

Másképpen fogalmazva, s a vízfolyásból a talajba irányuló szivárgási intenzitást pozitívnek felvéve: áteresztő medernél a vízfolyás és a környező talaj közötti vízeserét jellemző Q_s szivárgási intenzitás a Q_0 vízhozamváltozás előtti Q_{s1} értékről a vízhozamváltozás folyamatának lejátszódása után a Q_{s2} értéke növekszik, vagyis a kettő előjelhelyes különbsége

$$Q_{s2} - Q_{s1} > 0.$$

Ez azonban csak úgy állhat elő, ha ezzel egyidőben (a 6. ábrán V_t -vel jelölt értékkel) növekszik a talajban tározódott vízmennyiség is.

A szakaszba belépő vízmennyiség egy része tehát hirtelen meginduló intenzívebb szivárgással először kitölti a korábban kialakult és az új permanens szivárgási felület közötti térfogatot, vagy annak meghatározott részét,



7. ábra. Az egyszerű negatív vízhozam-hullám képének módosulása vízáteresztő mederben

majd a végleges vízszintek egymáshoz viszonyított helyzetétől függően — fokozatosan beáll az új szivárgási állapot.

Kérdés, hogy az előzőekben vázolt folyamat miképpen befolyásolja a hullámkép kialakulását? Ebből a szempontból három lényeges körülményt kell tekintetbe venni. Az egyik az, hogy az új permanens szint beállta előtt a Q_0 vízhozamnak nem csak a csatorna megfelelő tározóterét kell kitöltenie, hanem fel kell töltenie az eddigiek során V_i -vel jelölt szabad hézagterefogatot is. A második az, hogy ez a feltöltődési folyamat a csatorna vízállásának és a talajvízszin kialakuló esésviszonyainak függvénye, s így intenzitása a zérus értékről kiindulva először fokozatosan növekszik, majd ismét zérusra csökken. Végül a harmadik figyelemre méltó körülmény, hogy a csatorna felé irányuló szivárgási intenzitás csökkenése miatt a Q_0 vízhozam egy Q'_0 része ennek pótlására használódik fel, s így az érkező szelvény új permanens vízhozama kevesebb lesz, mint a korábbi permanens vízhozam Q_0 -al növelt értéke.

Mindezek következtében a szivárgás hatására a hullámképnek az időtengely pozitív irányában el kell tolnódnia oly módon, hogy a $t = 0$ pont helyén marad, az ez utáni szakasz felülről homorúvá válik, s egyúttal a görbe végértékjének magassága Q_0 -ról $Q_0 - Q'_0$ -re csökken.

Ilyen folyamatok eredményeként deformálódik tehát az eredeti egyszerű exponenciális görbe oly módon, hogy az eredeti és a módosult hullámkép által közrezárt (a 6. ábrán kétféle irányú dőléssel sraffozott), s a feltöltött terfogatokkal arányos területek különbsége a V_i térfogattal lesz arányos.

*

Az előjelek felcserélésével az előzőekben összefoglaltakat szóról szóra meg lehet ismételni a negatív, egyszerű hullámok esetében is: s így a hullámkép ebben az esetben a 7. ábrán bemutatott módon deformálódik.

Végül, tekintettel arra, hogy bármely hullám felbontható egyszerű magános hullámok összegére, általános fogalmazásban is megállapíthatjuk azt, hogy az áteresztő anyagú mederben lejátszódó hullámjelenségek az átneresztő anyagú mederben lejátszódó hasonló jelenségekhez képest — a talajvízszint helyzetétől és az áteresztőképességi együtthatótól függően — lelassulnak, s a szivárgás hatására csökken a hullámhegyek és a hullámvölgyek közötti vízhozamkülönbség.

d) A felvízszinttartás hatása a hullámképek alakulására

A felülről vezérelt öntözővízelosztó rendszereknél [13], de a folyami vízerőműveknél is, a vízfolyást, vagy mesterséges medret zsilipekkel bögékre osztják, s a bögék alsó végénél levő zsilip felvívét állandó szinten tartják. Fontos gyakorlati kérdés tehát az, hogy miképpen befolyásolja a vázolt vízszinttartási rendszer az árhullámok levonulását.

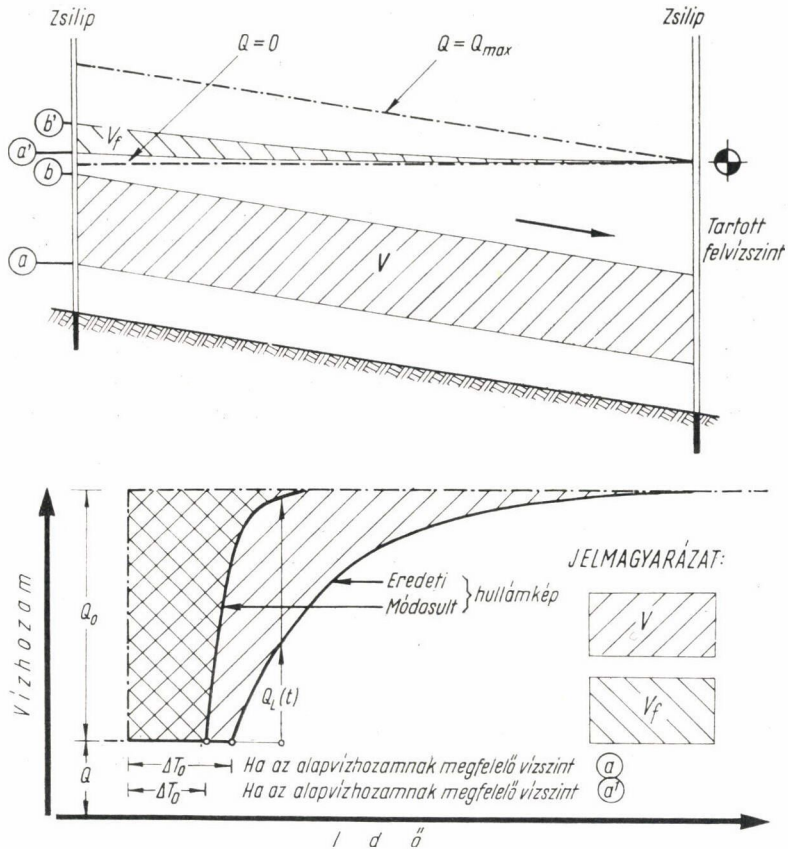
Az előző példánál követett úton haladva kezdjük vizsgálatainkat most is az alapesetnek tekinthető egyszerű hullámokkal, s ezután vonjuk le az általános következtetéseket.

Az egyszerű hullám képeinek elnyúlt, vagy kevésbé elnyúlt alakja a (3), (9), (10) és (24) képlet értelmében — egyébként állandó körülmények között — a lökéshullám v_0 sebességétől és a tározódó V vízmennyiségétől

függ. Minél nagyobb a v_0 és minél kisebb a V értéke, annál kisebb az átlagos átvonulási idő, annál gyorsabban zajlik le az árhullám levonulása.

Vegyük tehát sorra az egyes tényezőket.

Ami a v_0 értékét illeti, az a jó közelítésnek tekinthető (31) összefüggés szerint elsősorban a szelvény közép mélységétől függ, s azzal gyökösen arányos. Így a felvízszinttartásnál, melynél — mint ahogy azt a 8. ábra is mu-



8. ábra. Az egyszerű pozitív hullám képének módosulása felvízszinttartás esetén

tatja — a vízmélység (a Q_{max} -hoz tartozó vízmélységek kivételével) mindenkor növekszik, a lökeshullámok levonulási sebessége megnövekszik.

Áttérve az árhullámok levonulását befolyásoló másik tényezőre: a felvízszinttartás következtében a kezdeti és véghelyzetre jellemző korábbi, permanens állandó vízmozgásnak megfelelő, s prizmatikus meder esetén egymással párhuzamos vízszintek olyan duzzasztási görbébe mennek át, melyek a bőge alsó végén egy pontban találkoznak (8. ábra).

Nem szükséges külön bizonyítani azt, hogy a korábbi V térfogat helyett ilyen módon előálló V_f térfogat az előbbinél lényegesen kisebb.

A felvízszinttartás tehát a maximális vízhozam átfolyásakor kialakuló körülményektől eltekintve *megnöveli a lökéshullám sebességét és csökkenti a tározódó vízmennyiséget*. Mindezek hatására pedig csökken az átlagos átvonulási idő, *meggyorsul a szakaszon a vízhozamváltozások levonulása*.

