Mosonyi Emil
az MTA rendes tagja

A mértékadó árvíz

Elhangzott: 1999. március 18-án

Magyarország a Kárpát-medence teknőjében fekszik, így a környező hegyvidékekből eredő szélsőséges vízjárású folyók szeszélyének van kitéve, amelyek egyszer árvizet, máskor vízhiányt, aszályt okoznak.

Nyugat felől a Duna szeli át az országot, átvezetve a kb. 160 000 km^2 kiterjedésű vízgyűjtő területére hullott csapadékból származó árvizeket is. *Széchenyi István* zseniális célkitűzése nyomán *Vásárhelyi Pál* és munkatársai, majd az utódok folyószabályozással, árvízvédelmi töltésekkel és más szabályozási művekkel oldották meg az ország jelentékeny területének árvíz- és belvízmentesítését. Ezzel – véleményem szerint döntően – szinte második honfoglalásként alapozták meg hazánk gazdasági, kulturális, szociális fejlődését. Ha *Vásárhelyi* munkatársai és utódai nem tették volna meg azt, amit tettek, akkor az ország területének majdnem 1/3 része volna – részben időszakosan, részben állandóan – maláriát is terjesztő ingovány, láp vagy mocsár. Aki ezt az állapotot visszasírja, az gondolja meg, hogy mit vét a magyar nép ellen.

Az árvizek ellen meg kell védeni egyrészt az ártereket, másrészt a folyókban épült műveket, így a kikötőket, vízkivételi műveket, hidakat, vízlépcsőket. A védelem persze nem lehet 100%-os, hiszen ilyen életünk egyéb területén sem érhető el, de itt nagyobb engedményeket kell tennünk. Az ármentesítés területén nemcsak a tökéletes biztonságot megközelítő védelmet nem lehet elérni, hanem annál sokkal alacsonyabb rendű védelmet lehet csak nyújtani. Ennek elsősorban gazdasági, ill. pénzügyi oka van. A helyzet tehát az, hogy egy bizonyos szintig tudunk védelmet nyújtani, és azonfelül vállalnunk kell a kockázatot. A védelem és kockázat határa a mértékadó árvíz, mely azt jelenti, hogy kiválasztunk egy vízállást, amely alatti vizek ellen védelmet nyújtunk. Vizsgálatainkat általában nem vízállásokra vonatkoztatjuk, hanem a vízhozamokra, mert egyrészt jobban tükrözik a mederváltozásokat, másrészt figyelembe vehető a vízállás-vízhozam közötti kapcsolat, az árvízi hurokgörbe hatása is.

Az árvíz elleni védekezés tágabb értelemben két részből áll: először védekezés a védvonalon, másodszor – ha a mértékadó árvízszinten túlmegy az árvíz magassága, és gátszakadás következik be – az elöntéseket milyen művekkel, eszközökkel és módszerekkel tartsuk vissza, hogy ezek a károk minél kisebbek legyenek. A lokalizációs tervek tartalmazzák a másod- és harmadrendű védvonalakat (vasutak, közutak vagy magas területek) és a kiürítési terveket.

A folyók felső szakaszán megépült műveknek (völgyzáró gátaknak és vízerőműveknek) megfelelő üzemeltetés mellett kedvező hatása van az árvédelmi biztonságra az alatta levő folyószakaszon. A *Duna* viszonylatában *Starosolszky* (1989) vizsgálatai alapján kimutatta, hogy a jeges árvizek veszélyeztetése kisebb a *Duna* osztrák szakaszán épült vízerőművek hatására. *Zsuffa* (1999) számszerűen bizonyította, hogy az osztrák vízerőművek kedvező hatással vannak a szabadon lefolyó, tehát jégmentes árvizek alakulására is. Vízerőmű üzemvízcsatornája, amely méretezése folytán alkalmas az árhullám egy részének levezetésére, lényegesen megnöveli a csatornával megkerült folyószakasz menti területek árvédelmi biztonságát.

A sikeres árvízvédekezés egyik fontos feladata a mértékadó árvízhozam/árvízszint alapján a kiépítendő árvízvédelmi töltés megállapítása. A mértékadó árvizet, ill. a töltésmagasságot nem lehet kiszámítani. *Ez egy döntés*, mint pl. a hídépítésben a terhelhetőség. El kell dönteni, hogy milyen terhelésre épüljön a híd. A szilárdságtani előírásokban a tényleges szakító-, törő-, nyírószilárdságokat meg lehet állapítani. Hogy mik a megengedhető feszültségek, arra – részben szubjektíven felvett – biztonsági tényezőket kell választani. Csak itt van egy különbség. A nagy raktárépületben vigyázni lehet arra, hogy ne hordjanak be olyan tárgyakat, amelyek sokkal súlyosabbak, mint a megengedettek. A hídra egy táblát lehet akasztani, vagy őrséget állítani. A Duna-partra hiába állítok táblát, őrt, az árhullámok lefolyását ez nem akadályozza. Tehát alapvető tételünk az, hogy a *mértékadó árvizet ki kell választani.*

A mértékadó árvízhozam lényegében *fizikai fogalom,* de egyúttal *közigazgatási (politikai), technikai és jogi* kritérium is. Közigazgatási szempontból azt jelenti, hogy a felelős politikusok milyen mértékig akarják (vagy tudják) az árvizektől veszélyeztetett lakosságot és azok javait megvédeni, illetve mi az a határ, amelyen túl a veszélyeztetett terület az árvízkároknak ki van téve. Műszaki vonatkozásban a védművek és védendő művek tervezői és építői számára utasítás a kiépítés mértéke tekintetében. Alapvető jogi korlát, mivel a tervező, építő és üzemeltető szakemberek csak akkor vonhatók felelősségre, ha az árvízi károsodást a mértékadó árvízhozamnál kisebb árvíz okozza. Ezzel szemben, a mértékadó árvízhozamot meghaladó árhullám okozta károkért nem felelnek, ezeket a jog vis maior-eseteknek tekinti.

