

HAZAI KISVÍZFOLYÁSOK ÁRVÍZHOZAMAINAK STATISZTIKAI TULAJDONSÁGAI

Dr. Koris Kálmán

c. egyetemi docens

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

KIVONAT

A hazai hegy- és dombvidéki kisvízfolyások nagyvízhozamainak átfogó vizsgálata az ÁKK projekt keretében a VIZITERV Environban készült. A kutatás végeredményeként egy új empirikus árvízszámítási segédlet született, mely 10-6000 km² vízgyűjtő nagyságok között megadja a különböző valószínűségű árvízhozamokat. A segédletek 210 vízhozammérő állomás hosszúidejű nagyvízhozam adatsorának statisztikai feldolgozásán alapulnak. A vizsgálatok során adatsorokként elvégezték azok teljes eloszlásvizsgálat sorát. A végeredményül kapott eloszlásfüggvényeket három csoportba soroltuk. Az adatsorok eloszlásának 65 %-a az exponenciális, 30 %-a normál, míg 5 %-a az egyéb simuló eloszlások csoportjába esett. Tanulmányunk ezeket a körülményeket elemzik.

KULCSSZAVAK: Árvízhozam, empirikus árvízszámítási segédlet, nagyvízhozam, árvízi eloszlások, exponenciális, normál, simuló eloszlás.

A VIZSGÁLATOK ADATBÁZISA

A 2021-ben megjelent empirikus árvízszámítási segédlet a 2001-es hasonló segédlet adatbázisának kiegészítésével készült el. A 20 év adatanyag bővülése egyrészt egyes korábbi rövid adatsorokat statisztikai hosszúságúra növelte, másrészt az akkor már 30 éves, vagy hosszabb idősorokat igen jelentős hosszúságúra változtatta. Harmadrészt a korábbi igen rövid adatsorokat a statisztikai hossz közelébe növelte. Az adatok változása jól követhető az alábbi 1. táblázatban.

| S. | Lefolyási régió | Vízmérce (2001) | NQ adat (2001) | Vízmérce (2020) | NQ adat (2020) |
|----------|---------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| 1. | Észak-magyarországi | 25 | 1360 | 46 | 1870 |
| 2. | Budapest-környéki | 12 | 571 | 13 | 1605 |
| 3. | Észak-dunántúli | 14 | 710 | 27 | 1198 |
| 4. | Közép-dunántúli | 33 | 1614 | 57 | 2409 |
| 5. | Dél-dunántúli | 16 | 838 | 29 | 2214 |
| 6. | Nyugat-dunántúli | 21 | 1278 | 38 | 1471 |
| Összesen | | 121 | 6371 | 210 | 10767 |

1. táblázat. A segédlet adatbázisának bővülése

A táblázatban lefolyási régióként követhető az adatsorok, és összességében az adatok száma is. Az adatsorok és adatok bővülése több mint másfélszeres, igen jelentős.

Megjegyezzük, hogy a fenti táblázat a statisztikai hosszúságú idősorokat és adatszámokat mutatja. A ténylegesen összegyűjtött – és az adatgyűjtemény kötetben szereplő - adatok száma lényegesen több, tehát az adatgyűjtemény a statisztikailag nem feldolgozottakat is tartalmazza.

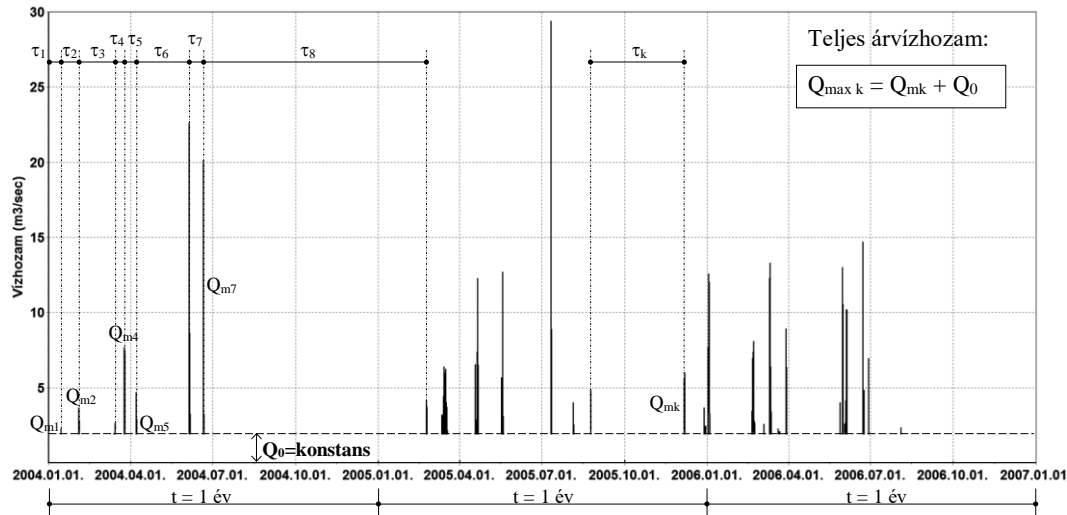
A FIGYELEMBE VETT ELMÉLETI ELOSZLÁSFÜGGVÉNYEK