Nyilvánvaló, hogy a fenti következtetések igazak az összetett hullámok esetére is; azzal a megjegyzéssel, hogy az utóbbiaknál a fentiek következtében a felvízszinttartás maga után vonja a hullámhegyek ellapulásának csökkenését is.

IV. Kísérleti eredmények

1. A kísérletek célja

a) Általános célkitűzés

A II. részben összefoglalt elmélet kísérleti ellenőrzésének három tételt kell bizonyítani.

1. Igazolnia kell azt, hogy a hirtelen vízhozamváltozásból adódó (egyszerű) pozitív, illetve negatív, azonos értelmű vízhozam-hullámok időbeli változását helyesen írja le a (3), (9), és (25) képlet összevonásából adódó

$$Q_L(t) = Q_0(1 - e^{-\lambda t}); \quad \lambda = \frac{v_0 Q_0}{V \cdot v_0 - L \cdot Q_0}$$

összefüggés.

2. Igazolnia kell, hogy a (60) összefüggésben értelmezett

$$\varphi [Q_0(T)] = \int_0^{T^*} [1 - e^{-\lambda_T(t-T-\Delta T+\Delta T_0)}] dQ_0(T)$$

operátor az azonosan összetett vízhozam-hullámokat helyesen írja le.

3. Igazolnia kell, hogy az előbbieik szerinti φ operátor érvényes a vegyesen összetett hullámok esetére is.

b) Az ismertetendő kísérletek célja

Ismerve az elmélet felépítését, nyilvánvaló, hogy az előbb felsoroltak közül a leglényegesebb az 1. pontban összefoglalt törvényszerűség igazolása, hiszen ez az alap-összefüggés. Így csupán ennek teljesülése esetén kerülhet sor az φ operátorral meghatározható hullámképek ellenőrzésére.

De alátámasztják ezt a fontossági sorrendet a gyakorlati szempontok is. Igen sok hidraulikai feladat (mint például a felülről vezérelt öntözővízelosztó rendszerek fővízkivételénél a vízadagolás programozása, a vízerőművek csúcsrajáratásánál jelentkező néhány különleges kérdés) megoldható már ennek segítségével is.

Mindezt figyelembe véve került sor azokra a vizsgálatokra, melyeknek célja éppen a 1. pontban rögzített összefüggés kísérleti ellenőrzése volt; azzal a megfontolással, hogy a további, kiegészítő vizsgálatok elvégzése a következő év feladatai közé fog tartozni.

2. A kísérleti körülmények

a) A kísérlet megszervezésénél követelt szempontok

A kísérlet színhelye a K.IV. öntözőfűrt-főcsatorna volt (9. ábra).

Az itt folyó kísérletek végcélja azonban nemcsak a vázolt elmélet igazolása, hanem egyúttal mindazoknak a hidraulikai jellemzőknek a meghatározása is volt, amelyek, mint alapadatok, feltétlenül szükségesek voltak ahhoz, hogy a fűrt-főcsatorna üzemére vonatkozó műszaki és üzemszervezési módosításokra javaslatot lehessen tenni.

Ezért végül is többcélú, összetett kísérletsorozat megtervezésére és végrehajtására került sor.

A kísérletek lebonyolítását megnehezítette az is, hogy a kísérletek időpontjában a csatorna és az azt keresztező műtárgyak hidraulikai jellemzői ismeretlenek voltak. Ezekkel egyidőben folytak ugyanis azok a felvételek, melyek célja a főcsatorna keresztaszvényeinek, hossz-aszvényének részletes felvétele, a vízmércék „0” pontjának és az elhelyezett magassági fixpontok bemérése, s a műtárgyak felvétele volt.

Igy e kísérleteket úgy kellett elvégezni, hogy azok — a kísérlet végrehajtásánál az alapadatok hiányából fakadó nehézségek ellenére is — szervesen beilleszkedve a teljesen más irányú célok kielégítését is szolgáló kísérleti programba, ebből a szempontból is értékelhető eredményeket adjanak.

b) A csatorna hidraulikai viszonyainak jellemzése

A feldolgozási munka első lépése természetesen a geodéziai felvételek feldolgozása [14], majd ezek birtokában a különböző permanens vízhozamokhoz tartozó felszín görbék, az érdességi viszonyok, a szivárgási és csurgási veszteségek meghatározása [15] volt.

E munkálatok alapján a főcsatorna szempontunkból fontos hidraulikai jellemzői a következőkben foglalhatók össze:

A vizsgálatba bevont szakasz a 0+000 szelvényben levő egy nyílású táblás zsilip től a „fő vízkivétel től” a 19+584 szelvényben levő ugyancsak egy nyílású táblás zsilipig, a „túlfolyó-zsilipig” terjedt, mely után néhány száz méter hosszúságú, nagyobb esésű szakasz végén egy surrantón, a „túlfolyón”, keresztül hagyta el a víz a rendszert.

A főcsatorna 3+244, 7+308, 11+438 szelvényében egy-egy billenőtáblás bukó, „duzzasztó” van. A 13+001 szelvényben egy két nyílású táblás zsilip, a „tiszacsegei úti zsilip”, a 14+604 és a 15+922 szelvényben pedig egy-egy nyolc-nyílású csőáteresz keresztezi a csatornát.

A kísérlet során — a fővízkivétel kivételével — a főcsatornát keresztező valamennyi műtárgy teljesen nyitva volt.

A kísérlet során a fővízkivételen át belépő vízhozam 1,52–3,85 m³/s között változott.

Ilyen feltételek mellett a három billenőtáblás bukó legnagyobb duzzasztása csak néhány centiméter volt. Ugyanakkor a tiszacsegei úti zsilip és a két csőáteresz duzzasztó hatása a legnagyobb vízhozamoknál elérte a 8 cm-t is.

A túlfolyó zsilip vesztesége is nagyra adódott, de a felette levő szakaszon — az alacsony alvíz és a felhúzott zsiliptábla miatt — ennek ellenére is mindig leszívás volt tapasztalható.

Meg kell említeni még a csatornát keresztező két hidat is. Ezek közül az első az 1+709, a második a 8+646 szelvényben van. A legnagyobb vízhozamok levonulásakor ezeknél is lehetett néhány centiméter duzzasztást észlelni.

Az esésviszonyokat, a *Strickler—Manning*-féle sebességi tényezők értékét, a szakaszok maximális vízszállító képességét az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat

A K. IV. fűrt-főcsatorna egyes jellemző hidraulikai alapadatai

Szelvény		1 ‰	k	Q _{max} m ³ /s	Szelvény		1 ‰	k	Q _{max} m ³ /s
-tól	-ig				-tól	-ig			
0+000	1+479	0,063	60	6,76	11+438	13+001	0,110	56	4,86
1+479	2+500	0,063	60	4,96	13+001	14+604	0,170	43	4,77*
2+500	3+244	0,086	60	4,96	14+604	15+922	0,040	31	3,32*
3+244	5+500	0,081	50	4,86*	15+922	17+674	0,063	35	3,23*
5+500	7+308	0,118	50	4,86*	17+674	18+584	0,110	35	3,17*
7+308	9+409	0,119	50	4,86	18+584	19+523	0,110	35	3,12*
9+409	11+438	0,110	58	4,86					

* Rendszeres medertisztogatást feltételezve, a kísérleti körülményekről eltérő $k = 52$ értékkel számolva

A csatorna szelvénye közelítően parabola szelvény volt (10. ábra), s az egyes szakaszok átlagos hidraulikai sugara a legnagyobb kísérleti vízhozamok levonulásakor 0,88—1,14 m között ingadozott.

A csatorna mentén, elsősorban a 13+000 szelvény alatt, lényeges szivárgások és csurgások is jelentkeztek [15].

c) A kísérletek lebonyolítása

Az előzőekben összefoglalt szempontokat és a helyszíni bejárás során észlelhető körülményeket figyelembe véve a pozitív és negatív egyszerű hullámokat a következőképpen figyeltük meg:

A csatornába belépő és a belőle kilépő vízhozamokat a fővízkivétel és a túlfolyó hitelesítése útján, utólag kívántuk meghatározni.

