

# Hazai és külföldi gyakorlatban alkalmazott empirikus árvízszámítási módszerek adaptációja egy Nyugat-magyarországi kisvízgyűjtőre

Kerék Gábor (ÉDUVIZIG), Gyüre Balázs (ÉDUVIZIG), Keve Gábor (NKE), Bene Katalin (SZE),  
Balatonyi László (OVF)

## KIVONAT

A dolgozat a Nemzeti Víz tudományi laboratórium 4G projektelemének első éves kutatási összefoglalása – bemutatjuk a kutatómunka keretében vizsgált hazai és külföldi (Amerikai Egyesült Államokban alkalmazott) gyakorlati árvízszámítási módszereket, és ezek adaptációját egy Nyugat-magyarországi kisvízgyűjtő, a Rák-patak (Soproni-hegység) soproni vízmerce szelvényére. Elemezzük a vízgyűjtő csapadék- és lefolyás-adatait, valamint hidrológiai és hidrodinamikai modell készül a Rák-patak egy mellékvölgyére. A módszerek validálását hidrológiai idősorokkal való összevetéssel, térinformatikai alapú talajtani információk felhasználásával, valamint a modelleredmények tükrében végezzük el. A dolgozatban elemezzük a módszerek gyakorlati mérnöki alkalmazhatóságát, az eredmények tervezési feladatokra való felhasználhatóságát.

Kulcsszavak: alkalmazott hidrológia, empirikus árvízszámítás, dombvidéki vízgyűjtők, műszaki hidrológia, Nemzeti Víz tudományi Laboratórium

## 1. BEVEZETÉS

A fenntartható fejlődés egyik célja a fenntartható vízgazdálkodás biztosítása, amelyhez interdiszciplináris és holisztikus megközelítésre van szükség. A Nemzeti Víz tudományi Laboratórium (a továbbiakban: NVL) 2022. évben indult projekt (a projekt azonosítója: RRF-2.3.1-21-2022-00008) fő célja, hogy a vízfolyásokkal és állóvizekkel egyenértékűen, azokkal összekapcsolva tervezzük meglévő tudásunk interdiszciplináris, új kompetenciákat eredményező bővítését a felszín alatti vízkészletek, a területi, mezőgazdasági vízgazdálkodás biztonsága, a városi vízgazdálkodás „okossá” tétele, valamint a víz- és szennyvíztisztítás korszerűsítése tekintetében.

Az éghajlatváltozás és a társadalmi-gazdasági fejlődés egyaránt veszélyezteti az ökoszisztéma szolgáltatásokat és infrastruktúrát (ivóvízellátás, szennyvízelvezetés, az öntözés fenntarthatósága, a belvízi hajózás, a természetes vizek alkalmassága stb.), míg a NVL javítja a társadalmi fenntarthatóságot és ellenálló képességet a vízbiztonság fokozásával, a sérülékenység csökkentésével és a vízzel kapcsolatos (szárazság és árvíz) kockázatok mérséklésével.

Rövid távon a társadalom számára nyújtott előnyök a jobb vízbiztonsági stratégiában és a társadalmi ellenálló képességben mutatkoznak meg. Hosszú távon tudományos háttérintézetet hozunk létre a magyar vízgazdálkodás számára. A többi országhoz alkalmazkodó, összetett vízgazdálkodási kérdéseket vizsgálunk. A program több pillérből áll (összesen VI pillér). Újszerű, innovatív módszerek kerülnek kifejlesztésre az aszály, az öntözés és a melioráció kezelésére a vízellátási- és tárolási kapacitás növelése, a vízgyűjtők éghajlatváltozással szembeni ellenálló képességének javítása érdekében a IV. pillér keretein belül. Továbbá ez a pillér foglalkozik a városi csapadékvíz-elvezető rendszerek és a belvíz-elvezető hálózat összekapcsolásával oly módon, hogy az lehetővé tegye a városok területéről

elfolyó, egyébként a gyors levezetés sorsára jutó, vizek visszatartását, hasznosulását. Mindezt oly módon (a felszín alatti vizek dúsítása, ökológiai vízigények kielégítése, öntözés), hogy a belterületeken ne alakuljon ki elöntés, külterületeken pedig az előírt tūrési időn belül levezethető legyen a keletkező többlet vízmennyiség. Szintén ezen pillérhez tartozik a Dombvidéki vízgyűjtők alprojekt (a továbbiakban: 4G). Itt a kutatás elsődleges célja, az együtt dolgozó, egymásra hatást gyakorló vízgyűjtőhidrológiai, és hidrodinamikai modellrendszer kialakítása, valamint feltáratlan vízgyűjtők számításához paraméterezési javaslatok kidolgozása. A modellezés eredményeképpen egységes, gyakorlatban használható modellezési, vízgyűjtő paraméterezési javaslatot készítünk, mely alkalmas lesz a kisvízfolyások hirtelen áradásainak, illetve a villámárvízi hatások és a vízvisszatartás feladatainak támogatására.

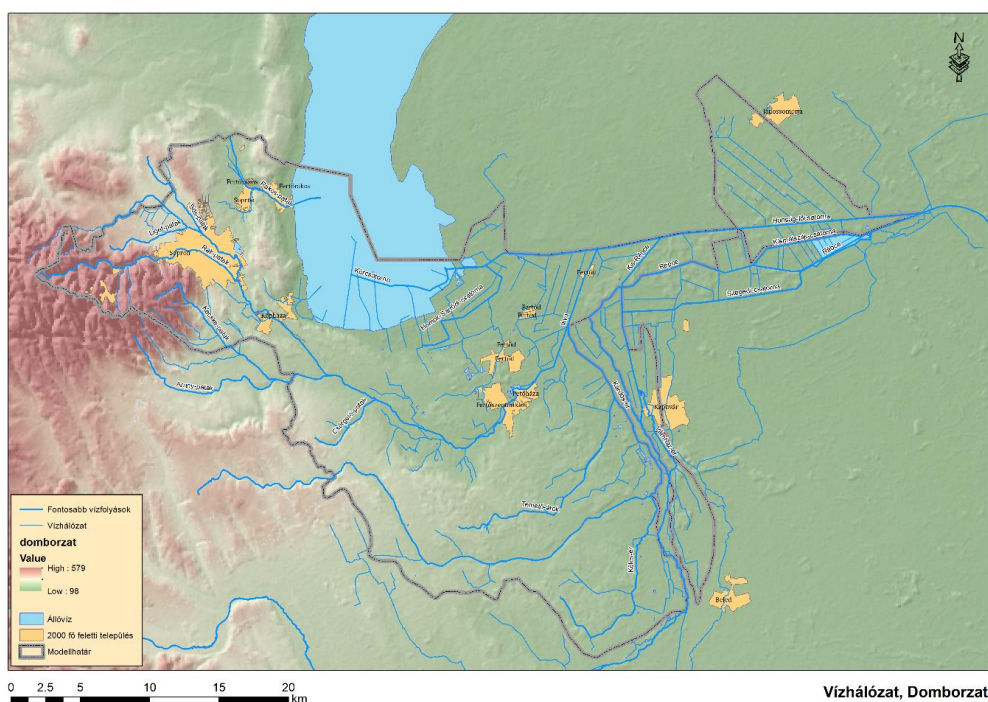
Jelen tanulmányunkban megvizsgáljuk a Rák-patak vízgyűjtőjének csapadékviszonyait, ennek statisztikai eloszlásfüggvényeiből magyar és külföldi (USA) empirikus árvízszámítási módszerek segítségével becslést teszünk a vízgyűjtő mértékadó nagyvízhozamaira. Az így kapott eredményeket összevetjük a mért-számított vízhozam-idősorból előállított eloszlásfüggvény jellemző értékeivel.

## 2. TERÜLET BEMUTATÁSA

### 2.1 Vízgyűjtő leírása

#### 2.1.1 Általános jellemzők, a vízrendszer leírása

A Rák-patak az Ikva-patak vízgyűjtőjének és vízhálózatának része. Hazánk Észak-dunántúli régiójának egyik legfontosabb vízgazdálkodási területegysége a Hanság-medence, melynek nyugati részét az Ikva-völgy alkotja. Vízgyűjtőterületének elhelyezkedése az 1. ábrán látható.



1. ábra, Az Ikva és a Hanság vízrendszere (Szerző saját szerkesztése: Kerék, G.)

Az Ikva-patak Ausztria területén ered, magyarországi szakasza megközelítőleg 52 fkm. Az országhatáron belépve átfolyik Sopron belterületén és délkeleti irányba haladva érinti Kópháza, Nagycenk, Pereszteg, Pinnye, Ebergőc, Röjtökmuzsaj községeket, majd észak-északkeleti irányban Fertőszentmiklós, Petőháza, Fertőendréd községeken folyik keresztül. Befogadója a Hansági-főcsatorna 23+500 fkm szelvénye. Vízigyűjtőterülete 688 km<sup>2</sup>, ebből 158,4 km<sup>2</sup> Ausztria területére esik. Nyugati része váltakozó magasságú hegy- és dombvidék, keleti része síkvidéki terület. Az Ikva-patak mellékvízfolyásai: Liget-patak, Sós-patak, **Rák-patak**, Arany-patak és a Kardos-ér.