A döntés különböző szempontok szerint történhet. Régebben szokásos volt, hogy közelítő képleteket adtak meg, melyeket kis vízgyűjtő területekre ma is alkalmazunk. Előfordult, hogy egy történelmi árvizet vagy annak egy bizonyos mértékkel növekedett nagyságát választják mértékadó árvíznek. Az USA-ból származó eljárás szerint a mértékadó árvíz lehet *a fizikailag elképzelhető maximális vízhozam* (PMF = probable maximum flood). Ezt a vízgyűjtő területen várható legkedvezőtlenebb meteorológiai viszonyok esetén létrejövő csapadékból (PMP = probable maximum precipitation) lehet levezetni, éspedig úgy, hogy a lefolyás számára a legkedvezőbb körülményeket feltételezzük (minimális beszivárgás és párolgás).

A fizikailag elképzelhető maximális vízhozamot *gazdasági korlátok miatt* sem a *Dunán,* sem a *Tiszán* sajnos *lehetetlen* mértékadónak tekinteni. Pénzügyi okokból sehol a világon nem építik ki a védvonalakat síkvidéki folyókon erre a szintre. Legfeljebb arról van szó, hogy hegyvidéken épült völgyzáró gátak árapasztói méretezésénél a PMF-et tekintik mértékadónak.

A jelenleg *legelterjedtebb kiválasztási szempont:* a mértékadó árvíznek valószínűség szerinti előfordulása. El kell dönteni, hogy *milyen valószínűséggel érkező árvíz ellen akarjuk védeni a területet,* és mi az, amin túl már nem tudunk védelmet nyújtani.

Németországban behatóan foglalkoztam ezzel a kérdéssel, és irányítótevékenységet is kifejtettem. Javaslatomra felállítottak egy bizottságot (Ausschuss Bemessungshochwasser), amelynek vezetésével megbíztak. Meg kell említenem, hogy ebben a szövetségben (DVWK = Deutscher Verband für Wasserbau und Kulturtechnik) nemcsak a címnek megfelelő műszaki tudományok egyetemi és állami intézeti képviselői, hanem az illetékes hatóságok magas rangú tisztviselői is közreműködtek, így a szövetség jelentékeny segítséget nyújt a hatósági intézkedések és döntések számára. Bizottságomban is biztosítva volt a vízügyi hatóságok képviselete.

Az árvíz előfordulási valószínűségének számítására még 1979-ben a *Pearson* III-féle (P3) eloszlásfüggvényt javasoltuk (DVWK, 1979). A PMP és a PMF számítására pedig módszert és példát dolgoztunk ki (DVWK, 1983). Végül készült egy tanulmány, amit én úgy nevezek: „segítség a döntéshez”, mely megkönnyíti a tág határok között választható mértékadó árvízhozam kijelölését (DVWK, 1989).

Németország egyesítése után elkészült az árvízi valószínűség számítására szóba jöhető összes eloszlásfüggvény részletes analízise (DVWK, 1998).

A két javaslat közül az 1989. évinek az volt az előnye, hogy egy tervező- vagy építőmérnök közvetlenül és gyorsan használhatta. Ezzel szemben az 1998. évi javaslat módszerét csak egy jól képzett hidrológus tudja követni. Vagy a tervező kész számítógépprogramot használ (anélkül, hogy esetleg az eljárás minden matematikai lépését értené).

Az árvízi valószínűség-számítás matematikája

Az árvízi valószínűség-számításnál feltételezzük, hogy egy *n* számú évből álló időszakból ismerjük mérések alapján a maximális évi árvízhozamokat m^3s^{-1} mértékegységben. Ezeket a Q_1, Q_2, ... Q_i, ... Q_n értékeket sorba rakjuk balról jobbra nagyság szerint, ahol az *i*-edik Q_i vízhozamnak ún. empirikus valószínűsége $p_i = i/n$.

A vizsgálatnál nagyon fontos, hogy biztosítva legyen az adatok függetlensége, homogenitása (egyöntetűsége), továbbá jellegzetessége, vagyis az, hogy jól reprezentálja azt a sztochasztikai sokaságot, amit a mért adatsor képvisel.

Inhomogenitás akkor fordulhat elő, ha a megfigyelt időszakaszban természeti változások vagy antropogén befolyások következtében az évi maximális árvizek eloszlásában figyelembe veendő változás áll elő. (A természeti változásra példa a mederváltozás, az emberi beavatkozásra az erdőirtás, településfejlődés, tározók létesítése stb.) Ha éghajlati folyamatok vagy a vízgyűjtő terület és a meder fizikai megváltozásai, továbbá az antropogén beavatkozások egy irányba fokozódó vagy csökkenő irányt mutatnak, akkor feltétlen szükség van még egy trendanalízisre is.

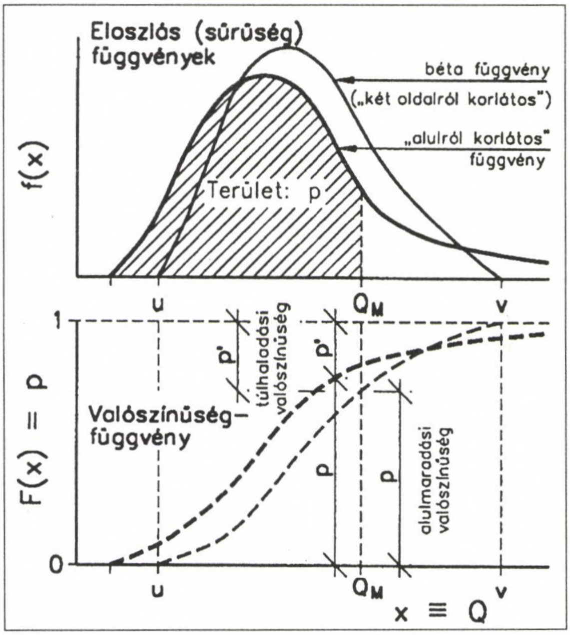
A homogenitás vizsgálatára különös gondot kell fordítani. Több eljárás ismeretes, melyek közül a *Kolmogorov*-féle homogenitásvizsgálat terjedt el legjobban.

