

KOVÁCS GYÖRGY a műszaki tudományok kandidátusa

AZ ÁRHULLÁMOK LEVONULÁSÁNAK ÉS ÖSSZEGEZŐDÉSÉNEK HIDRAULIKAI SZÁMÍTÁSA

1. Bevezető

Természetes vízfolyások vízjárását, csatornák vízszállítását vizsgálva, gyakori feladat lehet az, hogy egy, a vízfolyás szerint felső szelvényben megindult vagy esetleg már tetőző árhullám hidrológiai jellemzőiből számítanunk kell a hullámnak a vízfolyás meghatározott, alsóbb szelvényében várható adatait (a várható legnagyobb vízállást, adott vízszint bekövetkezésének időpontját, az árhullám meghatározott magasságot meghaladó szakaszának az időtartamát stb.).

Hasonló kérdés jelentkezik akkor is, ha már levonult árhullám jellemzőit — a vízállás és vízhozam időben történő változását — kell meghatároznunk olyan szelvényben, ahol vízállás észleléseket, vízhozam-méréseket nem végeztek. Ilyenkor másikként ismert észlelési adatsorú szelvény adatai alapján, az ismert árhullámkép áthelyezésével oldhatjuk meg feladatunkat. Ugyanígy járunk el akkor is, ha a vízmerce sérülése következtében a szelvényre jellemző adatsor hiányos, vagy ha rendkívüli adottságok — pl. jégtorlaszok, szakadások — következtében az árhullám duzzasztott vagy leszívott vízállással folyt le valamelyik folyószakaszon és a befolyásolás nélküli vízállások ismerete szükséges.

A kérdés fontosságára és a feladatok sokrétűségére talán jellemző azoknak a különböző eljárásoknak a nagy száma, amelyek a múlt század második felében erősebb ütemben megindult vízrajzi észlelések feldolgozása alapján kialakultak, és amelyeknek a célja egyaránt az, hogy a vázolt kérdéseket a lehető legjobban megoldják.

Az ismert és alkalmazott eljárások legtöbbje a hidrológiai adatok statisztikai feldolgozásával oldja meg a feladatokat (pl. mércekapcsolati vonalak használata és korrelációs számítás a tetőzések szintjének a meghatározására; az árhullámkép áthelyezése levonulásának és ellapulásának a vizsgálatára stb.). Kétségtelen, hogy az árhullám levonulását befolyásoló tényezők nagy száma következtében ma még a hidraulikai alapon levezetett, a mozgás fizikai törvényszerűségeit figyelembe vevő számítási módok sok közelítést tartalmaznak. Így pontosságuk jelenleg még nem éri el a hidrológiai alapon, empirikusan levezetett összefüggésekkel elérhető pontosságot. Ezek az utóbbiak azonban mindenképpen

tartalmazzák a statisztikai eljárásoknak azokat a hibáit, amelyek még gondos minőségi elemzés esetén is jelentkeznek. Mind a tudományos, mind a gyakorlati feladatok megoldásának tovább fejlesztése érdekében szükséges lenne megismernünk azokat a belső törvényszerűségeket, amelyek az árhullámok kialakulását, levonulását és egymásra halmozódását irányítják, illetőleg befolyásolják. Ezen az úton — véleményem szerint — elsősorban a hidraulikai és nem a hidrológiai szemlélet segíthet bennünket. Ezért, ha a felmerült kérdések megoldásához a statisztikai eljárások megfelelő pontosságúak is, törekednünk kell olyan számítási módszerek kidolgozására, amelyek nagyrészt hidraulikai megfontolásokon épülnek fel, és csak a szükség szerint mutatózó kisebb mértékben — ott ahol a fizikai-matematikai tárgyalásmód nem vezet eredményre — alkalmaznak statisztikai összefüggéseket.

A hidraulikai eljárások kiindulása mindig a nem permanens vízmozgást jellemző Bernoulli-féle egyenlet és a kontinuitási egyenlet. A különböző számítási módszerek az alapul szolgáló differenciálegyenletek megoldásában térnek el egymástól.

Az ilyen jellegű összefüggések egyik csoportját alkotják azok az eljárások, amelyekben az árhullám jellemzőit úgy határozzuk meg, hogy a teljes árhullámképet előbb két részre bontjuk. Külön számítjuk az áradó és külön az apadó hullám levonulásának a törvényszerűségeit, végül a kettő összetevéséből a teljes árhullámképet.

Az egyhajlású (monoklin) hullámok számítási módjára vonatkozó javaslattal találkozunk az utolsó évtized külföldi műszaki irodalmában is [5]. Ez az eljárás csak a kontinuitási egyenletet használja fel alapként. Emellett feltételezi a levonulási sebesség állandó voltát. Ezért csupán a hullám levonulási sebességére tud összefüggést adni. Ezt az értéket azonban kísérleti mérésekkel jól egyezőnek találja.

A magyar műszaki irodalomban *dr. Benedek József* alkalmazza először az árhullámképnek apadó és áradó ágra történő bontását [1]. Rámutat arra, hogy ha a felső szelvényben az áradás következtében kialakult tetőzés csak rövid időre állandósul, az alsó szelvényben — a viszonylag hamarabb meginduló apadás miatt — a legnagyobb vízhozam kisebb lesz, mint a felső szelvény tetőző vízhozama, az árhullám levonulásának ideje viszont hosszabodik. A $q(t)$ ábrák területe ugyanis a lefolyt teljes vízmennyiséggel arányos, ezért szükséges, hogy a két ábraterület egymással egyenlő legyen. Az alsó szelvényben csak akkor alakul ki a permanens állapotnak megfelelő hozam, ha fent az áradás után a legnagyobb vízhozam hosszabb ideig állandósul. Az áradást két egyhajlású hullámra bontja ilyen módon, és az ebből a szemléletből levonható minőségi megállapítások alapján eljárást dolgoz ki arra, hogy a felső szelvény adatainak az ismeretében számíthassuk az alsó szelvényben az árhullám tetőzésekor levonuló vízhozamot.

Legújabban *Károlyi Zoltán* foglalkozott a teljes hullámképnek áradó és apadó ágra történő bontásával [2]. Ő a többváltozós mércekapcsolati vonal jellemző paramétereinek megválasztásához használja fel az ebből a szemléletből levonható következtetéseket.

Ennek a dolgozatnak a szerzője 1955-ben megjelent tanulmányában foglalkozik a teljes hullámképnek két monoklin ágra történő bontásával [3]. A mozgást jellemző fizikai alapegyenleteket hidrológiai adatok alapján levezetett közelítő összefüggések segítségével oldja meg, részben numerikusan, részben grafikusán.

Célunk most az, hogy az ennek az eljárásnak az alapján meghatározott áradó és apadó hullámokat összegezve meghatározzuk ugyanannak az árhullámnak a teljes hullámképét több szelvényben, és ezzel rámutassunk arra, hogy a javasolt számítási mód alkalmas az árhullámok levonulásának, valamint ellapulásának vizsgálatára.

Bemutatjuk továbbá azt, hogy a folyón egymást követő árhullámoknak egymásra halmozódását miként követhetjük nyomon ezzel a számítási eljárással. Ha több áradásnak az árhullámképben összegeződve jelentkező hatását szét tudjuk bontani, ezzel közelebb jutunk a vizsgált folyószakaszon jelentkező áradások hidrológiai jellemzőinek a meghatározásához.

Végül egy a gyakorlatban jelentkezett feladattal, az 1956. évi jeges árvíz vizsgálatával kapcsolatosan mutatjuk be az eljárás alkalmazhatóságát.

A tanulmány példáit általában úgy választottuk meg, hogy a számított árhullámképeket a valóban kialakult vízállásvonalakkal összehasonlíthassuk. Ilyen módon kívánjuk ellenőrizni ugyanis azt, hogy az általunk meghatározott görbe alakja és a számított levonulási sebességek milyen mértékben egyeznek a valósággal.

Kétségtelen, hogy a most ismertetésre kerülő eljárás a bevezető elején vázolt gyakorlati feladatok megoldásában még nem helyettesítheti a hidrológiai eljárásokat, azonban a benne vázolt szemlélet a hidraulikai megoldásokat közelebb hozhatja a gyakorlati követelményekhez. Ezért a módszer alapját képező gondolatok megvitatása és ezáltal az eljárás további finomítása szükséges. Hogy a tanulmányban elmondottak gyakorlati szempontból is értékelhetők legyenek, a példákiból igyekeztünk az árhullámok levonulására vonatkozó általános elveket is levonni, illetőleg rögzítettük azokat a megállapításokat, amelyek a vizsgált hullámokkal kapcsolatosan a javasolt eljárás alapján feltehetően rögzíthetők voltak.

2. Az árhullám levonulásának vizsgálata

Az árhullámoknak mind a levonulásával, mind az összegeződésével kapcsolatosan a Duna magyarországi, Nagymaros—Baja közötti szakaszát vizsgáltuk. A számításokba a két szélső, a nagymarosi és a bajai mércén kívül két közbenső szelvény vízmércéjének az adatait is belevontuk, éspedig a dunapentelei és a fajszi (dombori-pusztai) mércéket.

Az említett 216 km hosszú szakasz ilyen jellegű vizsgálatok elvégzésére igen alkalmas. A Dunának ezen a hosszon ugyanis nincs jelentős mellékfolyója. A legnagyobb a Sió, amelynek a simontornyai mércé szelvényében maximális vízhozama $225 \text{ m}^3/\text{sec}$, minimális vízhozama $0,60 \text{ m}^3/\text{sec}$, az átlagos vízhozam pedig $13,2 \text{ m}^3/\text{sec}$. (Az adatok az 1941—1950. évtizedre vonatkoznak.) Ezeket az értékeket összevetve a Duna hasonló adataival azt találjuk, hogy a Sió vízhozama mindössze 2,5%, 0,6%, illetőleg 0,1%-a a Duna megfelelő vízhozamának, tehát mindenképpen megengedhető a hidrológiai vizsgálatok során a mellékfolyók és vízfolyások hatásának az elhanyagolása. (A dunai adatokat a nagymarosi mércé 1901—1950. közötti ötven év vízállás leolvasásainak alapján vettük figyelembe.)

Előnyösen végezhetjük el vizsgálatainkat ezen a szakaszon azért is, mert a vizsgálatba bevont négy szelvény egymástól közel egyenlő távolságban helyezkedik el, és mindegyikük vízhozam-görbéjét ismerjük. A szelvények

egymásközi távolsága nem túlzottan nagy, amiért a levonulás folyamatosan nyomon követhető. Ez a távolság elegendő azonban ahhoz, hogy az ellapulás már észrevehető legyen.

A vizsgált szakaszon a folyószabályozási munkálatok végrehajtása óta a folyó medre egységes. Más szakaszokhoz — pl. a Felső-Dunához viszonyítva — szigetek, mellékágak nem nagy számban fordulnak elő, így az ágak tározó hatása feltehetően nem zavarja túlzottan az árhullám levonulását. A hullámterek nem nagy kiterjedésűek, ami azért előnyös, mert a bemutatandó eljárásban a számításokat 1 fm szélességre vonatkoztatva végezzük el és így a hullámterek tározó hatását figyelembe nem vehetjük. Az így elkövetett hiba annál jelentéktelenebb azonban, minél magasabb a partél és minél kevesebb a hullámterén tározott vízmennyiség.

Vizsgálataink szempontjából egyetlen hátránya az említett szakasznak az, hogy a Duna Budapest—Dráva-torok közötti szakaszán a medertározás következtében előáll medertározási (kulminációs) veszteségen kívül, — amely egyébként csak az árhullám tetőző hozamának csökkenésében mutatkozik, míg a lefolyó víztömegben, így az ebből számított évi közepes vízhozamban sem okoz változást — más veszteség is jelentkezik. *Tőry Kálmán* adatai szerint az említett szakaszon az évi közepes vízhozam vesztesége 231 m³/sec [8]. Még nem tisztázott ennek a veszteségnek sem az oka, sem pedig a veszteségnek a megoszlása a folyó hossza mentén. Vitatják, hogy a csaknem 10%-os veszteséget a párolgás okozza-e, mint *Penck* állítja [6], vagy földalatti medrek megcsapolásának a hatására áll elő, mint *Lászlóffy Woldemár* feltételezi [4].

Olyan szakaszokon, ahol ilyen jellegű veszteség nem mutatkozik, a levonulási vizsgálatok során a számítás alapjául szolgáló permanens vízhozamokat (áradó ág meghatározásánál az áradást megelőző alsó, és az azt követő felső permanens szinthez tartozó vízhozamot, az apadás számításánál pedig a megelőző felső, és a követő alsó permanens vízhozam értékét) minden szelvényben állandó értéknek vehetjük fel. Ehhez a vízhozamhoz a kétváltozós (permanens állapotot jellemző) vízhozam-görbe segítségével meghatározhatjuk a hullám áradó, illetve apadó ágát jellemző alsó és felső permanens vízszinteket. Ezzel a számításhoz szükséges alapadatok legfontosabbjai már rendelkezésünkre állnak.

Más jellegű hidrológiai feladatok megoldása során már vizsgáltuk az említett folyószakaszon bekövetkező vízhozam-változások mértékét. *Lászlóffy Woldemár*hoz hasonlóan okát a hidrológiai adottságokban keressük. Úgy találtuk azonban, hogy a veszteségek megoszlása nem egyenletes a Budapest alatti Duna-szakaszon és néhány szelvényben mértéke is lényegesen eltér a *Tőry Kálmán* által közölt értékektől. Ezért egy-egy árhullám levonulásának a vizsgálata során minden szelvényben úgy határoztuk meg az összetartozó alsó és felső permanens vízhozam értékeit, hogy az említett hidrológiai vizsgálatok során meghatározott összetartozó vízhozamokkal megegyezzenek.

a) Az alkalmazott számítási eljárás rövid ismertetése

A számítások során alkalmazott eljárásnak — amelynek részletes ismertetése 1955 decemberében jelent meg [3] — az alapja a folyadékok nem permanens mozgását jellemző Bernoulli-féle egyenlet és a kontinuitási egyenlet. Számításainkban a természetes vízfolyást olyan idealizált mederrel helyette-

sítjük, amelynek fenékesése a hullám levonulása után kialakuló permanens vízmozgás vízszíneken esésével megegyezik. Az idealizált meder vízmélysége a vizsgált szelvényben a vízszállítás megszüntét jellemző szinttől számítandó. A vízmozgás egyenes vonalú, benne a súrlódási veszteségen kívül helyi ellenállások okozta veszteségek nem állnak elő. A meder végtelenül széles, derékszögű négyszög, így a hidraulikus sugár a mélységgel egyenlő, a vízhozam-modulusok és a vízmélységek viszonyát kifejező *Bachmeteff*-féle összefüggésben szereplő, a meder alakjára jellemző kitevő pedig $n = 3$. Ez a feltevés lehetővé teszi számításainkban az 1 fm széles sáv által szállított fajlagos vízhozam bevezetését, és a szelvényterület helyett a vízmélység alkalmazását is. Az elmondottak szerint idealizált meder felvételével elkövetett hiba mértékének nagyságrendjére előző tanulmányunk [3] mutatott rá részletesen.

A két differenciál egyenletből álló egyenletrendszer négy differenciális változót tartalmaz, így zárt alakban nem oldható meg.

A hidraulikai eljárás kiegészítésül olyan hidrológiai alapon levezetett összefüggés szolgál, amely kapcsolatot ad két differenciális változó között. Ennek segítségével a változók száma csökkenthető.

Ha feltételezzük, hogy az árvízi huroknak a vízhozam-görbéhez csatlakozó alsó és felső végén jelentkező, nagy görbületű záródását az áradás és apadás egymásra hatása hozza létre, különválaszthatjuk az áradó és az apadó hullámra jellemző görbeszakaszokat. Egy-egy monoklin hullám időtartamán belül tehát a vízhozam és a mélység összefüggését külön-külön jellemezhetjük egy-egy monoton görbével.

Az alkalmazott számítási eljárás lényege az, hogy ezeket a görbéket tetszőleges kitevőjű parabolákkal helyettesítjük. A parabola egyenlete olyan koordináta-rendszerben, amelynek kezdőpontja a parabola és a vízhozam-görbe alsó metszéspontjával megegyezik, a következő:

$$\text{az áradó ágra} \quad \delta m = a_2 (\delta q)^{\frac{1}{p}}; \quad (1)$$

$$\text{az apadó ágra pedig} \quad \delta m = a_1 (\delta q)^{\frac{1}{r}}; \quad (2)$$

ahol δm a vízállás növekménye, illetve csökkenése,

δq a vízhozam növekménye, illetve csökkenése,

a_1 és a_2 a hidrológiai adatok alapján meghatározott tényezők,

$\frac{1}{p}$ és $\frac{1}{r}$ pedig a jellemző kitevők, amelyeket ugyancsak a hidrológiai adatok alapján határozzunk meg.

Két dunai és két tiszai szelvény adatait (Nagymaros, Dunapentele, Polgár és Tiszabó) feldolgozva megállapítottuk, hogy az árhullámhurok áradó ágát helyettesítő parabola kitevője jó közelítésként egységnek vehető:

$$\frac{1}{p} = 1, \quad (3)$$

tehát a görbét egyenessel helyettesítjük.

Ennek a felvételnek az előnye az, hogy az egyenletek összevonása után adódó integrál zárt alakban megoldható. Mostani számításainkban mindenképpen indokolható ennek a kitevőnek az alkalmazása, hiszen megállapításakor éppen a vizsgált szakasz két szelvényének az adatait használtuk fel.