A vízállások alakulását négy megfigyelési állomáson kísértük folyamatos figyelemmel: a fővízkivétel 0+091 szelvényben levő alvízi, továbbá a II. duzzasztó 7+288, a tiszacsegei úti zsilip 12+953 és a túlfolyó zsilip 19+495 szelvényben levő felvízi mércéjénél.

A fővízkivételnél a zsilipmozgatás előtt és után, továbbá reggel 6 órától általában este 20 óráig (a vízhozamváltozási hullámok levonulásának alakulásához igazodó esetenkénti intézkedés alapján) minden kerek órában, közvetlen mérce-leolvasással észlelték a vízállást. Ezen a helyen ugyanekkor, a vízhozam meghatározása érdekében, természetesen a felvízi vízállás leolvasása is megtörtént.

A másik három megfigyelési állomáson 1 : 5 áttételű, 24 óra alatt körülforduló rajzoló vízmérce regisztrálta a vízállások folyamatos alakulását.

Emellett, a fővízkivétellel azonos időpontban, közvetlen mérce-leolvasással is észlelték a vízállást, s ugyanakkor ellenőrizték a rajzoló műszerek működését is. Az utóbbiakkal kapcsolatos kedvezőtlen tapasztalatok alapján, a henger pontatlan járása miatt az 5. sorszámú kísérlettől kezdve az észlelők a műszer működésének ellenőrzésére minden kerek órában, az úszó megemeléssel, függőleges vonallal rögzítették a rajzoló toll helyzetét.

A permanens állapot beállítását a legelső, a 19 + 495 szelvényben levő megfigyelési állomás rajzoló műszerének grafikonja alapján állapítottuk meg.

A permanens szintek beállása után, közvetlen a következő vízhozam-hullám elindítása előtt, a vízfelszín rögzítésére a megfigyelési állomásokon kívül még 21 helyen — a korábban már említett műtárgyak előtt, illetve után, továbbá egyes közbelső helyeken — határoztuk meg a közel egyidejű vízállásokat. Ennek során ellenőriztük az állandó megfigyelőállomásokon észlelt vízállásokat is.

A rajzoló műszerek működésének központi ellenőrzésére — a szalagcserék időpontját nem számítva — legalább naponta egyszer, de általában többször is sor került.

A fenti kísérleti módszert alkalmazva hat-hat, páronként körülbelül azonos nagyságú pozitív és negatív hullám levonulását figyeltük meg. Mivel a kísérletek időpontjáig a fővízkivétel hitelesítése még nem készülhetett el, ezeknél a hullámoknál nem volt mód arra, hogy a hirtelen vízhozamváltozás után a csatornába beadott vízhozamot szigorúan állandó értéken tartsuk. Ehelyett a vízhozamokat — tekintettel a nem túlzottan nagy mértékben ingadozó felvízre — bizonyos meghatározott zsilipnyitással jellemeztük, s a permanens szint beálltáig a zsilipálláson nem módosítottunk. Ennek következtében (mivel az alvíz a vízhozam függvényében emelkedett, vagy süllyedt) pozitív vízhozam-hullámoknál az alvíz emelkedésének hatására a vízhozam a kezdeti, ugrásszerű emelkedés után egy határértékhez tartva kissé csökkent, negatív hullámoknál pedig ezzel ellentétes folyamat játszódott le (II. ábra).

3. A kísérleti eredmények értékelése

a) A legrövidebb átvonulási időre vonatkozó megfigyelések

A (10) és a (11) képlet szerint az egyszerű hullám alakját meghatározó λ paraméter két értéktől, a T_k -val jelölt átlagos és a ΔT_0 -val jelölt legrövidebb átvonulási időtől függ. Az előbbi a tározódási viszonyok, az utóbbi a leggyorsabban haladó elemi vízhozamváltozás sebességének a függvénye. Ezért indokolt a két tényezőt egymástól különválasztva vizsgálni.

Foglalkozzunk először a legrövidebb átvonulási idő kérdésével.

A II. 3. a) rész (12) összefüggése szerint a leggyorsabban haladó, a legrövidebb átvonulási idejű elemi vízhozamváltozás a lökeshullám v_0 sebességével halad előre. Ennek értéke a (31) összefüggés értelmében meghatározható a

$$v_0 = \sqrt{g m_k} = c \sqrt{g m_0}$$

képlettel, amelyben g a nehézségi gyorsulást, m_k a közép mélységet, m_0 a legnagyobb mélységet jelöli, s c a keresztshelvény alakjától függő állandó [17].

A III. 2. c) részben kimutattuk azt is, hogy ennek a leggyorsabban haladó elemi vízhozamváltozásnak a sebességét a szivárgás sem befolyásolja,

csupán ebben az esetben annak megérkezését a szelvényben nem hirtelen, hanem fokozatosan meginduló vízállásváltozás jelzi (6., 7. ábra). Így az ennek meghatározására vonatkozó kísérleteinknek elvileg megbízható eredményeket kellett adniuk.

Mindezeket figyelembe véve a 0+000 — 7+288, a 7+288 — 12+953 és a 12+953 — 19+495 szakaszokra a rajzoló vízmércék szalagjai alapján meghatároztuk a leggyorsabban haladó elemi vízhozamváltozások átvonulási idejét, majd az átvonulás átlagos sebességét. Ezután ugyanezekre a szakaszokra a szelvények m_0 legnagyobb vízmélysége alapján a $\sqrt{g \cdot m_0}$ képlettel kiszámítottuk az ezzel a sebességgel haladó hatás átvonulási idejét, s ebből a $\sqrt{g \cdot m_0}$ értékek átlagát is.

2. táblázat

A leggyorsabban haladó elemi vízhozamváltozás átvonulási sebessége

Sorszám	Az átvonulás átlagsebessége* m/s			A lökéshullám átvonulásának átlagsebessége** m/s			A két sebesség hányadosa		
	0+000— 7+288	7+288— 12+953	12+953— 19+495	0+000— 7+288	7+288— 12+953	12+953— 19+495	0+000— 7+288	7+288— 12+953	12+953— 19+495
1	<u>4,05</u>	<u>2,10</u>	1,21	3,77	3,74	4,18	<u>1,073</u>	<u>0,562</u>	0,289
2	2,02	2,63	1,30	3,10	2,97	3,42	0,652	0,885	0,380
3	2,43	2,70	<u>4,36</u>	3,47	3,38	3,85	0,700	0,798	<u>1,134</u>
4	2,43	2,36	2,18	3,16	3,01	3,47	0,769	0,784	0,628
5	3,38	<u>6,75</u>	<u>1,56</u>	3,79	3,77	4,20	0,891	<u>1,791</u>	<u>0,371</u>
6	2,43	2,70	—	3,33	3,22	—	0,730	0,838	—
7	3,57	2,63	1,28	3,80	3,79	4,22	0,938	0,693	0,303
8	3,04	<u>18,9</u>	—	3,44	3,37	—	0,882	<u>5,61</u>	—
9	3,20	2,78	—	3,77	3,76	—	0,848	0,739	—
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	1,74	—	—	3,80	—	—	0,458	—	—
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Átlag:							0,763	0,790	0,400

* A rajzoló vízmérce által regisztrált görbe alapján meghatározva

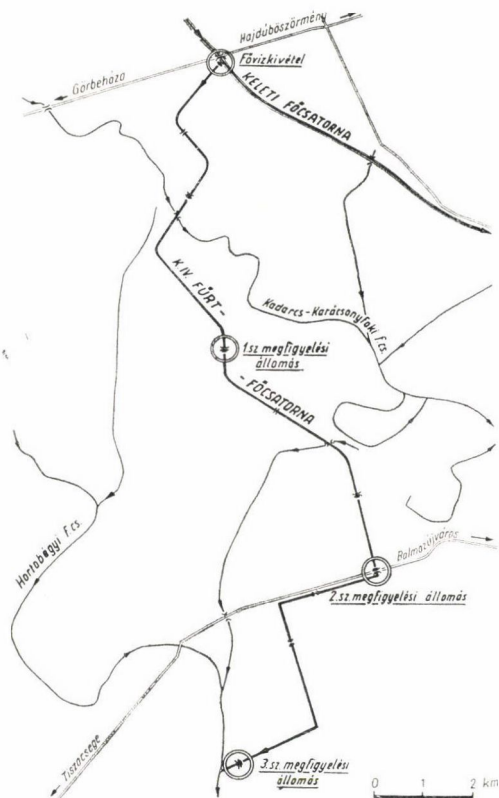
** A keresztzelvények legnagyobb vízmélységével számolva

E számítások eredményeit a 2. táblázat első hat oszlopa foglalja össze. Ezekhez a következő megjegyzéseket kell fűzni

A rajzoló vízmércék dobjának pontatlan járása következtében egy esetben a regisztráló szalagok szerint egy távolabbi szelvényhez korábban érkezett meg a vízhozamváltozás, mint egy közelebbihez. Ugyanakkor több esetben a műszer által rajzolt görbe alapján nem lehetett megbízható módon eldönteni, hogy a megfigyelési szelvényben a vízállás változása mikor kezdődött. Ezek azok a kísérletek, melyeket a 2. táblázat üresen hagyott helyei jelölnek.

