

Módszer az árvízi szükségtározók térfogatának és vízkivételének hidraulikai méretezéséhez

Dr. Rátky István

Okleveles mezőgazdasági gépészmérnök és okleveles építőmérnök, IHE Delft, PhD. nyugalmazott egyetemi docens. 1125. Budapest, Galgóczy u. 44/B. iratky@gmail.com

Kivonat: Az árvízi szükségtározás sikerének alapja, hogy megfelelő méretű tározó és megfelelő kapacitású vízkivételi mű álljon rendelkezésre. E tanulmányban ezek tervezéséhez adunk egy olyan eljárást, amely megpróbálja egyesíteni a hidrológiai és hidraulikai módszerek előnyeit. *Az egyesítés filozófiája:* a tározás folyamatában résztvevő elemek (folyó, vízkivételi mű, tározó) egymásra ható működésénél mindent, amit tudunk determinisztikusan (függvénykapcsolattal) közelítünk, amit a véletlenek befolyásolnak azt hidrológiai-statisztikai módon írjuk le. A tervezés során **Numerikus-szimulációs-módszer**-el (NSM) közelítjük a tározási folyamatot. A módszer egyedi tározónál és egymásra ható tározórendszereknél is alkalmazható. A számításnál figyelembe vesszük a méretezendő változót befolyásoló leglényegesebb hatásokat. Az egymásra hatást függvénykapcsolatokkal, hidraulikai (bearányosítható, determinisztikus 1D és 2D) alapon írjuk le. Például vízkivételnél a tározóbeli vízszint visszahatását a bevezetésre; a tározóbeli vízmozgás hatását a műtárgy tározóbeli alvízére és ennek hatását a felvízre, a folyó vízszintjére. A határfeltételek leglényegesebb változóit (a tetőző-vízszinteket és vízhozamokat) mért adatokból meghatározott valószínűségi eloszlások alapján becsüljük. A módszert – bizonyos egyszerűsítésekkel – a Tisza záhonyi vízmérce szelvényére tervezett fiktív szükségtározón mutatjuk be.

Kulcsszavak: árvízi szükségtározó, hidraulikai módszer, numerikus hidraulika, Tisza.

1. Előzmények, célkitűzés

A tározók, a tározás nemzetközi és hazai szakirodalma óriási. Szerényebb, de még mindig jelentős a szűkebb szakterület, a szükségtározással kapcsolatos irodalom, melyek a szükségtározáshoz tartozó igen széles témákat érintenek. Így többek között: a szükségtározás árvízvédekezésben elfoglalt helye, hazai szükségtározási lehetőségek, a tározótervezés, építés, üzemeltetés, hatás a folyórendszerre, kialakuló hidraulikai jelenségek, működési tapasztalatok, esettanulmányok stb. Itt nem célunk a szükség- vagy árvízi tározás nemzetközi és hazai szakirodalmának áttekintése.

Az irodalom akár csak vázlatos ismertetése is messze meghaladná e tanulmány keretét. Ezt azért sem szükséges megtennünk, mert az *'Árvédelmi szükségtározók tervezése, építése és üzemelése'* címmel (Szlávik 1980) hazánkban megjelent első átfogó szakmai anyag részletesen elemzi a címben foglaltakat, és átfogó képet ad az 1980-as évekig a szükségtározással kapcsolatban megjelent irodalmakról. Meg kell még említeni Schultz (1975) *'Vízgazdálkodási tározók tervezése'* összefoglaló tanulmányát, amely a címnek megfelelően nem csak az árvízi tározás tervezési kérdéseivel foglalkozik átfogóan, az igen részletes idegen nyelvű irodalmi jegyzéke is hasznos. A '70-as évek második felétől kezdve hazánkban már számos tanulmány jelent meg, melyek elsősorban a szükségtározást kiváltó hidrológiai eseményekkel, az üzemeltetéssel, a számítógéppel támogatott üzemirányítással foglalkoztak. A teljesség igénye nélkül említünk néhány tanulmányt: Némethy-Gábor 1974, Szalay 1975, 1976, Szalay-Bakonyi 1976/a, 1976/b, Szlávik 1978, 1980, Rátky-Berecz 1982-83, BME 1988, Rátky-Csoma 1996, Rátky 1997, 1998/a, 1998/b, 1999/a, 1999/b, 2000, Rátky-Szlávik 1999, 2004, Consult-Info 2000/a, 2000/b, 2001, BMGE 2004/a, 2004/b, Szigyártó 2005/c, Laurinyecz-Szlávik-Krámer 2009, Kiss 2009, Szabó-Illés-Lucza 2010, Kiers-Farkas-Rosza 2011, Balogh-Bogárdi-Koncsos 2012.

E tanulmányhoz szorosan kapcsolódó tervezéssel, már kevesebb írás foglalkozott: Bukovszky 1972 (egyes fejezetei), Schultz 1975 (egyes fejezetei), Némethy-Szalay 1977, Szlávik 1980, 1982, 1983, Mosonyi (1994, 2005) HIDROMETRA 2001, 2002, Rátky 2004, 2010, BME 2004, VIZITERV 2004/a, 2004/b, 2004/c, Szigyártó 2005/b, 2010, 2015, Szigyártó-Rátky 2005, 2006, 2008, Várady 2005, VITUKI 2007/a, 2007/b, Rátky-Rátky 2010/a, 2010/b, 2010/c, Vízmérleg-VKKI 2010.

Az utóbbi időben, a szakmában kétféle szükségtározó tervezési módszer terjedt el. Nagyon röviden ezeket hidrológiai és hidraulikai alapon történő tervezésnek lehet nevezni. **E tanulmányban a hidraulikai alapon történő tervezés egy kis részletét mutatjuk be.** A műtárgyak hidraulikai számításokon alapuló tervezésének bemutatásánál nem hagyhatjuk ki Prof. Mosonyi Emil (1994, 2005) magyarul is megjelent munkáját. A „hidrodinamikai számítások és modellkísérletek tapasztalatait” felhasználó módszerrel – számítógép használata nélkül, explicit megoldás érdekében több

feltételezéssel (egyszerűsítéssel) élve – közvetlen számítással határozta meg a töltési- és ürítési időt, a vízhozamokat, a műtárgyak szabad nyílásának szélességét. E két utóbbit modellkísérlettel pontosította. Fizikai modellkísérlettel vizsgálta a vízkivételi mű általános elrendezésének legjobb kialakítását: a kőszórást, az energiatörő-fogak, a csillapítómedence méreteit, a pillérek kialakítását (*Theodor-Rehbock Laboratory of River Hydraulics, Karlsruhe, Germany*). A számítási módszer megadásán kívül hasznos, általános tanácsokat adott a vízkivételi mű tervezési szempontjaira is (*Mosonyi 1994, 2005*).

Az általunk alkalmazott módszer már nem mondható újnak, tudomásunk szerint elsőként e tanulmány szerzője alkalmazott meglévő tározók vízbeeresztő műtárgyainak tervezése alátámasztására 1D és 2D hidraulikai modellszámítást, a *Körösök* vízrendszerében, a *Mályvádi*- és a *Kisdelta-szükségtározóknál* (*Rátky 2010, Rátky-Rátky 2010/a, 2010/b, 2010/c*).

Az idézett szakvéleményekben és cikkekben, az itt kitűzött célnál sokkal többet adtunk – nem csak a vízbevezetőmű vízhozamát, hanem – a szükséges főbb geometriai méretekre is tettünk ajánlást: a többnyílású, nyílásonként kettős szegmenstáblás elzárás küszöbszintjét, nyílásméretét, tábla-magasságát, szélességét, vízemésztését, az tározó-üzemeltetés folyóra gyakorolt vízszintcsökkentését és a hatástávolságot is számítottuk. A beeresztőműtárgyak és a tározóból a folyóba vizet visszavezető műtárgyak közvetlen környezetének kialakítását is pontosítottuk 2D numerikus modellszámítással, így: a vízbeeresztést (szárnyfalak helye, hossza, hajlása, magassága), az elő és utófeneket (fenékszintek, burkolt felületek hossza, kőszórás méretei), az energiatörést (vízláda mérete, energiatörő bordák száma, helye, magassága, főáramlás iránnyal bezárt szöge). A pontosítás azt jelentette, hogy a tervezők által (*Bunyevác 2010*) előzetesen megadott méretek, méretváltozatok hatására kialakuló hidraulikai jellemzőket számítottuk (vízszintek, vízhozamok, sebességek stb.), melyek alapján lehetett dönteni a legmegfelelőbb kialakításról.

Látható, hogy a vízkivételi- és visszavezetési mű – *Mosonyi* által adott – egyszerűsített számítása és az általános elrendezést és kialakítás részleteit fizikai modellel pontosított módszere helyett, mi a folyó- és tározórendszer együttes működésére általánosan alkalmazható hidraulikai alapú numerikus szimulációs módszert adtunk, amelynek konkrét eredményeit a *Körösök* vízrendszerén megvalósítandó (azóta megvalósult) szükségtározók tervezéséhez használták fel.

A tanulmánnyal **általános célunk** egy hidraulikai elveken alapuló **számítási módszer bemutatása**, mellyel alapadatokat adunk egy olyan árvízi szükségtározó tervezéséhez, amely biztosítani tudja, hogy a folyóban egy előre megadott szintet csak meghatározott valószínűséggel haladjon meg a vízszint. Ehhez meg kell határozni a szükséges tározótérfogatot (vagy ha adott ellenőrizni kell azt) és a vízkivételi mű maximális vízhozamát, kapacitását. A tározó ezt a feladatát addig tudja ellátni, amíg a cél eléréséhez szükséges betározandó térfogat ($V_{igény}$) kisebb vagy egyenlő, mint a kiépített maximális tározótérfogat, $V_{igény} \leq V_{max}$. Ha a tározó üzemeltetésekor: pl. az 1997. évi 1%-os árvíznek (az akkori MÁSZ-nak), a meghaladási valószínűsége $p_{alsó}\%$ -nak, és $V_{igény} = V_{max}$ bekövetkezésekor előforduló vízszintnek a meghaladási valószínűsége $p_{felső}\%$ -nak felel meg, ekkor a szükségtározó üzemeltetésével a $p_{alsó}\%$ és $p_{felső}\%$ valószínűségek közé eső árhullámokat az 1997. évi 1%-os szinten lehet levezetni. Tehát egy ilyen szükségtározó üzemeltetése esetén csak a $p_{felső}\%$ -nál ritkábban előforduló árvizek lépik túl az 1997. évi 1%-os mértékadó szintet, (definíció alapján $p_{felső}\%$ -nál a tározó éppen megtelt). Az általános módszert egy konkrét feladaton, példán keresztül mutatjuk be.

A **konkrét célunk** a *Tisza*n egy olyan szükségtározó térfogatának és a vízkivételi-műve maximális vízhozamának meghatározása, mely képes lesz biztosítani, hogy az 1997. évi 1%-os valószínűségű szintet – vízszinttartó üzemeltetés esetén – az évi legnagyobb jégmentes vízállás 1%-os valószínűséggel haladjon meg.

A tanulmányunkban célként az 1997. évi 1%-os, az akkori mértékadó szintet (MÁSZ) kívánjuk tartani, de tudjuk azt, hogy ez gyakorlatilag megegyezik az 1970. évi 1%-os árvízszinttel (*Szigyártó 2010*).

Gyakorlatban a tározó már e két fő jellemzőjének ($V_{igény}$ és $Q_{t,max}$) a méretezés is egy igen összetett feladat: számtalan műszaki, környezeti, gazdaságossági, társadalmi stb. feltételt, adottságot kell egyszerre figyelembe venni. Most csak a műszaki szempontokat figyelembe véve adunk a tervezéshez hidraulikai alapon számított adatokat. Tovább nehezíti a tervezést, hogy a *Tisza*n a szükség-

tározók egy rendszer elemeként működnek. Ideális esetben a tározó-rendszer minden tározóját a teljes *Tiszára* egyszerre kellett volna megtervezni. Így lehetett volna előre, már a tervezéskor figyelembe venni a rendszerelemek egymásra hatását. Ami elősegítette volna a leggazdaságosabb műtárgy méretek meghatározását, majd az optimálisához közelítő üzemeltetést. Ismert, hogy ez az ideális állapot nem valósult (nem valósulhatott) meg. A *VTT* már meglévő (ill. épülő) 6 db tározója után remélhetőleg további tározók is fognak épülni. Ezek tervezésénél már nem lehet figyelmen kívül hagyni a meglévő tározókat. Az egymásra hatás az eddigieknél is jelentősebb lesz, amit csak a rendszer üzemeltetésének – már a tervezés során – számított numerikus szimulációs vizsgálata alapján lehet meghatározni. A hidrológiai eseményektől függő feltételezett üzemeltetés (vagy üzemeltetési igény) befolyásolhatja a tervezett műtárgyak kialakítását, méreteit. Most csak **egyetlen** ('magányos') **szükség tározón mutatjuk be** – az üzemeltetést is figyelembe vevő – ajánlott tervezést, de a módszer tározó-rendszer esetén is alkalmazható. Sőt **tározó-rendszer esetén** (jelenlegi ismereteinket, lehetőségeinket figyelembe véve) ez az a módszer, amellyel egy gazdaságosan megvalósítható és üzemeltethető árvízvédelmi rendszer tervezhető.