Az integrálás végrehajtása és a határfeltételek helyettesítése után az áradó hullám jellemzésére a következő összefüggést kapjuk:

$$A_3(\omega - 1) + \frac{A_3\alpha^3 + A_2\alpha^2 + A_1\alpha + A_0}{\alpha(\alpha - \beta)} \ln \left(\frac{\omega - \alpha}{1 - \alpha} \right) + \\ + \frac{A_3\beta^3 + A_2\beta^2 + A_1\beta + A_0}{\beta(\beta - \alpha)} \ln \left(\frac{\omega - \beta}{1 - \beta} \right) + \frac{A_0}{\alpha\beta} \ln \omega = - \frac{A_3 i_2 v}{2 \Delta q} (x - vt), \quad (4)$$

ahol x és t a helyet, ill. az időpontot jellemző változó,

v a hullám levonulásának sebessége

i_2 az áradást követő permanens mozgást jellemző vízszín esés

Δq az áradás alatt bekövetkező teljes vízhozam-változás

$\omega = \frac{q_2 - q}{\Delta q}$, azaz az áradást követő permanens vízhozam és a pillanatnyi

vízhozam különbségének viszonya a teljes vízhozam-változáshoz.

$A_0, A_1, A_2, A_3, \alpha$ és β a teljes vízhozam-változástól, a hullám levonulási sebességétől, a hullám után bekövetkező permanens vízhozamtól és annak középsebességétől függő állandók. Számításukra az alábbi összefüggések szolgálnak:

$$A_3 = + \left(\frac{v_k \Delta q}{v q_2} \right)^3;$$

$$A_2 = - 3 \left(\frac{v_k \Delta q}{v q_2} \right)^2;$$

$$A_1 = + 3 \frac{v_k \Delta q}{v q_2};$$

$$A_0 = \frac{H^2}{g m_2^3} - 1;$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \frac{q_2}{\Delta q} \left[3 \frac{v}{v_k} - \left(\frac{v}{v_k} \right)^3 + \sqrt{\left(\frac{v}{v_k} \right)^6 - 6 \left(\frac{v}{v_k} \right)^4 + 8 \left(\frac{v}{v_k} \right)^3 - 3 \left(\frac{v}{v_k} \right)^2} \right];$$

$$\beta = \frac{1}{2} \frac{q_2}{\Delta q} \left[3 \frac{v}{v_k} - \left(\frac{v}{v_k} \right)^3 - \sqrt{\left(\frac{v}{v_k} \right)^6 - 6 \left(\frac{v}{v_k} \right)^4 + 8 \left(\frac{v}{v_k} \right)^3 - 3 \left(\frac{v}{v_k} \right)^2} \right];$$

ahol m_2 és q_2 az áradást követő permanens vízmozgáshoz tartozó vízmélység, illetve vízhozam

$v_k = \frac{q_2}{m_2}$, a permanens vízmozgási állapotot jellemző középsebesség,

$H = m_2 v - q_2$, az áradó hullámra jellemző állandó,

g a nehézségi gyorsulás.

Egységnyi kitevő felvétele esetén a hullám levonulási sebessége állandó, és az áramlást követő, valamint az azt megelőző vízhozamok illetve, mélységek különbségének hányadosaként számítható :

$$v = \frac{q_2 - q_1}{m_2 - m_1} \quad (5)$$

Az apadó hullámokat vizsgálva a már említett szelvények hidrológiai adatai alapján jellemző kitevőként

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{1,5} \quad (6)$$

közelítő értéket választottunk.

A változó vízhozam helyébe új változót vezettünk be :

$$z = \sqrt[3]{\frac{\Delta m}{m_1} \left(\frac{q - q_1}{\Delta q} \right)^{1/3}},$$

ahol q a változó vízhozam

m_1 és q_1 a hullámot követő alsó permanens állapothoz tartozó mélység, illetve vízhozam,

Δm és Δq pedig a teljes mélység-, illetve vízhozam-változás.

A z és t változók összefüggését az $x = 0$ helyen a következő differenciálegyenlet fejezi ki :

$$\frac{dt}{dz} = - \frac{8}{3} \frac{m_1^2}{q_1 i_1 C} \frac{(1 + z^2)^3 - \frac{q_1^2}{g m_1^3} \left(1 - \frac{3}{2} C z - \frac{1}{2} C z^3 \right)^2}{(1 + z^2)^3 - (1 + C z^3)^2}, \quad (7)$$

míg az időt állandó értékre megkötve, az x és a z változók között a következő differenciális kapcsolat írható fel :

$$\frac{dx}{dz} = z \frac{4 m_1}{i_1} \frac{(1 + z^2)^3 - \frac{q_1^2}{g m_1^3} \left(1 - \frac{3}{2} C z - \frac{1}{2} C z^3 \right)^2}{(1 + z^2)^3 - (1 + C z^3)^2}, \quad (8)$$

ahol a már ismert jelöléseken kívül

$C = \frac{m_2^{\frac{3}{2}} - m_1^{\frac{3}{2}}}{(m_2 - m_1)^{\frac{3}{2}}}$ a hullámot megelőző és követő vízhozamoktól és vízmennyiségektől függő állandó

i_1 pedig az apadó hullámot követő alsó permanens vízmozgáshoz tartozó vízszint-esés.

Az apadást jellemző differenciálegyenletek az áradó hullámot jellemző differenciálegyenlet numerikus megoldása során megismert határfeltételek figyelembevételével grafikusán megoldhatók.

A hely és idő szerint változó levonulási sebesség meghatározása apadás-kor nem történhet olyan egyszerű, numerikus módon, mint az áradó hullám számításánál. Grafikusan meghatározva azonban a vízállást és a vízhozamot a hely és idő függvényében, megállapíthatjuk, hogy adott helyen és adott

időpontban meghatározott vízállásnál vagy vízhozamnál mennyi idő szükséges ahhoz, hogy az apadó hullám meghatározott távolságon előre haladjon. Az a minőségi különbség, amely a számítás során az áradó és az apadó hullám között jelentkezik, csak látszólagos.

Mint láttuk, az apadó hullám görbáját a hely és az idő függvényében határozhatjuk meg. A helytől való függés látszólagos kezdőpont létezését feltételezi. Végig prizmatikus meder esetén a kezdőpontban a $x = 0$ helyre meghatározott apadó hullámot előállítva a vizsgált szelvényben a kérdéses hullám alakulna ki. Így tehát a kezdőpont helyzete bizonyos mértékig kifejezheti az összegyülekezésnek, illetőleg a feljebb levő folyószakaszoknak az árhullám kialakulására gyakorolt hatását.

Ezzel szemben az áradó hullám alakja számításaink szerint a helytől független. Ez közvetve az áradó hullám állandóságát fejezi ki, azt tehát, hogy ugyanarról az alsó permanens szintről ugyanarra a felső permanens szintre emelkedő hullám az összegyülekezés módjától függetlenül mindig azonos módon alakul ki. A levezetést részletesen vizsgálva azonban megállapíthatjuk, hogy a hullámnak ez az állandósága csak a közelítő parabolának egyenessel történő helyettesítéséből $\left(\frac{1}{p} = 1\right)$ adódik. Ha azonban ez a kitevő

az egységtől csak kis mértékben különbözik, az áradó hullám meghatározását sem végezhetjük numerikusan, csak grafikus integrálással. Ebben az esetben azonban az áradó hullám alakja is függ a helytől és meghatározható a látszólagos kezdőpont, mint az összegyülekezés hatásának a kifejezője.

A dunai vizsgálatok során úgy találtuk, hogy a kitevő olyan kis mértékben tér el az egységtől, hogy ez a közelítés a számítás egyszerűbbé tétele érdekében megengedhető. Ez azonban egyúttal azt is jelenti, hogy a Nagymaros felett levő folyószakasz hatása az alpesi vízgyűjtőkről érkező árhullámok kialakulására olyan nagy, hogy elmossa az összegyülekezés eltéréséből adódó különbségeket, tehát a hullám állandósága is jó közelítésként feltételezhető.

Az ismertetett módszer ellenőrzésére szolgáló számpéldák kidolgozása során mutatkozott, hogy a felírt összefüggésekből meghatározott eredményeket legnagyobb mértékben a végtelen széles derékszögű meder felvétele torzítja. Ezért az idealizált meder úgynevezett virtuális fenékesését ennek megfelelően redukáltuk. Így az áradó hullámnál

$$i'_2 = i_2 \frac{m_2^3}{m_2^n} \quad (9)$$

az apadónál pedig

$$i'_1 = i_1 \frac{m_1^3}{m_1^n} \quad (10)$$

redukált eséssel kell számolnunk, ahol n a Bachmeteff-féle kitevő.

b) Az 1949. évi dunai árhullám levonulása

A magányos hullám levonulásának és ellapulásának törvényszerűségeit az 1949. évi augusztusi árvíz adatai alapján vizsgáltuk.

A hullám levonulásának a vízállás leolvasások alapján a vizsgált szelvényekben meghatározható jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza.

I. táblázat

Az 1949. évi hullám levonulásának jellemzői a vízállás leolvasások alapján

a) A megelőző völgyelő vízállás és a völgyelés időpontja.

Nagymaros.....	140	cm	(aug. 12.)
Dunapentele.....	174	„	(aug. 13.)
Dombori puszta	142	„	(aug. 14.)
Baja	222	„	(aug. 14.)

b) A tetőző vízállás és a tetőzés időpontja.

Nagymaros	518	cm	(aug. 21.)
Dunapentele.....	564	„	(aug. 22.)
Dombori puszta	717	„	(aug. 23.)
Baja	768	„	(aug. 24.)

c) A következő völgyelő vízállás és a völgyelés ideje.

Nagymaros	210	cm	(aug. 30.)
Dunapentele.....	260	„	(szept. 1.)
Dombori puszta	274	„	(szept. 2.)
Baja	362	„	(szept. 2.)

Figyelembe vettük ezeken az adatokon kívül a szeptember elején bekövetkező kisebb emelkedés után kialakuló hosszan tartó alacsony vízállás értékeit is. Nagymaroson szeptember 17-től 27-ig 160 és 190 cm között ingadozott a vízállás, Dunapentelén szeptember 18-tól 29-ig 199 és 229 cm között, Dombori pusztán szeptember 19-től 28-ig 181 és 218 cm között, Bajánál pedig szeptember 19-től 29-ig 258 és 296 cm között. Ezek alapján, továbbá a régebbi hidrológiai vizsgálatokból következtetve a szelvények között elszívárgás, illetőleg hozzáfolyás miatt bekövetkező vízhozam-változásokra, meghatároztuk a megelőző és követő alsó permanens szintet, továbbá a teljes árhullám-kép áradó és apadó ágának közös felső permanens szintjét. Az egyes szelvényekre vonatkozóan ezeket a vízállásokat, illetve a vízhozam-görbék alapján a szintekhez tartozó vízhozamokat, továbbá az ebben a magasságban mért mederszélességet a 2. táblázat tartalmazza.

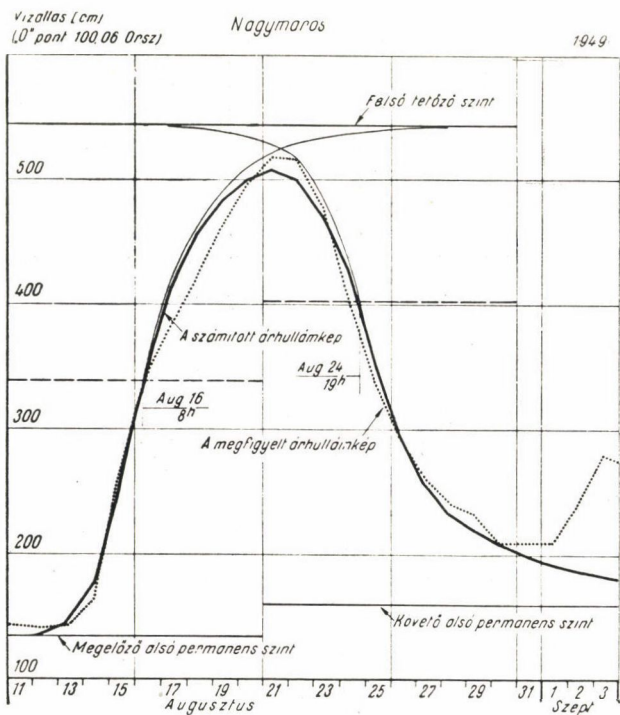
2. táblázat

A számítás alapjául szolgáló vízállás, vízhozam és mederszélesség értékek (1949)

A vizsgált szelvény	A megelőző alsó permanens			A közös felső permanens			A követő alsó permanens		
	víz-állás [cm]	víz-hozam [m ³ /sec]	mederszélesség [m]	víz-állás [cm]	víz-hozam [m ³ /sec]	mederszélesség [m]	víz-állás [cm]	víz-hozam [m ³ /sec]	mederszélesség [m]
Nagymaros	134	1350	455	544	6220	555	160	1570	456
Dunapentele ..	172	1350	473	587	6020	507	200	1540	475
Dombori puszta	140	1350	485	755	6020	520	180	1570	487
Baja	220	1350	369	825	6325	430	260	1690	372

A felsorolt adatok birtokában először az egyes szelvényekben az áradó hullám levonulásának jellemzőit számítottuk, mégpedig a vízállás időben történő változását és a levonulási sebességet. Mint az eljárást részletesen ismertető tanulmányban már leírtuk, az áradó hullám alakja $-\frac{1}{p} = 1$ kitevővel

[(3) egyenlet] számolva — csak a szelvény jellemzőinek függvénye, a helytől — a hullám feltételezett kiindulási pontjának távolságától — független, a levonulási sebesség pedig állandó. Ez más szóval azt jelenti, hogy olyan változatlan szelvényű, hosszú, egyenes mederben, amely végig a vizsgált szelvény jellemzőivel rendelkezik, az áradó hullám alakját nem változtatva, állandó sebességgel vonulna végig. Mindezek alapján a számítással meghatározott vízállás-görbéket közvetlenül összehasonlíthatjuk a vízállás leolvasásokból szerkesztett görbékkel és így megállapíthatjuk az áradó hullám megindulása-



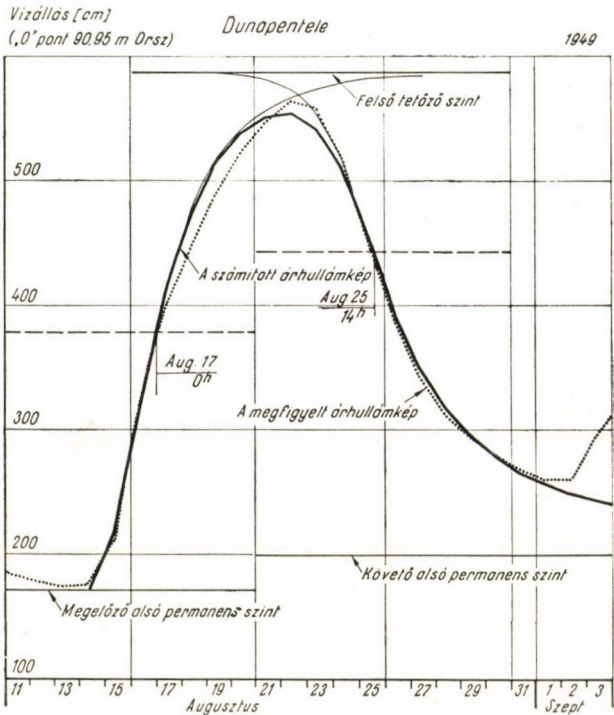
1. ábra

nak, illetve az áradás során valamelyik meghatározott vízállás bekövetkezésének időpontját. Az időpontok különbségeként adódó levonulási időket összehasonlítva a távolság és az állandó levonulási sebesség hányadosaként számítható értékkel, az árhullámok levonulásának vizsgálatára ajánlott módszert ellenőrizhetjük.

Második lépésként az áradó hullámhoz hasonlóan az apadó hullám vízállás-görbéit határoztuk meg. Mint már említettük, ez a feladat csak grafikusán oldható meg. A szerkesztés eredményeként adódó vízállás nemcsak az időnek, hanem a helynek is függvénye. A levonulási vizsgálatok elvégzéséhez tehát minden szelvényre vonatkozóan meg kell határoznunk a hullám feltételezett kiindulási pontját.

Külön-külön megállapítva az áradó és az apadó hullám vízállás-görbéit, azokat a vizsgált négy szelvényre vonatkozóan az 1—4. ábrákon tüntettük

fel. A két görbe összegezésével határoztuk azután meg az ábrákon számított árhullámképként feltüntetett teljes árhullámképet. Ezeket a görbéket a számítással kapott folyamatos vonal helyett úgy szerkesztettük meg, hogy a napi 8 órai időponthoz tartozó értékeket egyenes vonalakkal kötöttük össze, hogy így jobban összehasonlíthatók legyenek a vízmércéken minden nap 8 órakor történő leolvasások alapján ugyancsak egyenes vonalokból összeállított vízállás görbékkel. Ezeket az utóbbiakat is feltüntettük az ábrákon megfigyelt árhullámképként jelezve.