Az általános összefüggések meghatározása érdekében a következő lépésben kiszámítottuk az észlelt átlagos átvonulási idők és a hidraulikai adatokból egyértelműen meghatározható átlagos $\sqrt{g \cdot m_0}$ értékek hányadosát. Ezek az értékek a 2. táblázat utolsó három oszlopában találhatók.

E hányadosok értékelésénél szem előtt kellett tartani azt, hogy ha már a lökéshullám olyan mértékben ellapul, hogy annak meredek homlokfala nem észlelhető, s a középsebesség — mint esetünkben is — nem túlzottan nagy.



9. ábra. A K. IV. fürt-főcsatorna helyszínrajzi vázlata

akkor a vízállásváltozási front előrehaladási sebességére a (31) képlet igen jó közelítést ad [17]. Így esetünkben e képletbe az m_k helyett az m_0 értékét helyettesítve feltétlenül a tényleges sebességnél nagyobbat kell kapjunk, vagyis a 2. táblázat szóban levő hányadosainak 1-nél kisebbnek kell lenniük.

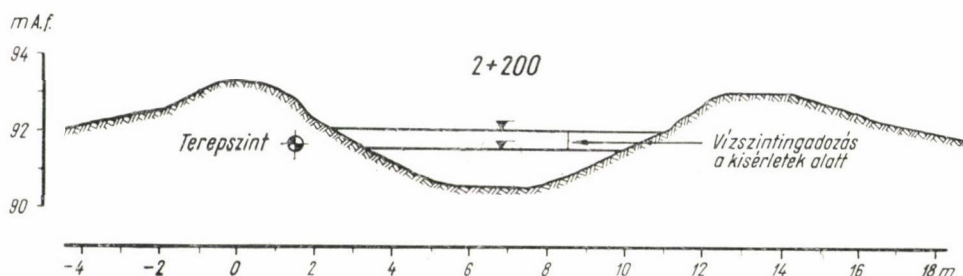
Az utolsó három oszlop egynél nagyobb értékei tehát biztosan a műszerek órájának pontatlan járására, a dob kotyogására vezethetők vissza. Továbbmenve: a kísérlet által szolgáltatott átlagos átvonulási idők értékelésénél tekintettel kellett lenni arra is, hogy azokat a szomszédos műszerek szalagján leolvasható időpontok különbségeként határoztuk meg. Ezért azoknál a kísérleteknél, melyeknél valamely szakaszra egynél nagyobb hányados adódott, a szomszédos

szakaszokra kapott hányadosokat, a szomszédos műszerek által rajzolt görbét is megvizsgáltuk; ezek alapján a rossz adatot szolgáltató műszert meghatároztuk, s szükség esetén a szomszédos szakaszok egyikére kapott hányadost is megbízhatatlannak ítéltük.

Ilyen szempontokat szem előtt tartva kereteztük tehát be a táblázat utolsó és első három oszlopában a megbízhatatlannak tekinthető értéket.

Utolsó lépésként került aztán sor a legmegbízhatóbb értékek meghatározása érdekében az egyes szakaszokra kapott, s megbízhatónak ítélt értékek átlagának kiszámítására, melyre (a 2. táblázat utolsó sora szerint) sorban a 0,763, 0,790 és 0,400 értéket kaptuk.

Az egyes szakaszok hidraulikai viszonyainak ismeretében azonnal megállapíthatjuk, hogy ezek az átlagértékek — legalábbis egymáshoz viszonyítva — feltétlenül jók. A két felső szakasz jellege ugyanis valóban hasonló; míg az alsó szakaszon a csatornát keresztező nyitott táblás zsilip és a két csőáteresz a lökeshullámok levonulását le kell, hogy lassítsa.



10. ábra. A K. IV. fűrt-főcsatorna példaképpen bemutatott keresztmetsvénye

A kapott átlagoknak azonban egyúttal a valóságos átvonulási sebességeket is jól meg kell közelíteniük.

Ennek igazolása végett emlékeztetni kell arra, hogy csatornánk közelítően parabola szelvényű volt (10. ábra), s hogy a szabályos parabolaszelvényű vízfolyásokon a (31) képlet a

$$v_0 = \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g \cdot m_0} = 0,816 \sqrt{g \cdot m_0}$$

egyenlőséggel is kifejezhető.

Ha tehát a kísérleti eredmények az elmélettel megegyeznek, a csatornát keresztező műtárgyak zavaró hatásával gyakorlatilag nem befolyásolt két felső szakaszon a v_0 tényleges átvonulási sebesség és a $\sqrt{g \cdot m_0}$ hányadosa 0,816 körüli értéket kell adjon.

Mindezek alapján a kísérleti eredményekből meghatározott 0,763 és 0,790 értéket rendkívül jó eredménynek kell tekinteni, hiszen az elmélet által szolgáltatott és a kísérletek során kapott hányadosok közötti 6%, illetve 3% eltérés még akkor is kitűnő egyezést jelentene, ha a szelvények teljesen szabályos parabola alakúak lennének.

A kísérleti eredmények tanúsága szerint tehát a leggyorsabb elemi vízhozam-változás valóban a lökéshullám sebességével halad előre. Így a legrövidebb átvonulási idő a (12) és (31) képlet összevonásából adódó

$$\Delta T_0 = \frac{L}{\sqrt{g \cdot m_k}}$$

összefüggéssel meghatározható.

b) A vízhozamváltozás időbeli alakulására vonatkozó megfigyelések

A legrövidebb átvonulási időre vonatkozó megfigyeléseknek a kísérletek jellegéből adódóan elméletileg is helyes eredménnyel kellett járniuk. Ezzel szemben a vízhozamváltozás időbeli alakulására vonatkozó megfigyelések már nem adhatnak számszerűen jó értéket.

A III. 2. c) részben láttuk ugyanis, hogy az áteresztő mederben levonuló vízhozamváltozási hullámok képe nem egyezhet meg az át nem eresztő mederben lejátszódó hasonló folyamatok képével: az egyszerű hullám görbéje a $t = 0$ ponttól kezdve az időtengely pozitív irányába fokozatosan eltolódik, s a végérintője is megváltozik (6., 7. ábra).

Ezért a hullámképekre vonatkozó megfigyeléseink kizárólag az elmélet minőségi ellenőrzésére alkalmasak; annyiban, amennyiben az elméleti és a kísérletek alkalmával észlelt görbék eltérése valóban megfelel annak a tendenciának, melynek az elmélet szerint a vízáteresztő meder következtében elő kell állnia.

*

Lássuk először az egyszerű hullámból adódó vízhozamváltozási görbe végérintőjének problémáját.

A III. 2. c) részben, az áteresztő mederben lejátszódó folyamatot vizsgálva arra a megállapításra jutottunk, hogy akár pozitív, akár negatív hullámról van szó, a szivárgási viszonyok módosulása következtében az indulási szelvény vízhozamváltozása mindig nagyobb lesz, mint az érkezési szelvényé.

E megállapítás kísérleti ellenőrzésére adottságaink rendkívül kedvezőek voltak. A hitelesítési mérések eredményei alapján ugyanis mind a fővízkívételen belépő, mind a túlfolyón távozó vízhozamokat nagyon pontosan meg tudtuk állapítani.

A végérintőre levezetett törvényszerűség ellenőrzésére tehát nem kellett mást tenni, mint a kísérletsorozat elején és a 12 vízhozamváltozás levonulása után a belépő és a kilépő vízhozamokat megállapítani, s ebből a kérdéses vízhozamkülönbségeket meghatározni.