A Rák-patak az Arany-patak és Kardos-ér után Ikva legjelentősebb mellékvízfolyása. A patak a Soproni-hegység északi völgyeinek forrásvizeit és a vízigyűjtőre hulló csapadékvizeket vezeti az Ikvába. A patak teljes hossza 18 fkm, a vízigyűjtő területe 36,4 km<sup>2</sup>, az ún. Hidegvíz-forrásnál ered, a fakadás tengerszint feletti magassága 402 mB.f. A forrástól a Hidegvíz-völgyön át Görbehalom-telepig haladva befogadja két kisebb, a völgybe torkolló patak vizét. A patakon Görbehalom közelében mesterséges tavat alakítottak ki Brennbergi-víztározó néven, azonban leginkább Fehér úti tó néven ismert. A tározó szerepe a Rák-patakon kialakuló heves árhullámok szintjének csökkentésében jelentős. Sopron közigazgatási területéig vízkészletét a Köves-, Tolvaj- és Tacsai-árok emelik. Felső szakaszai Sopron városának határáig a kisebb-nagyobb beavatkozások ellenére természetes állapotúnak tekinthető, gazdag élővilággal. Sopron város területére érve, a Hajnal tértől zárt mederben folytatja útját. Sopron belterületén néhány rövid szabadfelszíni szakasztól eltekintve zárt, boltozott mederben halad, és Sopron alsó részén éri el befogadját, az Ikvát. A torkolat szelvénye az Ikva 42+256 fkm szelvénye. (VGT)

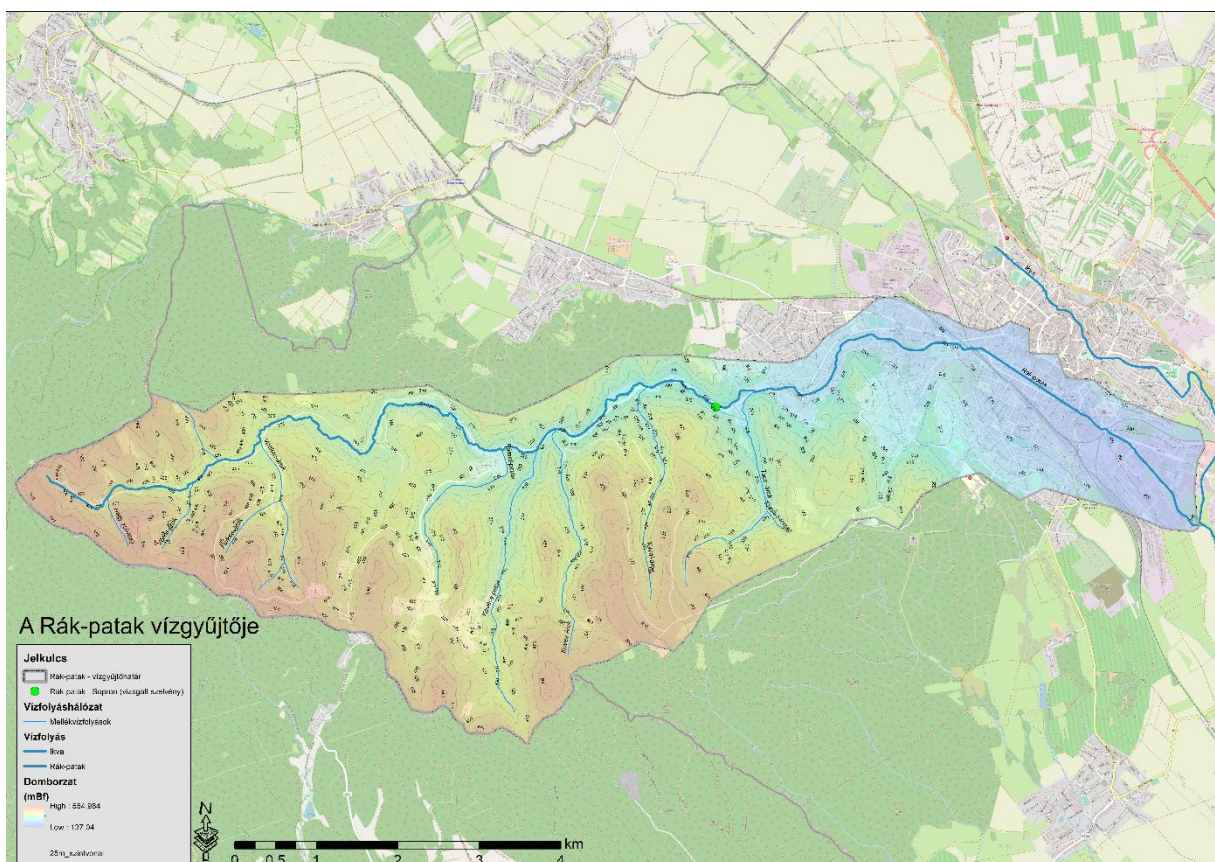
### *2.1.2 Domborzat, Föld- és talajtani jellemzők*

A Soproni-hegység geográfiailag erősen tagolt, zárt hegység domborzati formáit főleg töréses lépcsők, széles, lekerekített hegyhátak, keskeny hegygerincek, domború lejtőjű sziklás sasbércek, tanúhegyek, mélyre vágódott (80-100 mB.f.) patak völgyek és meredek sziklás lejtők jellemzik. Átlagos magassága 410 mB.f. A nyugati országhatár mentén 550 mB.f. magasság fölé emelkedő Soproni-hegység hazánk legidősebb kristályos hegysége. Fő építőközetei nagyrészt átalakult ókori képződmények (pl. gneisz, csillámpala, fillit, csillámkvarcit stb.), a kristályos pala túlsúlyával. A kristályos tömeg a miocén kori nagy kéregmozgások során feldarabolódott, a megsüllyedt részekre miocén üledékek települtek, s az ezekben létrejött kőszénrétegeket fejtették Brennbergbányán, az ország első szénbányájában (1759-1968). A Soproni-hegység észak-keleti része, a Fertő-melletti dombsági fiatal harmadidőszaki kőzetekből: lajta-, szarmata mészkőből és homokkövekből, pannon agyagos-homokos üledékből, valamint löszből épül fel. Az erdőben agyagbemosódásos barna erdőtalajok (18%), Soprontól nyugatra löszös, míg attól délre és keletre harmadidőszaki üledéken képződtek. A Soproni-hegység mérsékeltén hűvös-mérsékeltén nedves éghajlatú kistáj. (Dövényi, 2010.)

### 2.1.3 Éghajlat

A napfényes órák évi száma kb. 1780, a nyári évnegyed 680, a téli pedig 175 óra körüli napsütést élvez. A terület nyugati részén 8,5 °C, a keleti részeken 9,2 °C az évi középhőmérséklet, míg a vegetációs időszaki sokévi átlag 15,0-16,0 °C. A fagymentes időszak hossza április közepe október vége közé esik. A leggyakoribb szélirány az észak-nyugati, az átlagos szélesség a hegycsúcsokon 4-4,5 m/s, a völgyekben és az erdő takarta területeken 3 m/s körüli. A Soproni-hegység évi csapadékösszeg kb. 700-750 mm, ebből 430 mm (a nyugati részeken 450-480 mm) eső hullik a tenyészidőszakban. A 24 órás csapadékmaximum 115 mm, amit Brennbergbányán mértek. A hótakarós napok átlagos száma a tengerszint feletti magasságtól függően 40-45 nap, az átlagos maximális hóvastagság keleten 20-25 cm, nyugaton 30 cm fölötti. (Dövényi, 2010.)

A Rák-patak vízgyűjtőjének áttekintő térképét a 2. ábrán közöljük.



2. ábra, A Rák-patak vízgyűjtője (Szerző saját szerkesztése: Kerék, G.)

## 2.2 Történeti áttekintés a Rák-patak völgyének hasznosításáról, árvizeiről

A történelem során a szeszélyes vízjárású Rák-patak (Bánfalvi-patak) sok kihívást okozott a helybelieknek. Különlegessége, hogy a teljes vízgyűjtőterülete Magyarország területén található, és bár Sopront az Ikva-patakkal szokás azonosítani, helyi jelentősége azzal megegyező, völgyének különleges természeti értékei miatt vízgyűjtője jelentős ökológiai potenciállal is bír.

A patak völgyét 1868-69-ben egy 222 m hosszú, 27 m magasan futó fa völgyhíddal keresztezték, amelyen keresztül szenet szállítottak Brennbergbányáról Ágfalvára, majd Bécsbe. (SopronMédia, 2022.)

A patak árvizei komoly károkat okoztak a múltban, többször elpusztítva a patak mellé épült malmokat, lakóházakat. Az 1879. május 4-i árvíz átszakította a déli vasút töltését, az 1940 júniusában levonuló árhullám pedig megbontotta a Frankenburg utcai boltozat előtti burkolatot. 1996 szeptemberében jelentős elöntések alakultak ki Sopronban a Rák-patak és az Ikva árhullámából. A közelmúltban 2008 nyarán jelentkeztek heves árhullámok konvektív csapadékevénység miatt. Az árhullámok csúcsvízhozamainak csökkentése érdekében több tározót is terveztek a vízgyűjtőre, de ezek közül csak a Fehér úti tározó valósult meg. (SopronMédia, 2022.)