2. ábra

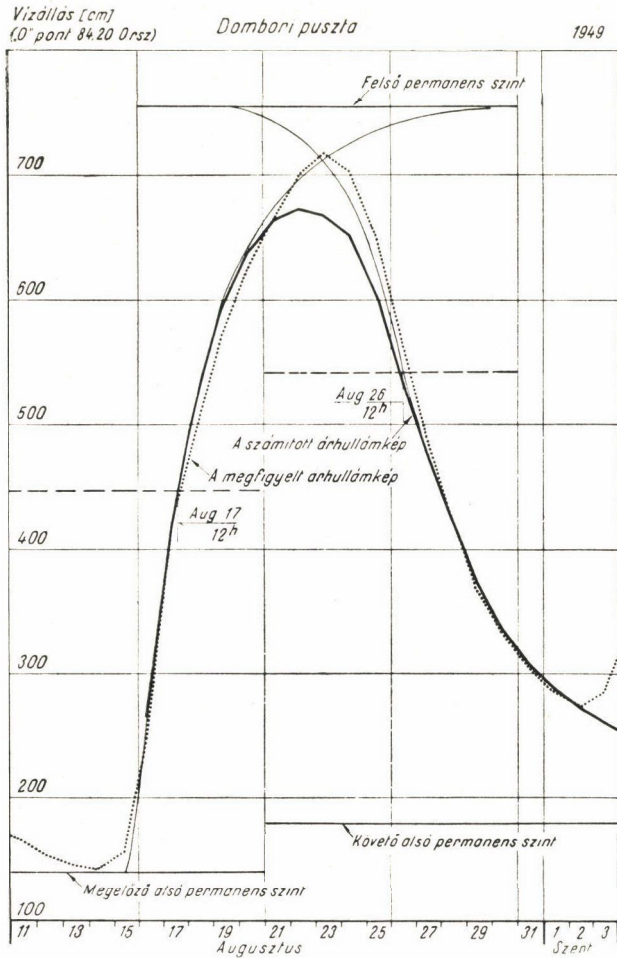
Összehasonlítva a megfigyelt és számított árhullámképeket, következtetéseket vonhatunk le a javasolt eljárás megbízhatóságát illetően és gyakorlati megállapításokat tehetünk annak felhasználására vonatkozóan.

A két görbe jellege mind a négy szelvényben jól megegyezik.

A legjellegzetesebb eltérés az áradó hullám felső szakaszán mutatkozik. Itt a megfigyelt görbe mind a négy szelvényben a számított görbe alatt marad. Az eltérés 10–20 cm. Mint már említettük, a számítási eljárás nem veszi figyelembe a hullámtéren történő tározódást. Az eltérés jellegéből és mértékéből arra következtethetünk, hogy annak oka éppen a figyelembe nem vett tározódás.

Az említetten kívül a tetőzés környezetében mutatkozik különbség a számított és a megfigyelt görbe között. A nagymarosi szelvényben 10 cm-rel,

Dunapentelén pedig 11 cm-rel magasabban tetőzött az árhullám, mint a számítás eredménye mutatja. A dombori-pusztai mércénél ez az eltérés 45 cm, míg Baján különbség nincs. Az eltérés oka nyilvánvalóan az, hogy az összetartozó felső permanens értékek megválasztásának alapját képező

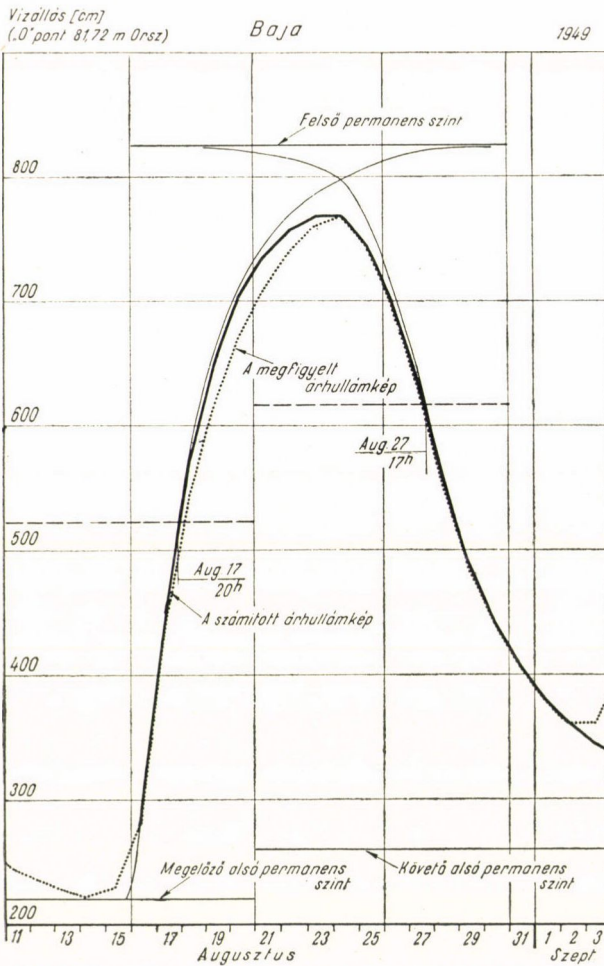


3. ábra

hidrológiai összefüggések még nem kielégítőek, azok további vizsgálata szükséges.

A számított és valóban kialakult levonulási idők összehasonlítása alapján megállapíthattuk, hogy a hullámok kiindulási pontjának figyelembevétele sem a ténylegesen észlelt, sem a számított görbénél nem alkalmas a levonulási idő meghatározására. Az észlelt vízállás-görbén az előző hullám zavaró hatása miatt ez a pont sokszor meg sem határozható. Az áradó hullámok számításánál egymáshoz igen közeli értékekből kell különbséget képezni a kiindulási

pont környezetében, az apadó hullámok jellemzőinek szerkesztésénél pedig a lapos metszések teszik bizonytalaná ezen a szakaszon a meghatározott értéket. A tetőzés időpontja sem alkalmas a levonulási sebességek meghatározására. Ennek a pontnak a helyzetét ugyanis elsősorban az áradó és az apadó hullá-



4. ábra

mok szuperonáldása befolyásolja, így ez a pont sem az áradó, sem az apadó hullámnak nem lehet jellemzője. Ezért mind az áradó, mind az apadó hullám időben történő rögzítésére azt az időpontot választottuk, amelyben az alsó permanens szinthez tartozó vízhozamot 0%-nak, a felső permanens szinthez tartozó értéket pedig 100%-nak véve, az 50%-os vízhozam, illetve az ehhez tartozó vízállás kialakul. Míthogy a vízhozam és a vízállás között a kapcsolat lineáris, áradáskor ez a vízállás felezi az alsó és felső permanens szint közötti magasságot.

Az apadó hullám számítása során a vízállás és a vízhozam közötti kapcsolatot a

$$\left. \begin{aligned} \delta m &= \Delta m \varepsilon^{2/3}, \\ \delta q &= \Delta q \varepsilon \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

összefüggések fejezik ki. Az 50%-os vízhozamhoz ($\varepsilon = 0,5$) tehát 63%-os víz-állás ($\varepsilon^{2/3} = 0,63$) tartozik. Ezeket a szinteket az ábrákon szaggatott vonalakkal jelöltük.

Azt az időpontot, amelyben az említett vízállások a vizsgált szelvényben kialakulnak, továbbá az ennek alapján meghatározott levonulási időket, végül a számított levonulási időket a 3. táblázat tartalmazza.

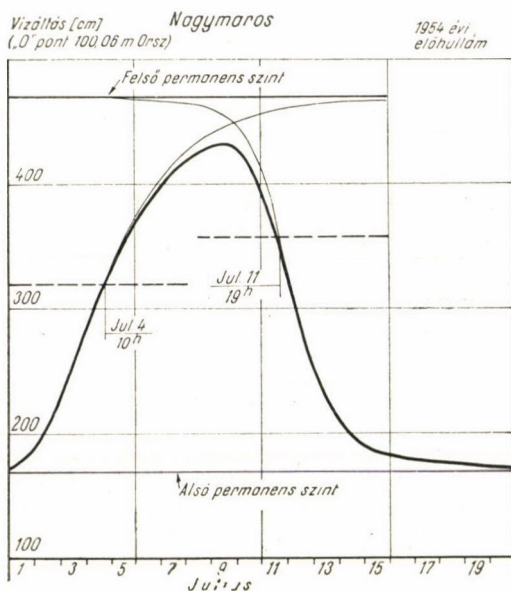
3. táblázat

A számított és a valóban bekövetkező levonulási idők összehasonlítása (1949)

A vizsgált szelvény	Az 50%-os vízhozamhoz tartozó szint kialakulásának időpontja	A szelvény jellemzői alapján meghatározott levonulási sebesség [m/sec]	A szelvények közötti távolság [km]	A vízállás leolvasások alapján meghatározott levonulási idő [nap]	A megelőző szelvény sebesség-adata alapján számított levonulási idő [nap]	A követő szelvény sebesség-adata alapján számított levonulási idő [nap]
Áradó hullám						
Nagymaros	aug. 16. 8h	2,01				
Dunapentele	aug. 17. 0h	2,17	114	0,67	0,66	0,61
Dombori			74	0,58	0,39	0,60
puszta	aug. 17. 14h	1,43				
Baja	aug. 17. 20h	1,83	28	0,25	0,23	0,19
Apadó hullám						
Nagymaros	aug. 24. 19h	1,65				
Dunapentele	aug. 25. 14h	1,29	114	0,80	0,80	1,02
Dombori			74	0,92	0,67	0,59
puszta	aug. 26. 12h	1,45				
Baja	aug. 27. 17h	2,31	28	1,21	0,22	0,14

A táblázat adataiból láthatjuk, hogy az áradó hullámnál a számított és mért értékek jól megegyeznek. Az apadó hullám esetében azonban egyezést csak az első, Nagymaros—Dunapentele közötti szakasz adatai mutatnak. A Dunapentele—Dombori-puszta közötti szakaszon az eltérés mintegy 25%-os, míg a Dombori-puszta—Baja között megfigyelt levonulási idő a számított értéknek több, mint ötszöröse. A sebességértékek vizsgálatából is megállapíthatjuk, hogy a dombori-pusztai szelvényre számított sebesség, különösen pedig a bajai túlzottan nagyra adódik. Ennek oka nyilvánvalóan a sebességnek grafikusán történő meghatározásában rejlik bizonytalanság. Hasonló jellegű eltérést tapasztalhatunk az 1954. évi főhullámnak a következőkben ismertetésre kerülő vizsgálata során is. Ezért a levonulási vizsgálatok megbízhatóbbá tétele szempontjából az apadó hullám előrehaladási idejének további vizsgálata szükséges.

Bizonytalanság mutatkozott az apadó hullám számítása során a hullám feltételezett kiindulási pontjának meghatározásában is. A számítási eljárás levezetése során úgy véltük, hogy az apadó hullám helytől függő vízállás görbéi közül kiválasztva a megfigyelt görbével megegyezőt, annak paraméteréből és a vizsgált szelvényt jellemző folyamkilométer értékből számított kiindulási pont a különböző szelvény adatai alapján közel azonosra adódik. Feltehető, hogy állandó szelvényű egyenes vízfolyáson ez valóban be is követ-



5. ábra

kezik. A Dunán ezzel szemben a nagymarosi szelvényben a 160 km-es paraméterű görbe egyezett a megfigyelt apadó hullámmal, Dunapentelén a 190 km-es, Dombori-pusztán a 200 km-es, míg Baján a 240 km-es. A szelvények közötti távolságot összevetve a paraméter alapján mutatkozó távolsággal a 4. táblázatban foglaltuk össze.

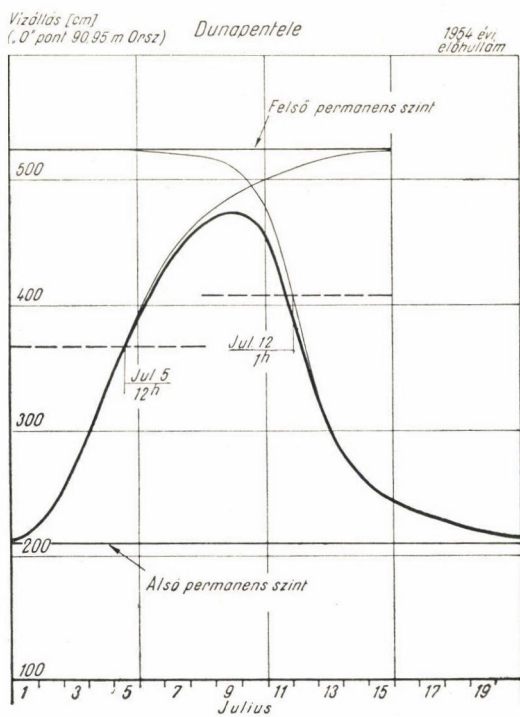
A számítás alapján tehát az mutatkozik, hogy a kanyarok, helyi ellenállások és szelvényváltozások következtében a hullámkép úgy módosul,

4. táblázat

A szelvények távolságának és az apadó hullám helyét jelző paraméter különbségének összehasonlítása

A szakasz szélső szelvényei	A szelvények távolsága [km]	A paraméterek különbsége [km]
Nagymaros-Dunapentele	114	30
Dunapentele-Dombori pusztá....	74	10
Dombori pusztá-Baja	28	40

hogy a feltételezett kiindulási pont is állandóan változik. Már most megemlítjük azonban, az 1954. évi kettős hullám vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy a paraméterek különbsége mind az elő, mind a főhullám számításakor megegyezett az 1949. évi árhullám vizsgálatával kapcsolatban meghatározott és az előzőekben felsorolt értékekkel. Érdekes az is, hogy a közel azonos alsó



6. ábra

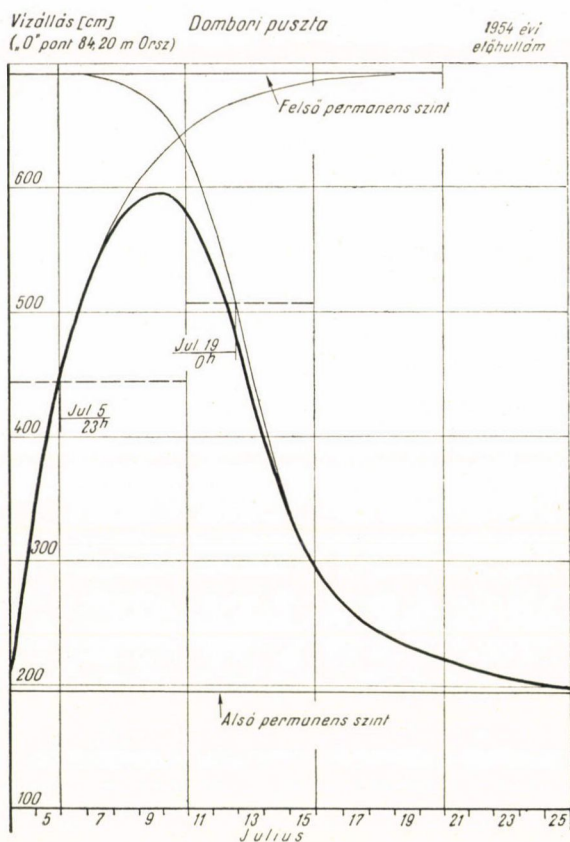
permanens színtről kiinduló három hullámnál — a paraméterek különbségének azonossága mellett — a paraméterek értéke úgy rendeződik, hogy magasabb felső permanens szinthez nagyobb paraméter-érték tartozik. A számszerű értékeket az 5. táblázat mutatja.

5. táblázat

Az apadó hullám helyét jelző paraméter változása a hullám felső permanens szintjével

A vizsgált hullám	A nagymarosi		Az apadó hullám helyét jelző paraméter km			
	alsó permanens szint [cm]	felső permanens szint [cm]	Nagymaros	Dunapentele	Dombori puszta	Baja
1954. évi előhullám	170	470	70	100	110	150
1949. évi hullám	160	544	160	190	200	240
1954. évi főhullám	170	660	250	280	290	330

Kétségtelen, hogy a kérdés további vizsgálata szükséges. Ennek elvégzéséig azonban feladataink megoldásához a paraméterek különbségének állandóságát elfogadhatjuk és a Duna magyarországi szakaszának vizsgált négy szelvénye között a 4. táblázatban felsorolt értékekkel számolhatunk.

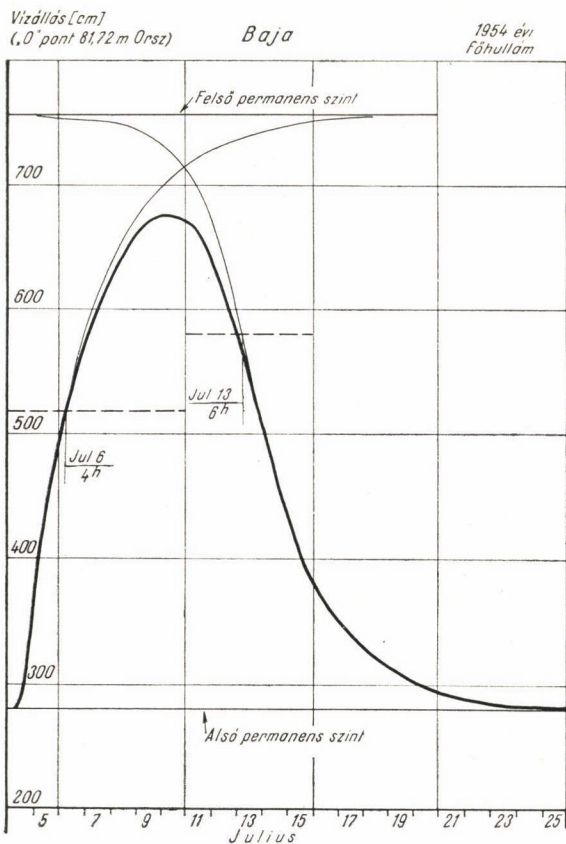


c) A Duna magyarországi szakaszán levonuló árhullámok jellemzése

Az előzőekben részletesen ismertetett 1949. évi árhullámon kívül a levonulás jellemzésére felhasználjuk az 1954. évi katasztrófális árvizet okozó kettős hullám összetevőiként számított hullámképeket is. Ezek számításának részletes ismertetésére az árhullámok összegeződésének vizsgálata során térünk ki. Itt csak megemlítjük, hogy a két hullámkép összegezéséeként kapott vízállás-görbe mind a négy szelvényben a megfigyelt vízállásokkal jó egyezést mutat, így az apadó hullámoknak egyébként bizonytalan időbeni helyzetét megbízhatónak fogadhatjuk el. Az 1954. évi két hullámot önállóan vizsgálva, az árvizek levonulásának jellemzőit három, közel azonos szintről induló és különböző magasságban tetőző hullám alapján határozhatjuk meg. Az 1954.