Keresnünk kell egy olyan elméleti eloszlási függvényt, amely jól idomul a mért adatsorhoz, tehát az empirikus eloszláshoz, hogy extrapolálni tudjunk. Ha integráljuk a kiválasztott eloszlási (gyakorisági) függvényt, akkor megkapjuk a valószínűség-függvényt, amely a végtelenben az egységet éri el. (*1. ábra*). Ezután döntenünk kell arról, hogy mi legyen a *mértékadó árvíz valószínűsége*. Például döntsünk úgy, hogy 0,01 túlhaladási valószínűséggel (p') vállaljuk a kockázatot. Ez más szóval azt jelenti, hogy minden olyan árvíz ellen tökéletes védelmet kell nyújtani, amelynek évi előfordulási valószínűsége

0,99-nél kisebb, s a kockázatot vállalnunk kell minden olyan árvízzel szemben, amelynek valószínűsége 0,99 és 1,00 között van.

A túlhaladási valószínűség reciprok értéke a *visszatérési idő*: T=1/p'.

Sajnos a visszatérési idő vagy visszatérési gyakoriság megnevezések megtévesztők, de használjuk, mert ezek honosodtak meg a nemzetközi szakirodalomban, s amellett csak körülírással lehet szabatosan megfogalmazni. Tehát ha az előbbi 0,01, vagyis az 1% túlhaladási valószínűséget választottuk határnak, akkor a visszatérési gyakoriság *T =100 év, ami azt jelenti, hogy azokkal az árvizekkel szemben nem nyújtunk védelmet, amelyeknek előfordulása 100 évnél ritkábban várható.*



1. ábra. Függvénytípusok

Az *1. ábrán* bemutatok egy gyakorisági eloszlási függvényt és annak az integrálgörbéjét, amely az alulmaradási valószínűséget (p) adja meg az árvízhozam függvényében: $F(Q)=\int(Q)dQ = p$. Az alulról korlátos eloszlásfüggvény (Csoma–Szigyártó, 1975) a végtelen felé tart, a kis *p* értéke a végtelenben éri el az egységet. Ha 0,01 értéket választottuk határnak (mértékadónak), akkor az alulmaradási valószínűség $p=0{,}99$. A kockázat valószínűségét fejezi ki a $p'=1-p$ = 0,01 érték, amit túlhaladási valószínűségnek nevezünk.

A túlhaladási valószínűségek igen kis értékek, ezért a $p = f(Q)$ függvényt (görbét) logaritmikus papíron ábrázoljuk, éspedig rendszerint úgy, hogy a függőleges tengelyen a Q, míg a vízszintes tengelyen a *p'* túlhaladási valószínűség vagy a visszatérési idő van feltüntetve.

A végtelenbe futó, azaz alulról korlátos eloszlási függvényekkel szemben egy olyan eloszlásfüggvényt javasoltam (Mosonyi–Hauck–Koberg, 1980), amely a végesben határolódik (*1. ábra)*. Ez a béta eloszlási függvény, amely a legkisebb – tehát a mederből kilépő – árvíznél ($u=Q_0$) kezdődik, és a maximális fizikai lehetőségű árvíznél (v = PMF = Q_{max}) végződik.

Az árvizek statisztikai analízise azt mutatta, hogy a számos területen meghonosodott és bevált *Gauss-féle kétparaméteres normál eloszlás az empirikus árvízi eloszlással nem egyeztethető össze,* mert az árvízi gyakorisági görbék aszimmetriát, ún. ferdeséget mutatnak.

Az eloszlásfüggvények három fő paramétere (*a* az alakját kifejező, *c a helyzetet kijelölő, d* a mértékparaméter, amely arról gondoskodik, hogy az eloszlásfüggvény integrálja, vagyis a *p* valószínűség a végtelenben az egységgel egyenlő legyen). E paraméterek kiszámításához meg kell határozni az ún. nyomatékokat, amelyek

a számtani középérték

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i , \tag{1}$$

a szórás

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (x_i \bar{x})^2} , \tag{2}$$

a ferdeség

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^{n} (x_i \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)\, s^2} . \tag{3}$$

A független véletlen változó jelölésére az $x \cong Q$ azonosságot kell figyelembe venni.

A három paramétert más módon is meg lehet becsülni, éspedig az ún. maximális illeszkedési eljárással (maximum-likelihood-módszerrel). Ez az eljárás lehetővé teszi, hogy a kiválasztott eloszlási függvény optimálisan alkalmazkodjék az adatsor empirikus eloszlásához. Az eloszlási függvény kiválasztása előtt végezzünk el egy illeszkedési vizsgálatot, vagyis keressük ki az adatsor eloszlásához legjobban idomuló függvényt!

A gyakorlatban három illeszkedési vizsgálat honosodott meg:

– *Kolmogorov-vizsgálat.* Ennél az eljárásnál a $p_i - F(x_i)$ különbséget határozzuk meg, ahol $p_i = i/n$. Ha ez egy előre meghatározott értéknél nagyobb, akkor a vizsgált függvényt elvetjük.
– *A Chi-próba.* Ennél az ellenőrzésnél az eltérések négyzete kerül vizsgálat alá: $[p_i - F(x_i)]^2$, ahol $p_i = (i - 0{,}5)/n$.

- *A korrelációs vizsgálat.* Kiszámítjuk a korrelációs együtthatót azok között a mért adatok és az eloszlási függvény értékei között, amelyek egyazon eloszláshoz tartoznak. A korrelációs együttható nagyságától függ, hogy az eloszlási függvény elfogadható vagy elvetendő.