A következő feladatként az *1. táblázatban* szereplő 210 statisztikai hosszúságú nagyvízhozam adatsor folytonos eloszlásfüggvényét határozzuk meg. Ehhez ismerni kell az eloszlásfüggvény típusát. A vízfolyások nagyvízhozamainak elméleti eloszlás típusa jó közelítéssel ismert, ami a hidrológiában szereplő valószínűségi változók között ritkaságnak számít. Ez nagyon megbízható folytonos eloszlásfüggvény meghatározását teszi lehetővé, és megfelelő pontosságú értékeket ad a mértékadó vízhozamok becslése során. Az ebből számított mértékadó vízhozam értéknek különös fontossága főleg akkor mutatkozik meg, amikor szélsőséges valószínűséghez extrapolálunk szélsőséges vízhozamot.

Nagyobb folyók esetén az elméleti eloszlásfüggvény típusát a valószínűségi számítás centrális határeloszlás tételei adják. Ezek szerint a nagyobb folyók árvízhozamainak (maximális vízhozamainak) eloszlása: **normál eloszlás**, hiszen jó közelítéssel feltételezhetjük, hogy az árvízhozamot az árvíz kiváltó hatások összege idézi elő. A gyűjteményben szereplő számos kisvízfolyás (vagy inkább már kisebb folyó) olyan vízjárási tulajdonságokkal rendelkezik, mint a nagyobb folyók, így nagyvízhozamaik eloszlása a nagyobb folyóknál ismert összegeloszlás hatás miatt normál eloszlással közelíthető. A vízgyűjtőterület és a vízfolyás sajátosságainak különbözősége miatt az eloszlás típusát kiterjeszthetjük a normál eloszlásról a normál eloszlás családra. Ezért az elméleti eloszlásfüggvények meghatározása során a család legfontosabbjait, a **normál- és lognormál eloszlásokat** is figyelembe vesszük, és számításainkban az empirikus eloszlásfüggvényhez simítjuk.

Kisvízfolyások, kisebb folyók árvízhozamainak eloszlástípusához az elméleti háttér a véletlen eseményfolyamatok (sztochasztikus folyamatok) adják. Ezekből definiálhatjuk azt a modellt, amely a kisvízfolyások vízjárását a legpontosabban írja le. Először vizsgáljuk meg a kisvízfolyások vízhozam idősorának jellegét. Az észlelési sorozatok azt mutatják, hogy hosszabb kis- vagy középvizes időszakok közben árhullám vagy árhullámok vonulnak le a vízfolyáson. Az észlelt kis- és közép vízhozamok valamint az árvízhozamok aránya nagyságrendekkel eltér egymástól. Az árvízhozamok több tíz- vagy százszorosai lehetnek a kis- és középvizes időszakok vízhozamainak. (Nagyobb folyóknál ez az arány lényegesen kisebb.) A kisvízfolyások fenti tulajdonságai alapján egy egyszerű modell készíthető az árvízi vízjárás számszerű jellemzéséhez. A kis- és középvízhozamok görbéje fölött húzunk egy képzeletbeli vízszintes vonalat, valamely konstans Q_0 vízhozamot felvéve. Ezen küszöbszint felett kijelöljük az árhullámokat, melyek a küszöbszint feletti felmetszés (=áradó ág), és lemetszés (=apadó ág) egységes görbéi. A továbbiakban ezeknek a küszöbszint feletti árhullámoknak a maximumát kijelölő függőlegeseket vesszük figyelembe (Q_{mk}), és a modellünkben az árhullám események sorozata e függőleges vízhozam metszések sorozata lesz (*1. ábra*).