évi előhullámnak önálló árhullámképét a vizsgált négy szelvényre vonatkozóan az 5–8. ábrák, a főhullám hasonló árhullámképét pedig a 9–12. ábrák tüntetik fel.

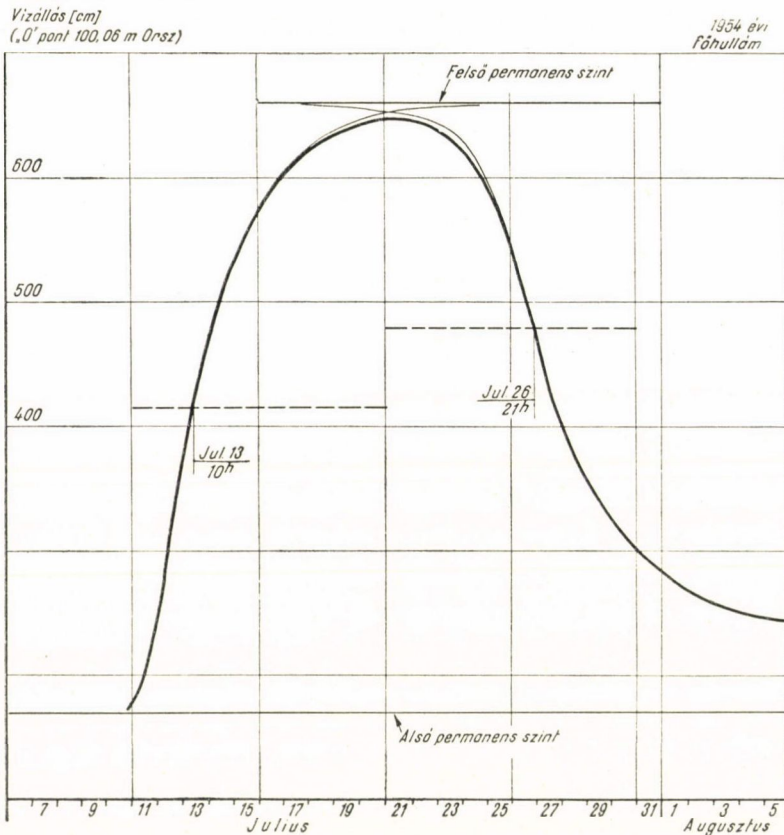
A hullám alakjára vonatkozóan megállapíthatjuk, hogy a magányos hullám vízállás-görbéje mindig meredek. Elfogadva erre a szakaszra a hullám állandóságának, illetőleg közel állandó voltának feltételezését, megállapíthatjuk, hogy a számított görbéknél laposabban emelkedő hullámok minden



valószínűség szerint nem önállóak, hanem több egymást közvetlenül követő áradásból és apadásból összegeződnek.

A vizsgált szakasz leírása során már említettük, hogy az összetartozó permanens vízhozamok a Duna említett szakaszán szelvényenként változnak, feltehetően a környező kavicsrétegek felé elfolyó, illetve az alsó részen a kavicsból visszatérő vízhozamok következtében. A számítások során az összetartozó vízhozamokat az előzetesen végzett hidrológiai vizsgálatok alapján becsléssel határoztuk meg. Az 1949. évi hullám részletes leírásában már rámutattunk arra, hogy a tetőzés környezetében a számított és megfigyelt vízállás-görbe között mutatkozó eltérés valószínűleg az összetartozó értékeknek nem meg-

felelő megválasztása miatt adódott. Feltételezhetjük, hogy a tetőzési pontok között mutatkozó eltérések mértékével változtatva a permanens szintet, az új számítás alapján adódó érték a megfigyelt tetőző vízállással jól megegyező lesz. Így közelítő kapcsolatot állapíthatunk meg az egyes szelvények megbízhatóbban összetartozó vízhozamai között. A kapcsolat meghatározásához a 6. táblázatban összefoglaltuk a számítás alapjául eredetileg elfogadott összetartozó vízállásokat és vízhozamokat, a számított és megfigyelt tetőzések



9. ábra

különbségét, végül ezeket, mint javításokat figyelembe véve, az új összetartozó értékeket.

A 6. táblázat adataiból láthatjuk, hogy a vízhozam változásával nincs egyértelmű kapcsolat az egyes szelvények összetartozó vízhozamai között. Főleg a nagy vízhozamok tartományában mutatkozik bizonytalanság, feltehetően azért, mert itt a vízhozam-mérések hiányában az extrapolált görbével történő vízhozam-meghatározás sem megbízható. A bemutatott számítások azonban rámutatnak arra, hogy mind az árhullám levonulásával kapcsolatos vizsgálatok érdekében, mind az általános vízháztartási vizsgálatokhoz az összetartozó vízhozam-értékek további kutatása szükséges.

6. táblázat

Összetartozó vízállások és vízhozamok a Duna magyarországi szakaszán

a) A számítás alapjául szolgáló összetartozó vízállások

A vizsgált szelvény	Az 1949. évi áradó hullám alsó permanens szintje [cm]	Az 1949. évi apadó hullám alsó permanens szintje [cm]	Az 1954. évi hullámok alsó permanens szintje [cm]	Az 1954. évi előhullám felső permanens szintje [cm]	Az 1949. évi hullám felső permanens szintje [cm]	Az 1954. évi főhullám felső permanens szintje [cm]
Nagy-maros	134	160	170	470	544	660
Duna-pentele	172	200	210	525	587	690
Dombori puszta	140	180	195	692	755	870
Baja	220	260	280	756	825	930

b) A számítás alapjául szolgáló összetartozó vízhozamok

A vizsgált szelvény	Az 1949. évi áradó hullám alsó permanens vízhozama [m ³ /sec]	Az 1949. évi apadó hullám alsó permanens vízhozama [m ³ /sec]	Az 1954. évi hullámok alsó permanens vízhozama [m ³ /sec]	Az 1954. évi előhullám felső permanens vízhozama [m ³ /sec]	Az 1949. év hullám felső permanens vízhozama [m ³ /sec]	Az 1954. évi főhullám felső permanens vízhozama [m ³ /sec]
Nagy-maros	1350	1570	1650	5280	6220	8300
Duna-pentele	1350	1540	1612	5080	6020	8000
Dombori puszta	1350	1570	1700	5300	6020	8000
Baja	1350	1690	1810	5416	6325	8500

c) A megfigyelt és számított tetőző értékek közt mutatkozó különbség

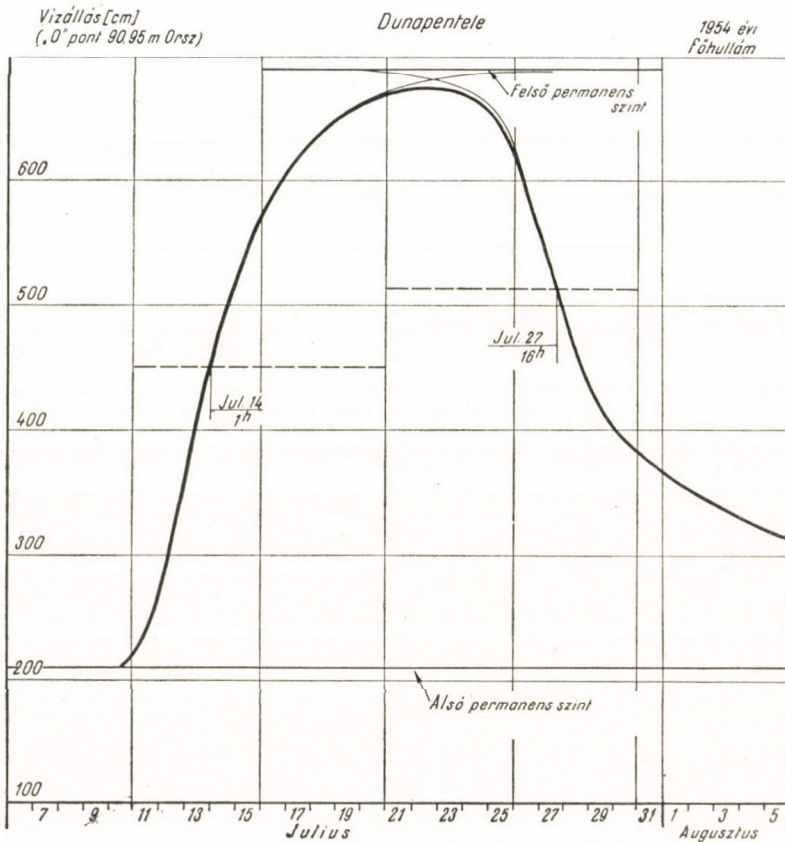
A vizsgált szelvény	A különbség értéke [cm]		
	Az 1949. évi hullámnál	az 1954. évi előhullámnál	az 1954. évi főhullámnál
Nagy-maros	10	-4	0
Dunapentele.....	11	-6	0
Dombori puszta	45	10	4
Baja	0	0	5

d) Az eltérésekkel javított összetartozó vízállások

A vizsgált szelvény	Az 1949. évi áradó hullám alsó permanens szintje [cm]	Az 1949. évi apadó hullám alsó permanens szintje [cm]	Az 1954. évi hullámok alsó permanens szintje [cm]	Az 1954. évi előhullám felső permanens szintje [cm]	Az 1949. évi hullám felső permanens szintje [cm]	Az 1954. évi főhullám felső permanens szintje [cm]
Nagy-maros	134	160	170	466	554	660
Duna-pentele	172	200	210	519	598	690
Dombori puszta	140	180	195	702	800	874
Baja	220	260	280	756	825	935

e) A javított szintekhez rendelt összetartozó vízhozamok

A vizsgált szelvény	Az 1949. évi áradó hullám alsó permanens vízhozama [m ³ /sec]	Az 1949. évi apadó hullám alsó permanens vízhozama [m ³ /sec]	Az 1954. évi hullámok alsó permanens vízhozama [m ³ /sec]	Az 1954. évi előhullám felső permanens vízhozama [m ³ /sec]	Az 1949. évi hullám felső permanens vízhozama [m ³ /sec]	Az 1954. évi főhullám felső permanens vízhozama [m ³ /sec]
Nagy- maros	1350	1570	1650	5228	6356	8300
Duna- pentele	1350	1540	1612	4996	6258	8000
Dombori puszta	1350	1570	1700	5380	6500	8200
Baja	1350	1690	1810	5416	6325	8620

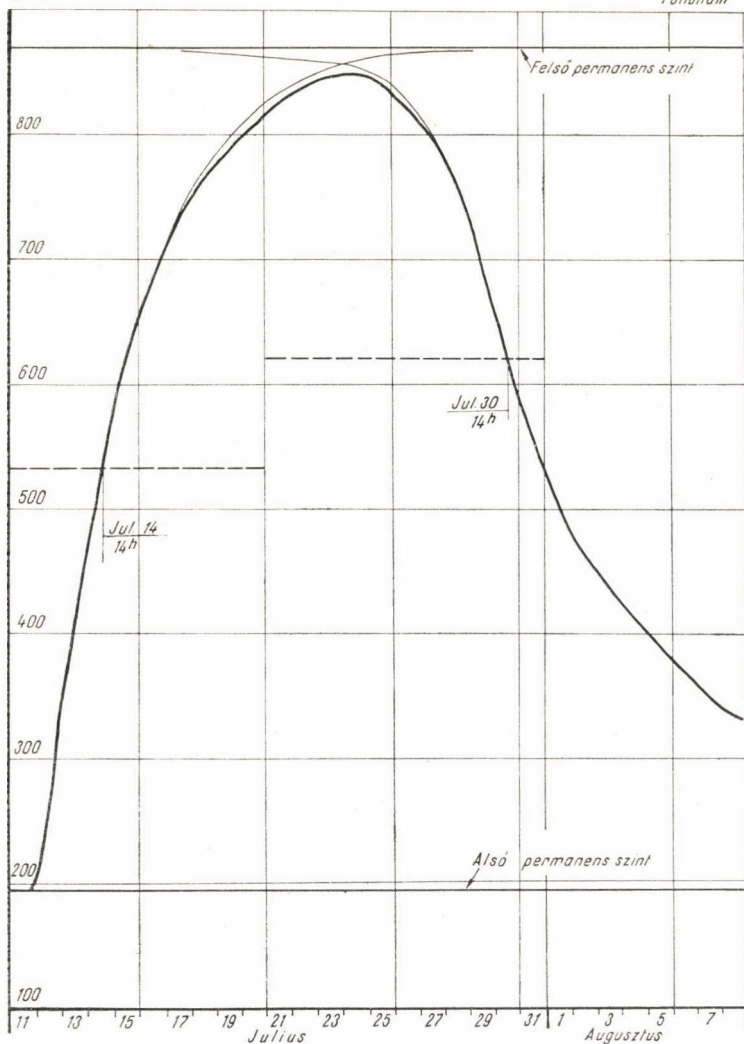


10. ábra

Vizállás (cm)
(0° pont 84,20 m Orsz)

Dombori puszta

1954 évi
árhullám



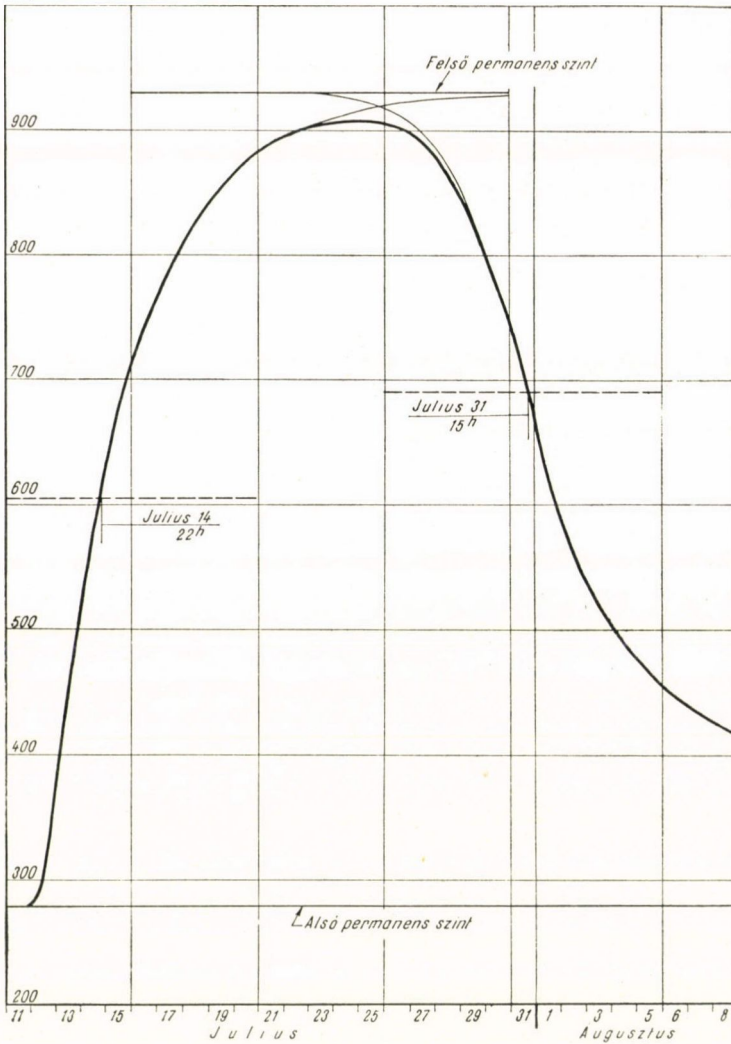
11. ábra

Az árhullámok levonulásával kapcsolatban a hullám ellapulásával kell még foglalkoznunk. Ennek jellemzésére általában a tetőző vízhozam értékének csökkenését alkalmazzák a kérdéssel foglalkozó szerzők. Olyan folyószakaszokon, ahol a vízhozam változását csak a medertározás okozza, valóban egyértelműen jellemezhetjük így az ellapulást. Ahol azonban más, például hidrogeológiai ok miatt feltehetően a permanens-érték is változik szelvényről szelvényre, ez az eljárás nem vezet eredményre, más módot kell keresnünk a hullám-magasság ellapulásának a jellemzésére. Célszerű ezen

Vízállás [cm]
(0 pont 81,72 m Orsz)

Baja

1964 évi
főhullám



12. ábra

kívül meghatározunk a hullám vízszintes, az időtengely irányába eső elnyúlását is. Mindezek figyelembevételével a hullám magassági értelemben történő ellapulásának a jellemzésére a tetőző vízállást, illetőleg vízhozamot fogadjuk el a felső permanens értékéhez viszonyítva.

A vízszintes ellapulás mértékéül az áradó ágon és az apadó ágon tetszőlegesen meghatározott és a különböző szelvények árhullámképein összetartozó egy-egy pont bekövetkezése között eltelt időt, illetve ennek az időtartamnak szelvényről szelvényre történő változását választjuk.

A két jellemző mind a vízhozam, illetőleg vízállás, mind pedig az idő-tengely irányában mutatja a hullám változását.