Összefoglalóan megállapíthatjuk, hogy a valószínűségi analízis a következő lépésekből áll:

- a mérés kis n-ekre terjedő adatsorának nagyságrendi sorrendbe való felsorakoztatása;
- a függvénynek megfelelő p_i empirikus valószínűség meghatározása;
- a legjobban illeszkedő eloszlásfüggvény $f(x)$ kiválasztása;
- a függvény paramétereinek kiszámítása;
- az $F(x) = \int (x)dx$ valószínűség-függvény meghatározása;
- a kis p' túlhaladási valószínűségének, illetve az $1/p'$ „visszatérési időnek" a kiválasztása (döntés) a mértékadó árvízhozamnak (Q_M) kijelölése céljából.

Az árvízi vizsgálatok leggyakoribb eloszlásfüggvényei

Az *1. táblázat*ban a *Gumbel-eloszlás* (GU) és a *Pearson III-eloszlás (P3) matematikai felépítését* mutatom be (DVWK, 1998).

A Pearson III-eloszlás alkalmazásánál gamma-függvény és a szűkített (korlátozott) gamma-függvény meghatározására van szükség. A hidrológiában a folytonos eloszlások közelítésére igen gyakran felhasználható a „kétparaméteres gamma-eloszlás", melyet általában csak *gamma-eloszlás*ként emlegetünk.

A matematikai könyvekben a gamma-függvényt ott vezetik be, ahol a faktoriálissal kapcsolatos eljárásokat tárgyalják. Ha 0-tól a végtelenig integrálják ezt a gamma-függvényt, akkor az a helyen egy meghatározott számértéket ad, tehát a $\Gamma(a)$ nagysága az a formaparaméterének egyértelmű függvénye.

A könyvekben közölt táblázatok csak az 1,00 és 2,00 értékeket tartalmazzák, 0,01-es lépcsőzéssel. Az 1-nél kisebb és 2-nél nagyobb a paraméterhez tartozó számokat egyszerű képletekkel lehet kiszámítani.

A valószínűség-függvény számlálója egy szűkített gamma-függvény, amely a $t'=(x-c)/d$ korlátot is tartalmazza.

Végül bemutatom az általunk (Mosonyi–Hauck–Koberg, 1980) javasolt béta-eloszlás alkalmazásának matematikai lépéseit *(2. táblázat).*

1. táblázat. A Gumbel- és Pearson III-eloszlásfüggvények meghatározása

Lépések	Gumbel	Pearson III
Eloszlásfüggvény	$f(x) = \frac{1}{d}\exp\left(-\frac{x-c}{d}\right)\exp\left[-\exp\left(\frac{x-c}{d}\right)\right]$	$f(x) = \left(\frac{c-c}{d}\right)^{a-1}\exp\left(-\frac{x-c}{d}\right)\frac{1}{\lvert d\rvert\,\Gamma(a)}$ gamma-függvénnyel $\Gamma(a) = \int_0^\infty t^{a-1}e^{-t}\,dt$
Valószínűség-függvény	$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-c}{d}\right)\right]$	alulmaradási $F(x) = \frac{\Gamma\left(a, \frac{x-c}{d}\right)}{\Gamma(a)}$ szűkített gamma-függvénnyel $\Gamma(a, t) = \int_0^t (t')^{a-1}e^{-t'}\,dt$
Érvényességi határok	$-\infty < x < \infty \quad d > 0$	$a>0$, $x<c$, ha $d>0$ $x>c$, ha $d<0$
Empirikus valószínűség	$P_i = \frac{i-0{,}44}{n+0{,}12}$	alulmaradási $P_i = \frac{i-0{,}4}{n+0{,}2}$

Az 1. táblázat folytatása

Paraméterek becslése		
Nyomatékok módszere	$d=\frac{\sqrt{6}}{\pi}s,\quad c=\bar{x}-0{,}5772d$ −1	– ha $C_s<0$ tükrözés az F tengelyre (x→−x) A 3 paraméter maghatározása – ha $n<50$, $C_s>0{,}15$ $a=\frac{4}{C_s^2},\quad d=\frac{1}{2}sC_s,\quad c=\bar{x}-ad$ – ha $n<50$, vagy $n>50$, de $C_s<0{,}15$ iteratív módon az alábbi egyenletekből $a=\frac{\bar{x}-c}{d},\quad d=\frac{s^2}{\bar{x}-c},\quad F\left(x_{\min},c,d,a\right)=\frac{1}{n+1}$
Legjobb illeszkedés (maximum-likelihood)	iteratív módon a d: $d=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\frac{x_i}{d}\exp\left(-\frac{x_i}{d}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\exp\left(-\frac{x_i}{d}\right)}+1\right]$ $c=d\ln\frac{n}{\sum_{i=1}^{n}\exp\left(-\frac{x_i}{d}\right)}$ esetleg javítva: $d'=d\left(1+\frac{0{,}7716}{n}\right),\quad c'=c-\frac{0{,}3698}{n}d$	

2. táblázat. A béta-eloszlásfüggvény meghatározása

Lépések	Béta-eloszlás
Eloszlásfüggvény	$f(x) = C_0 \dfrac{1}{(v-u)^{a+b-1}} (x-u)^{a-1} (v-x)^{b-1}$
Valószínűség-függvény (alulmaradási) $F(x) = \int f(x)\,dx$	$F(x) = B\left[\left(\dfrac{x-u}{v-u}\right), a, b\right]$, $B(x, a, b) = \int_{z=0}^{x} C_0 z^{a-1} (1-z)^{b-1} dz$ $C_0 = \dfrac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\,\Gamma(b)}$
Érvényességi határok	$u<x<v$ u – adott alsó határ (pl. a legkisebb évi árvízhozam) v – adott felső határ (pl. a PMF)
Paraméterek becslése	
Nyomatékok módszere	$a = \dfrac{\bar{x}-u}{v-\bar{x}} b \qquad b = \dfrac{v-\bar{x}}{v-u}\left(\dfrac{(\bar{x}-u)(v-\bar{x})}{s^2} - 1\right)$

A béta-eloszlás lényege az, hogy a függvény nem a végtelenben, hanem egy véges $Q = v$ értéknél éri el a zérust (*1. ábra*). Célszerű ezt PMF-nek venni, ami azt jelenti, hogy az eloszlás (sűrűség) integrálja, tehát a valószínűség-függvény a PMF-nél éri el az egységet (100%-ot). Az u alsó határértéknek célszerű azt a legkisebb árvízhozamot választani, amely éppen kilép a mederből.