2. A matematikai modellek

A szükséges tározótérfogat és a vízkivételi mű szükséges kapacitásának meghatározása **Numerikus-szimulációs-módszer**-el (*NSM*) történik, melynek lényege: a mért (valós) geometria és a múltban levonult (vagy generált) árhullámok felhasználásával, konkrét hidrológiai terhelések és konkrét üzemrend betartása mellett végezzük numerikus számításokat, **a folyóra 1D, a tározóra 2D** (vagy közelítő 2D) összekapcsolt nempermanens hidraulikai alapú számítást.

A *NSM*-nek a folyóra az 1D-s, a tározóra a 2D-s valamint e kettő hidraulikai kapcsolatát leíró vízkivételi műre vonatkozó numerikus szimulációs részmodelljei vázlatos ismertetésére sem térünk ki, ezek részletei megtalálhatók az *Előzményekben* adott irodalmakban (pl.: *Rátky* 1997, *BMGE* 2004/a, 2004/b, *Rátky-Rátky* 2010/a, 2010/b).

A továbbiakban, a módszer bemutatásánál egyszerűsítéseket teszünk, de hangsúlyozzuk, hogy amikor *NSM*-ről írunk, mindig a teljes módszerre utalunk, (még akkor is, ha e tanulmányban az egyszerűsítés miatt a módszer igen lényeges részét az elemek – folyó, tározó – egymásra hatását nem vesszük figyelembe). Egy 'magányos' tározó térfogatának és vízkivételi kapacitásának meghatározásához szükséges számítási módszer – hidraulikai alapok tekintetében – teljesen megegyező egy tározó-rendszer esetén a méretezést megalapozó számításokkal. Az itt megadottól eltérés csak a közbenső határfeltételek, a feltételezett üzemrend megadásában van.

3. A rendelkezésre álló tározótérfogat

A tározó **helye** lényegében **adott**, legalábbis a topográfiai, társadalmi adottságok miatt az esetek legnagyobb részében.

Méretei:

Felülete adott, a topográfiai, társadalmi adottságok miatt az esetek legnagyobb részében. Ha ebben van mozgástér az általában nagyon kevés.

Térfogata, V_{max} (m³) a lehetséges maximum adott. Ha a térfogatot az említett adottságok eleve nem határolják be, – a felület ismerete után – a felső korlátját a folyóban elérni kívánt maximális vízszint adja. A tározóban a vízszint nagyobb nem lehet, mint a folyóbeli szint. A mindenkor igényként jelentkező betározandó vízmennyiség a folyón érkező árhullám – Z_{ma} fölötti – térfogatától függ. (A változók értelmezését a tanulmány végén adjuk meg). A változó, betározandó vízmennyiség nem lehet nagyobb, mint V_{max} .

Optimális esetben V_{max} -ra kell tervezni; ennek során egy olyan kapacitású vízkivételi művet kell megtervezni, mely az igényelt vízszint tartását, ill. annak 1%-os valószínűséggel történő meghaladását úgy biztosítja, hogy a tározót teljesen feltölti (kihasználja a rendelkezésre álló V_{max} -ot) és közben kihasználja a maximális vízbevezető képességet is (a vízszinttartáshoz nem igényel nagyobb kapacitást). Persze az is lehet cél, hogy az említett adottságokat figyelmen kívül hagyva, egy

előre megadott – vízszint vagy vízhozam – valószínűségig megfelelő térfogatú tározót tervezzünk és ennek gazdaságosságát (beruházási, üzemeltetési költségét, árvízi biztonságot növelő hasznát) összehasonlítjuk az adottságok miatt korlátozott térfogatú tározó hasonló mutatóival.

Jogos lehet a kérdés, ha a tározótérfogat 'lényegében' adott akkor a tervezésnél miért foglalkozunk vele. Nem túlzás feltételezni, hogy ott, ahol szükségtározóval akarnak árvédekezni, lakott területek, értékes földterületek vannak. Tehát nem csak a Tisza mentén lesz előre megadott a tározótérfogat. Lényeges tudni, hogy: meddig biztosítható a kívánt Z_{ma} vízszint, túltöltés veszélye nélkül; mi a következménye annak, ha esetleg a tározótérfogatot nem használjuk ki teljesen. E kérdések megválaszolásához ismernünk kell nemcsak a maximális, de a hidrológiai eseménytől függően változó térfogatigényt is.

4. A szükséges tározótérfogat és a vízkivételi mű kapacitásának meghatározása

A **vízkivételi mű feladata**, hogy a mindenkori többlet vízhozamot a tározóba vezesse, annak érdekében hogy, a folyóbeli alvízszint a Z_{ma} szintet csak 1%-os valószínűséggel haladja meg. A vízkivételi mű igényelt maximális kapacitása, $Q_{t,max}$, a tartandó vízszinttől, Z_{ma} -tól és a folyón érkező árhullám alakjától, elsősorban annak legnagyobb vízhozamától, Q_{max} -tól függ.

A számítások elvégzéséhez szükséges *feltételek*:

- El kell dönteni, hogy a folyóban a műtárgy alvízében mennyi legyen az a szint, Z_{ma} , amit a számítás szerint csak $p_{ma}\%$ -os (pl. 1%-os) valószínűséggel haladhat meg az évi jégmentes vízszint. Most ez az 1997. évi 1%-os vízszintnek megfelelő $H_{ma} = 803$ cm vízállás. Ez az a vízállás, amelyik alapvetően meghatározza a művek méreteit, ezért nevezzük mértékadó szintnek, (méreteket adó szint).

Egy műtárgy alvízében állandó vízszintet biztosító tevékenységet, más szakterületen *alvízszinttartásnak* neveznek. Mi most röviden ezt az eljárást, üzemelési módot, melynél a folyón a műtárgy alvízszintjét állandó szinten tartják *vízszinttartásos üzemnek* röviden *vízszinttartásnak* nevezzük (Szigyártó 2005/a).

- Adott a tározó V_{max} maximális térfogata.
- Természetesen rendelkezni kell a folyót, a tározót és a vízkivételi művet egységes rendszerként kezelő numerikus szimulációs *számítógépes modellel*.
- Rendelkezni kell a számításokhoz szükséges *geometriai és mellékfeltételi* (üzemi) adatokkal.

E tanulmányban nem részletezzük a – pontossági igény szempontjából igen lényeges – geometriai adatokkal kapcsolatos feltételeket, igényeket. Csak a hidraulikai tervezéshez beszerezendő vagy előállítandó felső és alsó határfeltételekről írunk részletesebben.

- A tározó vízkivételi műve felett a folyón legalább 25-30 fkm-re kell felvenni a *felső határfeltételi szelvényt*, ahol ismerni kell legalább 5-8 db a Z_{ma} -t meghaladó, nagyvizes árhullám $Q_{fh}(t)$ vízhozam-idősorát.
- Az *alsó határfeltételi szelvényt* a vízkivételi mű alatt ott kell felvenni, ahol a folyón a vízkivezetés vízszintcsökkentő hatása olyan kicsi, hogy az már lényegesen nem befolyásolja a felette lévő műtárgy üzemének számított hidraulikai jellemzőit. Az alsó határfeltételi szelvényben ugyanazoknak az árhullámoknak a $Z_{ah}(t)$ idősorát kell megadni, melyeknek a felső szelvényben a $Q_{fh}(t)$ idősorát adtuk meg. Ha nem sikerül felvenni olyan távolságra az alsó határfeltételt, amelynél már a vízszintcsökkentés a műtárgy működésére gyakorolt hatása elhanyagolható, akkor $(Q-H)_{ah}$ vízhozam-görbe megadása szükséges.

Néhány megjegyzés:

- A műtárgy feletti és alatti a számításba vont folyószakasz hosszát előre meghatározni nehéz, azt több tényező befolyásolja, pl.: a folyó esése, az árhullám intenzitása, a vízkivétel vízhozamának aránya az érkező vízhozamhoz stb.
- Az alsó határfeltételi permanens vízhozamgörbe csak a nempermanens hurokgörbe közelítése lehet.
- Nem 'magányos' tározótervezés esetén előfordulhat, hogy a folyón a kérdéses tározó felett vagy alatt van még egy tározó, így természetesen annak vízkivételi üzeme adja az felső- vagy alsó határfeltételt.

Az határfeltételek tekintetében **két alapesetet** különböztethetünk meg:

- i. A múltban a folyón több (minimum 5-8 db) esetben, vonult le olyan árhullám, melynél a tározó vízkivételi műtárgyánál az évi jégmentes tetőző vízszint (Z_{max}) nagyobb vagy egyenlő volt, mint a tervezett tartandó vízszint, $Z_{max} \geq Z_{ma}$.

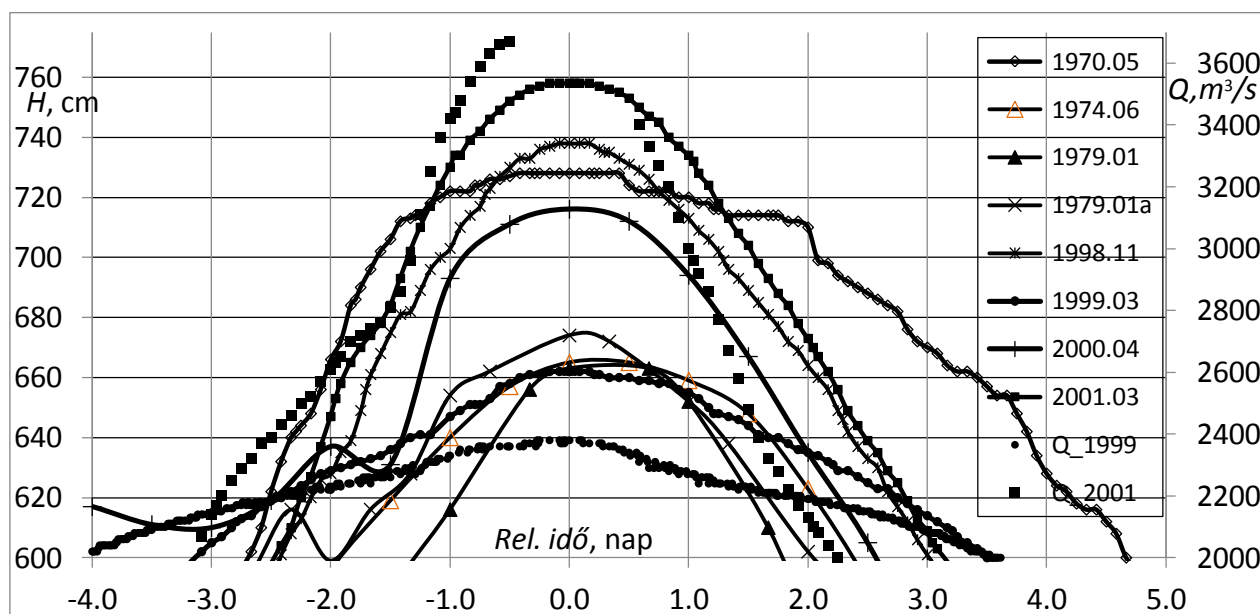
Törekedtünk a jelöléseket 'szabványosan' megadni, de praktikus okokból néha eltértünk ettől: pl. a tározó igénybevétel nélkül kialakuló (észlelt vagy generált) jégmentes éves legnagyobb szintek szabályos $Z_{max,a}$ ill. $H_{max,a}$ jelölése helyett a rövidebb Z_{max} ill. H_{max} szimbólumokat alkalmaztuk.