Az első jellemzőt nemcsak abszolút értékben adjuk meg, hanem az alsó és felső permanens-érték különbségének százalékában is. Ilyen módon kiküszöbölhetjük ugyanis azt a nehézséget, amely egyébként az összetartozó értékeknek a szakasz mentén történő változásából és az összetartozó vízhozamok közötti kapcsolat bizonytalanságából adódna.

A tetőző szinthez tartozó vízhozamot a kétváltozós vízhozam-görbe segítségével határozzuk meg. Ez elvileg kétségtelenül helytelen. Véleményünk szerint azonban a tetőzés környezetében az eltérés a kétváltozós kapcsolattól nem nagyobb, mint a vízhozam-görbében amúgy is tapasztalható bizonytalanság. A jellemzők meghatározásánál a hullám számításánál felhasznált felső permanens értéket és a számított tetőzést vettük figyelembe. Az 1949. évi

7. táblázat

A vízállás és a vízhozam csökkenése az árhullám levonulása során

a) Az 1949. évi hullám jellemző vízállás és vízhozam adatai

A vizsgált szelvény	Az áradást megelőző alsó permanens		A felső permanens		A tetőző	
	szint [cm]	vízhozam [m ³ /sec]	szint [cm]	vízhozam [m ³ /sec]	szint [cm]	vízhozam [m ³ /sec]
Nagymaros	134	1350	544	6220	508	5776
Dunapentele.....	172	1350	587	6020	553	5485
Dombori puszta	140	1350	755	6020	672	5090
Baja	220	1350	825	6325	768	5556

b) Az 1954. évi előhullám jellemző vízállás és vízhozam adatai

A vizsgált szelvény	Alsó permanens		A felső permanens		A tetőző	
	szint [cm]	vízhozam [m ³ /sec]	szint [cm]	vízhozam [m ³ /sec]	szint [cm]	vízhozam [m ³ /sec]
Nagymaros	170	1650	470	5280	432	4794
Dunapentele.....	210	1612	525	5080	474	4398
Dombori puszta	195	1700	692	5300	590	4360
Baja	280	1810	756	5416	668	4498

c) Az 1954. évi főhullám jellemző vízállás és vízhozam adatai

A vizsgált szelvény	Az alsó permanens		A felső permanens		A tetőző	
	szint [cm]	vízhozam [m ³ /sec]	szint [cm]	vízhozam [m ³ /sec]	szint [cm]	vízhozam [m ³ /sec]
Nagymaros	170	1650	660	8300	648	8048
Dunapentele.....	210	1612	690	8000	672	7635
Dombori puszta	195	1700	870	8000	824	6880
Baja	280	1810	930	8500	904	7800

d) A felső permanens és a tetőző vízállás közötti különbség

A vizsgált szelvény	A vízállás-csökkenés					
	1949. évi hullám		1954. évi előhullám		1954. évi főhullám	
	cm	%	cm	%	cm	%
Nagymaros	36	8,8	38	12,6	12	2,5
Dunapentele.....	34	8,2	51	16,2	18	3,7
Dombori puszta	83	13,5	102	20,1	51	7,5
Baja	57	9,4	88	18,4	26	4,0

e) A felső permanens vízhozam és a tetőző érték közötti különbség

A vizsgált szelvény	A vízhozam-csökkenés					
	1949. évi hullám		1954. évi előhullám		1954. évi főhullám	
	[m ³ /sec]	%	[m ³ /sec]	%	[m ³ /sec]	%
Nagymaros	444	9,1	486	13,4	252	3,8
Dunapentele.....	535	11,4	682	19,7	365	5,7
Dombori puszta	930	19,9	940	26,1	1120	17,8
Baja	769	15,4	918	25,4	700	10,5

hullám esetében, ahol az áradó és az apadó hullám meghatározásánál más-más alsó permanens szintet vettünk alapul, a százalékos értéket az áradást megelőző alsó szinttel számoltunk. A hullám ellapulásának a vízállás és vízhozam csökkentését mutató jellemzőit és a számításukhoz felhasznált alapadatokat a 7. táblázatban foglaltuk össze.

Az adatok közül a 7e táblázatban szereplők, a medertározási veszteségek jellemzik legjobban a hullám ellapulását. Ha eltekintünk a Dombori-puszta szelvényében számítható értékektől, amelyek szemmel láthatóan élesen kiugranak az egyébként fokozatos változást mutató sorból, megállapíthatjuk, hogy a medertározási veszteség az 1949. évi hullám esetében 9,1%-ról 15,4%-ig növekszik, az 1954. évi előhullámnál 13,4%-ról 25,4%-ig, míg a főhullámnál a változás 3,8%-ról 10,5%-ig terjed. A 216 km hosszú szakaszon a változás sorra 6,3%, 12,0%, illetve 6,7%. 100 km-es hosszön tehát átlagosan 4%-os medertározási veszteséggel számolhatunk. Az egyes hullámok számítása során a medertározási veszteségekben mutatkozó lényeges eltérések azt igazolják, hogy a felső permanens szinttől, valamint az áradás és az apadás időbeli helyzetétől ez a veszteség nagymértékben függ. Részletes vizsgálata a további vízháztartási vizsgálatokhoz ezért feltétlenül szükséges.

A hullám alakjának az időtengely irányában történő megváltozását azzal az időtartammal mérhetjük, amely az egyes szelvényekben az áradó és az apadó ág egy-egy meghatározott vízállásának, illetve vízhozamának bekövetkezése között mérhető. Az 1949. évi árhullám részletes ismertetése, a hullám időbeli helyzetének rögzítése során már említettük, hogy a számítás, illetve a szerkesztés jellegének megfelelően az 50%-os vízhozamnak megfelelő vízállás helyzete a leghatározottabb az időben. Ezért az ellapulás mértékének a jellemzésére ezeknek a vízállásoknak az időpontját foglaltuk össze a 8. táblázatban.

8. táblázat

A hullám ellapulására jellemző időadatok

A vizsgált szelvény	Az 50%-os vízhozamhoz tartozó vízállás bekövetkezésének időpontja						A két időpont különbsége [nap]		
	Az áradó ágon			Az apadó ágon			1949. évi hullám	1954. évi elő-hullám	1954. évi fő-hullám
	1949. évi hullám	1954. évi előhullám	1954. évi főhullám	1949. évi hullám	1954. évi előhullám	1954. évi főhullám			
Nagy-maros	aug. 16 8h	júl. 4 20h	júl. 13 10h	aug. 24 19h	júl. 11 19h	júl. 26 21h	8,46	6,96	13,46
Dunapentele	aug. 17 0h	júl. 5 12h	júl. 14 1h	aug. 25 14h	júl. 12 1h	júl. 27 16h	8,58	6,55	13,62
Dombori puszta	aug. 17 17h	júl. 5 23h	júl. 14 14h	aug. 26 12h	júl. 13 0h	júl. 30 14h	8,79	7,04	16,00
Baja	aug. 17 20h	júl. 6 4h	júl. 14 22h	aug. 27 17h	júl. 13 6h	júl. 31 15h	9,87	7,08	16,71

A felsorolt adatokból láthatjuk, hogy az ellapulást jelző időnövekedés — egyetlen adat kivételével — szabályosan jelentkezik. Megállapítható továbbá az, hogy az ellapulás Dunapentele fölött csak igen kismértékű, míg az alsó szakaszon erőteljesebb.

d) *A levonulási vizsgálatok eredményeinek összefoglalása*

A 2. fejezetben elmondottak alapján összefoglalásként megállapíthatjuk, hogy a javasolt eljárás általánosságban megfelel a levonuló árhullám teljes árhullámképezésének meghatározására. A számított vízállás-görbe a vízállás leolvasások alapján szerkesztett görbével jól összevág. Az áradó ág számított levonulási sebessége a megfigyelt értékkel megegyezik. Kisebb fokú bizonytalanság mutatkozik az apadó hullám levonulási idejének, továbbá az apadás számításakor figyelembe veendő feltételezett kiindulási pont helyének meghatározásában. Ezért ezeknek további vizsgálata szükséges.

A javasolt számítási eljárás megbízhatóságán kívül vizsgáltuk a szakaszra jellemző általános levonulási törvényszerűségeket. Megállapítottuk, hogy a medertározási veszteségeken kívül is változik szelvényről szelvényre az összetartozó vízhozam értéke. A változás törvényszerűségének és nagyságának meghatározásához részletesebb tanulmány elvégzése szükséges még. Hasonlóan későbbi vizsgálat kell, hogy foglaljon az ellapulás mértékére jellemző medertározási veszteség és időben történő elnyúlás nagyságával. A most bemutatott vizsgálatok ezekről az értékekről is adtak tájékoztató felvilágosítást.

3. Az árhullámok összegeződésének vizsgálata

A vízállás leolvasások alapján szerkesztett vízállás-görbék gyakran mutatnak a magányos hullám megismert alakjától eltérő jelleget. Ezek a hullámképek az egymást időben közvetlenül követő, illetve különböző mértékben átfedő áradó és apadó hullámok változatos összegeződéseként jönnek létre. Vizsgáljuk meg, hogy a javasolt eljárással meghatározott apadó és

áradó hullámképekből összesítve milyen pontossággal tudjuk követni a tényleges leolvasásokból szerkesztett vízállás-görbét.

A magányos hullám levonulásának számításához hasonlóan a nagymarosi, a dunapentelei, a dombori-pusztai és a bajai szelvényre vonatkozóan végeztük el a vizsgálatokat. Tanulmányunkban az 1954. évi, két hullámból összetevődő katasztrofális árvíz vízállás-görbéjét igyekeztünk számítással meghatározni és ezt hasonlítottuk össze a tényleges vízállás-görbével.

a) Az 1954. évi árhullám levonulása

Az 1954. évi árvíz egy alacsonyabb szinten tetőző előhullámból és egy ezt követő, sok helyütt az eddig észlelt legmagasabb szintet meghaladó magasságban tetőző főhullámból tevődött össze. A két hullámnak önálló vízállás-görbéit az 5–12. ábrákon a magányos hullám levonulásának vizsgálata során már bemutattuk. Az észlelt jellemző vízállásokat, valamint a számítás alapjául szolgáló értékeket a 9. és 10. táblázatban foglaltuk össze. Az adatok összeállítása az 1949. évi hullám vizsgálatánál már ismertetett elvek figyelembevételével történt.

9. táblázat

1954. évi árhullám levonulásának jellemzői a vízállás-leolvasások alapján

a) A megelőző völgyelő vízállás és a völgyelés időpontja

Nagymaros	271 cm	(június 29.)
Dunapentele.....	307 „	(július 2.)
Dombori puszta	369 „	(július 1.)
Baja	465 „	(július 2.)

b) Az előhullám tetőző vízállása és a tetőzés időpontja

Nagymaros	428 cm	(július 8.)
Dunapentele.....	468 „	(július 8.)
Dombori puszta	608 „	(július 9.)
Baja	676 „	(július 10.)

c) A két hullám között kialakuló völgyelés és a völgyelés időpontja

Nagymaros	402 cm	(július 10.)
Dunapentele.....	450 „	(július 11.)
Dombori puszta	594 „	(július 11.)
Baja	676 „	(július 11.)

d) A főhullám tetőző vízállása és a tetőzés időpontja

Nagymaros	641 cm	(július 18.)
Dunapentele	671 „	(július 20.)
Dombori puszta	849 „	(július 21.)
Baja	912 „	(július 23.)

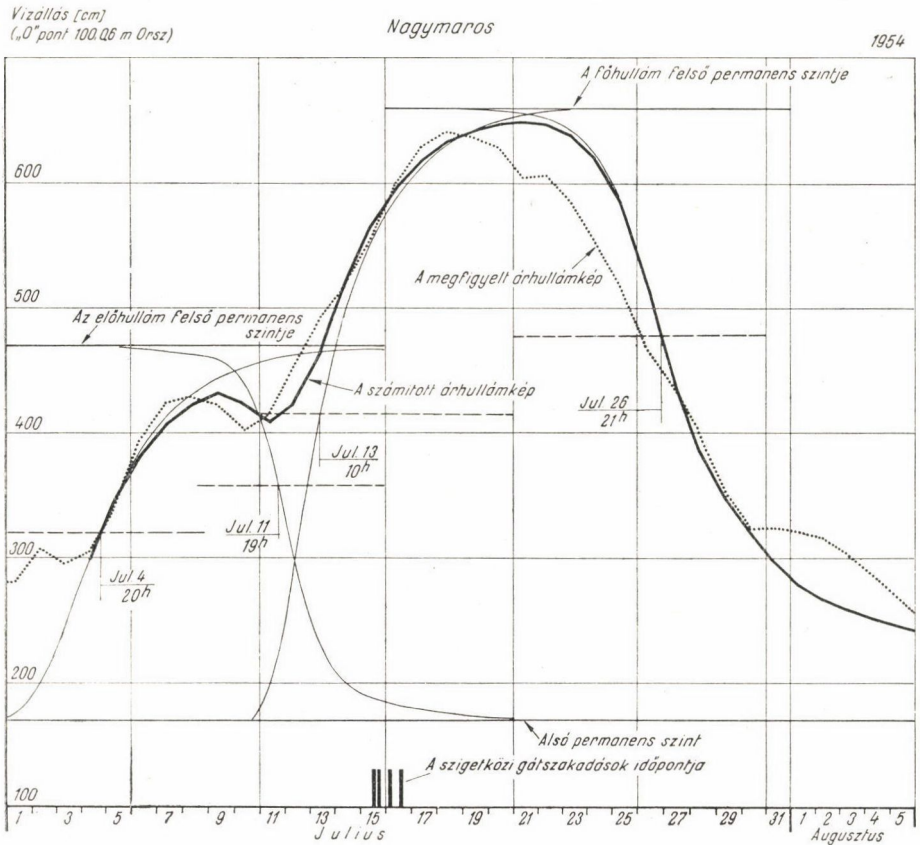
e) A követő völgyelő vízállás és a völgyelés időpontja

Nagymaros	242 „	(augusztus 7.)
Dunapentele	282 „	(augusztus 8.)
Dombori puszta	331 „	(augusztus 9.)
Baja	426 „	(augusztus 9.)

10. táblázat

A számítás alapjául szolgáló vízállás, vízhozam és mederszélesség értékek (1954)

A vizsgált szelvény	Közös alsó permanens			Az előhullámhoz tartozó felső permanens			A főhullámhoz tartozó felső permanens		
	Vízállás [cm]	Vízhozam [m ³ /sec]	Mederszélesség [m]	vízállás [cm]	Vízhozam [m ³ /sec]	Mederszélesség [m]	vízállás [cm]	Vízhozam [m ³ /sec]	Mederszélesség [m]
Nagymaros	170	1650	455	470	5280	545	660	8300	580
Dunapentele....	210	1612	474	525	5080	510	690	8000	540
Dombori puszta	195	1700	485	692	5300	517	870	8000	560
Baja	280	1810	372	756	5416	423	930	8500	435



13. ábra

A felsorolt adatokból számítottuk az áradás hullámképét és megszerkesztettük az apadó hullámnak a helytől függő vízállás-görbéit.

Az így meghatározott görbéket a tényleges észlelésekhez hasonlítva, meghatároztuk a feltételezett kiindulási pontnak a távolságát jellemző paramétert. Mint az 5. táblázatban már bemutattuk, a paraméterek közötti különb-

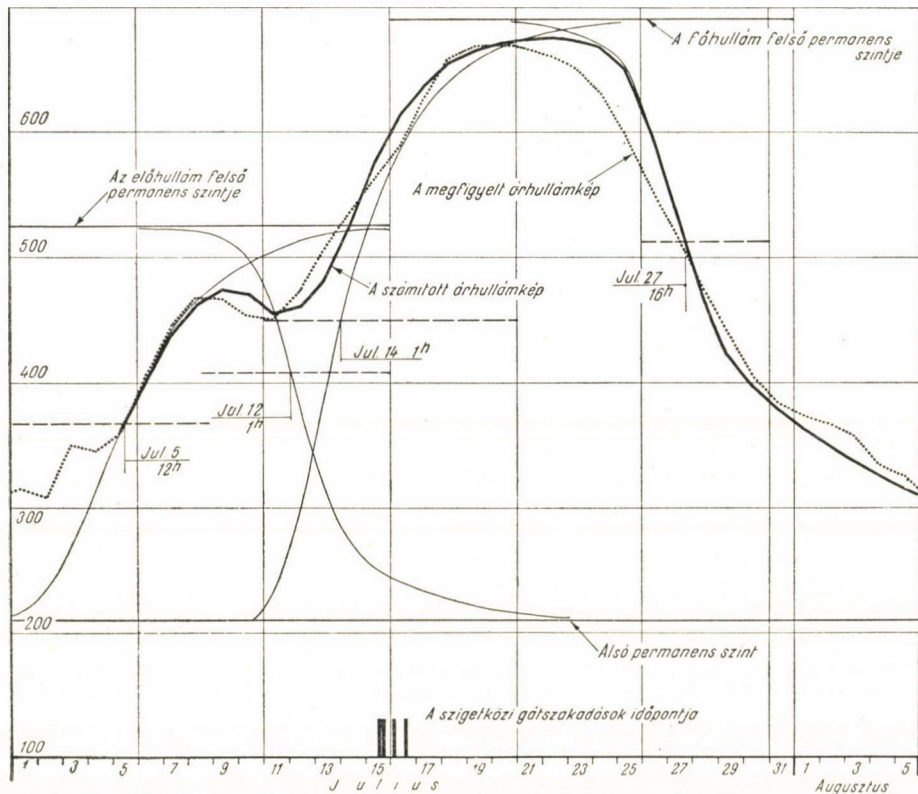
ség nem egyezik meg a szelvények közti távolsággal, de mindhárom vizsgált hullám esetében azonosra adódik és a paraméterek értéke úgy rendeződik, hogy magasabb felső permanens szinthez nagyobb paraméter tartozik.