Az árvízi valószínűség számítása terén – nemzetközi viszonylatban – a már bemutatott eloszlásokon kívül még használják a *Frechet-, a Weibull-,* a háromparaméteres logaritmus normál és logaritmikus *Pearson* III-eloszlásokat is.

Egyesek véleménye szerint – különösen hegyvidéki völgyzáró gátak árapasztóinak méretezésénél – az 5000, sőt 10 000 éves visszatérési idejű árvízhozamot kell figyelembe venni. Ilyen rendkívül kicsiny túlhaladási valószínűségű árvizeket, de még ezeknél sokkal kisebbeket sem lehet *egyértelműen meghatározni*. Általános vélemény szerint ugyanis megbízható extrapolálás csak olyan visszatérési idejű árvizekre alkalmazható, amelyek legfeljebb 2- vagy 3-szorosát teszik a mért idősor hosszának: $T \leq (2/3)n$.

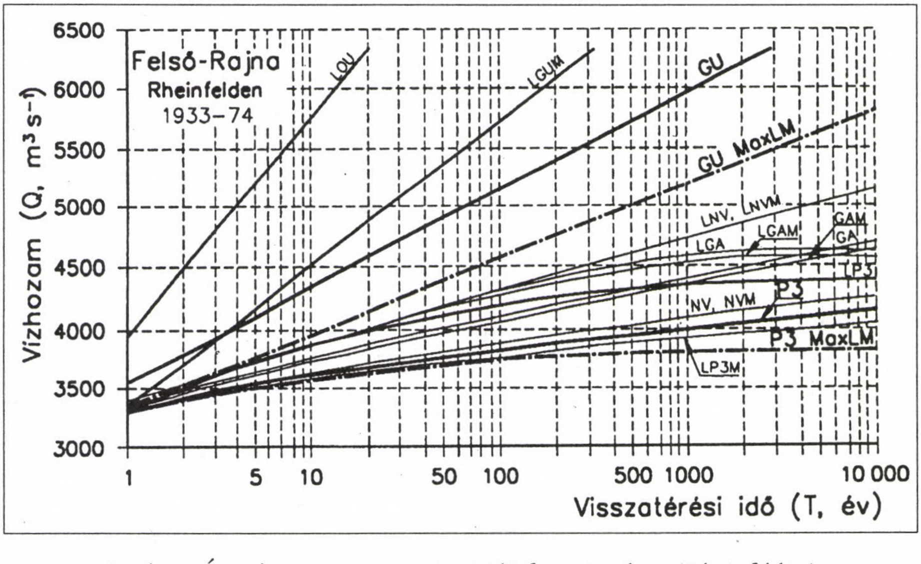
A különböző eloszlású függvények ugyanis Q növekedésével rendkívül eltávolodnak egymástól, tehát egy meghatározott kicsiny p' túlhaladási valószínűséghez igen eltérő Q értékek tartoznak.

Sajnos erre a körülményre korábban nem hívták fel eléggé a figyelmet, pedig semmitmondók az olyan kijelentések és irodalmi közlések, amelyek egyszerűen csak egy túlhaladási valószínűségi számot *(p')* adnak meg (pl. $Q_{0,01}$). Véleményem szerint ugyanis minden esetben hivatkozni kell (pl. egy megállapodott jellel: $Q_{0,01(p3)}$) az alkalmazott eloszlási függvényre. Még pontosabb a megjelölés akkor, ha hozzátesszük a választott paraméterbecslés jelét is: $Q_{0,01(p3,\ ML)}$. Ennek az igen fontos szempontnak hangsúlyozására mutatom be a *2., 3., 4., 5. ábrákat*.

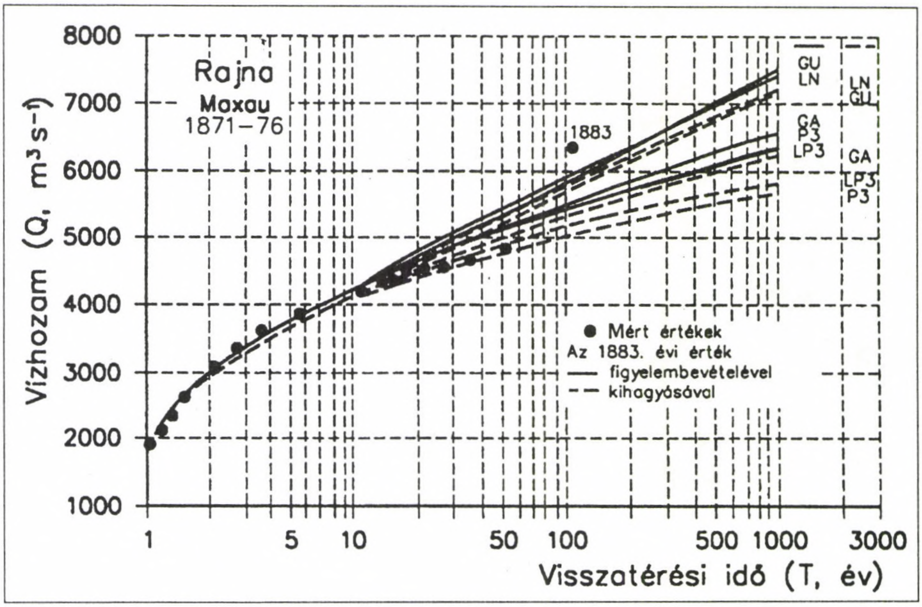
Példák a különböző eloszlásfüggvények alkalmazására

A különböző eloszlásfüggvények még a folyó ugyanazon szelvényére és ugyanazon időszakra eltérő árvízhozamokat adnak meg. A *2. ábrán* a *Qf(T)* összefüggések láthatók *a Felső-Rajna rheinfeldeni (Basel* feletti) szelvényében, ahol a mérési idősor 41 év (1933–1974). Látjuk, hogy már a T=100 évhez tartozó vízhozamok közt 100%-nál nagyobb eltérés mutatkozik, s a nagyobb évszámok irányába az eltávolodás tovább fokozódik.