Általában a tározó vízkivétele nem vízállás regisztrációval rendelkező szelvényben lesz, tehát Z_{max} és H_{max} nem ismert. Ezért a vízkivételhez legközelebb lévő vízmérceszelvények közé lineáris interpolálással becsült vízszintek alapján kell kiválasztani a megfelelő árhullámokat.

- ii. Minden eddig előfordult árhullámnál $Z_{max} < Z_{ma}$, vagy csak néhány esetben (kevesebb, mint 5 esetben) volt $Z_{max} \geq Z_{ma}$.

4.1. Számítások árhullám generálás nélkül

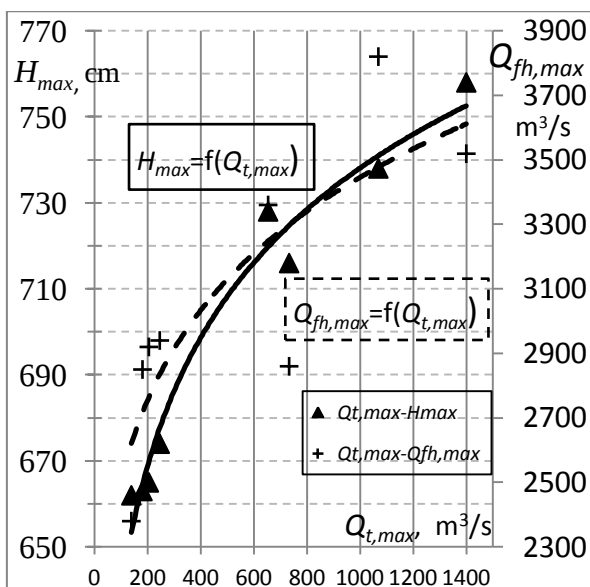
Minden $Z_{max} \geq Z_{ma}$ árhullámra a hozzátartozó $Q_{fh}(t)$ felső- és $Z_{ah}(t)$ vagy $(Q-H)_{ah}$ alsó határfeltétel felhasználásával, – NSM-el – számítani kell, a vízkivételi műnél a folyóbeli alvízszint H_{ma} tartása mellett a tározóba befolyó vízhozam időbeli alakulását, $Q_t(t)$ -t és az összesen betározott vízmennyiséget, $V_{igény}$ -t. A $Q_t(t)$ -ből meghatározható $Q_{t,max}$ -ot az adott felső határfeltételi $Q_{fh,max}$ és H_{max} függvényében ábrázolni kell. (2a. ábra: $Q_{t,max} - H_{max}$ és $Q_{t,max} - Q_{fh,max}$ kapcsolat). Azokat a pontokat az ábrán meg kell jelölni, melyeknél a $V_{igény} > V_{max}$. A számított $V_{igény}$ -t mind a H_{max} , mind a $Q_{fh,max}$ függvényében ábrázolni kell (2b. ábra $V_{igény} - H_{max}$ és $V_{igény} - Q_{fh,max}$ kapcsolat).



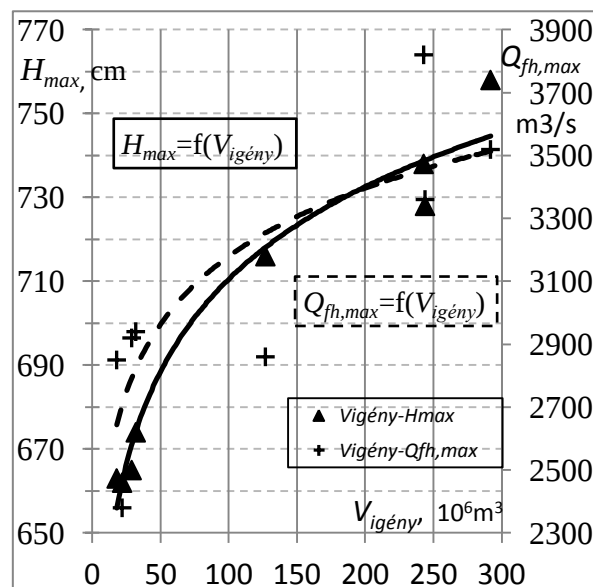
1. ábra. A Tisza záhonyi vízmérce-szelvényében 1970-2004 évek között 640 cm fölött tetőző árhullámok

A könnyebb érthetőség érdekében egy konkrét példán keresztül mutatjuk be a módszert. **Feltételezzük, hogy a tározó vízkivétele a Tisza záhonyi vízállás és vízhozam nyilvántartási szelvényében van.** Az 1. ábra az 1970–2004 évek között előfordult Záhonynál $H_{max} > 640$ cm-es 8 db árhullám $H(t)$ jelleggörbéjét mutatja (transzformálva a tetőpontokat azonos relatív időpontra). Most és továbbiakban is – a rendelkezésre álló adatok miatt – vízszint helyett vízállás adatokkal dolgozunk. Az ábrán az 1999. márciusi és a 2001. márciusi árhullámok $Q(t)$ jelleggörbéit is megadtuk.

Látható, hogy milyen megbízhatatlan a megadott nagyvízi vízhozam, a 2001. évi vízhozam gyakorlatilag további felhasználásra alkalmatlan. A számunkra rendelkezésre álló nyers adatokat – természetesen a helyi szakemberek segítségével – lehetne javítani. Célunk, a módszer ismertetése ezt a többlet munkát nem indokolta.



2a. ábra. $H_{ma} = 640$ cm-es vízállástartáshoz szükséges vízkivételi kapacitások



2b. ábra. $H_{ma} = 640$ cm-es vízállástartáshoz szükséges tározótérfigat igények

A **számítási munka egyszerűsítése** érdekében nem nempermanens számítások alapján határoztuk meg a különböző árhullámokhoz tartozó $Q_{t,max}$ és $V_{igény}$ értékeket, hanem a vízkivételi szelvényenél lévő $H(t)$ és $Q(t)$ ismeretében számítottuk azokat. Így nem kell ismerni a felső és alsó határfeltételi szelvényekben a vízhozam, ill. a vízszint időbeni változását.

Mivel eddig nem fordult elő az 1997. évi 1%-ot, $H_{ma} = 803$ cm-t elérő vagy meghaladó árhullám most **feltételezzük**, hogy H_{ma} **640 cm-nek** felel meg. Tehát a tározózásnál 640 cm alvízszint tartását irányozzák elő. A tározót akkor kezdik üzemeltetni, ha a folyóban (a műtárgy felvizeben) $H_{max} > 640$ cm. Azt is feltételezzük, hogy terv szerint akkora tározót kívánunk építeni, mely a vízszinttartást a felvíz $H_{max} = H_{ma} + 100$ cm-ig tudja biztosítani, valamint topográfiai, környezeti, társadalmi adottságok miatt $V_{max} = 200 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ a lehetséges legnagyobb betölthető tározótérfigat. Ha a 640 cm-es alvízszintet a felvíz 740 cm-t meg nem haladó értékéig akarom biztosítani, ez azt jelenti, hogy (az 1997. évi 1%-os valószínűségű szint helyett) most vízszinttartásra – tározó üzem nélkül ~22%-ban meghaladó – $H_{ma} = 640$ cm-t szintet választottam, és olyan tározót és vízkivételi kapacitást tervezek, mely biztosítja, hogy az alvízben a 640 cm-t (1% helyett most) 8%-nál ritkábban előforduló árhullámok haladják meg.

Év	H_{max}	$Q_{fh,max}$	$Q_{t,max}$	$V_{igény}$
	cm	m^3/s	m^3/s	10^6 m^3
1970	728	3360	655	244
1974	665	2920	206	29
1978	663	2850	182	18
1979	674	2940	247	32
1998	738	3820	1070	243
1999	662	2380	140	22
2000	716	2860	734	127
2001	758	3519	1401	292

1. táblázat. A 8 db $H_{max} > 640$ cm-es árhullám tetőző értékei és $H_{ma} = 640$ cm tartásánál előálló $V_{igény}$ és $Q_{t,max}$ értékek

Tehát e példánál a *kiindulási adatok*:

$Z_{ma} \rightarrow H_{ma} = 640$ cm (a kívánt alvízszint, tározóüzem nélkül $p(H_{ma}) \approx 22\%$);

$H_{max} = 740$ cm (a felváz maximuma, $p(H_{max}) \approx 8\%$),

$V_{max} = 200 \cdot 10^6 \text{ m}^3$,

A 8 db $H_{max} > 640$ cm-es árhullámnál a $H_{ma} = 640$ cm tartásánál előálló $V_{igény}$ és $Q_{t,max}$ értékeket Dr. Szigyártó Zoltán (2015) tanulmányának 1. és 3. táblázatából vettük át ($H_{ma} \equiv H_t = 640$ cm 'tartott számítási segéd szint (vízállás)'-nál). Az értékeket az 1. táblázatban adtuk meg. A $Q_{t,max} - H_{max}$ és a $Q_{t,max} - Q_{fh,max}$ valamint a $V_{igény} - H_{max}$ és a $V_{igény} - Q_{fh,max}$ kapcsolatokat a 2a. és 2b. ábrán mutatjuk be. $Q_{fh,max}$ közvetlenül a vízkivétel felvázében lévő vízhozamra utal, ha $Q_{t,max}$ -t nem a vízkivételi szelvény $H(t)$ és $Q(t)$ idősorából határozzuk meg, hanem NSM-ből számítjuk, akkor $Q_{fh,max}$ a számításba bevont folyó legfelső szelvényében előírt felső határfeltétel maximális vízhozamát jelenti. (Így tudjuk majd meghatározni a jellemző vízhozamok valószínűségi értékeit.)

A 2a. és 2b. ábrákról a következők olvashatók le:

Ha $640 \leq H_{max} \leq 740$ cm-es tervezett igény mellett $V_{igény} > V_{max}(= 200 \cdot 10^6 \text{ m}^3)$:

Ahhoz, hogy az alvázban 640 cm-t tartani tudjuk 740 cm (8%-ot meg nem haladó) felváz érkezéséig (a 2a. ábra szerint) $Q_{t,max} \approx 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ maximális kapacitású vízbevezető műtárgy szükséges, de ez (a 2b. ábra szerint) $250 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ tározótér fogatot igényelne. Mivel most $V_{igény} > V_{max}$ (csak $V_{max} = 200 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ áll rendelkezésre) nem tudjuk tartani az alvázat 640 cm-en a felváz 740 cm érkezéséig. A tározó megtelése miatt, (a 2b. ábra szerint) csak ~ 730 cm-ig, 8,4%-ot meg nem haladó árhullám érkezéséig lesz megfelelő a tározó, ugyanakkor a vízbevezető műtárgyat $Q_{t,max} \approx 800 \text{ m}^3/\text{s}$ maximális kapacitására elég lesz kiépíteni.

Ebben a vízszinttartásos üzemállapotban a folyóban a műtárgyhoz érkező árhullám maximális vízhozama $2300 \leq Q_{fh,max} \leq 3350 \text{ m}^3/\text{s}$ között várható. A vízállásokhoz és a hozamokhoz múltbeli adatokra szerkesztett eloszlásfüggvények alapján megállapítható a meghaladásuk valószínűsége: $p_{H=640}$, $p_{H=730}$, $p_{Q=2300}$ és $p_{Q=3350}$. Az 1970-2004 évek vízállás és vízhozam adatai alapján szerkesztett eloszlásfüggvényekből (Szigyártó 2015) meghatározott meghaladási valószínűségek $p_{H=640} \approx 22\%$, $p_{H=730} \approx 8,4\%$, $p_{Q=2300} \approx 37\%$ és $p_{Q=3350} \approx 7,8\%$.

A feltételezett kiindulási adatok és a bemutatott ábrák alapján a $\sim 800 \text{ m}^3/\text{s}$ maximális kapacitásra kiépített – vízszinttartással üzemelő – tározó a (22 – 8,4%)-os előfordulású árhullámokat 640 cm-en tartja, de a 8,4%-nál ritkább előfordulású (730 cm-nél nagyobb) árhullámok 640 cm feletti részéből csak $V_{max} = 200 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ -t tud betározni. Az utóbbi esetben a tározóüzem ellenére a folyó alvázán 8,4%-ban 640 cm-t meghaladó maximális vízállás fog kialakulni, H_{max} értéke NSM számítással határozható meg.

Természetesen, most e példához felvett értékekre nem érdemes tározót tervezni és építeni.

Záhony-nál $H_{ma} = 640$ cm vízállás tartására kiépített vízbevezető műtárgy valószínűleg nem lenne gazdaságos (a valószínűségben $V_{max} = 200 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ sem áll rendelkezésre). Mint említettük ezeket az adatokat csak a módszer, az eredmények jellegének bemutatása miatt adtuk meg.