E számítások eredményét a 12. ábra foglalja össze. Itt az indulási szelvénynek a megfelelő permanens szintekhez tartozó vízhozamát a telt pont, e szelvénynél a két egymásután következő permanens állapothoz tartozó vízhozamok különbségét a fekete nyíl, az érkezési szelvény hasonló értékeit az üres pont és a világos nyíl szemlélteti.

Az ábra minden további magyarázat nélkül is meggyőzően bizonyítja a végérintőre elméleti megfontolások alapján levezetett megállapítások helyességét.

Lássuk ezek után a hullámképek eltolódásának kérdését.

Nyilvánvaló, hogy ha az egyszerű hullámok levonulására vonatkozó elmélet legalább minőségileg helyes értéket ad, a csupán a csatornában tározódó

vízmenyiségekkel számoló, s a (3), a (9) és a (25) képlet összevonásából adódó

$$Q_L(t) = Q_0(1 - e^{-\lambda t}); \quad \lambda = \frac{v_0 \cdot Q_0}{V \cdot v_0 - L \cdot Q_0}$$

összefüggésnek a valóságosan észlelt görbe felett elhelyezkedő értékeket kell adnia (6., és 7. ábra).

A kérdés eldöntéséhez tehát a fővízkivétel vízhozamadatain kívül szükség volt az azután következő három megfigyelési állomás vízhozam-idősorára is; vagyis arra, hogy a rendelkezésre álló három vízállásidősort megfelelő módon transzformáljuk.

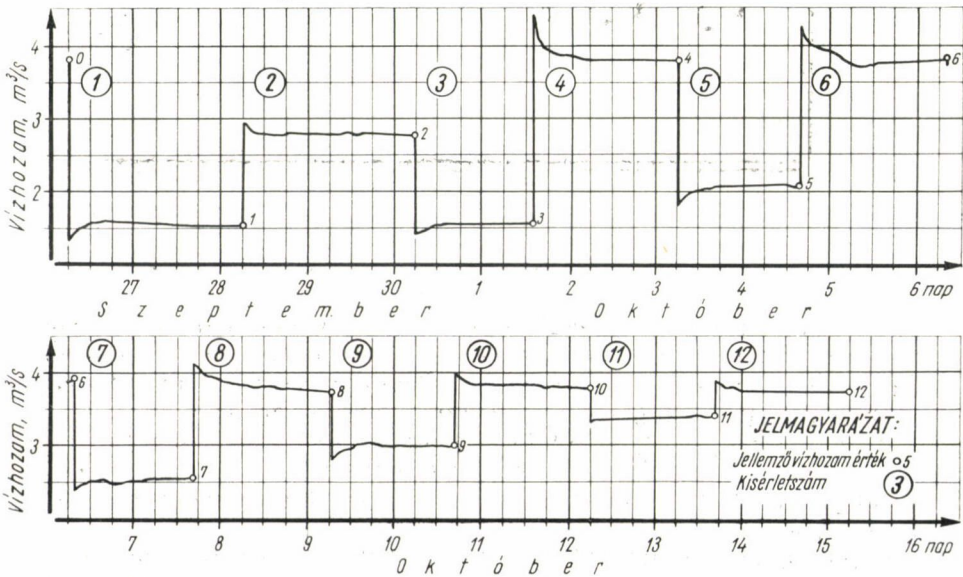
Ezt a munkát a szokásos módon, a vízhozamgörbék és azok segítségével a permanens szintekhez tartozó Q_p permanens vízhozamok meghatározása után, a vízállásváltozásból adódó korrekciók figyelembevétele érdekében a

$$Q = Q_p \sqrt{1 + \frac{1}{i \cdot w} \frac{\Delta h}{\Delta t}}$$

közelítő [16] képlet felhasználásával végeztük el. Vagyis a $Q = Q_L(t)$ pillanatnyi vízhozamértéket (a vízhozam-levonulás jellemző időpontjaira és minden kerek órára) a vízállásnak megfelelő Q_p permanens vízhozam, a permanens szintekhez tartozó i esés, az adott vízálláshoz tartozó w levonulási sebesség, s az időegységre eső $\Delta h/\Delta t$ vízállásváltozás figyelembe vételével határoztuk meg.

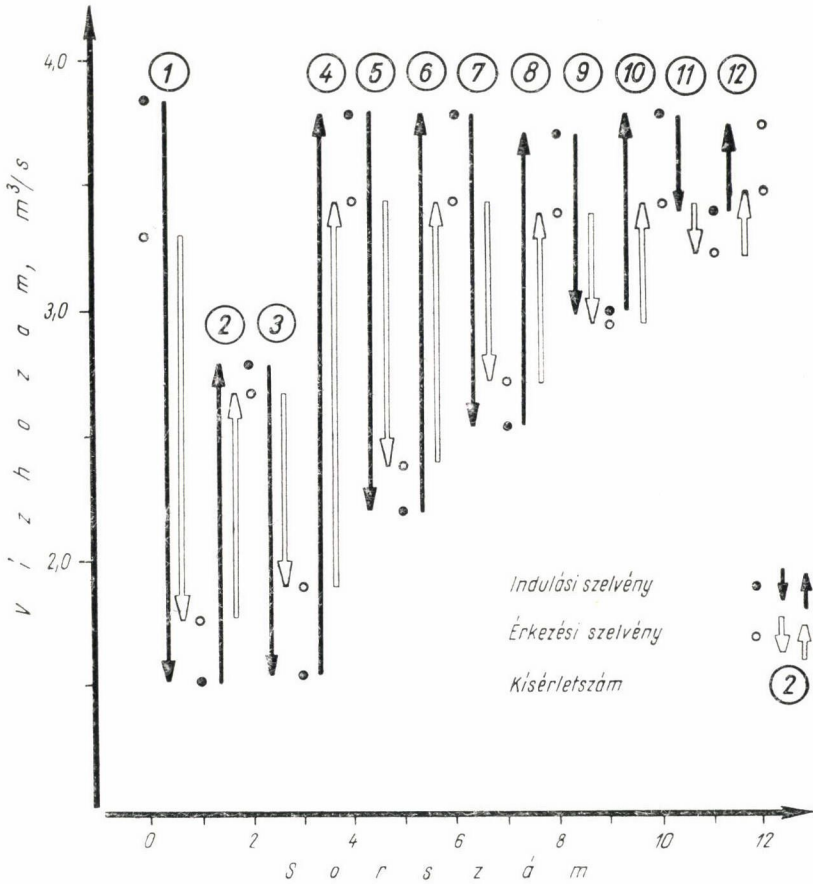
A feldolgozási hibákat illetően megemlíthetjük, hogy már a fenti közelítő képlet alkalmazása is mintegy 10% hibával járhat.

Emellett azonban még egyéb közelítésekre is szükség volt.



11. ábra. A fővízkivétel vízhozamának változása a kísérletsorozat ideje alatt

Lényeges kötöttséget jelentett az, hogy a vízhozamok közvetlen meghatározására csak a csatorna elején és végén volt mód. Így — arra a megfigyelésre támaszkodva, hogy permanens állapotban a szivárgási és a csurgási veszteségek elsősorban a 13+000 szelvény alatti szakaszon jelentkeznek [15] — fel kellett tételeznünk, hogy a permanens szintek beállása utáni vízállásokhoz



12. ábra. Az indulási és az érkezési szelvény jellemző vízhozamai és vízhozamváltozásai

a 7+288 és a 12+953 szelvényben levő megfigyelési állomásnál a fővízkivétel, a 19+495 szelvényben levő megfigyelési állomásnál pedig a túlfolyó vízhozamai rendelkezhetők. Természetes, hogy a végleges vízhozamgörbék e pontok kiegyenlítésével adódtak. Így viszont a pontok szóródásának eredményeként a kiegyenlítő görbéről a permanens állapotok beállta utáni vízállások alapján leolvasott vízhozam — feltevésünk ellenére mégis, nem nagy mértékben bár, de majdnem mindig — eltért az alapul vett belépési, illetve kilépési szelvényre meghatározott vízhozamtól.

További, kisebb mértékű bizonytalanságot okozott a permanens vízszintek esésénél és az egységnyi időre eső vízállásváltozás meghatározásánál elkövetett hiba is.