Következő lépésként az összetevő áradó és apadó hullámok eredőjeként megszerkesztettük az 1954. évi árvíz teljes ár hullám képét és ezt hasonlítottuk a tényleges leolvasásokból szerkesztett vízállás-görbékhez (13–16. ábrák).

Vízállás [cm]
(0. pont 90.95 m Orsz)

Dunapentele

1954

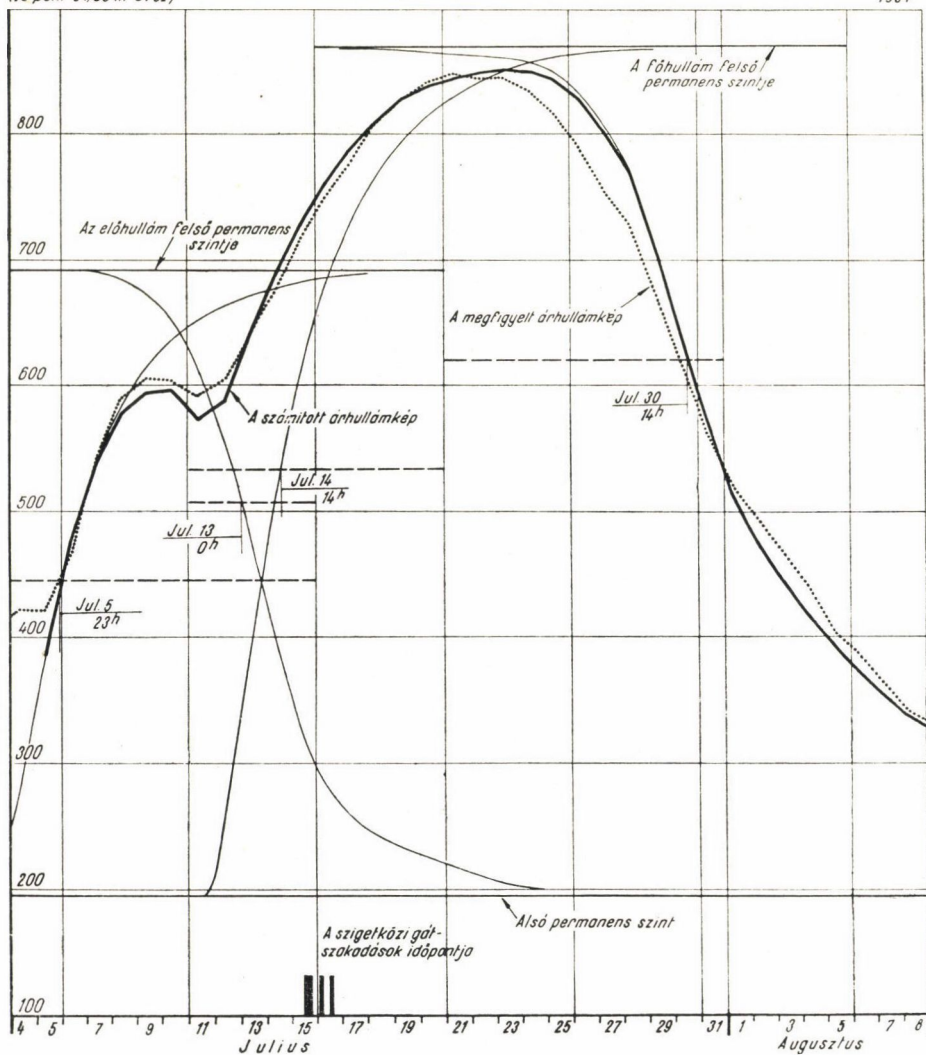


14. ábra

Az ábrák a számított és megfigyelt görbék igen jó egyezését mutatják, ami azt igazolja, hogy a javasolt számítási eljárás összetett hullámok teljes ár hullámképének meghatározására is megbízhatóan felhasználható.

A hullámtér tározó hatása következtében az ág felső szakaszán mutatkozó eltérés most is jelentkezett, bár nem olyan határozottan, mint az 1949. évi hullám vizsgálatánál. Ennek oka nyilvánvalóan az, hogy az előhullám közben megindult apadása, illetve az apadás során felszabaduló tárolt vizek ezt a folyamatot megzavarják.

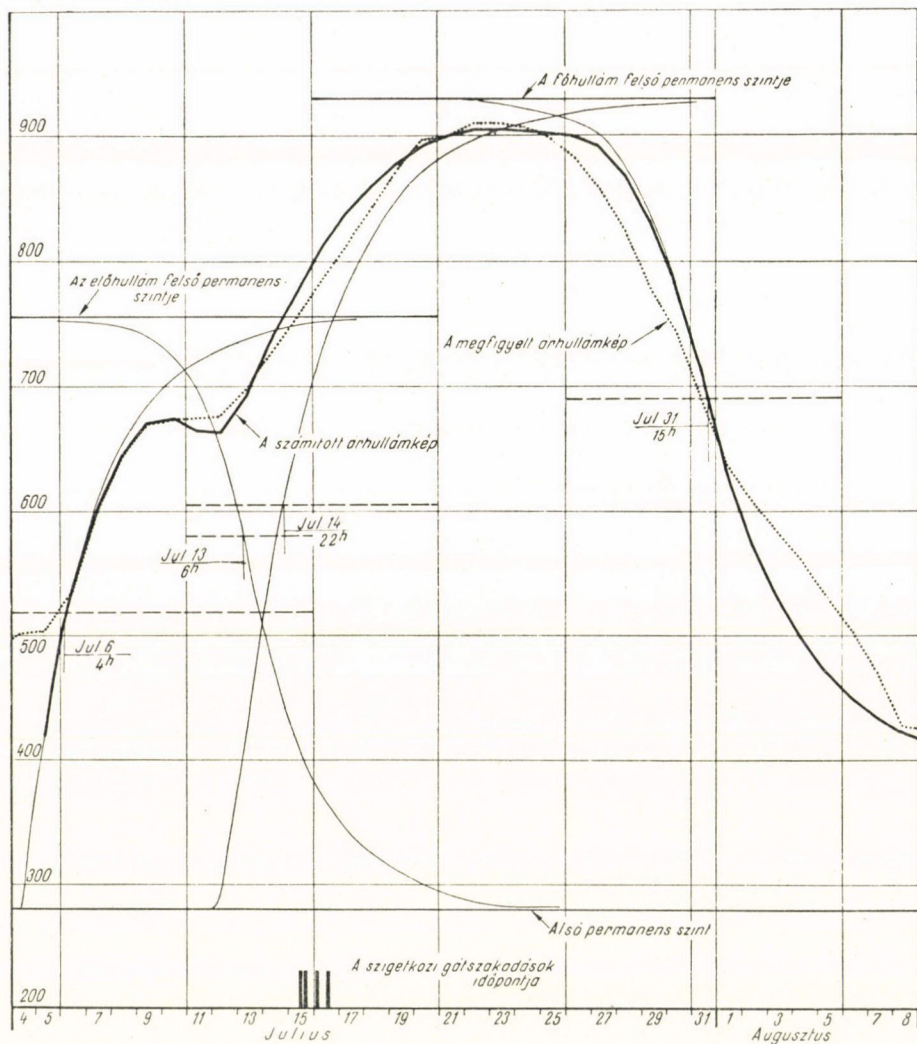
A tetőzések környezetében az eltérés sokkal kisebb, mint az 1949. évi hullám vizsgálatánál. Ezekben a szinteken tehát a hidrológiai alapon feltéte-



15. ábra

lezett összetartozó vízhozamok jobban megközelítik a tényleges kapcsolatot. Az eltérések számszerű értékeit a 6/c. táblázat mutatja.

Nagy különbség mutatkozik a számított és a megfigyelt görbe között a főhullám apadó ágának a környezetében. A magas vízállások tartományában mind a négy szelvényben a ténylegesen kialakult érték a számított alatt marad, míg az alsó permanens szinthez közeledve, az eltérés előjele megváltozik és a megfigyelt értékeket összekötő görbe fut magasabban. Az eltérést minden bizonnyal a Szigetközben bekövetkező gátzakadások okozták, melyeknek



16. ábra

időpontját az ábrákon feltüntettük. Ezek következtében az árhullám tetőzésének környezetében az átszakadt gátakon átömölve nagymennyiségű víz tározódott, ami a lentebb fekvő szelvényekben hirtelen apadást okozott, míg a vízállás süllyedése után ez a tárolt víz felszabadulva magasabb vízállást hozott létre, mint ami egyébként a természetes állapot megzavarása nélkül kialakult volna.

Azt a feltevést, amely szerint az eltérést a gátszakadások okozzák, megerősíti az a tény, hogy az eltérés jelentkezésének időpontja a Dunán lefelé

haladva eltolódik, jelezve azt, hogy a különbséget előidéző ok az árhullámmal együtt vonul le a folyó mentén. A nagymarosi szelvényben a vízállás-görbe mind a magas, mind az alacsony vízállás környezetében éles törést mutat azon a szakaszon, ahol a két görbe egymástól eltér. A lentebb fekvő szelvényekben ez a törés fokozatosan elsimul. Ez is alátámasztja előbbi feltevésünket.

A számított, illetve szerkesztett görbék alapján meghatározható és a megfigyelt levonulási idők összehasonlítását az 1949. évi hullám vizsgálatánál elmondott elvek alapján végeztük el. A jellemző értékeket a *11. táblázatban* foglaltuk össze.

11. táblázat

A számított és a valóban bekövetkező levonulási idők összehasonlítása (1954)

A vizsgált szelvény	Az 50%-os vízhozamhoz tartozó szint kialakulásának időpontja	A szelvény jellemzői alapján meghatározott levonulási sebesség [m ³ /sec]	A szelvények közötti távolság [km]	A vízállás leolvasások alapján meghatározott levonulási idő [nap]	A megelőző szelvény sebességadata alapján számított levonulási idő [nap]	A követő szelvény sebességadata alapján számított levonulási idő [nap]
<i>a) Az előhullám áradó ága</i>						
Nagymaros	július 4 20 ^h	2,02	114	0,67	0,65	0,63
Dunapentele	július 5 12 ^h	2,10	74	0,46	0,41	0,63
Dombori puszta	július 5 23 ^h	1,36	28	0,21	0,24	0,19
Baja	július 6 4 ^h	1,67				
<i>b) Az előhullám apadó ága</i>						
Nagymaros	július 11 19 ^h	1,93	114	0,29	0,68	0,80
Dunapentele	július 12 1 ^h	1,65	74	0,96	0,52	0,52
Dombori puszta	július 13 0 ^h	1,65	28	0,25	0,20	0,16
Baja	július 13 6 ^h	2,10				
<i>c) A főhullám áradó ága</i>						
Nagymaros	július 13 10 ^h	2,18	114	0,62	0,61	0,55
Dunapentele	július 14 1 ^h	2,39	74	0,54	0,36	0,54
Dombori puszta	július 14 14 ^h	1,60	28	0,33	0,20	0,14
Baja	július 14 22 ^h	2,26				
<i>d) A főhullám apadó ága</i>						
Nagymaros	július 26 21 ^h	1,78	114	0,79	0,74	1,14
Dunapentele	július 27 16 ^h	1,16	74	2,92	0,74	0,66
Dombori puszta	július 30 14 ^h	1,29	28	1,04	0,25	0,17
Baja	július 31 15 ^h	1,93				

A táblázat adatai — az 1949. évi hullám vizsgálatánál mondottakkal egybehangzóan — azt mutatják, hogy az áradás levonulásának sebessége megbízhatóan számítható, az apadás szerkesztéssel meghatározott sebessége azonban bizonytalan.

b) Az 1954. évi katasztrofális árvíz jellemzése

Az 1954. évi kettős hullám vizsgálata nemcsak arra ad alkalmat, hogy ellenőrizzük a javasolt eljárásnak az alkalmazhatóságát összetett hullámok számítása esetében, hanem lehetővé teszi azt is, hogy megállapítsuk a katasztrofális árvíz néhány jellemzőjét.

Az árvízről megjelent eddigi ismertetésekben több helyen találunk utalást arra, hogy a rendkívül magas szint elérésének egyik magyarázata az egymást követő hullámok hatásának összegeződése. A számítások eredményeit feltüntető 13–16. ábrák ezzel szemben azt mutatják, hogy a vizsgált szakaszon abban az időpontban, amikor a főhullám tetőzött, az előhullám már csaknem teljesen leapadt, úgyhogy az a főhullám tetőző szintjét már csak néhány cm-rel emelte.

A rendkívül magas vízállás oka inkább abban kereshető, hogy a főhullám levonulása után az áradást csak hosszú idő múlva követte az apadás megindulása. Az amúgy is magas permanens szintet az áradó és az apadó ág kismértékű átfedése következtében a tetőző érték nagymértékben megközelítette. A tetőzés Nagymaroson csak 12 cm-rel, Dunapentelén 15 cm-rel, Dombori pusztán 19 cm-rel, Baján pedig 26 cm-rel maradt a permanens állapotot jellemző vízállás alatt.

Bár az előhullám — a számítások tanúsága szerint — nem emelte az amúgy is katasztrofális árvíz szintjét, az árvízveszélyt mégis nagymértékben növelte a két hullám összetalálkozása. Az előhullám ugyanis a magas vízállás tartósságát nyújtotta meg és ezzel az árvédelmi töltések állékonyságát veszélyeztette. A tartósság növekedésére jellemző, hogy a főhullám 90%-os vízhozamához tartozó vízállás időtartamát, amely az előhullám hatása nélkül 7–8 nap lett volna, a két hullám összetalálkozása 1–2 nappal, tehát 15–25% kal növelte meg.

Elfogadva azt a feltevést, hogy a főhullám apadó ágánál a számított és észlelt görbe közötti eltérést a szigetközi töltés-szakadások okozták, megvizsgáltuk, hogy a szakadások mögött történő tározódás milyen mértékben módosította az alatta levő szakaszokon a levonuló árhullámot.

Először a két görbe közötti különbség figyelembevételével közelítőleg meghatároztuk azt a vízmennyiség különbséget, amely a két ábraterület különbségeként adódik, a vízálláskülönbséget vízhozam különbséggé számítva át. A számítást a területet egyenlő szélességű (1 nap széles) sávokra bontva végeztük el és ezeknek a sávoknak közepes vízállásaihoz a kétváltozós vízhozam-görbe alapján határoztuk meg a vízhozamokat, illetve a vízhozam különbségeket. Ezeket az utóbbiakat a napok másodperceinek a számával szorozva és összegezve adódik a tározódás következtében az alsó szelvényekben mutatkozó vízmennyiség hiány.

Az elvégzett közelítő számítás szerint a vízhiány szelvényenként a következő: Nagymaros 450 millió m³, Dunapentele 340 millió m³, Dombori pusztá 320 millió m³, Baja 300 millió m³. A nagymarosi érték jó egyezést mutat *Károlyi Zoltán* számításaival, amelyek alapján a Szigetközbe behatolt víz mennyiségét 464 millió m³-re becsüli [7]. Nagymaros és Dunapentele között a hiány hirtelen csökken, majd további kismértékű és fokozatos csökkenés mutatkozik Bajáig.

A hiány csökkenését azzal magyarázhatjuk, hogy a szakadás következtében beálló vízszint-süllyedés a főhullám apadó szakaszán következett be,

így az apadás következtében a hullámtereken és mellékágakban tározódott vízmennyiség felszabadulása mérsékli a vízhiányt. Ez a magyarázat indokolja a Nagymaros alatti hirtelen, majd ezután a fokozatos változást. Nagymarosnál ugyanis a szakadás következtében beálló vízszint-süllyedés még a tetőzés környezetében mutatkozik, eddig a szelvényig tehát a hullámterekről felszabaduló vízmennyiség nem jelentős, a többi vízmércénél viszont a vízszint süllyedése már határozottan az apadó ágon jelentkezik, mert a hullámnak és a vízszint-süllyesztő hatásnak a levonulási sebessége különböző.

Vizsgáltuk még a számított és a megfigyelt görbék összehasonlításának a segítségével azt is, hogy a szigetközi gátszakadások mérsékelték-e a Győr alatti szakaszon az árvízveszélyt.

A számítással meghatározott görbék azt mutatják, hogy a tetőző szint csökkenésére a gátak átszakadása nem gyakorolt jelentős hatást. Nagymaroson a tetőző szintnek a szakadások következtében bekövetkező süllyedése 10 cm-re becsülhető. Ez az érték lefelé haladva egyre csökken és feltehetően Bajáig elenyészik.

Jelentősebb volt a szakadásoknak az a hatása, hogy a tározódás következtében a legmagasabb vízállások tartóssága csökken. A csökkenés mértéke Nagymaroson még két nap, míg Bajáig ez egy napra csökken.

c) Az árhullámok összegeződésével kapcsolatos vizsgálatok összefoglalása

Az 1954. évi két hullámból összetevődő katasztrofális árvíz elemzése igazolta azt a feltevésünket, hogy az általunk javasolt számítási eljárás bonyolultabb hullámképek vizsgálatára is alkalmazható. Ennek bizonyításán túlmenően, meghatározva az eredő hullámképet összetevő áradó és apadó hullámok sorozatát, rögzítve továbbá ezek időbeli helyzetét, alkalmunk adódott a katasztrofális árvíz néhány jellemzőjének megállapítására.

Meghatároztuk elsősorban azt, hogy a két hullám találkozása a vizsgált szakaszon lényeges mértékben nem növelte a főhullám következtében amúgyis kialakuló igen magas tetőzésű szintet. Az összegeződés következtében bekövetkező vízszint-emelkedés csak cm nagyságrendű. Növelte mégis az árvízveszélyt az előhullám azért, mert a magas vízállások egyébként 7—8 napos tartósságát 1—2 nappal megnyújtotta.