Ha $640 \leq H_{max} \leq 740$ cm-es tervezett igény mellett $V_{igény} < V_{max}$:

Az alváz 640 cm-es tartása mellett a felvázban 740 cm érkezéséig a tározó nem telik meg, $V_{igény} < V_{max}$. Ekkor 740 cm-t meghaladó árhullámok esetén is tartható az alvázban a $H_{ma} = 640$ cm-es vízállás, mindaddig, míg a tározó meg nem telik. Az előbbi példa adatainál maradva, 8%-nál ritkábban előforduló, 740 cm-nél nagyobb árhullámokat is 640 cm-en (22%-on) tudunk tartani a tározóüzemeltetésével. Az adott V_{max} -hoz tartozó új H_{max} -ot és $Q_{fh,max}$ -ot a 2b. ábra segítségével lehet meghatározni. Az új H_{max} ismertében a $Q_{t,max}$ -ot a 2a. ábrán lévő kiegyenlítő vonal alapján becsülhetjük

meg. Az eloszlásfüggvények alapján most is meghatározhatók a megfelelő p_H és p_Q meghaladási valószínűségek intervallumai.

4.2. Számítások árhullám generálása után

Ha minden eddig előfordult árhullámnál $Z_{max} < Z_{ma}$, vagy csak néhány esetben (kevesebb, mint 5 esetben) volt $Z_{max} > Z_{ma}$, akkor generálni kell árhullámokat. A generált árhullámok maximális vízállásai $H_{ma} < H_{max} \leq H_{ma} + 100$ cm intervallumba essenek. Az árhullám alakok becslése az eddig előfordultak figyelembe vételével történjen, de legyen köztük az eddigiektől eltérő: 'csúcsosabb', kisebb vagy nagyobb áradó-apadó intenzitású, H_{ma} fölött különböző tartósságú. (Az árhullám-alakok becslését a folyót ismerő helyi szakemberek végezzék.)

Most visszatérünk az **eredeti konkrét célunkhoz**: a *Tiszán* egy olyan szükségeltározó **térfogat és vízkivételi kapacitás meghatározása** a cél, **mellyel biztosítani lehet** – vízszinttartással –, **hogy az 1997. évi 1%-os valószínűségű szintet az évi legnagyobb jégmentes vízállása 'csak' 1%-os valószínűséggel haladjon meg**. A bemutatásra kerülő példánál most is **feltételezzük**, hogy a tározó **vízkivétele a Tisza záTHONYI** vízállás és vízhozam nyilvántartási **szelvényében van**. A példán keresztül mutatjuk be az árhullám generálást, az egyszerűsített számítás után kapott eredményeket és azok értékelésének módszerét.

A rendelkezésre álló adatok alapján készítettük elő a számításhoz szüksége adatokat. Először áttekintettük a vízmérceállomásra szerkesztett különböző eloszlásfüggvények és különböző valószínűségi szintekhez tartozó **hidrológiai jellemzőket**:

$H_{max} = 758$ cm, $p \approx 0,06$ -os 1970-2004 évek adatai alapján (*Szigyártó* 2015), ez az eddig előfordult legnagyobb $H_{max,aa}$, (LNV, 2001. március 09.)

$H_{max} = 796$ cm, $p = 0,030$ (OVH 2014),

$H_{max} = 803$ cm, $p \approx 0,031$ 1970-2004 évek adatai alapján (*Szigyártó* 2015),

$H_{max} = 803$ cm, $p = 0,010$ 1970. évi MÁSZ (VITUKI 1976),

$H_{max} = 867$ cm, $p = 0,010$ 1970-2004 évek alapján (*Szigyártó* 2015),

$H_{max} = 870$ cm, $p = 0,010$ (BM 2014), és MÁSZ (BM 74/2014. (XII.23) rendelet),

$H_{max} = 891$ cm, $p = 0,005$ (OVH 2014),

$Q_{max} = 3327$ m³/s, $p = 0,030$ (OVH 2014),

$Q_{max} = 3699$ m³/s, $p = 0,010$ (OVH 2014),

$Q_{max} = 3820$ m³/s, $p \approx 0,028$ 1970-2004 évek alapján (*Szigyártó* 2015), ez az eddig előfordult legnagyobb $Q_{max,aa}$, (LNQ, 1998 novemberi),

$Q_{max} = 3920$ m³/s, $p = 0,005$ (OVH 2014),

$Q_{max} = 4371$ m³/s, $p = 0,010$ 1970-2004 évek alapján (*Szigyártó* 2015),

$Q_{max} = 4392$ m³/s, $p = 0,001$ (OVH 2014).

A példánk forrás adatait most is **egyszerűsítettük, nem nempermanens számítások alapján határoztuk meg a különböző árhullámokhoz tartozó $Q_{t,max}$ és $V_{igény}$ értékeket**. A vízkivételi szelvényhez generált $H(t)$ és $Q(t)$ alapján számítottuk azokat.

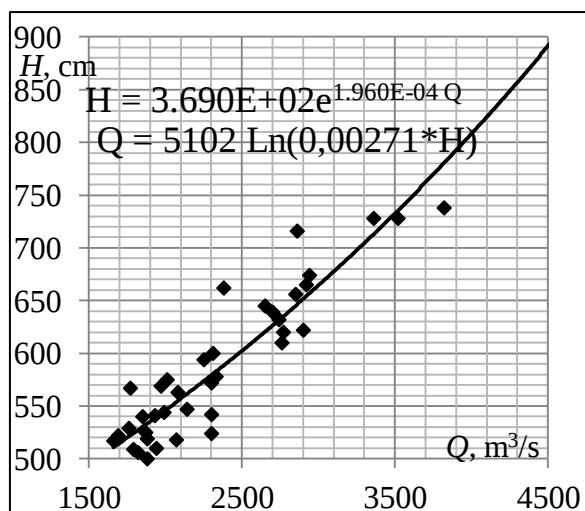
Pl. a $H_{max} = 850$ cm-es árhullámhoz tartozó Q_{max} és ugyanezen árhullám $H_{ma} = 803$ cm-es szintjéhez tartozó vízhozam különbsége adta a tározóba vezetendő $Q_{t,max}$ -ot (közelítőleg $Q_{t,max} \approx Q_{max,H=850} - Q_{H=803}$). A $V_{igény}$ értékét a vízhozam idősor $Q_{H=803}$ fölötti részének idő szerinti (numerikus) integrálásával kaptuk. A közelítő számítás módját a 4. ábrán, a $H_{max} = 850$ cm-es árhullámánál szemléltetjük.

A nem egyszerűsített $Q_{t,max}$ és $V_{igény}$ adat-előállításnál a felső és alsó határfeltételekhez szükséges $H(t)$ és a $Q(t)$ jelleggörbék előállítási módja teljesen megegyezik a vízkivételi szelvényhez alábbiakban bemutatásra kerülő jelleggörbék előállítási módjával.

'Normál' típusú generált árhullámok becslése

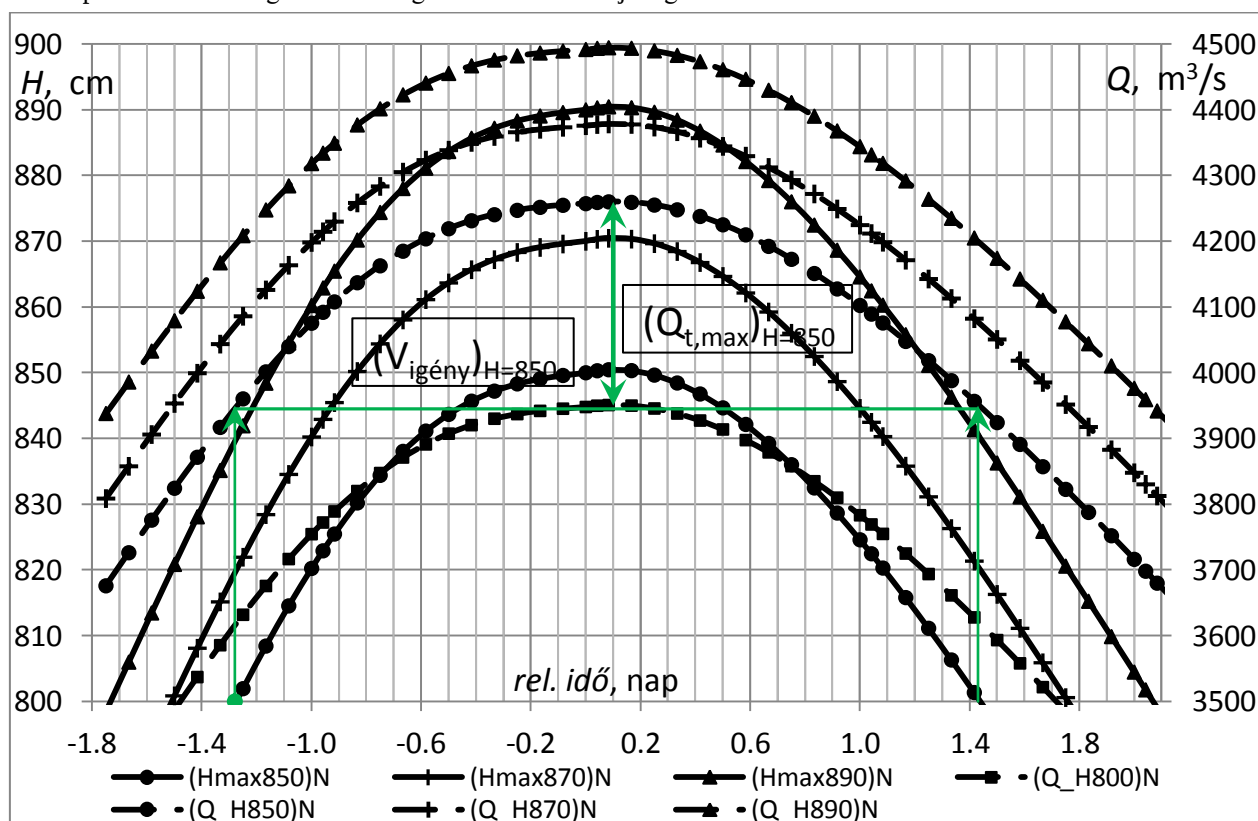
Az 1. ábra jelleggörbéit tekintve mondhatjuk, hogy a 2001. évi árhullám egy 'Normál' alakú. Az előfordult legnagyobb 2001 márciusi, $H_{max} = 758$ cm-es árhullám áradó és apadó ágát egy-egy 5-öd fokú polinommal közelítve azonos alakúra **becsültük a $H_{max,N} = 800, 850, 870$ és 890 cm-es $H(t)_N$ idősorokat**. (Az $_N$ alsó index a 'Normál' típusra utal.) A generált (extrapolált) $H_{max,N} \geq 800$ cm ár-

hullámokhoz tartozó $Q(t)_N$ -ket nagyvízi permanens vízhozam-görbe segítségével számítottuk. Az 1970-2004 évek mért $H(t)$ és $Q(t)$ idősorait felhasználva a $H_{\max} \geq 500$ cm-es árhullámok tetőzési pontjai alapján becsült permanens Q - H görbét a 3. ábrán szemléltetjük. Az 1997. évi 1%-os $H_{\max} = 803$ cm-es szintet ~ 70 cm-el haladja meg a ma érvényes 1%-os MÁSZ (BM 74/2014. (XII.23) rendelet), tehát a görbét ~ 900 cm-ig kell extrapolálni. A Q - H görbe 760 cm feletti része – a helyi viszonyok, a keresztmetszvény ismerete hiányában – igen nagy bizonytalansággal becsülhető.



3. ábra. $H > 500$ cm tartományra becsült permanens Q - H görbe

Az elmélet alapján várt felülről nézve domború függvény helyett alulról domború exponenciális függvényt alkalmaztunk. Az extrapolált szakaszon ez a függvényjelleg közelíti legjobban a fent megadott valószínűsűségű értékeket. A permanens Q - H elmélettől való eltérése a valóságban meglévő nempermanens hatás miatt lehet. De az okok között a nagyvízi vízhozamok már említett pontatlansága is szerepet játszhat. Megjegyezzük, hogy egy 'szabályos' nempermanens hurokgörbe áradó ága felülről homorú jellegű lehet.