Az egyik legjelentősebb hibaforrás azonban a w levonulási sebesség, közelebről az átvonulási idő meghatározásában volt. Ez abból következett, hogy az átvonulás idejét — a kísérlet kezdetét jelentő, hirtelenül végrehajtott, s a további vízhozam változásokhoz viszonyítva nagymértékű vízhozam változtatás miatt — azonosnak kellett tekintenünk a kísérlet kezdetétől eltelt idővel. A kísérlet vége felé tehát mind kisebb és kisebb átvonulási sebességek adódtak, melyek (az alkalmazott alapképletben reciprok szorzóként szerepelve) jelentőségükön túl felnagyították azoknak a különben nem nagy mértékű vízszintingadozásoknak a hatását, amelyek a fővízkivétel vízhozamának és a szivárgási viszonyoknak változása következtében jelentkeztek.

Mindezek következtében állt elő az, hogy a $7+288$ és a $12+953$ szelvényben a vízhozamok egyes esetekben nem a fővízkivétel vízhozamához konvergáltak, s — elsősorban a kísérlet vége felé — a számított vízhozamértékek néhol nagyon erősen ingadoztak.

A vízhozamidősor előállításánál követett irányelvek összefoglalása után célszerű néhány szóban megemlíteni az elméleti görbék meghatározásánál követett főbb szempontokról is.

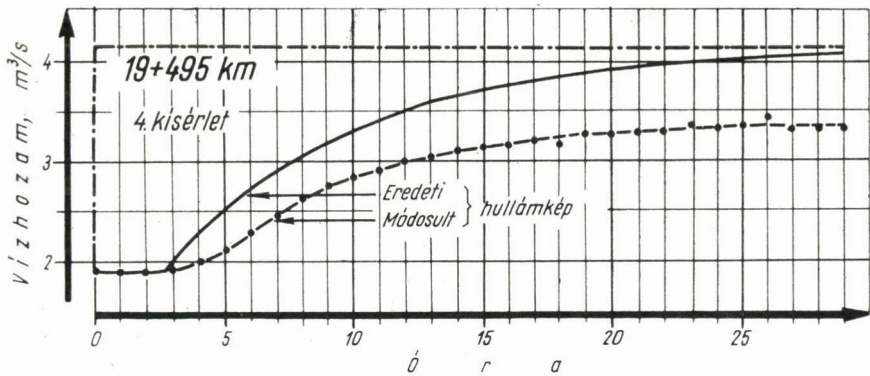
Vízzáró anyagú meder esetén az egyszerű hullám levonulását jellemző $Q_L(t)$ függvényt, mint láttuk, négy alapadat határozza meg [(3), (9) és (15) képlet]: az indulási és érkezési szelvény között tározódó V vízmennyiség, a két szelvény közötti szakasz L hossza, a lökéshullám v_0 sebessége és az indulási szelvény Q_0 hirtelen vízhozamváltozása.

Ezek közül a legmegbízhatóbb v_0 értékek meghatározásáról már a korábbiakban szó volt. A szakasz geometriai és hidraulikai adottságainak ismeretében [14, 15] az L és a V értékét is egyértelműen meg lehetett határozni. Így a nehézséget most a Q_0 megfelelő megválasztása jelentette, hiszen a kísérletek folyamán a vizsgált szakaszon tulajdonképpen mégsem egyszerű, hanem összetett hullámok vonultak le (II. ábra). Figyelembe véve azonban azt, hogy a hirtelen vízhozamváltozás utáni, azzal ellentétes irányú, lassú vízhozamváltozás nem volt túlzottan nagy mértékű, végül is amellettt döntöttünk, hogy a Q_0 értékéül a permanens állapotokhoz tartozó úgynevezett „jellemző” vízhozamértékek különbségét fogjuk el. A számítások tehát végeredményként azokon a vízhozam különbségeken alapultak, melyek a II. ábrán a nullkörökkel jelölt értékek különbségeként adódtak, s melyeket a II. ábrán a fekete nyilak jelöltek. Ezzel egyidejűleg azonban tudomásul kellett vennünk, hogy mivel a kísérletek kezdetén fellépő vízhozam-különbség a számításba vett értéknél mindig nagyobb volt, így a kísérletek során — a szivárgási viszonyoktól függően — a valódi $Q_L(t)$ görbét reprezentáló pontsor meredekebben indulhat, mint az elmélet alapján, elhanyagolásokkal számított görbe.

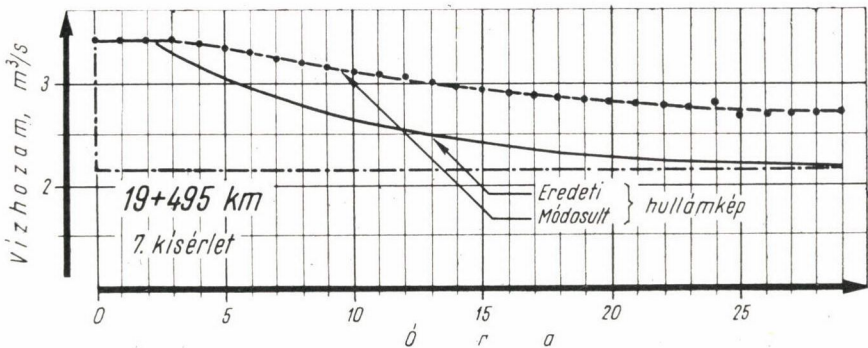
Ezek után pedig lássuk magukat a kísérleti eredményeket.

Tekintettel arra, hogy az ismertett elmélet szerint a szivárgás eredményként létrejövő árhullámkép eltolódásából egyértelműen következik az átlagos átvonulási idő meghosszabbodása is, magától értetődőnek látszott az az elgondolás, hogy az eltolódás jellegét az átlagos átvonulási idők megváltozásával jellemezzük.

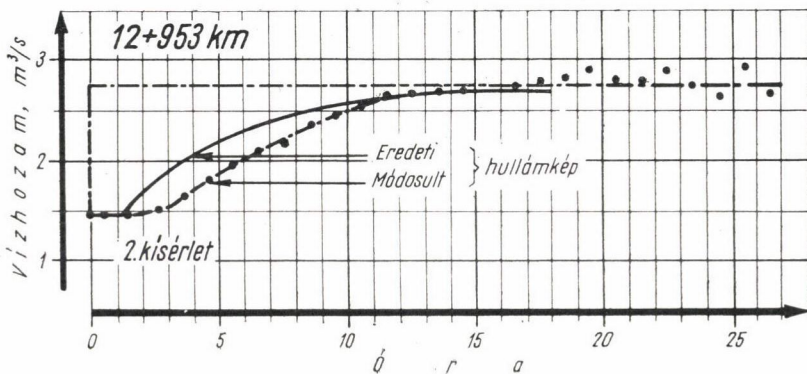
Más oldalról az is nyilvánvaló volt, hogy valamely kísérletnél a fővízkivételtől számított különböző hosszúságú szakaszokra az átlagos átvonulási idő szempontjából megbízható értékre csak abban az esetben számíthatunk, ha ennél a vizsgálatnál a szakasz minden közbenső ellenőrző állomására megbízható vízhozamidősört tudtunk előállítani.



13. ábra. Egyszerű pozitív hullám képenek módosulása a szivárgás hatására a csatorna végén levő, 4. sz. megfigyelési állomáson



14. ábra. Egyszerű, negatív hullám képenek módosulása a szivárgás hatására a csatorna végén levő, 4. sz. megfigyelési állomáson



15. ábra. Egyszerű, pozitív hullám képenek módosulása a szivárgás hatására a nagyon vízátteresztő mederszakasz határán levő, 3. sz. megfigyelési állomáson

Ugyanakkor az is magától értetődő, hogy esetünkben — az adott feltételek mellett — a vízhozamidősor megbízhatósága elsősorban a rajzoló víz-mércék adatainak megbízhatóságától függött; erre viszont jó támpontot adtak a lökeshullám sebességére kapott értékek.

Ezeket figyelembe véve döntöttünk végül is úgy, hogy a következő értékelő munkába az egyes kísérleteknél csak azokat a fővízkivételre — mint indulási szelvényre — támaszkodó szakaszokat vonjuk be, melyek minden rész-szakaszára a lökeshullám sebessége szempontjából már korábban megbízható értékek adódtak. (2. és 3. táblázat).