Vizsgáltuk még az árhullámképek alapján azt is, hogy a szigetközi gátszakadásoknak milyen hatása volt a Nagymaros—Baja közötti szakaszon az árhullám kialakulására. Megállapítottuk, hogy a tározódás következtében kialakuló vízszint-süllyedés Nagymaroson még csaknem teljes mértékben jelentkezik, míg a többi szelvényben ezt a hatást már mérsékli a hullámtereken és a mellékágakban tározódott víznek az apadáskor történő felszabadulása. A gátszakadások következtében előálló vízszint-süllyedés a vizsgált szelvényekben a tetőző szintet csak néhány cm-rel csökkentette, a magas vízállások tartóssága azonban Nagymaroson 2 nappal, Baján 1 nappal rövidebb lett.

4. Az árhullámkép hidraulikai számításának alkalmazása

Az eddigi példákban olyan árhullámokat vizsgáltunk, amelyeknél mind a négy szelvényben rendelkezésünkre állott a vízállás-leolvasásokból szerkesztett vízállás-görbe, amelyhez hasonlíthattuk a számított árhullámképet. Így

ezek a vizsgálatok elsősorban az eljárás alkalmazhatóságának igazolását és a megbízhatóság mértékének a meghatározását szolgálták. Az eljárás tulajdonképpen célja azonban az, hogy olyan szelvényekben, ahol a megfigyelések hiánya, vagy a vízjárást befolyásoló külső ok miatt nem ismerjük azt az árhullámképet, amely természetes állapotban kialakult volna, más szelvény ismert vízállás-görbéje alapján rekonstruáljuk a hiányzó adatokat. Az árhullámkép hidraulikai számításainak alkalmazására példaként az 1956. évi jeges árvíz levonulásának vizsgálatát mutatjuk be.

a) Az 1956. évi jeges árvíz levonulásának vizsgálata

A jeges árhullám levonulásának az idején vízhozam-mérések a Dunán nem történtek. Ezért annak meghatározása, hogy a torlaszok és szakadások bekövetkezése nélkül milyen vízszintek alakultak volna ki, közvetlenül a vízhozamokból átszámítva nem lehetséges. Közvetett eljárást kell tehát alkalmaznunk, keresve olyan szelvényt, ahol a vízállások kialakulását a torlaszok nem befolyásolták. Ennek árhullámképét áthelyezve azután a többi szelvénybe, a keresett vízállás-görbéket közelítőleg meghatározhatjuk.

Az adatsorokból megállapítható, hogy a nagymarosi vízmércze szelvényében a torlaszok hatására jelentősebb duzzasztás nem következett be. Így az itt észlelt adatokat az árhullám során levonuló vízhozamok meghatározására felhasználhatjuk. Meg kell jegyeznünk azonban, hogy az itt kialakult vízállások sem mentesek a jégjárás hatásától azért, mert a Felső-Dunán Pozsony és Rajka térségében kialakult torlaszok feltehetően befolyásolták az alattuk levő szakaszon az árhullám kialakulását, növelték annak legnagyobb vízhozamát. Így tehát azok a vízállások, amelyeket a Budapest alatti szelvényekre mint torlaszok duzzasztása nélkül kialakuló vízszinteket a nagymarosi adatokból levezetünk, nem az olvadás következtében előálló árhullámok várható képét adják meg, hanem annak az árhullámnak a vonalát, amely az olvadások és a felső duzzasztások felszabaduló tömegének együttes hatására jelentkezett volna.

Figyelembe véve, hogy a nagymarosi mércén február hónap folyamán bekövetkezett vízszint-emelkedést nem a vízhozam növekedése hozta létre, hanem az a jég beállásának következtében előálló nagyobb súrlódás hatására keletkezett, ebben az időben a vízállásokat jégmentes szintre redukáltuk. A redukciónak azt a jég által befolyásolt nagymarosi vízhozam-görbét használtuk fel, amelyet *Lászlóffy Woldemár* tanulmányai alapján a Vízügyi Tervező Irodában *Békési János* szerkesztett.

Az árhullám megindulása előtt a vízszint Nagymaroson közelítőleg 320 cm körül ingadozott. Ilyen szint mellett — álló jeget figyelembe véve — a levonuló vízhozam 2360 m³/sec-ra tehető. Jégmentes mederben ennek a vízhozamnak 240 cm-es vízállás felel meg. Ez az érték jól megegyezik mind a jég beállása előtt megfigyelt, mind a hullám levonulása után kialakuló kisvíz szintjével. Ennek alapján alsó permanens vízállásként ezt az értéket fogadtuk el.

A hullám alakulását és a március 10-én 571 cm-es vízállással bekövetkezett tetőzését figyelembe véve, a felső permanens szintet 590 cm-re becsültük. Ehhez a vízálláshoz a kétváltozós vízhozam-görbe alapján 6880 m³/sec vízhozam tartozik. A számítás alapjául szolgáló adatokat mind a nagymarosi, mind a többi vizsgált szelvényre vonatkozóan a *12. táblázatban* foglaltuk össze.

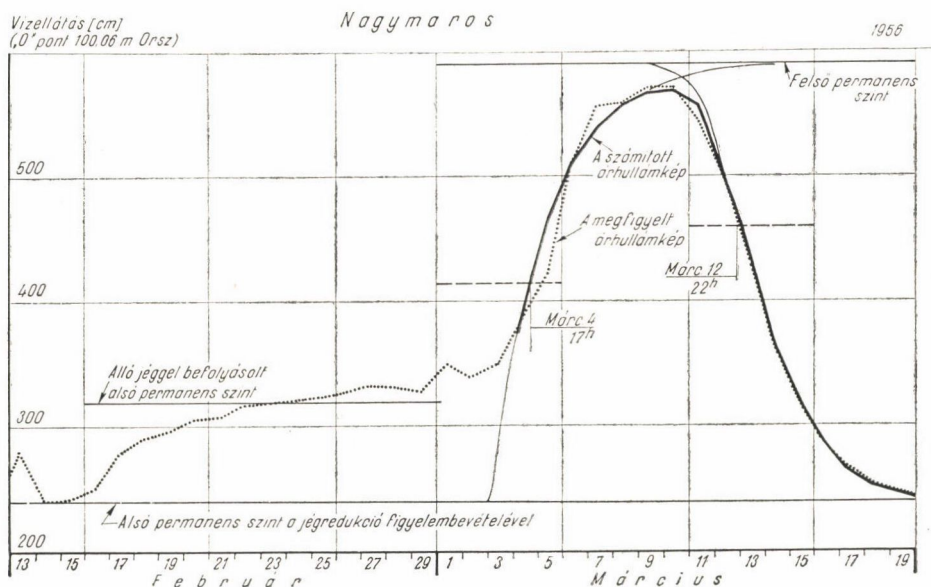
12. táblázat

A számítás alapjául szolgáló vízállás, vízhozam és mederszélesség értékek (1956)

A vizsgált szelvény	Alsó permanens			Felső permanens		
	vízállás [cm]	vízhozam [m ³ /sec]	mederszélesség [m]	vízállás [cm]	vízhozam [m ³ /sec]	mederszélesség [m]
Nagymaros	240	2360	460	590	6880	570
Dunapentele.....	278	2280	475	625	6740	520
Dombori puszta	315	2390	495	810	6600	540
Baja	405	2600	374	870	7060	430

A számított áradó hullámképet a ténylegesen kialakult vízállások vonalához illesztve megállapíthattuk, hogy az 50%-os vízhozamhoz tartozó vízállás az áradás során március 4-én 17 órakor következett be.

A számított árhullámképhez viszonyítva a tényleges leolvadások jelentősebb eltérést csak március 5-én (– 40 cm) és március 7-én (+ 10 cm) mutat-



17. ábra

nak. A negatív eltérést az álló jég hatásának tekinthetjük. A nagymarosi szelvényben ugyanis csak március 5-én bomlott meg az összefüggő jégtakaró. Feltehető tehát, hogy az álló jég mérsékelte az áradás ütemét azáltal, hogy az érkező vízhozam egy részét tárolta. A jég megindulása után felszabaduló tárolt vízmennyiség adja a magyarázatát a 7-én észlelt pozitív irányú eltérésnek.

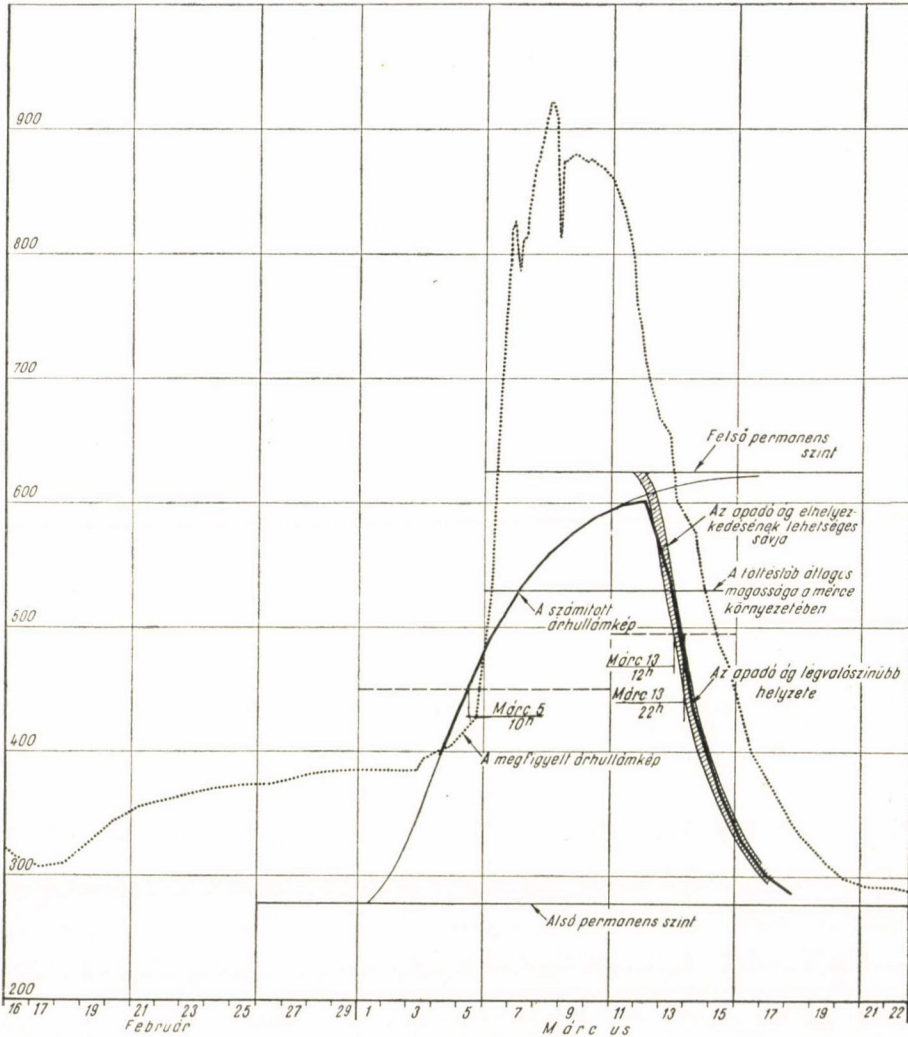
Az apadó hullám görbeseregét megszerkesztve megállapítottuk, hogy a nagymarosi szelvényben a megfigyelt görbére az $x = 110$ km-es paraméterhez tartozó görbe illeszkedik. A többi szelvényben ez a paraméter — figyelembe véve az előző példákban meghatározott állandó különbségeket — a következő :

Dunapentele 140 km, Dombori-puszta 150 km és Baja 190 km. Összehasonlítva ezeket a görbéket, a hullám ténylegesen kialakult apadó ágával, megállapíthatjuk, hogy Dunapentelén a 480 cm-es vízállás fölött a két görbe jól

Vízállás [cm]
(0° pont 90,95 Orsz)

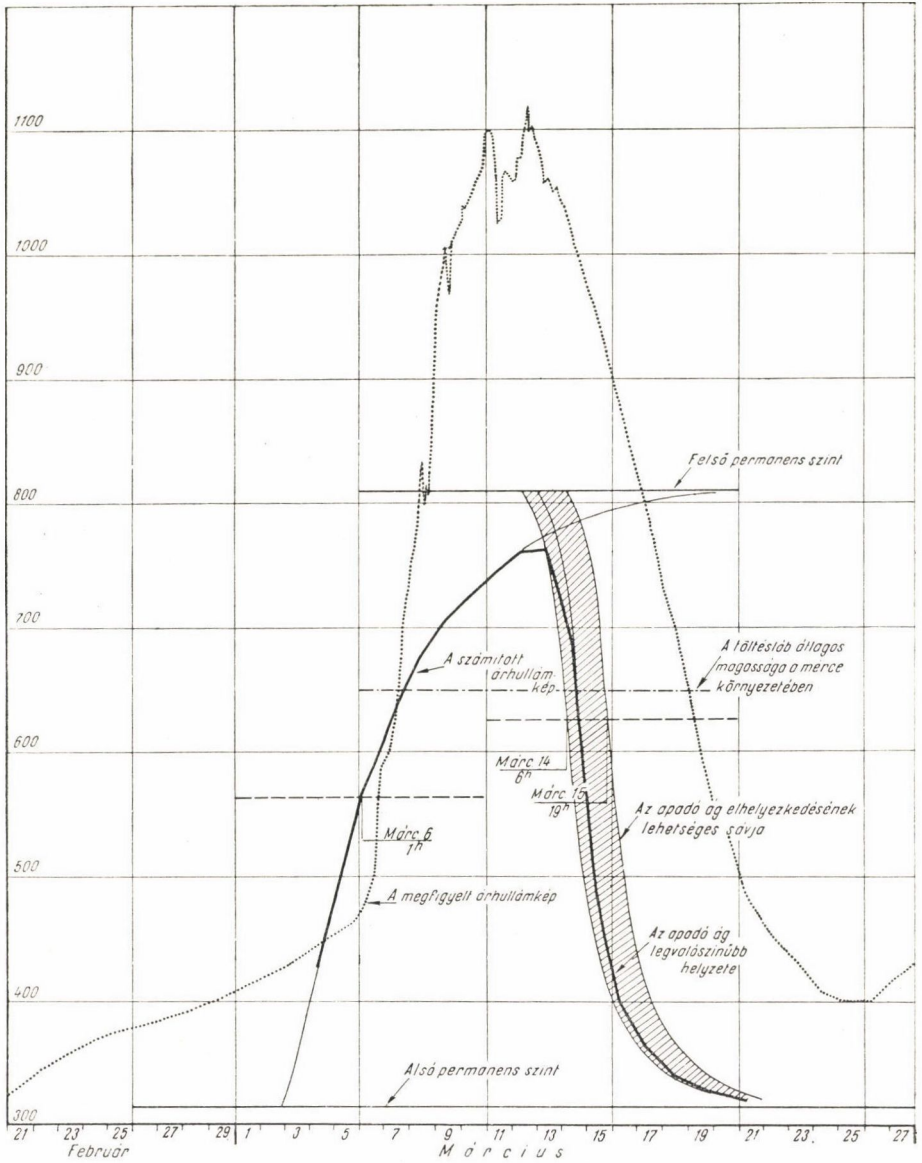
Dunapentele

1956



18. ábra

egyeznek. Ez alatt a megfigyelt görbében hirtelen törés következik be, ami azzal magyarázható, hogy ettől a szinttől kezdve indul meg a hullámtéren tárolt víz levonulása. Így érthető, hogy az észlelt és szerkesztett görbét egymásra helyezve, a tényleges vízállás-görbe ezen a szakaszon már 20–30 cm-rel magasabban fut. A dombori-pusztai és a bajai szelvényben a gátszakadásokon át az ártérbe kiáramlott és ott tározódott víztömeg az apadás menetét nagymér-



19. ábra

tétkben megzavarja és új, kis magasságra emelkedő, áradó hullámot hoz létre, ami szuperonáldódik a főhullám apadó ágára. Ezért ebben a két szelvényben a számított és megfigyelt görbék jellege sem hasonlítható össze.

A nagymarosi szelvényben a számított, illetőleg szerkesztett áradó és apadó vízállás-görbe időbeli helyzete a leolvasások alapján jól rögzített (17.

ábra). A szerkesztett teljes árhullámkép tetőző értéke 569 cm, míg a megfigyelt legmagasabb vízállás 571 cm volt. A tetőző szinthez tartozó vízhozam a két-változós vízállás-görbe alapján 6557, illetőleg 6584 m³/sec.