4. ábra. 'Normál' típusú generált $H(t)$ és $Q(t)$ idősorok

A 'Normál' típusú generált $H(t)_N$ -ek és a nagyvízi vízhozamgörbe alapján számított $Q(t)_N$ -ek $H > 800$ cm fölötti szakaszát a 4. ábrán szemléltettük. Mivel permanens Q - H görbét alkalmaztunk a vízállás és a vízhozam tetőzések azonos időpontban vannak. Az összetartozó értékek:

$H_{\max,N} = 800$ cm $\rightarrow Q_{\max,N} = 3950$ m³/s;

850 cm $\rightarrow 4260$ m³/s;

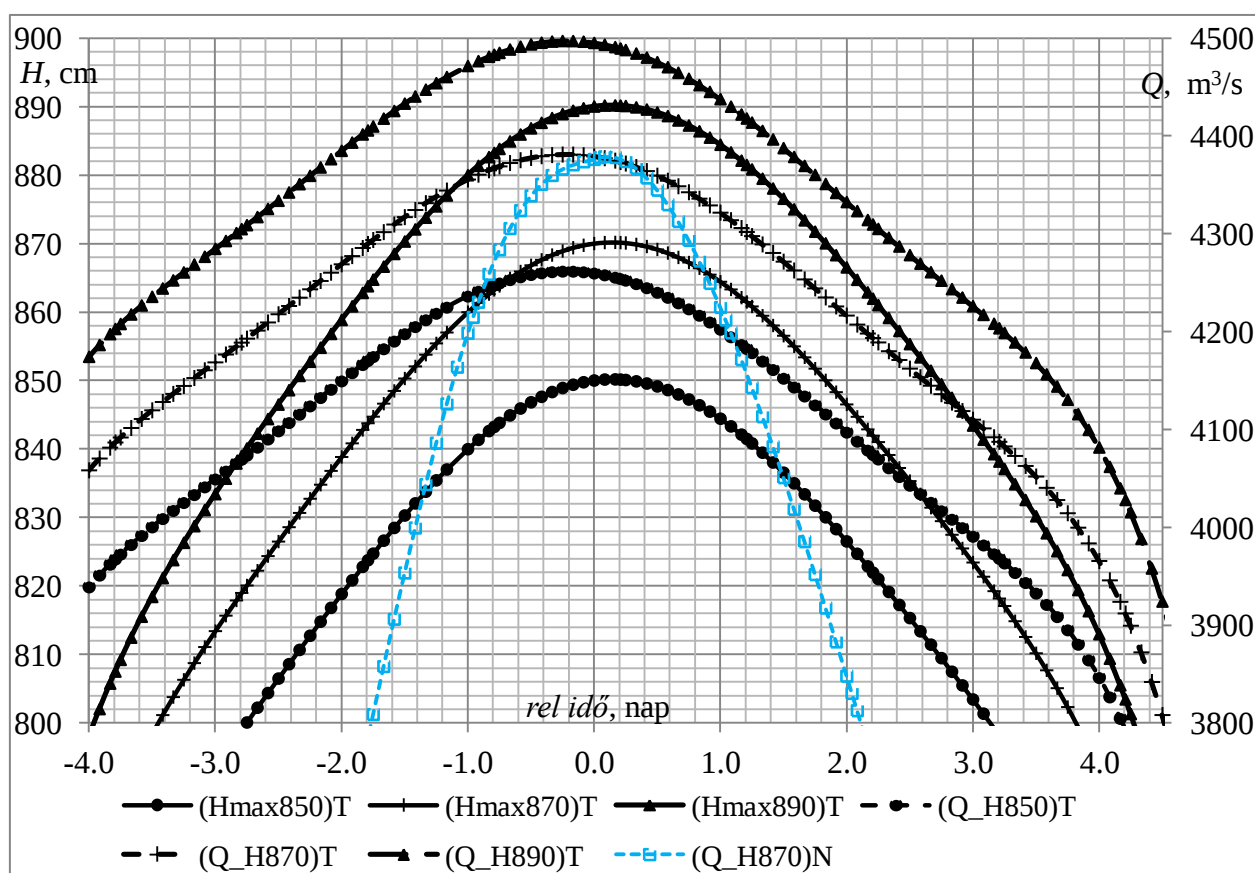
870 cm $\rightarrow 4379$ m³/s;

890 cm $\rightarrow 4495$ m³/s.

Az 4. ábrán a $H_{\max,N} = 850$ cm-es $H(t)_N$ -nél és a hozzá tartozó $Q(t)_N$ -nél a $(Q_{t,\max})_{H=850}$ és a $(V_{\text{igény}})_{H=850}$ jellemzők meghatározásának módját is bemutattuk.

'Tágas' típusú generált árhullámok becslése

Az 1999. évi $H(t)$ viszonyítva a 2001. évihez kisebb intenzitású, laposabb, ezért 'Tágas' típusúnak neveztük. Az 1999. márciusi, $H_{\max} = 662$ cm-es árhullám $H > 550$ cm-es tartományát egy 6-od fokú polinommal közelítettük. A polinom segítségével 'Tágas' típusú $H_{\max,T} = 800, 850, 870$ és **890 cm-el tetőző $H(t)_T$ árhullámokat generáltunk.** (A T alsó index a 'Tágas' típusra utal.) A generált $H(t)_T$ árhullámokhoz tartozó generált $Q(t)_T$ jelleggörbéket az 1999. évi adott vízhozam jelleget közelítve határoztuk meg. Az adott $Q(t)_{1999}$ -et $Q > 1800$ m³/s-os tartományban 6-od fokú polinommal közelítettük, majd ezt a polinomot alkalmaztuk a vízhozamidősorok előállításához. Elfogadva a becsült 'Normál' alakú árhullámoknál kapott $Q_{\max,N}$ értékeket, a 6-od fokú polinom alapján határoztuk meg a 'Tágas' típusú $Q(t)_T$ árhullámokat. Az 5. ábrán mutatjuk be a generált árhullámok $H(t)_T$ és $Q(t)_T$ idősorainak $H > 800$ cm-nél nagyobb szakaszát. Az összehasonlítás érdekében egy 'Normál' típusú vízhozamidősort, $(Q_{H870})_N$ -t is feltüntettünk az ábrán.



5. ábra. 'Tágas' típusú generált $H(t)$ és $Q(t)$ idősorok

Az előkészítő munka után rendelkezésünkre állt 6 db generált árhullám $H(t)$ és $Q(t)$ időszora. Fentebb már részletezett módon, ezekhez előállítottuk a $H_{ma}=803$ cm vízállástartáshoz szükséges $Q_{t,max}$ és $V_{igény}$ értékeket. A $Q_{t,max}-H_{max}$ és a $Q_{t,max}-Q_{fh,max}$, valamint a $V_{igény}-H_{max}$ és $V_{igény}-Q_{fh,max}$ kapcsolatokat a 6. ábrán szemléltettük. A kapott jellemzőket a 2. táblázatban foglaltuk össze.

H_{max}	$Q_{fh,max}$	Típus	$Q_{t,max}$	$V_{igény}$
cm	m ³ /s	–	m ³ /s	10 ⁶ m ³
850	4260	N	301	46
870	4379	N	426	79
890	4495	N	555	120
850	4262	T	234	70
870	4381	T	321	120
890	4497	T	402	175

2. táblázat. Generált árhullámoknál 803 cm vízállástartása esetén a tározóba bevezetett maximális vízhozam és a betározott vízmennyiség

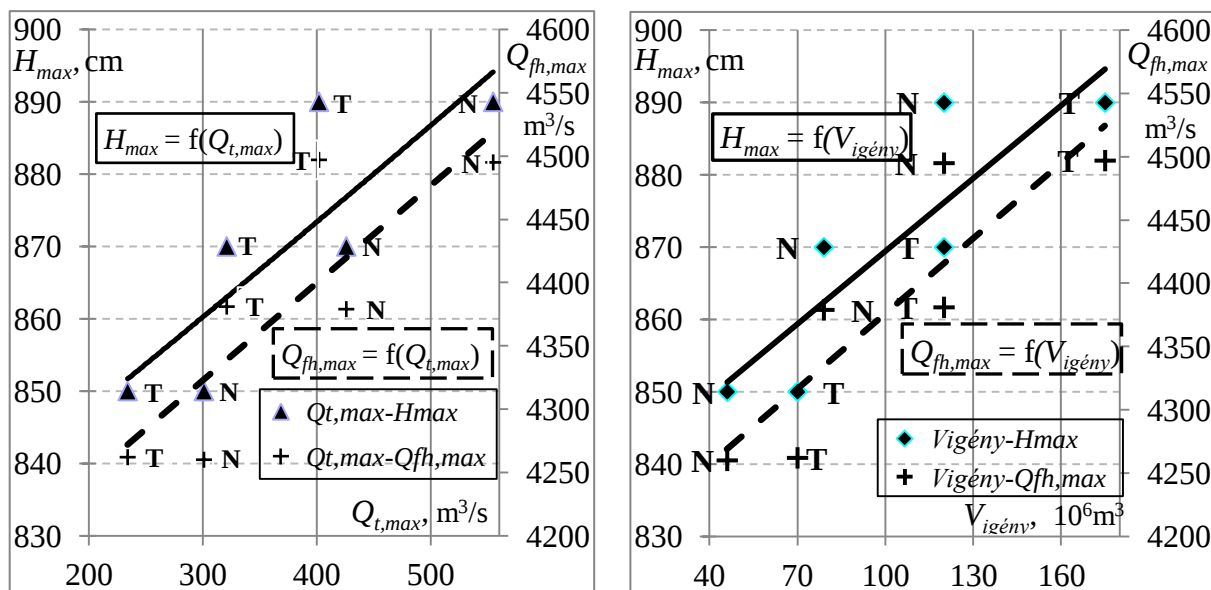
Ha biztosítani akarjuk, hogy az 1997. évi 1%-os, – az akkori MÁSZ-nak megfelelő – szintet ma csak 1% valószínűséggel haladja meg a folyó alvízszintje, akkor egy **~100 10⁶m³ térfogatú tározót és a vízbevezető műtárgy kapacitását ~400 m³/s-ra ajánlott kiépíteni.**

A 6. ábra alapján látható, hogy 'Tágas' típusú, 870 cm-el tetőző árhullám érkezése esetén a kívánt – 803 cm-t 1%-os valószínűséggel meghaladó – vízszint biztosításához több, mint 120 10⁶m³ tározó térfogat szükséges, ugyanakkor a bevezetés kapacitásigénye csak ~320 m³/s. Az 5. ábrán bemutattuk, hogy a 'Tágas'-nak minősített árhullámok valóban mennyire tágasak (a magas vízállások fölötti tartósságuk igen nagy). Tekintve az eddig előfordul nagyvízi árhullám alakokat (1. ábra), nem valószínű, hogy egy $H_{max} \approx 660$ cm-el tetőző árhullám alakja, 2 m-el magasabban tetőző árhullámoknál is hasonló. (Ha csak a vízgyűjtőn és a lefolyásban drasztikus változást nem tételezünk fel.) A felvett magas vízállásoknál ilyen nagy tartósság valószínűleg nem – vagy csak igen-igen ritkán – fordulhat elő. Ezért a 'Tágas' típusú árhullámokra számított értékeket a kiépítendő mű jellemzőinek becslésénél kisebb súllyal vettük figyelembe.

A feltételezett kiindulási adatok és a számítások alapján **a ~100 10⁶m³-es térfogatú tározó és a ~400 m³/s maximális kapacitásra kiépített – vízszinttartással üzemelő – vízkivételi mű a 3,1%-ot meghaladó, de az 1%-os valószínűséget meg nem haladó vízszinteket 803 cm-en tudja tartani, de az 1%-nál ritkább előfordulású (~870 cm-nél nagyobb) árhullámok 803 cm feletti részéből csak $V=100 \cdot 10^6$ m³-tud betározni.** Ez utóbbi esetben a vízszinttartó-üzem ellenére az alvízben 803 cm-t meghaladó maximális vízállás fog kialakulni, melynek tetőző értéke NSM számítással határozható meg.

Megjegyezzük, hogy a 6. ábrán látható pontsorok alapján nem szabad azt a következtetést levonni, hogy mindig ilyen szabályos (és lineáris) trendet kapunk. Ez az alkalmazott árhullám generálás és a $Q_{t,max}$ és $V_{igény}$ értékek egyszerűsített meghatározási módja miatt van így. A 2. ábra mutatja, hogy több árhullám és árhullám-típus esetén nem ilyen szabályos a változás.