A Q_0 küszöbszint felvétele önkényes, de általában egyértelműen végrehajtható feladat. Cél a nem árvizes időszakok kizárása a vízhozam idősorából. Az árhullámok ilyen jellegű modellezése egyúttal az eddigiektől eltérő, másfajta mintavételezést is jelent. Eddig ugyanis egy időszak - rendszerint egy év - egyetlen, legnagyobb vízhozamát választottuk ki minta sorozatunkba, ezek az évi nagyvízhozamok, vagy évi maximális vízhozamok (NQ). Az újfajta, küszöbszint feletti mintavételezés esetén pedig előfordulhat, hogy kisvízes években nem lesz árvízi adatunk (nincs küszöbszint feletti érték), viszont árvizes évben több adatunk is lehet. Ez azzal az előnnyel jár, hogy az adott évben a legnagyobb árhullám melletti, de annál kisebb árhullámokat nem kell elvetnünk, hanem azok információtartalmát megőrizve bevonhatjuk a vizsgálatba.



1. ábra. Kisvízfolyások árhullámainak modellezése

A küszöbszint feletti mintavételezést a szakirodalom „metszék módszernek” (crossing method) nevezi. A módszer statisztikai előnye az is lehet, hogy a statisztikai mintahosszúságnál (30 évnél) rövidebb idősor esetén is kaphatunk statisztikai méretű mintát - ha a vizsgált évek árvizes időszakot ölelnek fel - megfelelő számú árhullámmal. Az előzőekben leírtak alapján a kisvízfolyások árvízi vízjárását leíró véletlen eseményfolyamatot a **Poisson folyamat**. A Poisson folyamat független, stacionárius, és ritka eseményű véletlen eseményfolyamat. Bármely időintervallumban az árhullám események bekövetkezéseinek száma Poisson eloszlású valószínűségi változó. A Poisson eloszlás a vizsgált sztochasztikus folyamat névadója, valamint első és egyik legfontosabb eloszlása. Jelöljük az egymást követő események (árhullámcsúcsok) követési időközzeit τ_k -val. A Poisson folyamat következő tulajdonsága, hogy a τ_k -követési időközök, mint valószínűségi változók eloszlása exponenciális. Ez a Poisson folyamat második fontos eloszlása. A Poisson folyamat harmadik - az árvízhidrológia szempontjából talán legfontosabb - eloszlása a Q_0 -küszöbszint feletti árhullám maximumok (Q_{mk}) eloszlásfüggvénye. A küszöbszint feletti árhullámok eloszlása: **exponenciális eloszlás**. Pontosabban az árvízi vízjárástól függően az árvízhozamok eloszlása az exponenciális, vagy kettős exponenciális család valamelyikével írható le. A pontos eloszlástípust a vízgyűjtő lefolyási tulajdonságai alapján, az illeszkedés vizsgálatok dönthetik el. Az exponenciális (kettős exponenciális) eloszlás család eloszlásfüggvényei: **standard exponenciális eloszlás, Gumbel-, Fréchet-, Todorovics- és Pareto II. eloszlások**.

A kisvízfolyások folytonos elméleti eloszlásfüggvény típusaként a normál- és exponenciális eloszlás csoport tagjait egyaránt figyelembe vettük. Az empirikus eloszláshoz (különösen a $p=50$ %-os meghaladási valószínűségtől a szélsőséges értékekig terjedő tartományban) legjobban illeszkedő függvényt tekintettük a nagyvízhozamok elméleti eloszlásának. Néhány esetben azonban egyik elméleti eloszlástípus sem illeszkedik megfelelően. Ilyen esetekben egy, az empirikushoz jól **simuló, folytonos eloszlásfüggvényt** választottunk, melyt az helyettesíti, és analitikusan leírhatóvá teszi: **a Gamma-3 háromparaméteres eloszlásfüggvényt**.

Az 1. táblázatban szereplő 210 eloszlásfüggvény képezte az **OVF-2020 árvízszámítási segédlet** meghatározásának alapját. Az eloszlásfüggvények „családtípus” szerinti megoszlását az alábbi 2. táblázat tünteti fel. A táblázat oszlopai az árvízi lefolyás tulajdonságait statisztikai alapon jellemzik.