A vizsgálatra kijelölt szakaszok ismeretében az érkezési szelvények vízhozamidősora, illetve az átnemeresztő mederre érvényes elmélet alapján az átlagos átvonulási idők meghatározása különösebb nehézséget már nem jelentett. Ilyen meg gondolásokkal határoztuk meg tehát a 3. táblázatban összefoglalt értékeket, ahol T_{kv} a vízhozam idősor, T_{ke} az elmélet alapján meghatározott átlagos átvonulási időt jelöli, s $\Delta T_k = T_{kv} - T_{ke}$.

Jelöléseink értelmében tehát az észlelési eredményekből meghatározott átlagos átvonulási időnek az átnemeresztő mederre érvényes elmélet alapján számított értékhez viszonyított megváltozását a ΔT_k értéke mutatja. Ez pozitív akkor, ha az átvonulás ideje megnő; negatív, ha megrövidül.

Így abban az esetben, ha a szivárgásnak az átlagos átvonulási idő hosszára nem volna befolyása, a ΔT_k értékei csak a kísérletet terhelő véletlenjellegű hibák hatását tükröznék, a pozitív és negatív értékek közel egyforma számban, egyforma értékkel jelentkezének.

Esetünkben azonban — mint ahogy az várható is volt — nem ez a helyzet: a 18 kísérleti megfigyelésből csupán háromnál adódott negatív ΔT_k érték, melyek így nyugodtan tükrözhetik a kísérletek végrehajtása és feldolgozása során fellépő bizonytalanságok hatását is.

Ezért a pozitív eltérések uralkodó jellegére támaszkodva megállapítható, hogy az átnemeresztő mederben levonuló hullámok képe valóban eltolódik a pozitív időtengely irányában.

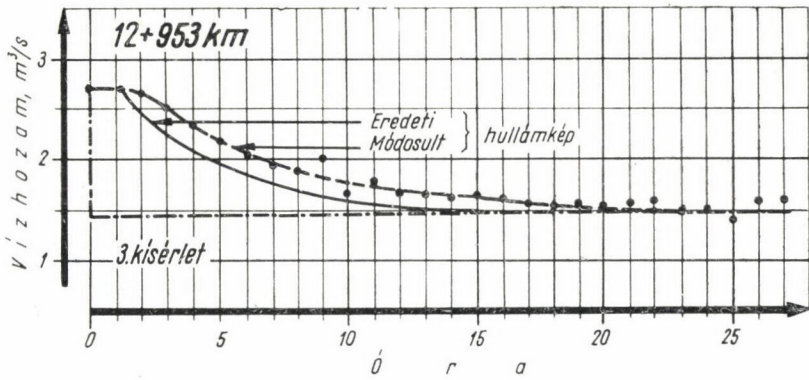
De lássuk ezután az eredmények részletes értékelését is.

Mint a IV. 2. b) részben már kitértünk rá, a kísérletek céljaira szolgáló K. IV. fürt-főcsatornában a szivárgási veszteségek elsősorban a 13+000 szelvény alatti szakaszon jelentkeznek, s láttuk azt is, hogy a szivárgás eredményeként a 19+495 szelvényben az egyszerű hullámok hullámképének végérintője is lényegesen módosul.

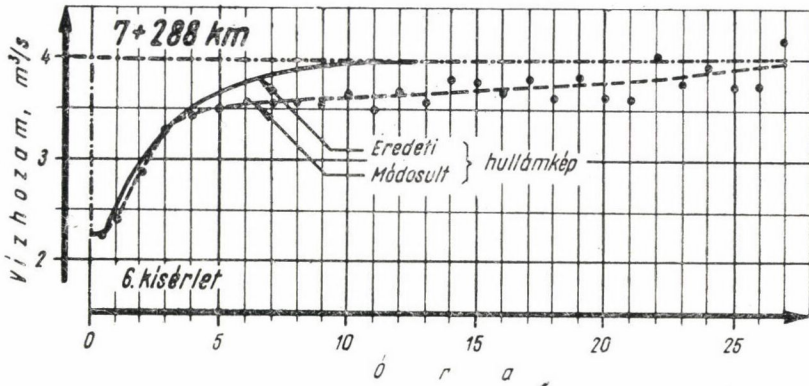
Következésképpen várható volt, hogy itt az árhullámképek eltolódása is határozottan jelentkezik. Az erre a szelvényre adódó, kizárólag pozitív előjelű ΔT_k értékek tehát mindenben alátámasztják elméleti fejtegetéseink helyességét; s mint ahogy az a 6. és a 13., illetve a 7. és a 14. ábra összehasonlításából kitűnik, az árhullámképek alakja is pontosan igazodik az elmélet szerint levezethető görbe alakjához.

Ezzel szemben az első pillanatra bizonyos mértékig váratlanul hatnak a 0+000 — 12+953 és a 0+000 — 7+288 szelvények közötti szakaszra kapott, ugyancsak nagy többségben pozitív ΔT_k értékek; hiszen, mint arra korábban rámutattunk, ezen a szakaszon a permanens viszonyok beállta után számbajövő szivárgás nem jelentkezett.

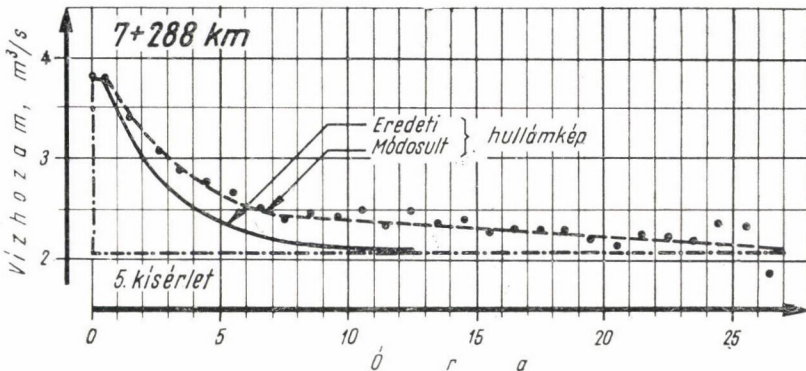
A viszonyok részletes elemzése azonban e jelenségre is megnyugtató magyarázatot ad.



16. ábra. Egyszerű, negatív hullám képének módosulása a szivárgás hatására a nagyon vízátteresztő mederszakasz határán levő, 3. sz. megfigyelési állomáson



17. ábra. Egyszerű, pozitív hullám képének módosulása a szivárgás hatására a gyakorlatilag víz záró mederszakasz közepén levő, 2. sz. megfigyelési állomáson



18. ábra. Egyszerű, negatív hullám képének módosulása a szivárgás hatására a gyakorlatilag víz záró mederszakasz közepén levő, 2. sz. megfigyelési állomáson

A kísérleti adatokból meghatározott és a (22) képlet alapján számított átlagos átvonulási idők

Sor- szám	S z a k a s z											
	0+000—7+288				0+000—12+953				0+000—19+495			
	T_{kv} óra	T_{ke} óra	ΔT_k óra	$\frac{\Delta T_k}{T_{ke}}$ %	T_{kv} óra	T_{ke} óra	ΔT_k óra	$\frac{\Delta T_k}{T_{ke}}$ %	T_{kv} óra	T_{ke} óra	ΔT_k óra	$\frac{\Delta T_k}{T_{ke}}$ %
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	3,86	2,92	+0,94	+32	8,46	5,44	+3,02	+56	10,43	9,03	+1,40	+15
3	5,10	2,58	+2,52	+98	5,00	4,93	+0,07	+ 1	—	—	—	—
4	4,71	3,03	+1,68	+55	6,58	5,92	+0,66	+11	10,57	9,86	+0,71	+ 7
5	4,08	3,07	+1,01	+33	—	—	—	—	—	—	—	—
6	3,26	3,15	+0,11	+ 4	7,26	6,10	+1,16	+19	—	—	—	—
7	4,44	3,23	+1,21	+38	5,47	<u>-6,24</u>	<u>-0,77</u>	-12	13,77	9,74	+4,03	+41
8	4,66	3,30	+1,36	+41	—	—	—	—	—	—	—	—
9	3,91	3,63	+0,28	+ 8	4,89	<u>-7,16</u>	<u>-2,27</u>	-32	—	—	—	—
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	3,60	3,67	<u>-0,07</u>	<u>-2</u>	—	—	—	—	—	—	—	—
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Változatlanul, vagy gyakorlatilag változatlanul maradó végérintő mellett az árhullámképek tapasztalt jellegzetes eltolódása (15., 16. és 17., 18. ábra) ugyanis arra utal, hogy a vízállás emelkedésével a mederből kiszivárgó víz csak egy meghatározott térfogat feltöltésére fordítódik, s természetesen ezzel ellentétes folyamat játszódik le a vízállás csökkenésekor.