A Rák-patak esése teljes hosszán 212 m, ez tette lehetővé, hogy korábban a patak energiáját vízimalmok sora hasznosítsa. Ezek nem közvetlenül a patakon, hanem a párhuzamosan kiépített malomárkokon létesültek. A 17. század közepétől az 1950-es évekig, a mai Ifjúsági Tábor és az Erdei Iskola között, működött például az a duzzasztógát és zsilip, amely az ún. Malompatak vízellátását biztosította. A mai Erdei Iskolánál volt az egykori Manninger malom – ezt a 1930-as években villamosenergia-termelésre állították át –, majd következett a Tiefbrunner, mai Kárpáti malom, a Perge, a Balogh, a Greilinger és további hat malom, már a város területén. Közülük külön említést érdemel a Lőpormalom (Pulver Mühle) a Mária Magdolna-templom közelében, mely jelentős gazdasági hasznot hajtott. (SopronMédia, 2022.)

A történelem során a Rák-patak medrét jó néhányszor áthelyezték, újraásták. Többször töltött be stratégiai funkciót: innen táplálták például a városfal körüli vizesárkot: a mellékág a mai Rákóczi utca – Széchenyi tér – Torna utca vonalon haladt és a Papréten torkollott az Ikvába. Vizéből biztosították több évtizeden át a vasút vízellátását. (SopronMédia, 2022.)

## 2.3 Mért adatok

### 2.3.1 Csapadék

A Rák-patak vízgyűjtő területének csapadékviszonyainak feltárásához a Sopron környéki csapadékmérő állomások adatsorait vizsgáltuk meg. A meglévő idősorok hossza és időbeli felbontása alapján az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) Sopron, Kuruc-domb állomásának észlelt és automata csapadékadatait találtuk feldolgozásra legalkalmasabbnak. Az OMSZ az online – jelenleg <https://odp.met.hu> címen elérhető – Meteorológiai Adattár kialakításával és folyamatos bővítésével lehetővé teszi a Szolgálat által kezelt számos adatfajta közvetlen letöltését és felhasználását. Innen mi az alábbi (1. táblázat) csapadék adatfajta töltöttük le további elemzés céljából:

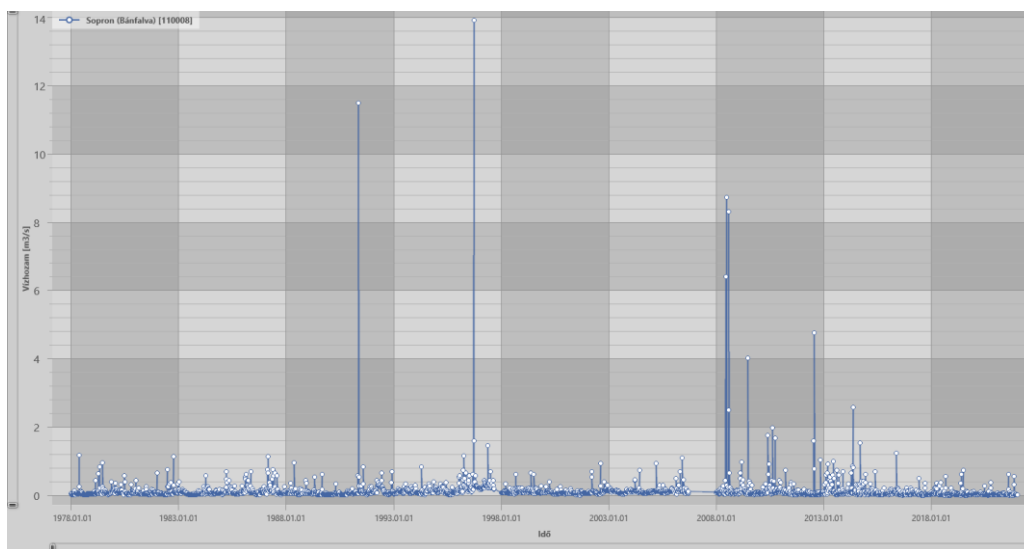
Sopron, Kuruc-domb		
<i>mérés</i>	<i>intervallum</i>	<i>időszak</i>
automata	10 perc	2002 - 2020
automata	1 óra	2002 - 2020
észlelés	1 nap	1870 - 2021

1. táblázat, Sopron csapadék-idősorok rendelkezésre állása (Szerző saját szerkesztése: Kerék, G.)

Látható, hogy az észlelt adatok időszora a részletes statisztikai vizsgálatokhoz elegendően hosszú (151 év), azonban csak napi 1 adatot, a 06:00 UTC időpontokat megelőző 24 óra csapadékösszegeit tartalmazza. Az időben jóval részletesebb 1 órás, illetve 10 perces automata csapadékösszegek viszont csak 2002-től állnak rendelkezésre. A mértékadó csapadékintenzitás értékek esetében az órás intenzitások (mm/h) eloszlásait szeretnénk vizsgálni. 1 óránál nagyobb intervallumú mintavételezésnél ez az információ elvész, ezért elemzéseinkhez a 10 perces adatokat használtuk, ennek részleteire a 3.1. fejezetben térünk ki.

### 2.3.2 Vízhozam

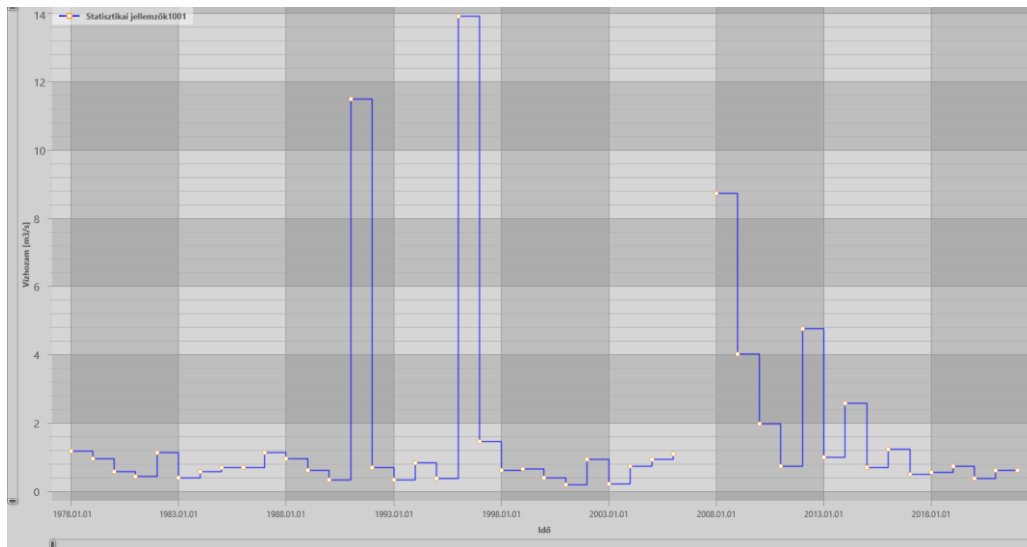
A Rák-patakon a 2. sz. ábrán is jelölt szelvényben üzemel vízrajzi monitoring állomás (Rák-patak 7+500 fkm), melyet az Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság üzemeltet 1977 óta. Az állomásról rövidebb-hosszabb adathiányokkal 1978 óta rendelkezünk folyamatos lefolyás-idősorral. Az állomás mért vízhozam-idősorát a következő grafikonon ábrázoltuk.



3. ábra, Rák-patak-Sopron, számított-mért vízhozam-idősor; 1978-2021 (Szerző saját szerkesztése: Kerék, G.)

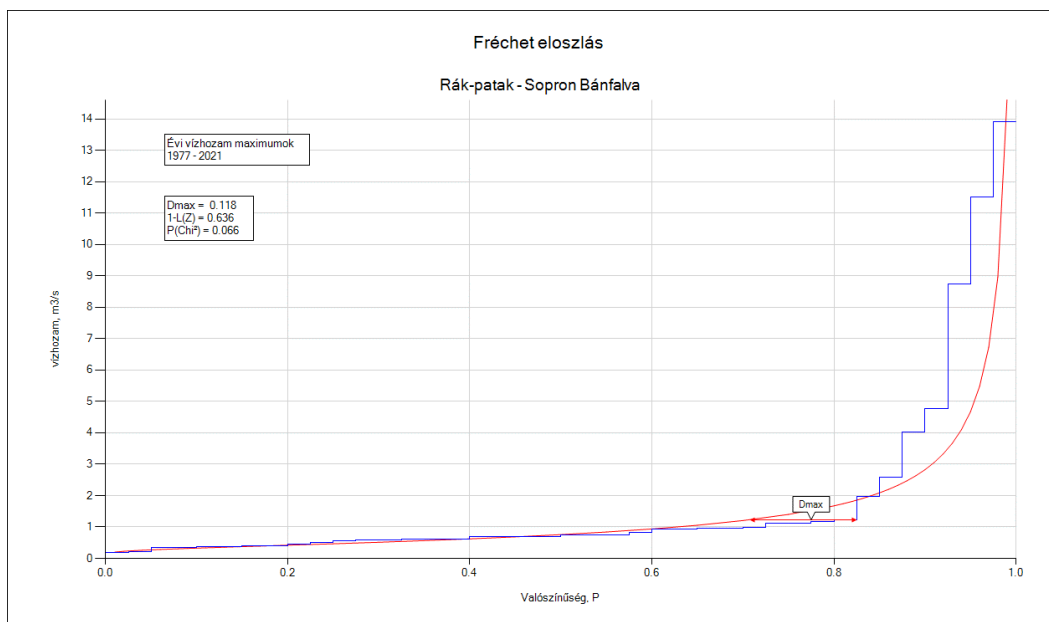
A patak alapvízhozama csapadékmentes időszakban néhány  $10 \text{ l s}^{-1}$  csupán, az észlelési időszakban csak néhány jelentős árhullám vonult le, igazolva vízjárásának szélsőséges voltát. A 43 év hosszúságú idősor abszolút maximumát 1996 szeptemberében mérték ( $14,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ),

amelyet egy 100 mm körüli nagycsapadék lehullása okozott a térség több vízfolyásán. A jellemző nagyvízhozamok meghatározása céljából az idősor éves nagyvízhozamait statisztikai elemzésnek vetettük alá. Az idősor statisztikai mintája a következő:



4. ábra, Rák-patak-Sopron - éves nagyvízhozamok, 1978-2021 (Szerző saját szerkesztése: Kerék, G.)