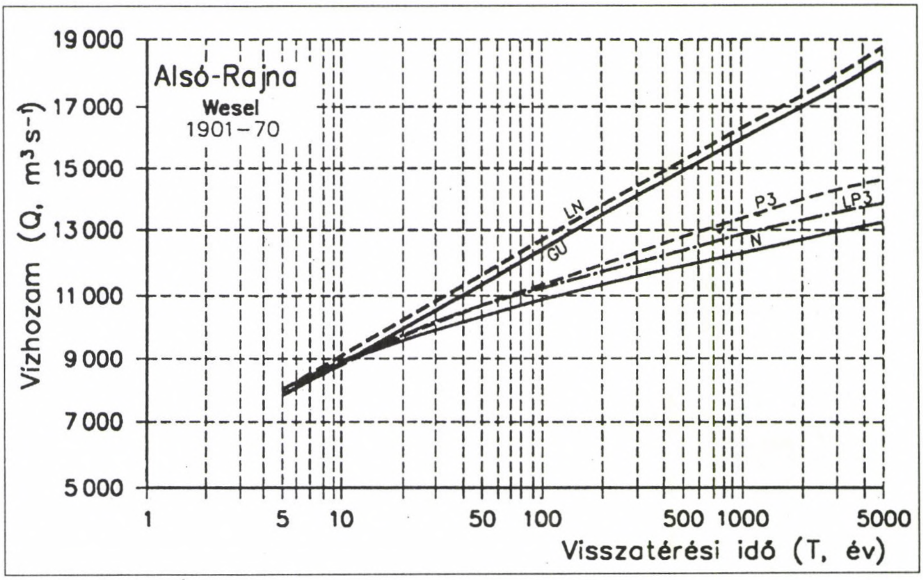
A *3. ábra* a *Rajna maxaui (Karlsruhe* közelében) vízmércére vonatkoztatott görbéket adja meg, egy 105 éves mérési időszak alapján (1871–1976). Az árvízhozam-számításánál figyelembe vettük az 1883-as év *kiugró értékű* árvízét,



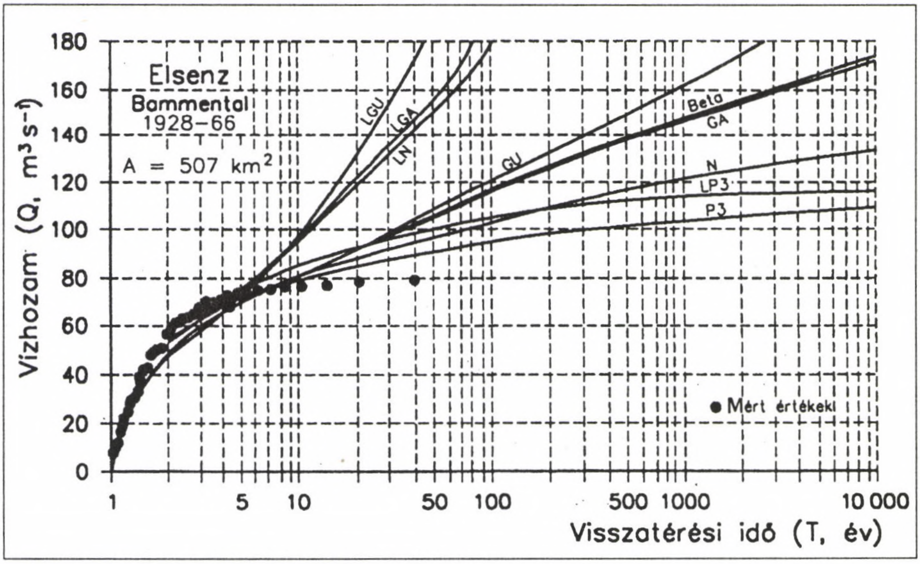
2. ábra. Árvízhozam a visszatérési idő függvényében (Rheinfelden)



3. ábra. *Árvízhozam a visszatérési idő függvényében (Maxau)*



4. ábra. *Árvízhozam a visszatérési idő függvényében (Wesel)*



5. ábra. Árvízhozam a visszatérési idő függvényében (Bammental)

de a számítást elvégeztük oly módon is, amelyben a kiugró értéket figyelmen kívül hagytuk, tehát nem létezőnek tekintettük. A görbék nem mutatnak túlságosan nagy eltérést, de mégis elég nagyokat ahhoz, hogy az eloszlásfüggvény megjelölését és a kiugróan magas érték elhagyását figyelmen kívül hagyjuk.

A *4. ábra* az *Alsó-Rajna weseli* mércéjére (a német–holland határ közelében) mutatja a $Q = f(T)$ görbéket.