Fontossága miatt megismételjük: a vízkivételi mű számított vízszállító-képességének biztosításával, és ha a tározótérfogat ehhez elégséges, el lehet érni 803 cm-es szint tartásával azt, hogy (Záhonyánál) a ma érvényes **1%-os árvízszint az 1970-es években elhatározott** és azóta (nagyreszt) megvalósított **töltésmagasságok mellett biztonsággal levonulhasson. Általánosítva: a Tisza teljes hazai szakaszán az 1997. évi 1%-os szintek tartását biztosítani képes tározótérfogatokkal és a megfelelő vízhozam kapacitásra kiépített vízkivételi-művekkel el lehet érni, hogy a ma érvényes 1%-os árvízszintek (BM 2014) töltésmagasítás nélkül levezethetők legyenek.** Az 2014. évi 1%-os és az 1997. évi 1%-os szintek helytől függő különbsége miatt természetesen a helytől függ az, hogy hova mekkora tározót és vízkivételi kapacitást kell tervezni.



6. ábra. Generált árhullámoknál 803 cm vízállástartáshoz szükséges vízkivételi kapacitások és tározótérfogó igények

Példánkban **vízszinttartásos üzem ideje alatt** a folyóban a műtárgyhoz érkező árhullám maximális vízhozama $4000 \leq Q_{fh,max} \leq 4400 \text{ m}^3/\text{s}$ között várható. Ezekhez a hozamokhoz múltbeli adatokra szerkesztett eloszlásfüggvény alapján megállapítható előfordulásuk valószínűsége. Az 1970–2004 évek adataiból becsült eloszlásfüggvény alapján (Szigvártó 2015) a vízhozamok meghaladásának valószínűsége: $p_{Q=4000} \approx 2\%$ és $p_{Q=4400} \approx 0,95\%$. Tehát vízhozamok tekintetében $\sim 2\text{--}0,95\%$ közötti meghaladási valószínűségű tetőzővízhozammal érkező árhullámokat tudja a kívánt célnak megfelelően kezelni a tározó. A vízhozam statisztikák bizonytalanságát hangsúlyozandó (ami nem a statisztikai módszerek bizonytalanságából, hanem az adatok hibájából ered) említjük meg, hogy az általunk hozzáférhető OVH (2014) adatok alapján $p_{Q=4000} < 0,5\%$ és $p_{Q=4400} < 0,1\%$.

5. Általános megjegyzések, előnyök, hátrányok

A mintapéldák eredményeivel kapcsolatban a következőket kell megemlíteni:

- A bemutatott példákkal a módszer megértését kívántuk elősegíteni, nem volt célunk, – a rendelkezésre álló adatok mennyisége és minőség miatt sem – egy konkrét tározó tervezéséhez alapokat adni.
- A példánkban egyszerűsítettük az NSM leglényegesebb lépését, az összetett tározási jelenség numerikus, determinisztikus szimulációját. A folyó, a tározó valamint a kettőjük kapcsolatát leíró nempermanens számítás helyett egyszerű algebrai összefüggés alapján számítottuk a jellemzőket ($Q_{t,max} = Q_{max} - Q_{H=803}$, $V_{igény} = \sum (Q_i - Q_{H=803})_i \cdot \Delta t$).
- Fentiek ellenére, ha valaki az eredményekből a Cigánd-Tiszakarádi tározó méreteit akarja ellenőrizni, ne felejtse: a kiinduláshoz használt nyers adatok pontatlanságát, a származtatott adatoknál alkalmazott közelítéseket, a $Q_{t,max}$ és $V_{igény}$ meghatározásának egyszerűsített módját valamint, hogy a megvalósult vízbevezető műtárgy és a záhonyi vízmérce közötti távolság 30 fkm.
- Általában a tározó térfogatát, V_{max} -ot adottnak kell tekinteni, most ha ezt $94 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ -nek tételezzük fel, (mint, ahogy az a megvalósult Cigánd-Tiszakarádi tározónál van) gyakorlatilag nem jelent korlátozást a becsült $Q_{t,max}$ érték tekintetében.
- A bemutatott módszer általános, bármely magányos szükségeltározó esetén alkalmazható sőt, mint említettük tározó-rendszer esetén is (a megfelelő határfeltételek figyelembe vételével): egyszerre több tározó tervezéséhez, vagy meglévő tározó (tározórendszer) új tározóval való bővítése esetén a tározók egymásra hatása csak NSM-el vehető figyelembe.

Röviden szóluk a szükségtározó térfogatának és a vízkivételi-műve maximális kapacitásának hidrológiai alapon történő méretezési módszeréről. A hidrológiai módszer lényegét – *Szigyártó* (2015) tanulmánya alapján – csak olyan mélységig említjük, hogy a két módszer előnyeinek és hátrányainak összehasonlítása érthető legyen.

5.1. Hidrológiai módszer

A hidrológiai módszer a tározótérfogatot és a vízkivétel kapacitását egyforma elvi, valószínűségi alapokon határozza meg. A múlt adataiból számítható a $V_{igény}$ és a $Q_{t,max}$ változók $H_t < H_{ma}$ 'tartott számítási segéd szint'-ekre jellemző eddig előfordult értékei. Ezek meghatározása nem nempermanens alapon, hanem a vízkivétel szelvényében észlelt (vagy oda transzponált) $H(t)$ és $Q(t)$ ismeretében, a már említett közelítő módon számíthatók. A legalább 10 darab H_t szinthez tartozó $V_{igény}$ és $Q_{t,max}$ értékekre, mint valószínűségi változókra eloszlásfüggvények illeszthetők. Az eloszlásfüggvények paramétereinek H_t szinttől való változása – logikai és elméleti megfontolások alapján – előre várható függvény-jelleget követ. A paraméter értékekre illeszkedő függvénykapcsolat segítségével – extrapolálással – meghatározható a méretezendő V és $Q_{t,max}$ változók eloszlásának az üzemi tartott szintre (H_{ma} szintre) vonatkozó paraméter értékei. A paraméterek segítségével a tartott szint feletti tartományra vonatkozó feltételes eloszlások állíthatók elő. Ezekből meghatározhatók a keresett feltétel nélküli valószínűségek; melyek azt mutatják meg, hogy az évek hány százalékában jelentkezik a vizsgált esemény. *Egy mondatban összefoglalva:* az eddig előfordult árhullámokból $H_t < H_{ma}$ szintekhez számítható $V_{igény}$ és $Q_{t,max}$ változók alapján, azok eloszlásfüggvényei paramétereinek becsült értékeit felhasználva előállítható egy-egy olyan eloszlásfüggvény, melyből meg lehet határozni, V -re vonatkozóan [idézve *Dr. Szigyártó* (2015) tanulmányából]:

„... a tározónak azt a (mérnöki gyakorlatban 1%-osnak nevezett) térfogatát, amely kiépítésével elérhető, hogy a tározó üzemeltetésekor az 1997. évi mértékadó árvízszintnek megfelelő 803 cm-es vízszintet tartva a nagyvíz ezt ismét 1%-os valószínűséggel haladja meg.”

és $Q_{t,max}$ -ra vonatkozóan:

„... hogy mekkora a Q_t vízzárlító-képesség ugyancsak 1%-os valószínűségű értéke.”

Ezek mellett lehetőség van annak kiszámítására is, hogy ha nem áll rendelkezésre a szükséges térfogat vagy a szükségesnél kisebb a vízkivétel kapacitása, úgy a tartott szintet a vízállás mekkora valószínűségnél haladja meg. A módszer részletes, példával illusztrált leírása *Dr. Szigyártó Zoltán* (2015) tanulmányában megtalálható.

A hidrológiai módszer *előnyei*:

- A módszer a múlt adataiban lévő minden információt felhasználva, tudományos alapon, a valószínűség számítás törvényszerűségeit felhasználva határozza meg a szükséges V és $Q_{t,max}$ értékeket.
- Felismerve, hogy csak a tartott szintet, H_{ma} -t meghaladó események befolyásolják a V és $Q_{t,max}$ értékeket, feltételes valószínűségekkel dolgozik. Majd ezeket a feltételes valószínűségeket átszámítja a szokásos módon értelmezett nem feltételes valószínűségekre.
- Ha eddig még nem fordult elő a tartott szintet meghaladó esemény (tehát erre még nem lehet mért alapadat) a valószínűségi változók paramétereinek a tartott szinttől való függésében lévő törvényszerűségek alapján (közelítő függvény, majd extrapolálás segítségével) határozza meg az eloszlásfüggvények H_{ma} -hoz tartozó paraméter értékeit.
- Megfelel a klasszikus méretezési elvnek: egy előre meghatározott, meghaladási valószínűséghez (pl. 1%-hoz) határozza meg a méretezendő jellemző értékét. Illetve, ha erre nincs lehetőség (V vagy $Q_{t,max}$ vagy mindkettő adott) meghatározza, hogy ilyen körülmények között mi a tartott szint túllépésének a valószínűsége.
- Ki lehet jelenteni, hogy a mű, vagy annak tervezett eleme az esetek p_{ma} %-ában megfelel, (hiszen a p_{ma} valószínűség a méretezett jellemző – pl. $Q_{t,max}$ – eloszlásfüggvényére vonatkozik). Ilyen méretezés esetén a tervezőknek egyértelmű a feladata (jogilag egyértelmű a helyzet); a hatóság

által előre rögzített p_{ma} valószínűségig megfelelően működő tározót kell szigorú valószínűségi szabályok alapján terveznie.

A hidrológiai módszer *hátrányai*:

- Nem rendszerszintű; kiragadja a tervezendő jellemzőt az összefüggés-rendszerből. Pontosabban a ható tényezőket nem determinisztikusan, a múltbeli mintaelemeken keresztül statisztikailag veszi figyelembe.
 - Nem lehet a minősítést, a célállapotot egyetlen számértékkel jellemezni (leírni). Nem veszi figyelembe, hogy a tervezett érték elfogadhatósága több, különböző körülménytől is függ.
 - Nem veszi figyelembe, hogy a tározó egy tározó-rendszer elemeként működhet; (lehet, hogy a rendszer egyik elemét már a tervezés során nem érdemes pl. 1%-ra tervezni).
 - Nem a szakmában ismert vízállás vagy vízhozam előfordulási valószínűségéhez köti a méretezett jellemző előírt megfelelését, hanem a konkrét méretezett jellemző pl. $Q_{t,max}$ előfordulási valószínűségéhez, amire nem állnak rendelkezésre múltbeli statisztikai adatok.
- Nincs szoros – determinisztikus – kapcsolat pl. $p(Q_{t,max})$ előfordulásának valószínűsége és az azt kiváltó vízállás valószínűsége ($p(H)$) között.

5.2. Numerikus–szimulációs–módszer

Összehasonlítás érdekében megadjuk a tervezést segítő hidraulikai alapú numerikus módszer előnyeit és hátrányait is.

Az NSM előnyei:

- A tervezés során – közelítőleg – numerikusan szimuláljuk a tározási folyamatot úgy, ahogy az a természetben lejátszódik. A tározási folyamat számításánál figyelembe vesszük a méretezendő változókat befolyásoló leglényegesebb hatásokat. Az egymásra hatást függvénykapcsolatokkal, hidraulikai (determinisztikus) alapon írjuk le. Például: vízkivételnél a tározóbeli vízszint visszahatását a bevezetésre; a tározóbeli vízmozgás hatását a műtárgy tározóbeli alvízére és ennek hatását a felvízre, a folyó vízszintjére; stb.
- A módszer bearányosítható: a számításhoz alkalmazott geometriai adatok és ha a múltbeli határfeltételek mérésen alapulnak, az eredmények bearányosítás után a számítás pontossági határán belül 'valóság' lesznek.
- A módszerrel előrejelzés végezhető: különböző, szélsőséges, generált (eddig elő nem fordult) határfeltételek hatását lehet számítani.
- Megpróbálja egyesíteni a hidrológiai és hidraulikai módszerek előnyeit: a határfeltételek leglényegesebb változóit (a tetőző- vízszinteket és vízhozamokat) mért adatokból meghatározott valószínűségi eloszlások alapján becsüli; de nincs akadálya annak, hogy más nem csak a tetőzések értékeit leíró statisztikai módszerek alkalmazásával előállított határfeltétellel végezzünk számításokat.
- A hidrológiai eseményekhez igazodó, feltételezett üzemeltetési renddel figyelembe lehet venni a tározó-rendszer többi – már megépült, vagy tervezett – tározójának hatását is a méretezendő tározóra.
- Egy folyami tározóból (pl. Kiskörei-tározóból) vizet kivevő szükségtározó méretezésére is alkalmazható.
- A módszerrel nem csak az 'optimális' tározótérfogatot és a vízkivételi mű vízhozamát lehet meghatározni. A V és a $Q_{t,max}$ mellett a vízvisszavezető mű vízhozamára és a művek szűkebb környezetének a főbb geometriai méreteire, valamint a töltési-ürítési időre is lehet ajánlást adni.