Az éves nagyvízhozamok eloszlásvizsgálatát a csapadékokhoz hasonlóan a vízügyi ágazatban általánosan alkalmazott MhStat2 nevű szoftverrel végeztük. A statisztikai minta empirikus és illesztett eloszlásfüggvénye az 5. ábrán látható.



5. ábra, Rák-patak-Sopron, empirikus és illesztett eloszlásfüggvény

A program által kínált eloszlásfüggvények közül egyedül a Fréchet-eloszlás alkalmas arra, hogy a rendkívül hektikus vízjárás eloszlását közelítse, és a tapasztalatok szerint az alacsonyabb valószínűségek tartományában jelentősen képes túlbecsülni a valószínűségi változó várható értékét.

Ennek alapján a Rák-patak jellemző nagyvízhozamai a mért idősor alapján (2. táblázat) a következők:

p%	T(év)	Q (m <sup>3</sup> /s)
10	10	2,83
3	33	6,73
1	100	14,6

2. táblázat, Számított nagyvízhozamok, Rák-patak-Sopron (Szerző saját szerkesztése: Kerék, G.)

A következőkben bemutatjuk a nagyvízhozamok becslésének néhány hazai és az USA-ban alkalmazott módszerét, és az e módszerekkel számított nagyvízhozamokat a Rák-patak soproni vízmérce (7+500 fkm) szelvényére.

### 3. MÓDSZEREK BEMUTATÁSA

#### 3.1 Csapadék adatok

Az OMSZ az Országos Vízügyi Főigazgatóság megbízásából és a Magyar Mérnöki Kamara szakmai közreműködésével 2021-re elkészítette a mértékadó csapadékintenzitás értékek 101 automata mérőhelyre vonatkozó intenzitás-tartam-gyakoriság (*Intensity-Duration-Frequency*, akronim: IDF:) görbéit a 10 perces automata összegek feldolgozásával. Az eredményeket és az IDF görbékhez tartozó fontosabb értékeket többek között a <https://www.met.hu/eghajlat/csapadekintenzitas> weboldalon publikálták. Ezekhez az eredményekhez igazodva mi is elvégeztük az OMSZ adatsorainak eloszlásfüggvény vizsgálatát a már említett soproni állomás adataira. Az elemzéseket a vízügyi ágazatban elterjedten használt MHstat2 nevű szoftverrel végeztük el. Az eloszlásfüggvények illesztésénél pedig az OMSZ-hoz hasonló módszer szerint jártunk el:

[https://www.met.hu/downloads.php?fn=/ismertetok/OMSZ\\_modszertan\\_webre.pdf](https://www.met.hu/downloads.php?fn=/ismertetok/OMSZ_modszertan_webre.pdf)

A cél az volt, hogy az OMSZ által publikált táblázatos eredményekhez képest az IDF görbék által hordozott részletesebb információkat is megkaphassuk. Alapadatként a letölthető 10 perces csapadékösszegek szolgáltak. Ezekből készítettük a 20, 30, 40, 50 és 60 perces összegek adatsorait. Az MHstat2 egyik korlátja, hogy 1 órásnál nagyobb időbeli felbontású adatokat nem képes kezelni, ezért a 10-50 perces összegekből még elő kellett állítani a több órás maximumokat tartalmazó idősorokat, így már el tudtuk végezni az éves szélsőértékek vizsgálatát. Ezen számítás azért volt rendkívül fontos, mert a különböző módszerek összegyülekezési időt számító eljárásai órán felüli értéket is adhattak. Természetesen az összehasonlítás kedvéért az összegyülekezési idő 1 órás limitjét is teszteltük.

Az eloszlás vizsgálatoknál a GEV függvény illesztését – mivel az OMSZ is ezzel dolgozott – mindegyik adatsorra elvégeztük. Az OMSZ eredményeivel a várakozásoknak megfelelően jó egyezést kaptunk, tekintve, hogy az akkori munka 1-2 évvel rövidebb adatsorból készült.



### 3.2 Mértékadó vízhozam becslése

A mértékadó vízhozamok becslésére két magyar módszert teszteltünk, melyekkel a vízgyűjtő geometriai, talajtani és fedettségi jellemzői alapján tehetünk becslést a különböző  $NQ_{p\%}$  nagyvízhozamokra.

#### 3.2.1 Kollár-féle VIZITERV-segédlet (Koris-módszer)

A Kollár-féle VIZITERV-segédlet hidrológiailag feltáratlan magyarországi hegy- és dombvidéki kisvízgyűjtők vízfolyásai különböző előfordulási valószínűségű árvízhozamainak meghatározására használható. Az alkalmazható vízgyűjtőnagyságok:  $A = 2 - 6000 \text{ km}^2$  között, úgy, hogy a határértékek is felvehetők (Koris, 2021). A segédlet a hegy- és dombvidéki területeket hat régióra osztja fel, melyek Magyarország jól elkülönülő lefolyási régiói. A lefolyási régióként meghatározott nomogramok segítségével a  $p = 5 \%$ -os előfordulási valószínűségű,  $q_{5\%} [\text{m}^3\text{s}^{-1} \text{ km}^{-2}]$  fajlagos árvízhozamok határozhatók meg:

$$q_{5\%} = f(A) \quad (1)$$

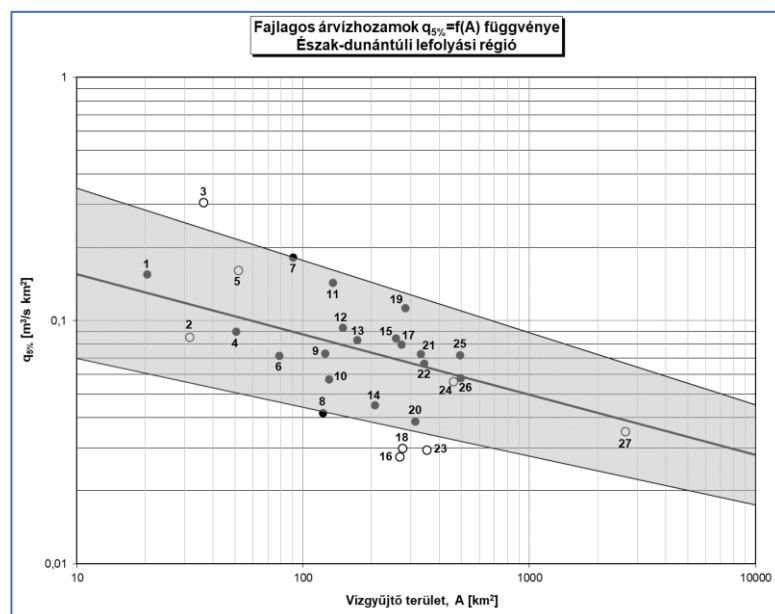
A  $q_{5\%}$  ismeretében a  $p$  [%]-os előfordulási valószínűségű árvízhozam:

$$Q_{p\%} = a_i * q_{5\%} * A \quad (2)$$

képlettel számítandó, ahol:

- $Q_{p\%} [\text{m}^3/\text{s}]$  – a számítandó  $p\%$  valószínűségű árvízhozam,
- $a_i$  - dimenzió nélküli szorzó, a különböző előfordulási valószínűségű árvízhozamok, közötti konverzió céljából,
- $q_{5\%} [\text{m}^3/\text{s km}^2]$  - a grafikonokról meghatározott fajlagos árvízhozam,
- $A [\text{km}^2]$  - a vizsgált vízgyűjtőterület nagysága.