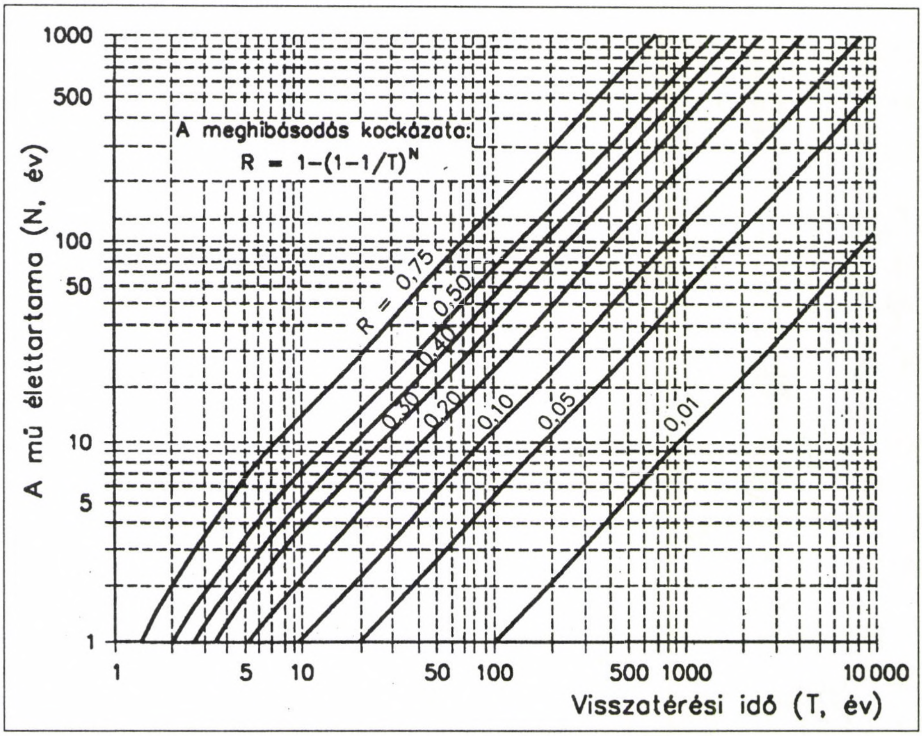
Végül még egy kis vízfolyásra meghatározott összefüggéseket mutatok be (*5. ábra*). Az *Elsenz* folyó (a Neckar mellékvize) egyik vízmércéjére vonatkoznak a görbék. A béta-eloszlás határértékei: u = 1,6 m^{3}s^{-1}, v = 1270 m^{3}s^{-1} (PMF).

A tervezéssel *kapcsolatos valószínűség-számítás* terén a kérdés úgy is felmerülhet, mi a valószínűsége annak, hogy egy kiválasztott túlhaladási valószínűséggel, illetve előfordulási idővel várható árvíz egy meghatározott időszakban, pl. egy mű élettartama alatt, legalább egyszer bekövetkezik. Ez a valószínűségi érték (kockázat) a következő képlettel fejezhető ki:

$$R = 1 - (1 - 1/T)^N, \qquad (4)$$

ahol N a mű élettartama (év), T az árvíz visszatérési ideje (év).

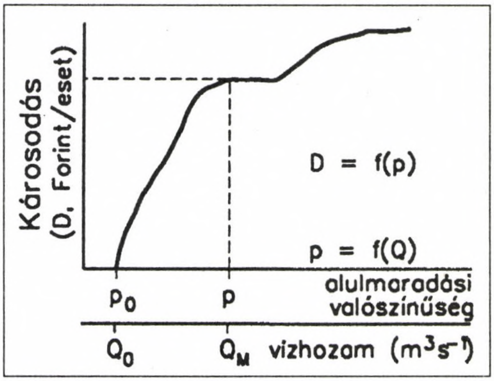
Az $R = f(T,N)$ összefüggéseket görbesereggel lehet szemléltetni (6. *ábra*).



6. ábra. A meghibásodás kockázata az árvíz visszatérési idejének és a mű élettartamának függvényében

Valamely mű tervezése során felmerülhet egy olyan feltétel, hogy az építési idő alatt sem kívánunk nagyobb biztonságot, mint a megépült mű előirányzott működési ideje (élete) alatt. Legyen pl. *N=100 év, és T=* 200, akkor a (4) képlet, illetve a *6. ábra* szerint annak a kockázata, hogy a 200 éves előfordulási idejű vagy egy annál ritkább árvíz a mű 100 éves élete alatt legalább egyszer előfordul 0,40, vagyis 40%. Legyen az építési idő *N=4 év, akkor azonos 40%-os kockázatot feltételezve, az ábráról leolvasott előfordulási idő T=*10 év. Tehát az építkezés biztonságát szolgáló védmű (pl. körülzárás) tervezésénél csak a $p'=$ 0,1, illetve $T=10$ év előfordulási idejű árvizet kell számításba venni.

A meghibásodások kockázata mellett még gazdaságossági vizsgálatot lehet és kell is elvégezni. A feladat megoldása érdekében feltételezzük, hogy a mértékadó árvízhozamot a mederből való kilépésétől (Q_0 értéktől) kezdve folyamatosan változtatjuk (*7. ábra*). Válasszunk egy tetszőleges Q_M mértékadó vízhozamot. Akkor minden olyan maximális évi árvíz ellen, amely a Q_M-nél kisebb, a környezet meg van védve. A Q_M-hez tartozó alulmaradási valószínűség p. Minden Q_M-nél kisebb árvíz egy bizonyos mértékű elöntést és ehhez a káresethez tartozó, forintban kifejezett kárt okoz, ha az árvédelmi töltések nincsenek kiépítve. Ha most feltételezzük, hogy az árvédelmi töltéseket a Q_M-nek megfelelően kiépítettük, akkor a védekezésnek ez a foka a kárt megelőzi, s így vele egyenértékű haszonnak tekinthető. Tehát ha ismerjük a különböző évi maximumokhoz mint egyes esetekhez tartozó kárértékeket, akkor meghatározhatjuk a $D = f(p)$ károsodási függvényt, amelynek integrálja a következőképpen adja meg a Q_M-ig való kiépítés évi átlagos hasznát:



7. ábra. Gazdaságossági vizsgálat

$$B \quad \int_{0}^{p} D(p)\,dp \quad \Phi(p) \quad \Phi(Q) \ \text{(Ft / év)}, \qquad (5)$$

ha Q_M-ig van az árvédelmi mű kiépítve,

Az így meghatározott $\Phi(Q)$ haszonfüggvénnyel szemben fel kell állítanunk a

$$C = \Psi(Q) \ \text{(Ft/év)} \qquad (6)$$

költségfüggvényt, amely azt az évi kiadásösszeget jelenti, amely szükséges a változó Q_M mértékadó vízhozam ellen való védekezési kiadásokhoz (építés és fenntartás).