Mint azt az irodalmi áttekintésben említettük a műtárgy küszöbszintjét, nyílásméretét, tábla-magasságát, szélességét, vízemésztését, az üzem folyóra gyakorolt vízszintcsökkentését és a hatástávolságot is számíthatjuk. A beeresztőműtárgyak és a tározóból a folyóba vízvisszavezető műtárgyak közvetlen környezetének kialakítását is pontosíthatjuk 2D numerikus modellszámítással: a vízbeeresztést (szárnyfalak helye, hossza, hajlása, magassága), az elő és utófe-

neket (fenékszintek, burkolt felületek hossza, köszórás méretek), az energiatörést (vízláda mérete, energiatörő bordák száma, helye, magassága, főáramlás iránnyal bezárt szöge).

- Az NSM operatíván alkalmazható (nem csak a tervezés támogatásához hanem), egy aktuális hidrológiai eseménynél a szükséges ('optimális') üzemelési stratégia kialakításához is. Az üzemelési mód kialakításának segítése mellett, a vízkivétel kapacitásának elégtelensége vagy a tározó megtelése esetén közvetlenül tudja számítani a tartott szint meghaladásának mértékét (nemcsak a meghaladás valószínűségét).

Az NSM hátrányai:

- Ha egyáltalán nem volt még a Z_{ma} -t elérő vagy meghaladó árhullám, akkor ilyet felvenni (generálni) csak becsléssel lehet, hasonló a helyzet, ha csak néhány vagy Z_{ma} -t alig meghaladó árhullám áll rendelkezésre.
- A generált árhullámok becslése nagy bizonytalansággal, hibával lehet terhelt.
- Nincs kihasználva a hidrológiai események (határfeltételek) változását tükröző, a valószínűségi törvényekben lévő minden információ. A határfeltételek felvételénél csak részben használjuk ki a valószínűség számítás lehetőségeit (pl. előírt valószínűségű H_{max} -ot veszünk fel), de az építésre ajánlott V és $Q_{t,max}$ értékek megállapításánál, már a determinisztikusan számított változók valószínűségi jellemzőjét (pl. szórását) nem vesszük figyelembe.
- Nem a mérnöki gyakorlatban elfogadott, csak valószínűség számításra alapuló, klasszikus méretezési módszert követünk, hanem 'kevert', a felfogásban eléggé eltérő valószínűségi- és determinisztikus számítási eljárást alkalmazunk. (Mint minden újszerű eljárás elfogadása nehézségekbe fog ütközni.)

Fontossága miatt *hangsúlyozni kell*, hogy **árhullámokat generálni csak nagy körülményekkel szabad**. Minden beszerezhető adatot fel kell használni, és ha az eredmények nem reálisak (ellentmondóak) **külön méréseket is ajánlott végezni** (ennek költsége az árvízi biztonságot növelő tározó beruházási költségéhez képest elhanyagolható). A bemutatott példa a módszer használhatóságán kívül azt is mutatja, hogy megfelelő pontosságú adatok hiányában nem szabad tervezni.

Megjegyezzük, hogy konkrétan a záhonyi példa esetén is van lehetőség pontosabb adatok beszerzésére. Ilyen nagy vízállás tartományt átfogó extrapolálásnál, – több mint 1 m-nél – mindenképpen ajánlott külön mérésekkel pontosítani a becslést.

6. Összefoglalás, köszönetnyilvánítás

A tározási folyamatot kiváltó hidrológiai események jellemzői valószínűségi változók, ugyanakkor maga a tározási folyamat ma már hidraulikailag viszonylag pontosan, determinisztikusan leírható. E tanulmányban a szükségtározó két lényeges elemének tervezéséhez adunk egy olyan eljárást, amely **megpróbálja egyesíteni a hidrológiai-statisztikai és hidraulikai módszerek előnyeit**. Az *egyesítés filozófiája*: a tározás folyamatában résztvevő elemek (folyó, vízkivételi mű, tározó) egymásra ható működésénél mindent, amit tudunk determinisztikusan (függvénykapcsolattal) közelítünk, amit a véletlennek befolyásolnak, azt hidrológiai statisztikai módon írjuk le. **Numerikus-szimulációs-módszer-el (NSM)** közelítjük az összetett tározási folyamatot. A számításnál figyelembe vesszük a méretezendő változót befolyásoló leglényegesebb hatásokat. Az egymásra hatást függvénykapcsolatokkal, hidraulikai (bearányosítható, determinisztikus 1D és 2D) alapon írjuk le. A határfeltételek leglényegesebb változóit, mint valószínűségi változókat (a tetőző-vízszinteket és vízhozamokat) mért adatokból meghatározott valószínűségi eloszlások alapján becsüljük. A módszer egyedi tározónál és egymásra ható tározórendszereknél is alkalmazható.

Végül köszönetet szeretnék mondani *Dr. Szigyártó Zoltánnak*, aki észrevételeivel, értékes kritikai javaslataival segítette a végleges szöveg összeállítását. Beszélgetésünk, (pontosabban vitáink) során nem mindenben értettünk egyet, de ez így természetes. A vitás kérdések, a különböző hangsúlyok, nézőpontok kiemelése csak segítheti e szűk témakör többoldalú megvilágítását. Bár tudományos cikkekben ritkán szoktak így fogalmazni, de attól még az igaz, hogy „*Az igazság nem egy! És nem oszthatatlan!*” (<http://www.citatum.hu/kategoria/Igazsag>)

Jelölések

- H_{ma} - a folyón a tartandó alvízszintnek megfelelő vízállás, (vízszinttartásnál a művek – tározó, vízkivételi mű – méreteit befolyásoló mértékadó vízállás), mB.f.,
- H_{max} - az évi legnagyobb jégmentes vízszintnek megfelelő vízállás, cm,
- $H_{max,N}$ - generált, 'Normál' típusú árhullám tetőző vízállása, cm,
- $H_{max,T}$ - generált, 'Tágas' típusú árhullám tetőző vízállása, cm,
- H_t - 'tartott számítási segéd szint', (Szigyártó 2015 tanulmányából átvett), cm,
- $H(t)$ - a vízkivételi szelvényben – a tározónyitás nélkül kialakuló – vízállás idősor, m,
- $H(t)_N$ - a vízkivételi szelvényben, a generált, 'Normál' típusú árhullám vízállás idősora, m,
- $H(t)_T$ - a vízkivételi szelvényben, a generált, 'Tágas' típusú árhullám vízállás idősora, m,
- p_H - tározónyitás nélkül a vízkivételi mű szelvényében kialakuló H -t meghaladó vízállás előfordulási valószínűsége, %,
- p_Q - tározónyitás nélkül vízkivételi mű szelvényében Q -t meghaladó vízhozam előfordulási valószínűsége, %,
- $p_{ma}\%$ - a Z_{ma} -t meghaladó vízszint előfordulási valószínűsége, %-ban megadva,
- $p(H)$ - egy meghatározott vízállás meghaladásának valószínűsége, - ,
- $p(Q_{t,max})$ - a $Q_{t,max}$ eloszlásától függő, a vízkivételi mű igényelt maximális kapacitása meghaladásának valószínűsége,
- $Q_{fh}(t)$ - a felső határfeltételi szelvényben – a tározónyitás nélkül kialakuló – vízhozam idősor, m³/s,
- $Q_{fh,max}$ - a felső határfeltételi szelvényben az árhullám maximális vízhozama, m³/s,
- Q_H - adott H értékhez tartozó vízhozam, m³/s,
- Q_{max} - az évi legnagyobb jégmentes árhullám maximális vízhozama, m³/s,
- $Q_{max,N}$ - generált, 'Normál' típusú árhullám maximális vízhozama, m³/s,
- $Q_{max,T}$ - generált, 'Tágas' típusú árhullám maximális vízhozama, m³/s,
- $Q(t)$ - a vízkivételi szelvényben – a tározónyitás nélkül kialakuló – vízhozam idősor, m³/s,
- $Q(t)_N$ - a vízkivételi szelvényben, a generált, 'Normál' típusú árhullám vízhozam idősora, m³/s,
- $Q(t)_T$ - a vízkivételi szelvényben, a generált, 'Tágas' típusú árhullám vízhozam idősora, m³/s,
- $Q_{t,max}$ - a vízkivételi mű igényelt maximális kapacitása, m³/s,
- $Q_i(t)$ - a tározóba befolyó vízhozam idősora, m³/s,
- $(Q-H)_{ah}$ - permanens vízhozam-görbe az alsó határfeltételi szelvényben,
- $Z_{ah}(t)$ - adott vízállás-idősor a számításba bevont folyószakasz legalsó szelvényében (az $_{ah}$ alsó index az alsó határfeltételre utal), m³/s,
- Z_{ma} - a tartandó (folyóbeli) alvízszint (vízszinttartásnál a művek – tározó, vízkivételi mű – méreteit befolyásoló mértékadó vízszint), mB.f.,
- Z_{max} - a vízkivételi szelvényben az évi legnagyobb jégmentes vízszint, mB.f.,
- $V_{igény}$ - a vízszint tartásához szükséges tározótérfogat, m³,
- V_{max} - rendelkezésre álló maximális tározótérfogat, m³.

Irodalom

- Balogh E.-Bogárdi I.-Koncsos L.: Árvízi szükségtározók feltöltésének optimális ütemezése. Hidrológiai Közlöny 2012. 92.évf. 1. sz.
- BM: 74/2014. (XII.23.) rendelet a folyók mértékadó árvízszintjeiről. Belügyminisztérium, Budapest, 2014.
- BME VVI Vízépítési Tanszék: A Körös-völgyi árvízvédelmi szükségtározók számítógéppel segített üzemirányítása. Kezelési utasítás. Témafelelős: Rátky István, Budapest, 1988.
- BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tsz.: A felsőtiszai Szamos-Kraszna-közi árvíztározó árapasztó műtárgyának kismintavizsgálata. Kutatási zárójelentés. Budapest, 2004.
- BMGE: A településfejlesztést, a vidékfejlesztést, az árapasztást és a nagyvízi vízszállító képesség javítását szolgáló feladatok tudományos alapjainak és hátterének megteremtése a Vásárhelyi-terv továbbfejlesztésének I. ütemére, Krámer T.: Négy kiválasztott típusú tározó elárasztásának nempermanens 2D modellezése. Kutatási jelentés, Budapest, 2004/a. december.
- BMGE: Az árapasztást és a nagyvízi vízszállító képesség javítását szolgáló feladatok tudományos hátterének megteremtése. Vásárhelyi-terv továbbfejlesztése (I. ütem). Témafelelős: Somlyódy L. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Víz Közmű és Környezet Mérnöki Tanszék, Közreműködők: BMGE Vízépítési és Vízgazdálkodási Tsz., ReWe Stratégiai Tanácsadó Bt., VIZITERV Consult Kft., Budapest, 2. Részjelentés 2004. március, 3. Részjelentés 2004/b. december.
- Bukovszky Gy.: Kis tározók tervezése. VMGT, 42.sz. Vízügyi Dokumentációs és Továbbképző Intézet, Budapest, 1972.
- Bunyevác V.: A Kisdelta árvízi szükségtározó beeresztő műtárgyának tervezése. MHT XXVIII. Országos Vándorgyűlés Sopron 2010.