Az Észak-dunántúli lefolyási régió fajlagos árvízhozamai a következő grafikon szerint alakulnak:



6. ábra, Fajlagos lefolyások, Észak-dunántúli lefolyási régió (Koris, 2021)

### 3.2.2 Racionális nagyvízhozam-számítás

Az  $NQ_{p\%}$  nagyvízhozam diszkrét értékének másik hazánkban használatos módszere a racionális nagyvízhozam-számítás. A  $30 \text{ km}^2$ -nél kisebb vízgyűjtőkre ajánlott módszer elve, hogy a vízfolyás vizsgált keresztszelvényének mértékadó vízhozamát az a csapadék szolgáltatja, amelynek időtartama ( $T$ ) megegyezik a vizsgált szelvényhez tartozó összegyülekezési idővel ( $\tau$ ) (Koris és társai, 1993), azaz:

$$T = \tau$$

egyenlőség áll fenn. A közelítőleg  $p\%$ -os valószínűségű árvízhozam:

$$Q_{p\%} = \alpha * i_{p\%} * A \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (3)$$

ahol

- $\alpha$  a lefolyási tényező [-]
- $i_{p\%}$  a  $p\%$ -os valószínűségű fajlagos esővízhozam [mm/h],
- $A$  a vízgyűjtő terület nagysága [ $\text{km}^2$ ].

Ennek megfelelően a racionális számítási mód lényeges eleme az összegyülekezési idő ( $\tau$ ). Az összegyülekezési idő a Wisnovszky által bevezetett összefüggés szerint:

$$\tau = \frac{L^2}{\sqrt{A * I}} \text{ [min]} \quad (4)$$

ahol

- $L$  a völgy hossza [km]
- $I$  a völgy átlagos esése [%]
- $A$  a vízgyűjtő nagysága [ $\text{km}^2$ ]

A közölt képlet előnye, hogy a hazai megfigyelések alapján készült, és az eddig alkalmazott módszerekkel szemben figyelembe veszi a vízgyűjtő terület alakját is.

A mértékadó csapadék intenzitásának meghatározását a Montanari-féle csapadékmaximum függvény felhasználásával végezhetjük el, mely a csapadékintenzitás szempontjából a következő formulával írható le:

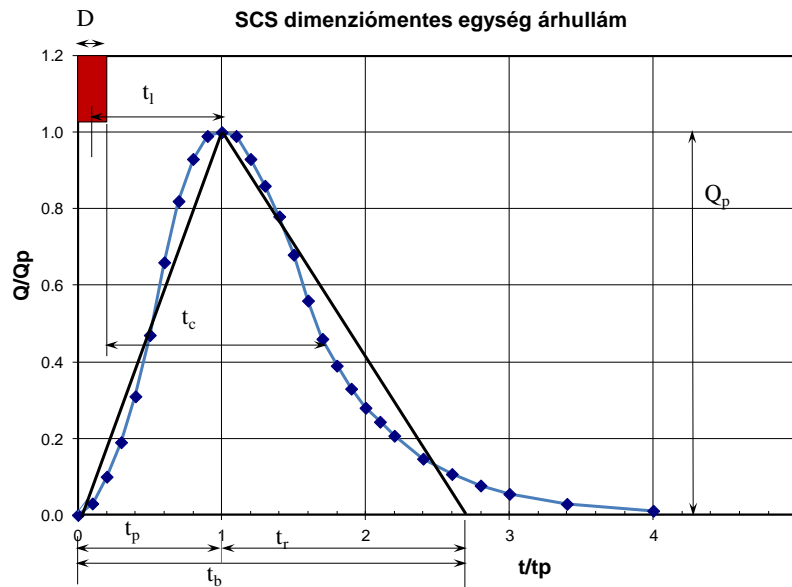
$$i_{p\%} = a * T^{-m} \quad (5)$$

A csapadékmaximum függvény különböző  $p\%$  valószínűségű csapadékhöz tartozó állandói *Koris-Kontur-Winter – Hidrológiai Számítások* című könyvében szereplő táblázatok alapján határozhatók meg. A lefolyási tényező területi eloszlása alapján Szalóczy (2001) által készített táblázat segíti a vízgyűjtőre jellemző átlagos érték számítását.

### 3.3 Vízhozam idősor becslése

#### 3.3.1 Amerikai NRCS módszer (rézvízgyűjtők <math><50\text{km}^2</math>) Egységárhullámkép

Az NRCS (Natural Resources Conservation Service, SCS, 1986) módszer egy dimenziómentes egységárhullám alapján határozza meg a lefolyási vízhozam idősort. A dimenziómentes görbe nagyszámú különböző nagyságú és elhelyezkedésű vízgyűjtő egységárhullámának egyesítéséből készült.



7. ábra, NRCS dimenziómentes görbe, (SCS, 1986)

A dimenziómentes görbén a lefolyásképző csapadék időtartama,  $D$ ; az összegyülekezési idő,  $t_c$ ; a késleltetési idő,  $t_l$  kapcsolata látható. Az NRCS módszer szerint az összegyülekezési idő megegyezik a lefolyásképző csapadék befejeződésétől a dimenziómentes árhullámkép apadó ágán lévő pontig tartó időtartammal. A késleltetési idő,  $t_l$  a lefolyásképző csapadék időtartamának felétől a dimenziómentes árhullámkép maximumáig tartó időtartam. Az egységárhullámkép meghatározásához a kifolyási pontban a maximális vízhozam  $Q_p$  és az ehhez tartozó idő,  $t_p$  meghatározása szükséges. Az ábra alapján  $t_p$  meghatározható  $D$  és  $t_l$  segítségével, 6. egyenlet (perc, vagy óra).

$$t_p = \frac{D}{2} + t_l \quad (6)$$

Az egységárhullámot meghatározó 10 mm nagyságú lefolyásképző csapadék időtartalma  $D$ . A gyakorlatban a  $D$  érték lesz a vízhozam idősor időegysége is. A késleltetési idő számolható az összegyülekezési idő alapján, vagy közvetlenül (SCS, 1986);

$$t_l = \frac{L^{0,8} (S + 2,54)^{0,7}}{1410 I^{0,5}} \text{ (hr)} \quad (7)$$

ahol

- $L$  a kifolyási pont és a vízgyűjtő határa közötti leghosszabb úthossz [m],

- S a lehetséges maximális veszteségek [cm],
- I a vízgyűjtő esése [%].

Az egyenlet 16 km<sup>2</sup> terület nagyságig ad megbízható eredményeket, elsősorban természetes vízgyűjtőkre (McCuen, 2003), nagyobb vízgyűjtők esetében túlbecsüli a késleltetési időt.

A maximális vízhozam meghatározható az egységárhullámot háromszöggel közelítő árhullámlép segítségével. A háromszög alatti terület, megegyezik a vízgyűjtőről érkező lefolyás nagyságával, mely egyenlő a vízgyűjtő terület A, és a 10 mm lefolyásképző csapadék, Q<sub>lef</sub>, szorzatával. Az egységárhullám felszálló és leszálló ága közötti területek aránya változhat a vízgyűjtő típusától függően, ezért egy általánosabb egyenletet is kidolgoztak, ahol az alaki paraméter PRF (Peak rate Factor). A PRF=2,08 alaki paraméter helyett több, borítottságtól függő PRF értéket is meghatároztak (Meadows, 2020):

$$Q_p(m^3/s) = \frac{PRF \cdot Q_{lef}(cm) \cdot A(km^2)}{t_p(hr)} \quad (8)$$

Az egységárhullámkép meghatározható D időtartamra, ha a dimenziómentes görbe ordinátáit a számított maximális vízhozammal (Q<sub>p</sub>) és az ehhez tartozó idővel (t<sub>p</sub>) megszorozzuk. A dimenziómentes árhullámkép táblázatos formája helyett használhatjuk a gamma (Γ) eloszlás görbét is;

$$Q = Q_p \left[ \frac{t}{t_p} e^{1 - \frac{t}{t_p}} \right]^{n-1} \quad (9)$$

ahol Q<sub>p</sub> maximális vízhozam, t<sub>p</sub> az ehhez tartozó idő és n alaki paraméter, mely a vízgyűjtő típusától és a hozzá tartozó PRF értéktől függ (NRCS, 2007).

Általános leírás	PRF
Lakott terület, meredek lejtők	2,47
Tipikus SCS	2,08
Keverék lakott/nem lakott	1,71
Nem lakott, meredek	1,28
Nem lakott, közepes esés	0,85
Nem lakott, lapos	0,43

EÁ Paraméterek	
PRF	Gamma-fg n
0,671	1,50
1,020	2,00
1,283	2,50
1,502	3,00
1,692	3,50
1,864	4,00
2,023	4,50
2,083	4,70

3. táblázat, PRF és Gamma egységárhullám-paraméterek meghatározása

### Lefolyásképző csapadék

Mérésekkel megállapították a kezdeti veszteségek és a maximális tározás kapcsolatát, I<sub>a</sub>=0,2·S (Európában ennél kisebb értékkel számolnak). A lefolyásképző csapadék nagysága kifejezhető:

$$Q_{\text{lef}} = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (10)$$

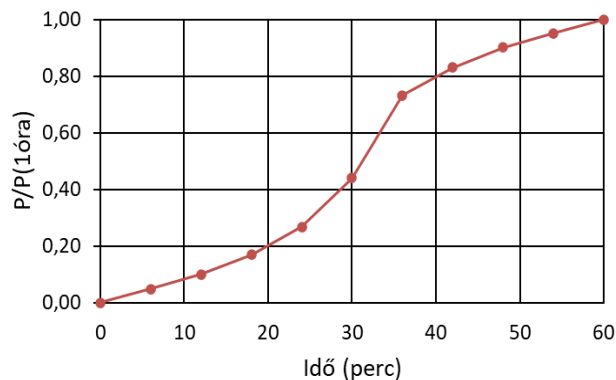
A lehetséges veszteségek, S és CN szám közötti összefüggés

$$S(\text{cm}) = \frac{2540}{\text{CN}} - 25,4 \quad (11)$$

ahol a CN (Curve Number) szám egy lefolyási tényező, és függ a felületi viszonyoktól, valamint a talajtípustól. CN nagysága 0 és 100 között lehet, alkalmazása  $30 < \text{CN} < 100$ .