Mindez pedig csak akkor jöhet létre, ha a meder feltöltődésekor meginduló, kezdetben intenzívebb szivárgás később fokozatosan csökken, azaz a talaj átnedvesedésének, a hézagterfogat feltöltődésének folyamatával egy időben a talaj vízáteresztő képessége mind kisebbé válik.

Így viszont csupán egyetlen talaj viselkedik, az erősen kötött agyag, és csatornánk valóban ilyenben halad.

*

A pozitív és a negatív egyszerű hullámok ellapulására vonatkozó megfigyeléseink tehát — a kísérleteket terhelő hibák határain belül — az elmélettel igen jól megegyeznek. A vízáteresztő mederben levonuló hullámok képe az elmélet által meghatározott irányban módosult, s lehetőség nyílt az ezzel kapcsolatban fellépő összes jelenség értelmezésére.

Ezért kísérleteink alapján egyértelműen megállapítható, hogy a bemutatott elméletnek az egyszerű hullámokra vonatkozó része — legalábbis minőségileg — feltétlenül helyes eredményt ad.

Összefoglalás

Egy gyakorlati cél, a K. IV. öntözőfűrt-fővízkivétel szabályozási programjának meghatározásához szükséges alapok tisztázása érdekében került sor a tanulmány elkészítésére.

A tanulmány a vízfolyás irányával azonos értelmű vízhozam-hullámok képeinek számítására az ülepítő medencékre kidolgozott Muszkalay—Vágás-féle „átfolyási elmélet” valószínűség-elméleti alapjainak tisztázásával, az eljárás finomításával, továbbfejlesztésével új módszert dolgoz ki.

A bemutatott új „átvonulási elmélet” lehetőséget ad arra, hogy a természetes vagy mesterséges vízfolyások hidraulikai jellemzőinek, és egy felső „indulási” szelvényben végbemenő vízhozamváltozás időbeli lefolyásának, a $Q_0(T)$ függvénynek az ismeretében, a (60) összefüggésben értelmezett

$$\varphi [Q_0(T)] = \int_0^{T^*} (1 - e^{-\lambda T(t-T-AT+AT_0)}) dQ_0(T)$$

operátor segítségével meghatározzuk egy alsó „érkezési” szelvény

$$Q_L(t) = \varphi[Q_0(T)]$$

vízhozamidősort.

A tanulmány bemutatja az elmélet ellenőrzésére végzett kísérletek eredményeit is. Ennek kapcsán kimutatja azt, hogy az indulási szelvény hirtelen vízhozamváltozásából adódó pozitív és negatív hullámok levonulása során észlelhető hullámképek — a kísérletsorozatnál adottságként szereplő feltételek mellett — jó egyezést mutatnak az elmélet alapján számított hullámképekkel.

Az elmélet kísérletekkel ez ideig igazolt része fontos gyakorlati alkalmazásra talál az egy helyről táplált, felülről vezérelt öntözővízelosztó rendszerek szabályozási programjainak kidolgozásánál, de felhasználható a vízerőművek csúcsrajáratásával kapcsolatos egyes különleges kérdések megoldására is.

Az elmélet további tételeinek igazolására, azaz annak bizonyítására, hogy az elmélet az összetett, bonyolult feladatok megoldására is alkalmas, további kísérletek hivatottak.

VI. Függelék

A vízhozam-hullámokkal kapcsolatban a tanulmány az egyes szakki-fejezéseket a következő értelemben használja:

Hullámkép: valamely szelvényben a vízhozam időbeli változását leíró függvény, illetve görbe.

Lökéshullám: valamely szelvény hirtelen bekövetkező, s utána állandósuló vízhozamváltozásának eredményeként előálló, meredek homlokfalal terjedő hullám. A terjedés iránya szerint megkülönböztethető folyásirányú és folyásiránnyal ellentett irányú lökéshullám.

Egyszerű hullám: a hirtelen vízhozamváltozás szelvényétől megfelelő távolságban, a folyásirányú lökéshullám meredek homlokfalának ellapulásával előálló hullám.

Egyszerű pozitív hullám: vízhozamnövekedés eredményeként előálló egyszerű hullám.

Egyszerű negatív hullám: vízhozamesökkenés eredményeként előálló egyszerű hullám.

Összetett hullám: Több egyszerű hullám egymásrahalmazódásának eredményeként előálló hullám.

Azonosan összetett hullám: több, azonos értelmű vízhozamváltozással járó, egyszerű hullám egymásrahalmazódásának eredményeként előálló hullám.

Azonosan összetett pozitív hullám: több egyszerű pozitív hullám egymásrahalmazódásának eredményeként előálló hullám.

Azonosan összetett negatív hullám: több egyszerű negatív hullám egymásrahalmazódásának eredményeként előálló hullám.

Vegyesen összetett hullám: több, váltakozó értelmű vízhozamváltozással járó (pozitív, illetve negatív) egyszerű hullám egymásrahalmazódásának eredményeként előálló hullám.

IRODALOM

- [1] Muszkalay L. — Vágás I.: Ülepítőmedencék áramlástanai hatásfokának megállapítása. Hidrológiai Közöny, Bp. 1954., 11—12. sz., 461—473. o.
- [2] Muszkalay L.: Az ülepítés hatásfokának növelése. Vizgazdálkodási Műszaki Szemle, Bp. 1955., 1 sz., 45—50. o.
- [3] Vágás I.: Ülepítőmedencékre vonatkozó kismintatörvények ellenőrzése. Hidrológiai Közöny, Bp. 1955., 9—10. sz., 327—330. o.
- [4] Muszkalay L. — Vágás I.: Átfolyási vizsgálatok egyszintű ülepítőmedencékben. Hidrológiai Közöny, Bp. 1956., 5—6. sz., 374—384. o.
- [5] Vágás I.: Átfolyási vizsgálatok kétszintű ülepítőmedencékben. Hidrológiai Közöny, Bp. 1957., 4. sz., 356—365. o.
- [6] Muszkalay L. — Vágás I.: Megjegyzések az ülepítőmedencék áramlástanai hatásfokának meghatározásához. Vízügyi Közlemények, Bp. 1957., 4. sz., 401—405. o.
- [7] Vágás I.: Az ülepítési hatásfok függvénytranszformációs meghatározása. Hidrológiai Közöny, Bp. 1958., 2. sz., 135—137. o.

- [8] Vágás I.: Átfolyási vizsgálatok dortmundi ülepítőmedencékben. *Hidrológiai Közöny*, Bp. 1958., 6. sz., 456—460. o.
- [9] Muszkalay L.—Vágás I.: Modification of the Tracer Measuring Method in Settling Basins. *Sewage and Industrial Wastes*, Washington, 1959., 9. sz., 1101—1107. o.
- [10] Vágás I.: Jelzőanyaggal végzett áramlástan mérések értékelése. *Hidrológiai Közöny*, Bp. 1959., 6. sz., 448—451. o.
- [11] Rényi A.: Valószínűségszámítás. *Tankönyvkiadó*, Bp. 1954.
- [12] Fazekas F.—Frey T.: Operátorszámítás, speciális függvények. *Műszaki matematikai gyakorlatok*. C. I. *Tankönyvkiadó*, Bp. 1957.
- [13] Szigyártó Z.: Az alulról és felülről vezérelt öntözővízelosztó rendszerek és alkalmazási körük. *Vízügyi Közlemények*, 1964., 1. sz., 151—160. o.
- [14] Dohalik J.: A K. IV. fűrt-főcsatorna mederfelvétele. *Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet*. Összefoglaló jelentés, témaszám: 7189—1/VII., Bp. 1963.
- [15] Szigyártó Z.: Vizsgálatok a K. IV. fűrt-főcsatornán a vízveszteségek és a meder érdeségi viszonyainak meghatározása érdekében. *Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet*. Közbenő jelentés, témaszám: 8.04.02.04., Bp. 1964.
- [16] Kozák M.: Arhullámok kiegészítő felszíni esésének meghatározásáról. *Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Tudományos Közleményei*, Bp. 1960. VI. kötet, 3. sz. 123—134. o.
- [17] Starosolszky Ö.: Lökéshullámok. *Kézirat*. Bp. 1964.