- CONSULT-INFO: Árhullám-szabályozás hidraulikai modellezése. A Berettyó árvízi szükségtározóinak hidrológiai és hidraulikai vizsgálata és a számítógépes modell kidolgozása a létesítmény üzemirányítására. Témafelelős: Dr. Rátky István, Megrendelő: Tiszántúli Vízügyi Igazgatóság, 2000/a.*
- CONSULT-INFO: TÁMASZ programcsomag, Kezelési Utasítás. Numerikus hidraulikai szimulációra szolgáló számítógépes programcsomag a Körös-völgyi szükségtározók rendszerben történő üzemeltetésére. Témafelelős: Dr. Rátky István, Megrendelő: Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság, 2000/b.*
- CONSULT-INFO: TÁMASZ programcsomag, Kezelési Utasítás. Numerikus hidraulikai szimulációra szolgáló számítógépes programcsomag a Berettyó szükségtározóinak Körös-völgyi szükségtározók rendszerben történő üzemeltetésére. Témafelelős: Dr. Rátky István, Megrendelő: Tiszántúli Vízügyi Igazgatóság, 2001.*
- HIDROMETRA Bt: A zagyvai szükségtározók üzemirányítási modelljének kidolgozása. Témafelelős: Dr. Rátky István. Megbízó: Közép-Tisza Vidéki Vízügyi Igazgatóság, Budapest, 2001. december.*
- HIDROMETRA Bt: A Borsóhalmai szükségtározó tervezését alátámasztó hidraulikai tanulmány. Témafelelős: Dr. Rátky István. Megbízó: VIZITERV Consult Kft., Budapest, 2002. április.*
- Kiers G.-Farkas P.-Rosza P.: A tervezett Közép-tiszai árvízi tározók vízszintcsökkentésének szimulációs vizsgálata. MHT XXIX. Országos Vándorgyűlés Eger 2011.*
- Kiss A.: A Mérgesi árvízi szükségtározó 1D modellezése feltételezett Sebes-Körösi megnyitás figyelembevételével. MHT XXVII. Országos Vándorgyűlés Sopron 2009.*
- Laurinyecz P.-Szlávik L.-Krámer T.: A Fehér-Körös árvízi modellezése. MHT XXVII. Országos Vándorgyűlés Sopron 2009.*
- Láng M.: Kisdelta árvízi szükségtározó vízbeeresztő műtárgyának fizikai kisminta-kísérleti vizsgálata. MHT XXVIII. Országos Vándorgyűlés Sopron 2010.*
- Mosonyi E.: Studies for intake structures of flood detention basins to be established along the Upper Rhine. Periodica Polytechnica Ser. Civil Eng. Vol. 38, No.2, pp. 137-154. 1994.*
- Mosonyi E.: A Felső-Rajna mentén tervezett véstározók töltő-ürítő műtárgyai. Hidrológiai Közlöny 2005. 85.évf. 2.sz.*
- Némethy L.-Gábor L.: Vízkibocsátás és víz visszavezetés töltésátvágással. Hidrológiai Közlöny, 1974. 3-4. sz.*
- Némethy L.-Szalay M.: Síkvidéki tározók tervezése és üzeme. BME Továbbképző Intézet. Szakmérnöki jegyzet, 1977.*
- Rátky I.: Hidraulikai alátámasztó tanulmány a Fehér-, Fekete- és Kettős-Körös térségének árvízvédelmi fejlesztési alternatíváihoz. Műszaki tanulmány. Budapest, 1997. május.*
- Rátky I.: A Körös-völgyi árvízi szükségtározókkal kapcsolatos hidraulikai vizsgálatok. I. A kisdelta szükségtározó üzemeltetési szabályzat kidolgozását segítő hidraulikai számítások. Műszaki tanulmány. Budapest, 1998/a.*
- Rátky I.: A Körös-völgyi árvízi szükségtározókkal kapcsolatos hidraulikai vizsgálatok. II. A mályvádi szükségtározás hidraulikai hatásának vizsgálata. Műszaki tanulmány. Budapest, 1998/b.*
- Rátky I.: A Körös-völgyi árvízi szükségtározókkal kapcsolatos hidraulikai vizsgálatok. III. A mérgesi szükségtározó hidrológiai-hidraulikai felülvizsgálata. Műszaki tanulmány. Megrendelő: KÖVIZIG 1999/a.*
- Rátky I.: A Körös-völgyi árvízi szükségtározókkal kapcsolatos hidraulikai vizsgálatok. IV. A mérgesi szükségtározó hidrológiai hatásának vizsgálata. Műszaki tanulmány. Megrendelő: KÖVIZIG 1999/b.*
- Rátky I.: Árhullám-szabályozás hidraulikai modellezése: A Berettyó árvízi szükségtározóinak hidrológiai és hidraulikai vizsgálata és számítógépes modell kidolgozása a létesítmények üzemirányítására. Megrendelő: Consult-Info, Tiszántúli VIZIG 2000.*
- Rátky I.: Összefoglaló vélemény: Az árapasztó bukók M átbukási együtthatójának meghatározásával kapcsolatban. Kézirat, 2004.*
- Rátky I.: A kisdelta árvízi szükségtározó vízbeeresztő műtárgyának hidraulikai modellszámítása. MHT XXVIII. Országos Vándorgyűlés Sopron 2010.*
- Rátky I.-Berecz E.: A mályvádi árvízvédelmi szükségtározó üzemirányítási segédletének kidolgozása. BME Szakvélemény. 1982-83.*
- Rátky I.-Csoma R.: A mályvádi árvízvédelmi megnyitásának numerikus szimulációs vizsgálata. Budapest, 1996. február.*
- Rátky I.-Rátky É.: Kisdelta árvízi szükségtározó korszerűsítése című KEOP-7.2.1.1.-2008-0026 regisztrációs számú EU támogatással megvalósítani kívánt projekt előkészítése. Kisdelta árvízi szükségtározó vízbeeresztő műtárgy hidraulikai modellszámítás. Megrendelő: Konstruktör Kft., 2010/a.*
- Rátky I.-Rátky É.: Mályvád árvízi szükségtározó korszerűsítése című KEOP-7.2.1.1.-2008-0027 regisztrációs számú EU támogatással megvalósítani kívánt projekt előkészítése. Mályvád árvízi szükségtározó vízbeeresztő műtárgy hidraulikai modellszámítás. Megrendelő: Konstruktör Kft., 2010/b.*
- Rátky I.-Rátky É.: Folyami tározók töltő-ürítő műtárgyainak vizsgálata 2D numerikus modell segítségével. MHT XXVIII. Országos Vándorgyűlés Sopron 2010/c.*
- Rátky I.-Szlávik L.: A Körös-völgyi árvízi szükségtározók üzemirányításának fejlesztése. MHT XVII. Országos Vándorgyűlés, I. Kötet (225-254 p), Miskolc, 1999. július.*
- Rátky I.-Szlávik L.: Árvízi szükségtározók üzemirányítási modelljének korszerűsítése. Műszaki tanulmány. Consult-Info Budapest, 2004.*
- Schultz G. A.: Vízgazdálkodási tározók tervezése. VMGT, 65.sz. Vízügyi Dokumentációs és Továbbképző Intézet, Budapest, 1975.*
- Szabó J.A.-Illés L.-Lucza Z.: Beregi árapasztó tározót terhelő nagyvizek gyakoriságának számítógépes modell-szimuláción alapuló elemzése. MHT XXVIII. Országos Vándorgyűlés Sopron 2010.*

- Szalay M.: Mérgesi árvízi tározó működése. Hidraulikai módszertani tanulmány és kezelési utasítás. BME VVI Vízépítési Tanszék Budapest, 1975.
- Szalai M.: Kis ártéri öblözetek elöntésének szimulációja. Hidrológiai Közlöny 1976. 7.sz.
- Szalay M.-Bakonyi P.: A mályvádi árvíztározó kezelési utasítása. BME VVI Vízépítési Tanszék Budapest, 1976/a. június.
- Szalay M.-Bakonyi P.: A Körösvölgy árvíztározóinak együttes vizsgálata és kezelése. BME VVI Vízépítési Tanszék Budapest, 1976/b. szeptember.
- Szigyártó Z.: Eljárás árvízi vésztározók üzemeltetésére. *Szabadság*. Lajstromszám: 226 392, ügyszám: P 05 00376, 2005/a. április 11.
- Szigyártó Z.: Általános szempontok a Vásárhelyi-terv továbbfejlesztése során előirányzott tározók műtárgyainak kialakításához. Ajánlás a Vásárhelyi-terv továbbfejlesztése keretében készülő tározók műtárgyainak kialakításához (a Cigándi tározó műtárgyainak elemzése alapján). Az összefoglaló dokumentáció 1. melléklete. *Árvízvédelmi és Belvízvédelmi Központ Szervezet*. Budapest, 2005/b.
- Szigyártó Z.: A továbbfejlesztett Vásárhelyi-terv árvízi vésztározóinak hasznosítása és üzemeltetése. *Hidrológiai Közlöny*, Budapest, 2005/c. 5. sz. 1-9. o.
- Szigyártó Z.: Eljárás a Vásárhelyi-terv továbbfejlesztése során előirányzott árvízi tározórendszer hidrológiai méretezéséhez. *Hidrológiai Közlöny*, Budapest, 2010. 2. sz. 26-35. o.
- Szigyártó Z.: Módszer az árvízi szükségtározók térfogatának és vízkivételének hidrológiai méretezéséhez. *Hidrológiai Közlöny*, Budapest, 2015
- Szigyártó Z. - Rátky I.: Hidrológiai és hidraulikai számítások a Vásárhelyi-terv továbbfejlesztése során előirányzott árvízi tározók tervezési munkáihoz. Ajánlás a Vásárhelyi-terv továbbfejlesztése keretében készülő tározók műtárgyainak kialakításához (a Cigándi tározó műtárgyainak elemzése alapján). Az összefoglaló dokumentáció 2. melléklete. *Árvízvédelmi és Belvízvédelmi Központ Szervezet*. Budapest, 2005.
- Szigyártó Z. - Rátky I.: Hidrológiai és hidraulikai számítások a Vásárhelyi-terv továbbfejlesztése során előirányzott árvízi tározók tervezési munkáihoz. *Hidrológiai Közlöny*, Budapest, 2006. 4. sz. 57-63. o.
- Szigyártó Z. - Rátky I.: Az árvízi tározók létesítésének céljáról. *Mérnök Újság*, Budapest, 2008. XV. évf. 7. szám, 14-17. o.
- Szlávik L.: A mályvádi árvízi szükségtározó hidrológiai vizsgálata. *Vízügyi Közlemények*, 1978/1.
- Szlávik L.: Árvízi szükségtározók tervezése. MHT III. Országos Vándorgyűlés, Debrecen, 1982. II. kötet, pp 192-203.
- Szlávik L.: Árvízvédelmi szükségtározók tervezése, építése és üzemeltetése. VMGT, 118.sz. *Vízügyi Dokumentációs és Továbbképző Intézet*, Budapest, 1980.
- Szlávik L.: Árvízi szükségtározók tervezése és üzemeltetése. *Vízügyi Közlemények*, LXV. évf. 1983/2.
- Váradai J.: Ajánlás a Vásárhelyi-terv továbbfejlesztése keretében készülő tározók műtárgyainak kialakításához (a Cigándi tározó műtárgyainak elemzése alapján). Összefoglaló dokumentáció. *Árvízvédelmi és Belvízvédelmi Központ Szervezet Kht*. Budapest, 2005. november.
- VITUKI: A Vásárhelyi-terv továbbfejlesztése I. ütemének tervezési munkái. A Szamos-Kraszna közti árapasztó tározó vízbeeresztő műtárgyának hidraulikai kismintavizsgálata. Témavezető: *Szepessy György*, Témaszám: 715(16)719901, Budapest 2007/a.
- VITUKI: A Vásárhelyi-terv továbbfejlesztése I. ütemének tervezési munkái. A Szamos-Kraszna közti árapasztó tározó vízbeeresztő műtárgyának hidraulikai kismintavizsgálata. Témavezető: *Szepessy György*, Témaszám: 715(16)719901, Budapest 2007/b.
- Vízmérleg-VKKI: Kisdelta árvízi szükségtározó vízbeeresztő műtárgy hidraulikai kismintavizsgálata. Témavezető: *Láng Mercédesz*, K-2. 2010.
- VIZITERV: VTT II. Tender V. Árapasztó tározók kivitelezési ajánlati terv, Cigánd-Tiszakarádi-Tározó. Összefoglaló műszaki leírás. *VIZITERV Consult Kft*. Budapest, 2004/a. április.
- VIZITERV: A Bodrogi közti tájgazdálkodási mintaterületek műszaki-hidrológiai megvalósíthatósági tanulmánya. *VIZITERV Consult Kft*. Budapest-Nyíregyháza, Közreműködők: *BMGE Víz Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, VÁTI Kht, Bokartisz Kht, MTA TAKI*, 2004/b. július.
- VIZITERV: VTT műtárgyvizsgálatok. Műszaki leírás. *VIZITERV Consult Kft*. Budapest, 2004/c. szeptember.