### Csapadékeloszlás

A 24 órás dimenzió nélküli csapadékeloszlás legmeredekebb 1 órás szakasza, lett kiválasztva a lefolyásképző csapadék számításához.



8. ábra, 1 órás csapadék, dimenziómentes eloszlás

### 3.3.2 Wisnovszky – Ven Te Chow - eljárás

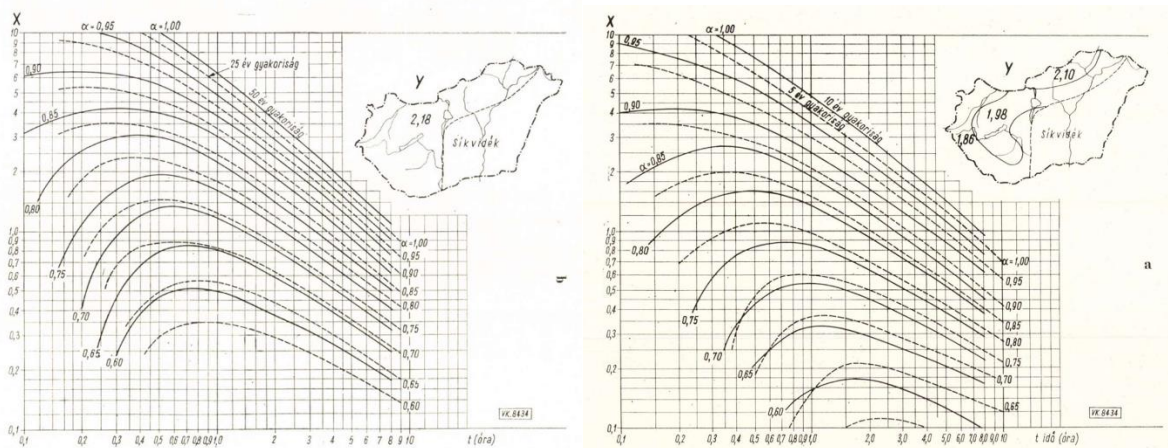
A Wisnovszky – Ven Te Chow-féle eljárással az árvízi csúcsvízhozam mellett a kialakuló árhullámkép alakja, ezáltal az árhullámtömeg is megbecsülhető különböző  $NQ_{p\%}$  előfordulási valószínűségekkkel. A módszer kifejezetten kisméretű vízgűjtők ( $A = 0-50 \text{ km}^2$ ) árvízhozamainak becslésére használható, ahol a szélsőséges vízjárási eseményeket döntően záporok okozzák (Chow, 1964; Wisnovszky. 1968). A módszer rendkívül nagy előnye, hogy árhullám képet is szolgáltat (Meretei, 2022).

Az eljárással az árhullám egyes időlépcsőinek vízhozama a

$$Q(t) = X * Y * Z * A \quad (12)$$

összefüggéssel számítható.

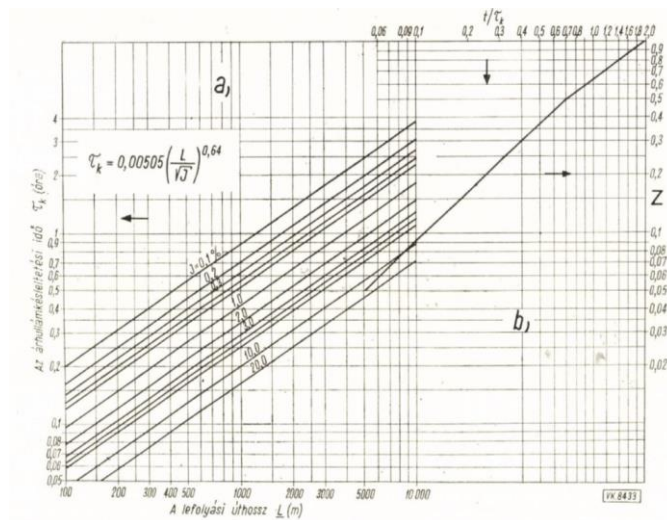
Az összefüggésben az egyes tényezők jelentéstartalma a következő: A módszer különböző  $NQ_{p\%}$  előfordulási valószínűségű árhullámok lefolyási viszonyainak becslésén alapul (X), amelyek grafikus nomogramok segítségével határozhatók meg. A nomogramok a következő ábrán láthatók:



9. ábra, Fajlagos vízhozamok becslő nomogramjai (Wisnovszky, 1968)

A görbeseregek egyes elemei a vízgyűjtőterület súlyozott lefolyási tényezőit reprezentálják, amelyet a terület művelési és felületi viszonyainak ismeretében határozhatunk meg.

A becslés egy állandó jellegű paramétere (Y), a csapadékviszonyokat jellemző tényező, értéke az előfordulási valószínűség, és a vízgyűjtő területi elhelyezkedésének függvényében 1.8 - 2.2 közötti. A „Z” csúcsredukciós tényező szintén nomogramról határozható meg a felvett időlépcső és az ún. árhullám-késleltetési idő hányadosának függvényében.



10. ábra, "Z" csúcsredukciós nomogram (Wisnovszky, 1968)

Az árhullám-késleltetési idő numerikusan és grafikusán is meghatározható a völgy hosszának és átlagos esésének ismeretében.

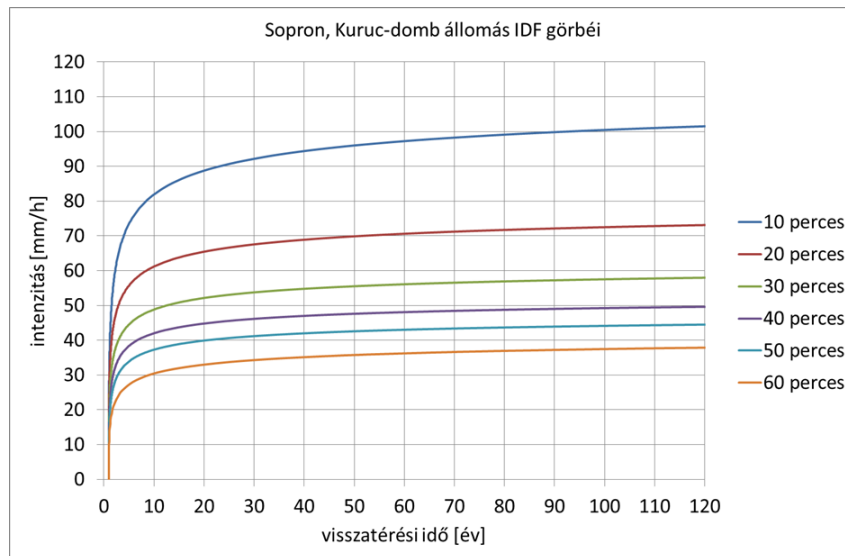
$$\tau_k = 0,005 * \left[ \frac{L}{\sqrt{I}} \right]^{0,64} \quad (13)$$

A módszer megbízhatósága, hasonló nagyságrendben a többi empirikus árvízszámítási módszerhez  $\pm 40\%$  körüli.

## 4. EREDMÉNYEK

### 4.1 Csapadék adatok

Az alábbi ábrán közöljük a 10-60 perces csapadékösszegek éves maximumainak eloszlásaira illesztett GEV (általánosított) eloszlásfüggvény segítségével kapott IDF görbéket a Sopron, Kuruc-domb állomásra.



11. ábra, Sopron - Kuruc-domb IDF görbék

A 11. ábráról leolvasható az adott (10-60 perc) intervallumú csapadéknál a mértékadó intenzitás és a hozzá tartozó átlagos visszatérési idő (év). A várakozásoknak megfelelően jól látható, hogy egy adott visszatérési időhöz nagyobb intervallumok esetén kisebb mértékadó intenzitások tartoznak.

Összehasonlításképpen mutatjuk az OMSZ által számított mértékadó intenzitás értékeket (kék színnel, mm/h-ban kifejezve).

intenzitás [mm/h]	10 perces	20 perces	30 perces	60 perces
1 éves 100%-os	36,8	28,9	22,6	15,0
2 éves 50%-os	57,3	43,5	34,9	22,7
4 éves 25%-os	68,9	51,6	41,3	27,0
5 éves 20%-os	71,8	53,7	42,9	28,1
10 éves 10%-os	79,6	59,1	46,9	31,0
20 éves 5%-os	86,0	63,5	50,1	33,5
50 éves 2%-os	93,0	68,2	53,3	36,1
100 éves 1%-os	97,4	71,1	55,2	37,8

4. táblázat, Mértékadó csapadékintenzitások, Sopron (Szerző saját szerkesztése: Kerék, G.)