A mértékadó vízhozamnak leggazdaságosabb kiválasztási feltétele az, hogy az $\Psi(Q) - \Phi(Q)$ különbség, tehát az eredő (nettó) haszon maximum legyen. Ha viszont a károsodás mindig nagyobb, mint a haszon, amit más szempontból esetleg el kell tűrni, akkor a legkedvezőbb pénzügyi megoldás a $\Psi(Q) - \Phi(Q)$ minimális értékénél van.

Ennek az eljárásnak szabatos ismertetése szükségessé tette a 7. *ábra* alapján adott matematikai fogalmazást. A *gyakorlatban* azonban természetesen másképpen járunk el, mert a fiktív folyamatos vizsgálat helyett egy szakaszokra osztott eljárást kell követni. A Q_0 értéktől növekedően feltételezünk különböző meghatározott árvízhozamokat, amelyek ΔQ értékben térnek el egymástól:

$$Q'' = Q' + \Delta Q \qquad (7)$$

Megbecsüljük a Q'-höz és Q"-höz rendelhető károkat *(D ' és D ")*, amelyek az egyszeri elöntésekből származhatnak. A középérték *(D'+D")/2*. A Q' és Q" határok közé az *f(Q)=p* összefüggés alapján egy Δp érték tartozik, s így a Q' és Q" között lehetségesen előforduló árvizekből egy *(D'+D")*Δ*/2* szakasz kár várható. Ha most egy tetszőleges Q_M vízhozamot kiemelünk, amelyet mértékadó árvíznek tekintünk, akkor az egy évre eső teljes károsodás a szakaszkárok összege Q_0-tól a választott Q_M-ig. A töltések kiépítése estén így kapjuk a Q_M mértékadó árvízhez tartozó teljes évi haszonértéket.

Következtetések

- Nem elegendő a mértékadó vízhozamot egyszerűen egy túlhaladási valószínűségi értékkel, illetve a visszatérési idővel jellemezni, mert egy ilyen hiányosság súlyos félreértéshez vezethet, és kétségessé teheti a kapcsolatos számítás látszólagos pontosságát.
- Lehetséges, hogy a Föld egyes részein s így a hazai vízfolyásokon is szélsőséges változás van folyamatban: az árvizek növekednek, és a kis vizek csökkennek. E jóslatom valószínűségét természetesen trendanalízissel szükséges ellenőrizni.
- Óvatosan járjunk el az extrapolálás terjedelmével!
- Gazdaságossági vizsgálatok kívánatosak, és a védelem optimális kiépítését akkor is érdemes elemezni, ha szociális, ökológiai vagy egyéb okokból egy magasabb fokú kiépítés mellett történik a döntés. Ilyen esetben ugyanis szét lehet választani a költségeket, amelyeknek nagy része esetleg megtérülhet.
- A gyors technikai és gazdasági fejlődés miatt ajánlatos időnként (5-10 évenként) az egész ország területén a mértékadó vízhozamokat felülvizsgálni.
- A mértékadó árvizek mellett foglalkozni kellene az úgynevezett töltésterhelések vizsgálatával is.
- A mértékadó árvizet nem számítjuk, az megfontolásokon alapuló döntés eredménye.

A *döntéshez* segítséget lehet nyújtani. A lehetőségeket a következő szempontok és vizsgálatok alapján lehet szűkíteni:

- a védendő területek, az azon fekvő települések és művek védelme, különleges tekintettel egyes kényesebbekre (pl. atomerőművek);

- a veszélyeztetett területekre vonatkoztatott fejlesztési tervek;
- a kárelhárítás, ill. katasztrófa elleni védelem fokozásának lehetőségei (kárelhárítási logisztikai intézkedések, védművek, előrejelzés stb.);
- ökológiai korlátozások;
- szociális szempontok;
- gazdaságossági és pénzügyi korlátok, végül
- pszichológiai szempontok.

Irodalom

Mosonyi, E.–Buck, W.: Some aspects of risk analysis for improved water resources planning. *Proceedings Second World Congress IWRA*, New Delhi, India, Vol. II., 1975.

Mosonyi, E.–Buck, W.: Selection of design flood. *ICID Bulletin*, Vol. 26, No. 1., 1977.

Mosonyi, E.–Hauck, E.–Koberg, D.: Zur Verwendung des vermutlich größten Hochwassers (PMF) und der Beta-Verteilung des T-jährlichen Hochwasserabflusses. *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen*, 24. Jg. Heft 4/5., 1980.

Starosolszky Ö.: A vízlépcsők hatása a jégjárásra. *Vízügyi Közlemények*, LXXI. évf., 3. füzet, 1989.

Zsuffa I.: Az ausztriai vízerőmű rendszer hatása a magyar Duna-szakasz árvízvédelmi biztonságára. *Hidrológiai Közlöny*, 79. évf., I. szám, 1999.

DVWK *(Deutsche Verband für Wasserbau und Kulturtechnik): Regeln zur Wasserwirtschaft. Empfehlung zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit. Erste und zweite bearbeitete Auflage*. 1979.

DVWK: Wahl des Bemessungshochwassers. Entscheidungswege zur Festlegung des Schutz- und Sicherheitsgrades. *Merkblätter*, 209/1989, 1989.

DVWK: *Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen*. Merkblätter Entwurf, Mai 1998.