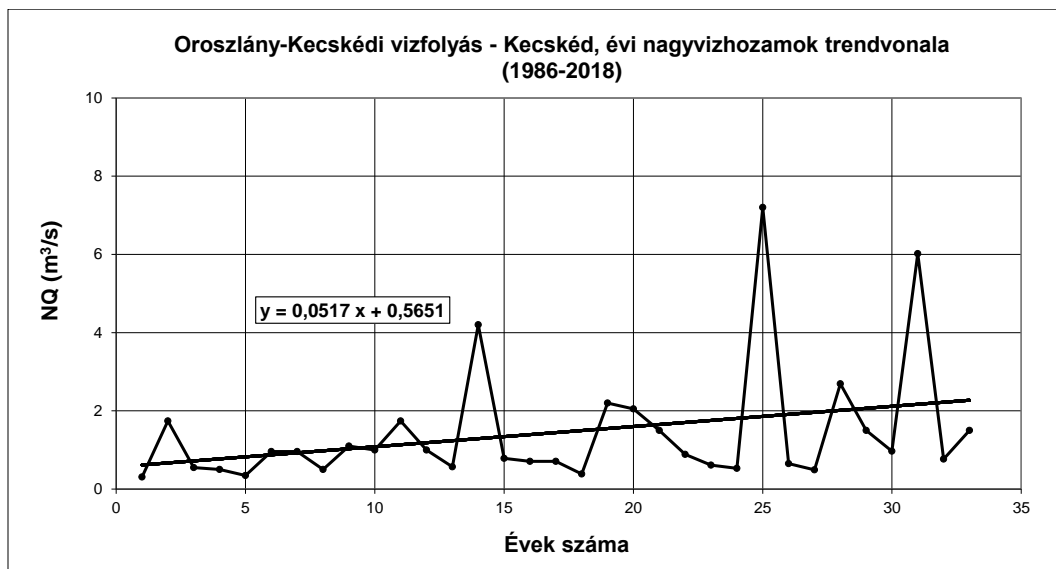
| S. | Lefolyási régió | Exponenciális eloszlás család | Normál eloszlás család | Egyéb simuló eloszlás | Összes eloszlás |
|----------|---------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------|
| 1. | Észak-magyarországi | 30 | 12 | 4 | 46 |
| 2. | Budapest-környéki | 11 | 2 | 0 | 13 |
| 3. | Észak-dunántúli | 20 | 6 | 1 | 27 |
| 4. | Közép-dunántúli | 36 | 21 | 0 | 57 |
| 5. | Dél-dunántúli | 18 | 10 | 1 | 29 |
| 6. | Nyugat-dunántúli | 22 | 11 | 5 | 38 |
| Összesen | | 137 | 62 | 11 | 210 |

2. táblázat. Az eloszlásfüggvény típusok megoszlása

AZ ÁLLOMÁSONKÉNTI ELOSZLÁS VIZSGÁLATOK

Mind a 210 vízhozammérő állomás nagyvízhozam adatsora teljes eloszlásvizsgálatát elvégeztük. Ez az eloszlásvizsgálat sorozat első lépésben a reprezentatív minta függetlenség és egyöntetűség vizsgálatát tartalmazta. Ezt a legegyszerűbb módon az idősor ábrázolásával, grafikus vizsgálatával és trend analízissel végeztük. Ezt követte az eloszlás paraméterek momentum módszerrel történő számítása, majd az eloszlásfüggvények meghatározása.