## 4.2 Bemenő adatok

### 4.2.1 Felszínborítottság

Belterület	0,9	km <sup>2</sup>	3,7%
Rét, legelő	1,0	km <sup>2</sup>	4,1%
Lombhullató erdő	21,6	km <sup>2</sup>	92,3%

5. táblázat, Felszínborítottság, Rák-patak vízgyűjtő (Corine LandCover, 2012)

### 4.2.2 Vízgyűjtő adatok

Rák-patak Soproni vízmérce szelvényénél, 7+500 fkm		
A=	23,4	km <sup>2</sup>
L=	10,525	km
S=	2,336342	%
p=	1, 2, 5 és 10	%
EOVX:	461395	m
EOVY:	262225	m

6. táblázat, Vízgyűjtő-paraméterek, Rák-patak, Soproni vízmérceszelvény (Szerző saját szerkesztése: Kerék, G.)

## 4.3 Mértékadó vízhozam

Az egyes módszerekkel meghatározott  $NQ_{p\%}$  nagyvízhozamok összefoglaló táblázatát a következőkben közöljük. A számítások jelentős részét Meretei (2022) szakdolgozatának mellékletét képező excel munkafüzet segítségével végeztük.

	Év	100	50	20	10	
<b>Kollár (Koris, OVF) segédlet</b>						
Nyugodt (kiegyenlített) lefolyási viszonyokra	$Q_{p\%}$	2,42	2,04	1,57	1,24	m <sup>3</sup> /s
Átlagos lefolyási viszonyokra	$Q_{p\%}$	7,71	6,51	5,00	3,95	m <sup>3</sup> /s
Heves lefolyási viszonyokra	$Q_{p\%}$	24,04	20,29	15,61	12,33	m <sup>3</sup> /s
<b>Racionális módszer T=1 óra</b>	$Q_{p\%}$	17,61	16,75	15,41	14,22	m <sup>3</sup> /s
<b>T=150 perc</b>	$Q_{p\%}$	10,82	9,97	8,75	7,71	m <sup>3</sup> /s
<b>Wisnovszky - Ven Te Chow T=1 óra</b>	$Q_{p\%}$	31,70	21,09	13,52	8,47	m <sup>3</sup> /s
<b>T=87 perc</b>	$Q_{p\%}$	25,89	17,74	11,67	7,62	m <sup>3</sup> /s
<b>NRCS</b>	$Q_{p\%}$	6,34	5,87	5,14	4,50	m <sup>3</sup> /s
<b>Mért Idősor alapján (Fréchet-eloszlás)</b>	$Q_{p\%}$	<b>14,71</b>	<b>8,97</b>	<b>4,68</b>	<b>2,83</b>	m <sup>3</sup> /s

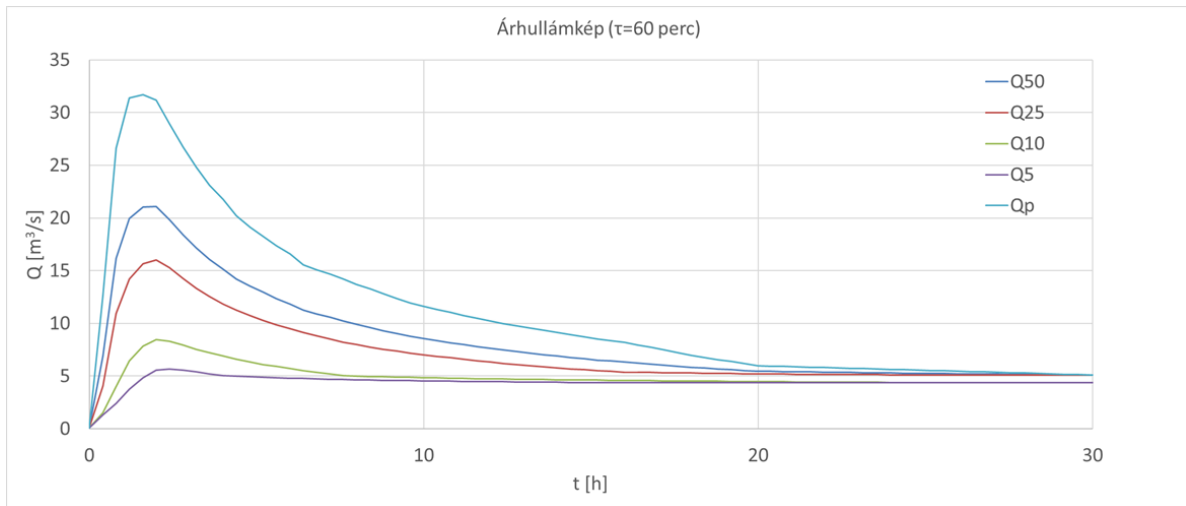
7. táblázat, Számított  $NQ_{p\%}$  nagyvízhozamok (Szerző saját szerkesztése: Kerék, G.)



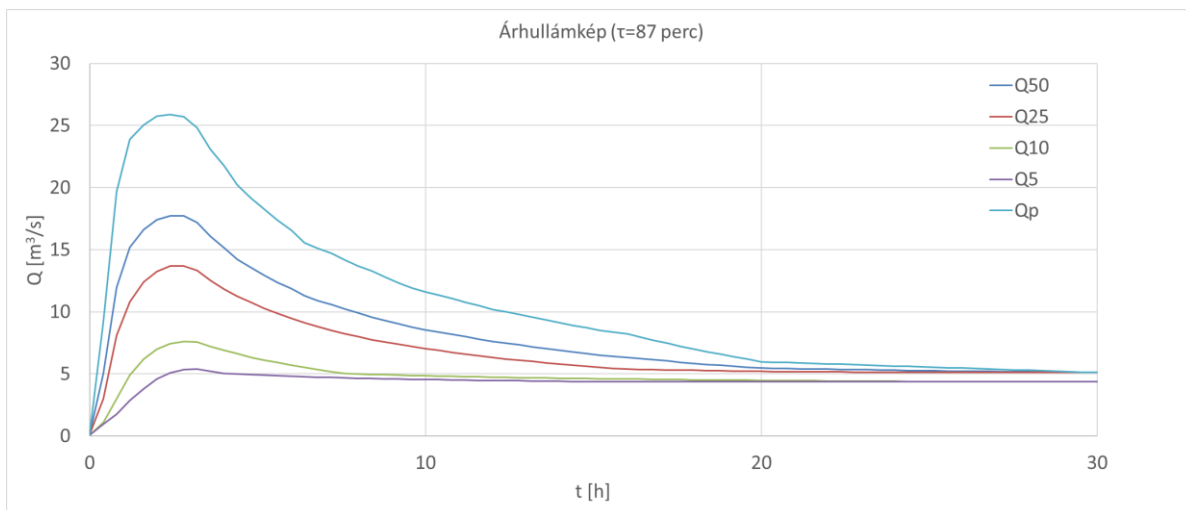
#### 4.4 Vízhozam idősor

##### 4.4.1 Wisnovszky- Ven Te Chow

A szóban forgó módszerrel meghatározott árhullámképek a következő grafikonokon (12. és 13. ábra) láthatók, csúcsvízhozamaikat pedig a 7. táblázatban tüntettük fel.



12. ábra, 60 perces összegyülekezési időhöz tartozó árhullámképek



13. ábra, 87 perces összegyülekezési időhöz tartozó árhullámképek

##### 4.4.2 NRCS

A vízhozam idősor meghatározásához először a lefolyásképző csapadékot, majd az egységárhullám alakjait paramétereit határoztuk meg. A táblázatban feltüntetett adatokat a terület arányában súlyoztuk.

Felszín borítottság	Terület arányok	Talaj	CN	PRF
Belterület	3,7	B	85	2,47

Rét, legelő	4,1	B	61	0,86
Lombhullató erdő	92,2	B	65	0,77

8. táblázat, NRCS-módszer, paraméterek meghatározása

A meghatározott gamma egységárhullám paramétere; PRF=0,84, és n=1,91. Az egységárhullámképet D=6 perces időtartalomra határoztuk meg. Az összegyülekezési időt az SCS módszerben gyakran alkalmazott késleltetési idő alapján számoltuk, melynek értéke  $t_c=532$  perc.