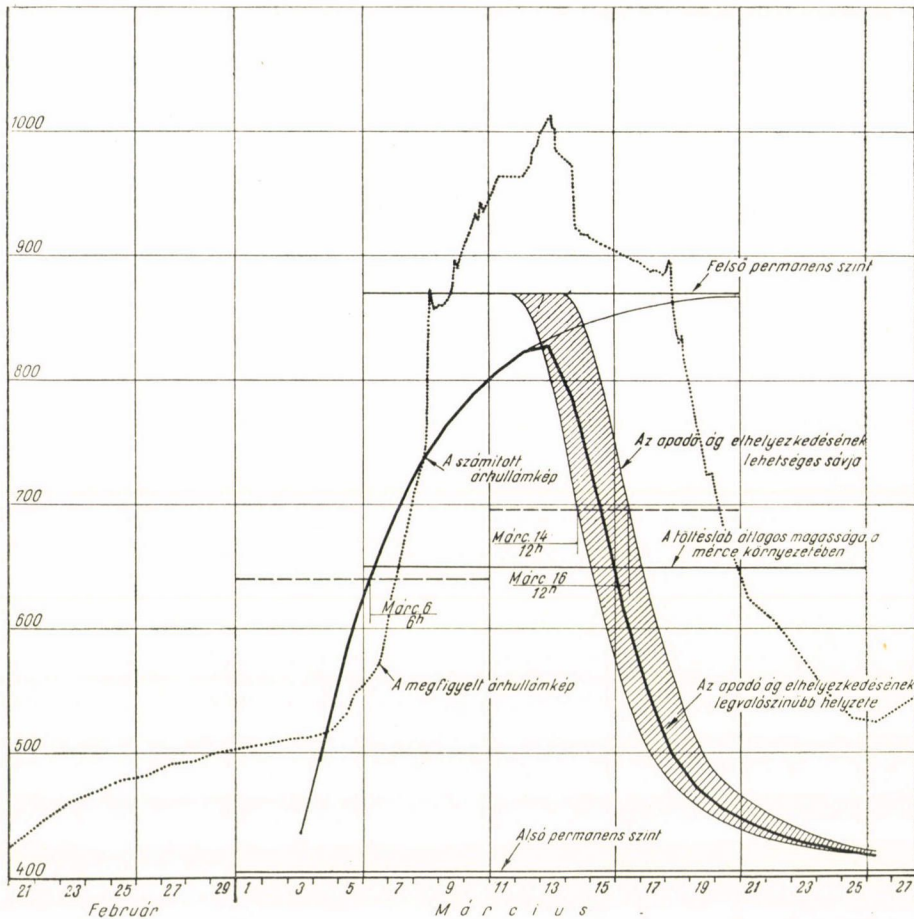
A többi szelvényben az áradó ág időbeli helyzetét a számított levonulási sebességek alapján határoztuk meg, mert ez a számítás az előzőekben ismer-

Vízállás [cm]

(0.0 pont 81,72 m Orsz)

Baja

1956



20. ábra

tett példák alapján megbízhatónak mutatkozott. Ezzel szemben az apadó ág esetében — amelynek levonulási idejével kapcsolatban bizonytalanság jelentkezett — sávot jelöltünk ki, amelyen belül helyezkedik el valószínűen a vízállás-görbe. A sáv alsó határát a számított levonulási sebesség alapján határoztuk meg, míg a felső határt az előző példák alapján mutatkozó legoshaszabb levonulási idő figyelembevételével rögzítettük. A sávon belül megállapítottuk az apadó ág legvalószínűbb helyzetét is, amelyet úgy határoztunk meg, hogy az ellapulásra jellemző medertározási veszteség és az időben történő

elnyúlás az előző példákban mutatkozó értékekhez hasonlóan alakuljon (18–20. ábrák).

Az árhullám levonulására jellemző sebesség- és idő-adatokat a 13. táblázatban, az ellapulás mértékét mutató adatokat pedig a 14. táblázatban foglaltuk össze.

13. táblázat

Az 1956. évi árhullám levonulására jellemző sebesség- és időadatok

a) Áradó hullám

A vizsgált szelvény	A szelvény jellemzői alapján meghatározott levonulási sebesség [m/sec]	A szelvények közötti távolság [km]	A megelőző szelvény sebességadata alapján számított levonulási idő [nap]	A követő szelvény sebességadata alapján számított levonulási idő [nap]	A mértékadóként elfogadott levonulási idő [nap]	Az 50%-os vízhozamhoz tartozó szint kialakulásának időpontja
Nagymaros	1,98	114	0,67	0,56	0,70	március 4 17h
Dunapentele.....	2,35	74	0,37	0,57	0,60	március 5 10h
Dombori puszta ..	1,49	28	0,22	0,16	0,21	március 6 1h
Baja	2,04					március 6 6h

b) Apadó hullám

A vizsgált szelvény	A szelvény jellemzői alapján meghatározott levonulási sebesség [m/sec]	A szelvények közötti távolság [km]	A megelőző szelvény sebességadata alapján számított levonulási idő [nap]	A követő szelvény sebességadata alapján számított levonulási idő [nap]	Az apadó ág legvalószínűbb helyzetét meghatározó levonulási idő [nap]	Az 50%-os vízhozamhoz tartozó szint kialakulásának időpontja
Nagymaros	1,44	114	0,92	0,57	0,92	március 12 22h
Dunapentele.....	2,31	74	0,37	0,15	0,92	március 13 20h
Dombori puszta ..	5,80	28	0,06	0,14	0,83	március 14 18h
Baja	2,31					március 15 14h

14. táblázat

Az 1956. évi árhullám ellapulására jellemző vízhozam- és időadatok

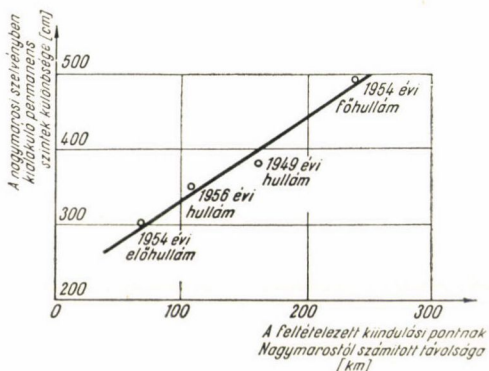
a) A medertározási veszteség alakulása

A vizsgált szelvény	A felső permanens szinthez tartozó vízhozam [m ³ /sec]	A számított tetőzéshez tartozó vízhozam [m ³ /sec]	Az alsó és felső permanens vízhozam különbsége [m ³ /sec]	A medertározási veszteség	
				[m ³ /sec]	%
Nagymaros	6880	6557	4520	323	7,2
Dunapentele.....	6720	6270	4460	450	10,0
Dombori puszta	6600	6050	4210	550	13,1
Baja	7060	6340	4460	720	16,2

b) A hullám ellapulására jellemző időadatok

A vizsgált szelvény	Az 50% vízhozamhoz tartozó vízállás bekövetkezésének időpontja		A két időpont különbsége [nap]
	az áradó ágon	az apadó ágon	
Nagymaros	március 4 17h	március 12 22h	8,21
Dunapentele	március 5 10h	március 13 20h	8,42
Dombori puszta	március 6 1h	március 14 18h	8,71
Baja	március 6 6h	március 15 14h	9,33

Mint már említettük, az apadó ág paraméterének helyességét csak a nagymarosi szelvényben ellenőrizhettük közvetlen megfigyelésekkel történő összehasonlítás alapján. Ez is lehetőséget nyújtott annak igazolására, hogy a feltételezett kiindulási pont helye a hullám magasságával összefüggésbe hoz-



21. ábra

ható. Az 5. táblázatban bemutattuk, hogy a közel azonos alsó permanens szinttel rendelkező apadó hullámok paraméterei úgy alakulnak, hogy a magasabb felső permanens szinttel rendelkező hullámot nagyobb paraméter jellemzi. Az 1956. évi hullám alsó szintje az eddig tárgyalt hullámoktól eltérő, így ennek vizsgálata alkalmas volt annak eldöntésére, hogy a paraméter vajon a felső vízállással változik-e, vagy az alsó és felső szint különbségével függ-e össze. A 21. ábra — amelynek abszcisszáján a nagymarosi szelvényben kialakuló permanens szintek különbségét tüntettük fel, ordinátáján pedig a feltételezett kiindulási pontnak Nagymarostól számított távolságát ábrázoltuk — az utóbbi feltevésnek a helyességét igazolja.

b) Az 1956. évi jégtorlaszok által okozott duzzasztások mértékének meghatározása

Az apadó és áradó hullámok elmondott rögzítése után ezeket összegezve, mind a négy szelvényben megszerkesztettük a teljes árhullámképet, amely akkor alakult volna ki, ha a torlaszok duzzasztása nem befolyásolta volna a vízállásokat. Így meghatározhattuk az árhullám jellemzőit és a számított vízállás-görbét a megfigyelt vízállásokhoz hasonlítva képet kaptunk a torlaszok duzzasztó hatásáról.

A tetőző vízállást és az ehhez tartozó vízhozam értékét összevetve, az 1954-ben és 1955-ben levonult nyári árvizek adataival, megállapíthatjuk, hogy az 1956. évi árhullám a jégtorlaszok duzzasztó hatása nélkül is meghaladta volna az 1955. évi árhullám magasságát és megközelítette volna az 1954. évi árvíz szintjét. Összehasonlításként a 15. táblázatban közöljük a három árhullám legnagyobb vízállás és vízhozam adatait.

15. táblázat

Az 1954. évi, az 1955. évi és az 1956. évi árhullám legnagyobb vízállás és vízhozam adatainak összehasonlítása

A vizsgált szelvény	Legnagyobb vízállás [cm]			Legnagyobb vízhozam [m ³ /sec]		
	1954	1955	1956	1954	1955	1956
Nagymaros	641	520	571	7960	5930	6584
Dunapentele.....	671	556	602	7420	5530	6270
Dombori puszta	849	715	763	7330	5500	6050
Baja	912	791	827	7770	5855	6340

Mint az adatokból, illetőleg a vízállás-görbéket feltüntető 17–20. ábrák-ról látható, az 1956. évi árvíz a jégtorlaszok nélkül is kilépett volna a hullám-térre, sőt egyes mélyebb területen jelentős veszélyt okozott volna. A feljegyzések alapján azonban teljesen egyedülálló az az eset, hogy ilyen nagy vízhozammal jellemezhető jeges árhullám vonult volna le a magyar Duna-szakaszon. A két kedvezőtlen adottságnak, a nagy vízhozamnak és az igen nagymérvű torlaszképződésnek együttes hatására jöhetett csak létre ez a minden eddigi szintet meghaladó árvíz.

A nagymarosi árhullámkép részletes ismertetése során már rámutattunk arra, hogy az áradó ág alsó szakaszán a ténylegesen kialakult vízállás a számított alatt marad, aminek valószínű oka az, hogy az álló jég kezdetben mérsékelte az áradás ütemét azáltal, hogy az érkező vízhozam egy részét tárolta. Ez a hatás a többi mérce vízállás-görbéjén is jelentkezik.

Annak megítélésére, hogy a jégtorlaszok duzzasztása következtében milyen nagyságrendű duzzasztás következett be a Duna magyarországi alsó szakaszán, a 16. táblázatban közöljük a négy vizsgált mérceén valóban kialakult vízállások mellett azokat a vízszinteket, amelyeknél számításaink szerint a tetőzés duzzasztás nélkül kialakult volna.

16. táblázat

Az 1956. évi torlaszok duzzasztása a vizsgált szelvényekben

A vizsgált szelvény	Észlelt legmagasabb vízállás [cm]	Számított duzzasztás nélküli tetőzés [cm]	A torlaszok okozta duzzasztás [cm]
Nagymaros	571	569	0*
Dunapentele.....	921	602	319
Dombori puszta	1117	763	354
Baja	1014	827	187

* A mutatkozó 2 cm-es eltérés a számítás alapján adó dik, nem torlasz duzzasztó hatása.

A duzzasztás a táblázat adatai szerint a 350 cm-t is eléri és értéke attól függ, hogy a vizsgált szelvény milyen közel helyezkedik el a duzzasztást okozó torlaszhoz.

A torlaszok azonban nemcsak a vízszint jelentős mértékű emelésével növelték az árvízveszélyt, hanem azáltal is, hogy igen nagymértékben megnyújtották azt az időt, ameddig a víz a hullámtéren tartózkodott. Ezt a hatást két számadattal jellemeztük. Meghatároztuk a vizsgált három mérce környezetében található mélyfekvésű hullámtereken a töltéslábak átlagos magasságát, elsősorban megállapítottuk, hogy ezt a szintet milyen tartósan haladta volna meg a vízszint a torlaszok duzzasztása nélkül, továbbá azt, hogy a duzzasztás hatására ez az időtartam valóban hogyan alakult. Ezen az összehasonlításon kívül másodsorban megállapítottuk, hogy a számított elméleti apadási görbéhez viszonyítva a hullámterek magasságában a valóban észlelt apadási görbe hány napot tolódott el az időtengely mentén. Ezeket az adatokat a 17. táblázatban foglaltuk össze.

17. táblázat

A hullámtér előtérésének növekedése a torlaszok duzzasztásának hatására

A vizsgált szelvény	A hullámtér előtérésének tartóssága az észlelések alapján [nap]	A hullámtér előtérésének tartóssága a számított árhullámkép [nap]	A tartósságok különbsége [nap]	Az apadás elhúzódásának időtartama [nap]
Dunapentele.....	9,5	6,1	3,4	1,5
Dombori puszta.....	11,5	6,7	4,8	4,5
Baja.....	13,5	9,4	4,1	4,9

c) Az 1956. évi árhullám vizsgálatával kapcsolatos eredmények összefoglalása

Az 1956. évi jeges árhullámnak hidraulikai alapon történő vizsgálata a módszer általános alkalmazására vonatkozóan is nyújtott értékes adatokat. Rávilágított a példa arra, hogy kapcsolat mutatkozik az alsó és felső permanens szint különbsége, továbbá a feltételezett kiindulási pont távolsága között.

Fontosabbak számunkra azok az eredmények, amelyek a jégtorlaszok duzzasztó hatását szemléltetik.

Megállapítható volt, hogy az olvadásból és a felső szakaszon levő torlaszok mögül felszabaduló víztömegekből összetevődő árhullám olyan nagy vízhozammal vonult végig a magyarországi Duna-szakaszon, hogy a torlaszok keletkezése nélkül is kilépett volna az árvíz a hullámtérre, sőt a mélyebb területeken jelentős veszélyt is okozott volna.

Növelte a veszélyt a torlaszok jelentős duzzasztása, ami helyenként a 350 cm-t is elérte és a víznek a hullámtéren való tartózkodását nagymértékben megnyújtotta. Az előtérés tartósságának a növekedése 3—5 nap volt.

5. Összefoglaló

A részletesen elemzett példák alapján megállapítottuk, hogy az árhullámképeknek hidraulikai alapon történő meghatározására ajánlott számítási módszer segítségével a megfigyelt vízállásokkal jól egyező vízállás-görbét kapunk. Az eljárás levonulási vizsgálatok elvégzésére és több hullámból összegeződő összetett árvíz hullámképeinek meghatározására is alkalmasnak bizonyult. A számított és megfigyelt hullámképek összehasonlítása lehetővé tette, hogy a levonulási idők és az apadó hullám szerkesztésénél jelentkező feltételezett kiindulási pont meghatározását megbízhatóbbá tegyünk. Azonban éppen az elvégzett számítások mutatnak rá arra, hogy ezekkel a kérdésekkel kapcsolatosan az eljárás további finomítása szükséges.

A levonulási vizsgálatok megerősítették azt az irodalomban már eddig is többször leírt jelenséget, hogy a Duna Nagymaros—Mohács közötti szakaszának az összetartozó vízhozamok szelvényről szelvényre változnak, bár jelentős hozzáfolyás nincs. Ezt feltehetően a völgy hidrogeológiai adottsága okozza. A Duna vízhozam-változásának megismerése mind a levonulási, mind a vízháztartási vizsgálatok szempontjából jelentős, ezért ennek a kérdésnek további részletes feltárása fontos feladat.

A vízhozamok változásának feltárását megnehezíti, hogy a tetőző vízállásokhoz tartozó vízhozamok összehasonlítása során az összetartozó permanens értékek között mutatkozó eltéréshez a levonuló árhullám elapulása következtében előálló medertározási veszteségek is hozzáadódnak. Ezért azokon az eredményeken túlmenően, amelyek a most vizsgált példák alapján adódnak, tovább kell haladnunk a medertározás nagyságrendjének és más hidrológiai jellemzőkkel fennálló kapcsolatának feltárásában.

A három árhullám vizsgálata során alkalmunk volt rámutatni a hullámok levonulására jellemző néhány speciális kérdésre is. Így meghatároztuk a hullámtereken történő tározódás hatását, az 1954. évi szigetközi gátszakadások következtében az alsóbb szelvényekben bekövetkező vízszint-süllyedések mértékét, továbbá az 1956. évi jégtorlaszok által okozott duzzasztásokat.

Végezetül megállapíthatjuk, hogy bár az árhullámképnek hidraulikai úton történő meghatározása még nem minden részletében tisztázott, az alapadatok helyes megválasztásával pontossága megközelíti a hidrológiai eljárások megbízhatóságát. Amint a most bemutatott példák is igazolták, az eljárás alkalmazása lehetővé teszi a módszer további finomítását is.

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. *Benedek József*, A Duna 1926. évi árvize a Dráva-torok tájékán. *Vízügyi Közlemények* (1932) július—december.
2. *Károlyi Zoltán*, A mércekapcsolati vonalak szerkesztésének megbízhatósága. *Hidrológiai Közöny* (1956) 3. szám.
3. *Kovács György*, Az árhullámok levonulására jellemző hidrológiai mennyiségek meghatározása. *Hidrológiai Közöny* (1955) 11—12. szám.
4. *Lászlóffy W.*—*Aujeszký L.*, A magyar Duna vízjárása. *Vízügyi Közlemények* (1934) 1.
5. *Linsley R. K.*—*Köhler M. A.*—*Paulhus J. L. H.*, Applied Hydrology. Mc Grow — Hill Book Company Inc. *New York* 1949.
6. *Penck A.*, Die Donau. *Wien* 1890.
7. *Serf E.*—*Sik J.*, Az 1954. júliusi dunai árvíz lefolyása és a védekezési munkálatok. *Vízügyi Közlemények* (1959) 1—2. szám.
8. *Tóry Kálmán*, A Duna és szabályozása. Akadémiai Kiadó. 1952.