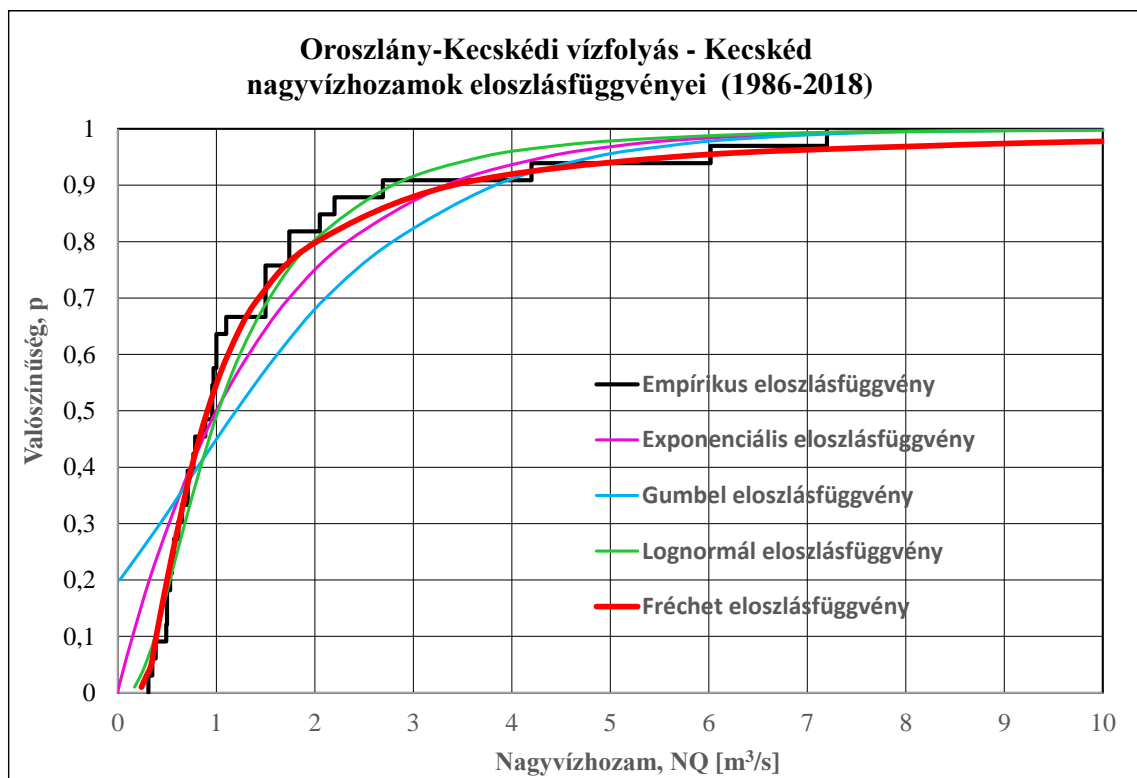
Először az empirikus, majd a folytonos elméleti eloszlásfüggvényt határoztuk meg. Példaképpen az Oroszlány-Kecskédi vízfolyás idősorát mutatjuk be lineáris trend vonallal (2. ábra). Ez kismértékű pozitív trendet mutat. Az ábra alapján a függetlenség feltételezhető, és a homogenitást is jó közelítéssel – elfogadhatjuk. Megjegyezzük, hogy abban az esetben, ha szigorú trendmentességhez (illetve vízszintes trendhez) kötjük a homogenitást, akkor alig akad figyelembe vehető adatsor az árvízszámítási segédlet meghatározásához.



2. ábra. Függetlenség és homogenitás becslése idősorral és trend analízissel

Ezután a függetlennek és homogénnek elfogadott reprezentatív minta eloszlás paramétereit becsültük a momentum módszerrel. A következőkben meghatároztuk az empirikus eloszlásfüggvényt. Az előző részben említett elméleti megfontolások, és az empirikus eloszlásfüggvény alapján kerestük a legjobban illeszkedő folytonos, elméleti eloszlásfüggvényt. Tekintettel a vízgyűjtők igen eltérő lefolyási tulajdonságaira, az elméletileg adódó folytonos függvényt

nem lehetett mereven alkalmazni, hanem az eloszlás csoportokból kellett kiválasztani a legjobban illeszkedő eloszlást. Fontos megjegyezni, hogy a jó illeszkedést elsősorban a szélső (20-0 %-os) meghaladási valószínűség tartományában vettük szigorúan. A 20 %-nál nagyobb, például az 50 %-os meghaladási valószínűségű, az átlagosan kétevente előforduló nagyvízhozam - nem feltétlenül mértékadó – eseményt jelöl. A 3. ábrán az empirikus eloszlás mellett több folytonos eloszlás is látható, az elméleti csoportokból. A normál csoportból választott lognormál eloszlás pont a szélső valószínűségi tartományban ad az empirikustól eltérő, kisebb nagyvízhozam értékeket, más tartományban jó az illeszkedése. Az exponenciális csoportból a Fréchet eloszlás kiemelkedően jó a teljes valószínűségi tartományban (az exponenciális és Gumbel nem illeszkednek jól). Klasszikus illeszkedés vizsgálat nem ad megfelelő képet a nullhipotézis eldöntéséhez. A jól illeszkedő folytonos eloszlásfüggvény a 210 adatsor zömében aránylag könnyen, egyértelműen adódott.



3. ábra. A legjobban illeszkedő folytonos eloszlás keresése

Összefoglalásul azt tapasztaltuk, hogy a nagyobb vízgyűjtők, vízfolyások esetén a normál csoport eloszlása volt jellemző, kisebb vízgyűjtők, vízfolyások esetén az exponenciális csoport valamelyik tagja volt a legjobban illeszkedő. Az eloszlás típusokkal kapcsolatosan ismét a 2. táblázat összefoglaló jellegére utalunk.