Az egy órás lefolyásképző csapadékot 10, 20, 50, és 100 éves visszatérési időre meghatároztuk

	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>10</b>
$Q_{lef}(mm)$	16,4	15,2	13,1	11,5

9. táblázat, Lefolyásképző csapadékok meghatározása

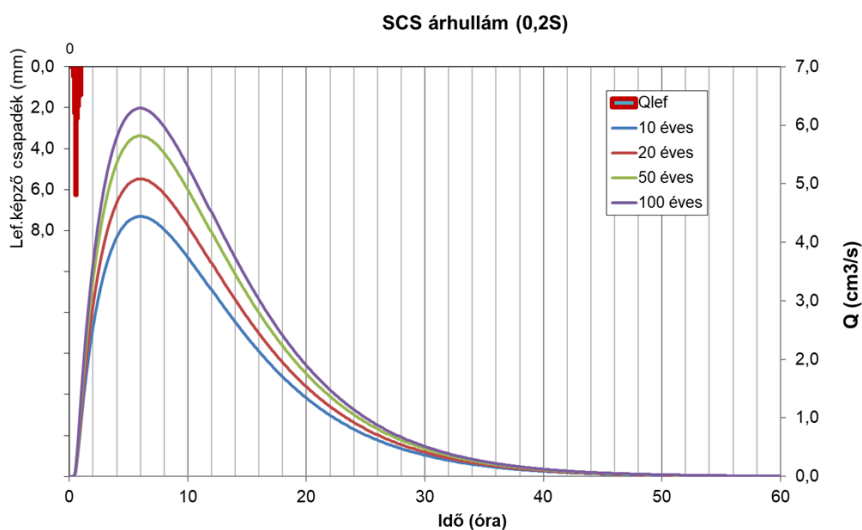
Az egy órás csapadékeloszlás, és lefolyásképző csapadék értékeit 6 perces időközönként meghatároztuk, és ennek alapján határoztuk meg az 1 órás csapadéokra a vízhozam idősort. Példaként a 100 éves visszatérési időre meghatározott csapadék idősor látható az 10. táblázatban.

idő(perc)	Csap (mm)	$Q_{lef}(mm)$
0	0,00	0,00
6	1,83	0,00
12	3,76	0,00
18	6,41	0,01
24	10,12	0,50

30	16,62	2,80
36	27,63	9,10
42	31,34	11,65
48	34,00	13,57
54	35,93	14,99
60	37,75	16,38

10. táblázat, T=100 év lefolyásképző csapadék

A vízhozam idősorokat 10, 20, 50, és 100 éves visszatérési idejű csapadékokra meghatároztuk, mely a 14. ábrán látható.



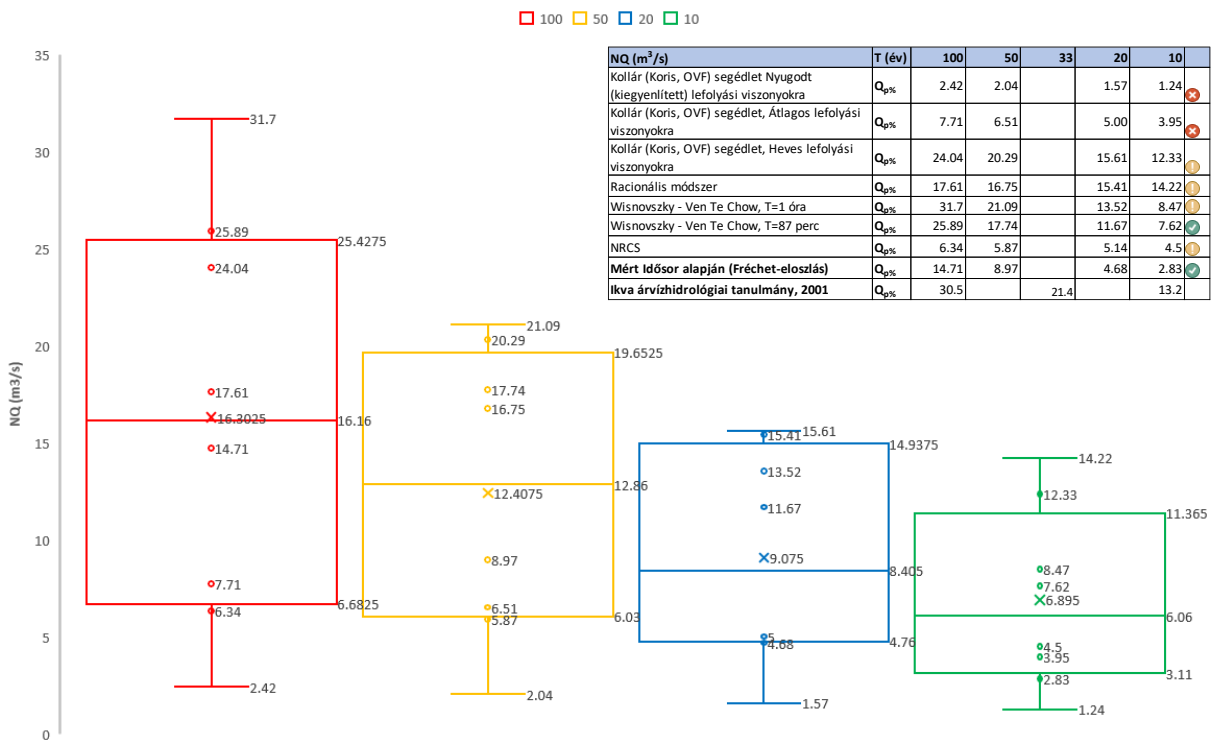
14. ábra, NQp% nagyvízhozamok, Sopron; NRCS-módszer

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányunkban a Soproni-hegység egy kisvízfolyása, a Rák-patak nagyvízhozamainak meghatározásának módszereivel foglalkoztunk, összehasonlítva a vízgyűjtőn mért vízhozamok statisztikai mértékadó vízhozamaival.

Az eredmények természetesen visszaigazolják a módszerek alkalmazhatóságával kapcsolatos ismert bizonytalanságokat és korlátokat. A számított  $NQ_{p\%}$ -os nagyvízhozamok a jelentős abszolút értékű eltérések ellenére mutatnak törvényszerűségeket. Az egyes visszatérési időkhöz tartozó értékeket Box-Whisker plot módszerrel ábrázolva (15. ábra) kvalitatív jellegű minősítéseket tehetünk az egyes módszerek használhatóságának vonatkozásában.

RÁK-PATAK, SOPRON; EMPIRIKUS ÁRVÍZSZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK ÖSSZEVETÉSE



15. ábra, Empirikus árvízszámítási módszerek összevetése

Alapul véve a mért/számított vízhozam-idősorok alapján eloszlásvizsgálat eredményeit, az ábra alapján a Wisnovszky-Ven Te Chow módszer saját paraméterkészletével becsült  $NQ_{p\%}$  értékek tűnnek általánosan alkalmazhatónak, a rövidebb összegyülekezési idővel meghatározott értékészlet a magasabb visszatérési idők tartományában irreálisan magas értékeket ad. A racionális módszerre hasonló megállapításokat tehetünk, csak a nagyobb valószínűségű vízhozamok tartományában. A módszer itt túlzottan magas jellemző értékeket produkál. A Kollár-féle módszer csak a heves vízjárásstartományban ad reális vízhozamokat, ennek használata az átlagos és a nyugodt vízjárású tartományban nem javasolt. Általánosan alacsony jellemző vízhozamokat produkál az USA-ban kifejlesztett egységárhullám-eljárás, amit vélhetően az eltérő lefolyási viszonyokra kalibrált paraméterkészlet okoz.

A vizsgálatok következtetéseként a módszerek további vizsgálatát tűzzük ki célul, hogy a mérnöki-tervezési gyakorlat számára elérhető adatokra épülő robusztus, megbízható eljárásokat tudjunk fejleszteni, ami a későbbi infrastrukturális fejlesztések egyik alapja lehet.

Felhasznált szakirodalom:

SCS /Soil Conservation Service/ (1986) "Urban Hydrology for Small Watersheds" *Technical Release 55*, Washington D.C.

NRCS /Natural Resources Conservation Service/ (2007) H\_210\_NEH\_630 -Part 630- Hydrology, National Engineering Handbook,  
<https://directives.sc.egov.usda.gov/viewerfs.aspx?hid=21422>

Koris K. (2021) Magyarország kisvízfolyásainak árvizei. Budapest, Országos Vízügyi Főigazgatóság.

Koris K., Kontur I., Winter J. (1993) Hidrológiai számítások. Budapest, Akadémia kiadó, ISBN 963 05 6502 1.

McCuen, R. H. (2003), *Hydrologic analyses and design*, 2nd edition Prentice-Hall, Inc.  
Meadows, M.E. (2020) South Carolina Unit Hydrograph Method Applications Manual, FHWA-SC-20-02

Wisnovszky I. (1968) A dombvidéki kis vízgyűjtő területeken összegyülekező árvizek számítása. Vízügyi közlemények, 50. évfolyam, 4. füzet, 510-538. pp.

Szalóczy L. (2001) Kisvízfolyásokra települt tavak méretezési módszerei. Szakdolgozat, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

Meretei G. (2022) Mértékadó árvízszámítás empirikus módszereinek elemzése és automatizálása. Szakdolgozat. Nemzeti Közszerológiai Egyetem, Víz tudományi Kar, Baja.

Chow, V. T. (1964) Handbook of Applied Hydrology: A Compendium of Water-resources Technology, 1st Edition. McGraw-Hill. ISBN-13: 978-0070107748, ISBN-10: 0070107742. 147-152. p

Dövényi (szerk.), 2010: szerk.: Dövényi Zoltán: Magyarország kistájainak katasztere, az első kiadást szerkesztette: Marosi Sándor és Somogyi Sándor, Második, átdolgozott és bővített kiadás (magyar nyelven), Budapest: MTA Földrajztudományi Kutatóintézet (2010). ISBN 978-963-9545-29-8

SopronMédia - Sopron hol eltűnő, hol felbukkanó vize: a Rák-patak, 2022. február 17.  
<https://www.sopronmedia.hu/cikkek/sopron-hol-eltuno-hol-felbukkano-vize-a-rak-patak>  
letöltve: 2023. április 30.

Országos Vízügyi Főigazgatóság - Magyarország első Vízyűjtő-gazdálkodási Terve (VGT)  
<https://vizeink.hu/korabbi-vizgyujto-gazdalkodasi-tervek/vizgyujto-gazdalkodasi-terv/>