STATISZTIKAI TAPASZTALATOK

A lefolyási régiók, és eloszlásfüggvény típusok abszolút gyakoriságainak mátrixát a 3. táblázat mutatja. A mátrix az elméleti megfontolások megállapításait a megfelelő súlypontokkal igen jól mutatja. A normál csoport eloszlásai 30 %-os arányban vannak jelen, elsősorban a kisebb folyók (Hernád, Kapos, Rába) esetében. Az arányaiban kisebb vízgyűjtőjű vízfolyások nagyvízeinek eloszlását az exponenciális csoport eloszlásai adják, döntően exponenciális, valamivel kisebb számban Gumbel függvényekkel, összességében 65 %-os aránnyal. A Gamma-3 simuló eloszlás aránya csekély: 5 %.

| Eloszlás típusa | É.-magyar-ország | Közép-Duna-v. | Észak-dunántúl | Közép-dunántúl | Dél-dunántúl | Nyugat-dunántúl | Σ |
|-----------------|------------------|---------------|----------------|----------------|--------------|-----------------|-----|
| Normál | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Lognormál | 8 | 6 | 4 | 16 | 18 | 11 | 63 |
| Exponenciális | 14 | 14 | 9 | 16 | 7 | 8 | 68 |
| Gumbel | 7 | 6 | 3 | 15 | 15 | 7 | 53 |
| Fréchet | 1 | 3 | 7 | 2 | 2 | 0 | 15 |
| Gamma-3 | 3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 5 | 10 |
| Σ | 33 | 29 | 24 | 50 | 43 | 31 | 210 |

3. táblázat. Az eloszlásfüggvények abszolút számainak mátrixa

Az alábbi regionális területi – vagy inkább vízjárási – sajátosságok tapasztalhatók egyes vízfolyások esetén:

- A nagyobb folyók normál csoportba tartozó nagyvízi eloszlásait mutatják a Hernád hazai mérceadatai (Hidasnémeti, Gesztely: lognormál eloszlás).
- Ugyanez tapasztalható a Kapos mércéin (Kaposvár, Fészerlak, Dombóvár, Kurd, Pincehely: lognormál, sőt Dombóvár egyedülállóan normál eloszlású).
- A Rába három hazai mércéjén: a nagyvizek lognormál eloszlásúak (Szentgotthárd, Körmen, Sárvár).
- Ugyanakkor érdekes, hogy a kisebb folyónak számító Sajó hazai mércéin a nagyvízi eloszlás Gumbel típusú (Sajópüspöki, Sajószentpéter).
- A Zagyva-Tarna vízrendszer 10 vízmércéjéből 7-nek nagyvízhozam eloszlása: exponenciális (Nemti, Maconka, Pásztó, Verpelét, Tarnaméra, Tarnaörs, Jászdózsa).
- Az Észak-dunántúlon a Duna jobbparti mellékvízfolyásai közül számosnak a nagyvízi eloszlásfüggvénye: Fréchet (Pándzsér, Oroszlány-Kecskédi, Galla, Nagy-Pándzsa, Általér mindkét mércéje /Tatabánya, Tata/).

A fenti megállapításokhoz hasonló további elemzések és vizsgálatok jövőbeni elvégzése jobban rávilágít majd a kisvízfolyások nagyvízi eloszlásainak területi tulajdonságaira.

IRODALOMJEGYZÉK

Reimann József (kb. 1973-1975): Árvízhidrológia. (Eredeti kézirati példány.) 1-251 o. Budapest.

Zsuffa István (kb. 2000-2001): Hidrológiai statisztika. (Eredeti kézirati példány.) 1-208 o. Budapest.

KOKOWIN (2003) (1-583 o.)

Hajnal Géza-Koris Kálmán (2014): Hidrológia I. Fizikai hidrológia. (Egyetemi jegyzet.) 1-179 o. BME Budapest.

Koris Kálmán (2014): Hidrológia II. Műszaki hidrológia. (Egyetemi jegyzet.) 1-129 o. BME Budapest.

Koris Kálmán (2021): Magyarország kisvízfolyásainak árvizei. (Elektronikus változat.) 1-756 o. Országos Vízügyi Főigazgatóság Budapest.