

## Esemény alapú csapadék-lefolyás modellezés különböző típusú csapadékatatok használatával

Négyesi Klaudia\*, Nagy Eszter Dóra\*\*

\* Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, doktorandusz  
(e-mail: negyesiklaudia@edu.bme.hu)

\*\* Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, tanársegéd  
(e-mail: nagy.eszter@emk.bme.hu)

[DOI:10.59258/HK.12339](https://doi.org/10.59258/HK.12339)



### Kivonat

Csapadék-lefolyás modellezés esetén elengedhetetlen, hogy a felhasznált bemenő adatok minősége megfelelő legyen, beleértve a csapadék adatokat is. Napjainkban számos forrásból érhetőek el adatok, azonban ezek minősége és kezelhetősége eltérő lehet. Jelen kutatás két céllal készült: elsődleges cél a különböző forrásokból származó, eltérő típusú csapadékatatok használatának vizsgálata csapadék-lefolyás modellezés során, közepes méretű vízgyűjtők esetén. A kutatás további célja egy ingyenesen elérhető talajfizikai paramétereket tartalmazó adatbázis alkalmazása és annak alkalmazhatóságának minősítése. A vízgyűjtő modellt ArcGIS és HEC-GeoHMS programok, míg a csapadék-lefolyás modellt a HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System*) szoftver segítségével állítottuk elő, mely determinisztikus, esemény alapú és összevont paraméterű. A modellezett események a vizsgált területen 2009 és 2016 között bekövetkezett árhullámok, vízgyűjtőnként kilenc darab. A modellbe bekerülő csapadékatatok felszíni csapadékmérő állomásokról, reanalízis adatbázisból, illetve a NASA által szolgáltatott ingyenesen elérhető műholdas adatbázisból származnak. A modell kalibrálása és igazolása a lefolyási mennyiségekre, illetve az árhullámok alakjára és a tetőzések időpontjaira is megtörtént. A modelleredmények alapján részletesen összehasonlításra kerültek a vizsgált adatforrások. A kezelhetőség, a felbontás, a lefolyási hányadok szórása és a kalibrálhatósági szempontok alapján értékeltük a különböző csapadékatatok alkalmazhatóságát. Az eredmények összesítését követően látható, hogy a vizsgált szempontok súlyozása nélkül a NASA műholdas adatok bizonyulnak a legmegfelelőbbnek. Ugyancsak megállapítható, hogy a talajfizikai adatbázisból származó értékeket kalibrálni szükséges.

### Kulcsszavak

Csapadékatatok, csapadék-lefolyás modellezés, esemény alapú, összevont paraméterű, talajfizikai paraméter, Sorok-Perint, reanalízis, műhold.

## Event-based rainfall-runoff modelling using precipitation data from various sources

### Abstract

In the case of rainfall-runoff modelling, the quality of the applied input data is an essential factor, especially concerning the precipitation time series. Nowadays, many databases are available, but their quality and applicability might differ significantly. The research has two main aims: to examine the suitability of different precipitation data sources in the case of rainfall-runoff modelling of medium-sized watersheds and to examine the applicability of physical parameters of the soil using a free online map stock. The catchment delineation was performed using ArcGIS and HEC-GeoHMS while the rainfall-runoff models were built in HEC-HMS software. These models are deterministic, event-based and lumped. The modelled events – nine for each watershed – occurred between 2009 and 2016 in the study area. Gauging station, reanalysis and satellite data were used in the model. The model was calibrated and validated for runoff quantities, the shape of the hydrograph and the time of the peak discharge. Based on the results, the different data sources were compared in detail based on the aspects of manageability, resolution, the standard deviation of runoff rates, and the difficulty of calibration. After summarizing the results, it can be seen that without weighting the examined aspects the satellite data proved to be the most suitable. It can also be stated that the applied soil data can be used for modelling, however, the parameters require calibration.

### Keywords

Rainfall data, rainfall-runoff modelling, event-based, lumped parameters, soil parameters, Sorok-Perint, reanalysis, satellite.

### BEVEZETÉS

Napjainkban az informatika rohamos fejlődése lehetővé tette a részletesebb és pontosabb modellek felépítését, így a hidrológia területén is egyre több számítógépes modellt alkalmaznak. Mindezeket már nemcsak kutatási célokra használják, hanem tervezési feladatok, hatástanulmányok során is alkalmazhatók a mérnöki gyakorlatban. A hidrológiai modellek legfontosabb eleme a csapadék (*McMillan és társai 2011*). A csapadékatatok közül a legpontosabbnak a felszíni állomásokon mért adatokat tekinthetjük. Azonban ezen adatok sok esetben korlátozott mennyiségben érhetőek el kutatási célra, illetve számos vízhozam

adattal rendelkező vízgyűjtőre nem áll rendelkezésünkre felszíni csapadékmérő állomás. Amennyiben több vízgyűjtőre vonatkozóan végzünk el vizsgálatokat, fontos szempont, hogy a fellelhető adatok beszerzése jár-e költségekkel. Mivel manapság számos ingyenesen elérhető csapadéktermék található, nem mindig egyértelmű, melyik adattípus a legmegfelelőbb adott esetben. A döntést segíthetik az olyan összehasonlító tanulmányok, mint a jelen kutatás. Munkánk elsődleges célja a különböző forrásból származó csapadékatatok jellemzése, illetve azok alkalmazhatóságának vizsgálata eseményalapú csapadék-lefolyás modellezés esetén. A csapadékatatok minősége kulcsfon-

tosságú, ugyanis megfelelő adatok nélkül a csapadék-lefolyás modellek nem adhatnak megbízhatóan pontos eredményeket. A csapadék-lefolyás modellezés egyik legalapvetőbb adatforrása napjainkig is a felszíni mérőállomásokról származó csapadékat. Azonban ezen adatokat is számos forrásból származó hiba terhelheti: a műszerek lehetséges hibáin felül a szél tulajdonságai is befolyásolhatják a mérések értékeit, illetve a csapadékontenzitás növekedésével párhuzamosan bizonyos hibák értékei is növekedhetnek. Mindemellett a csapadék mennyisége és intenzitása is változhat térben és időben is, emiatt a felszíni állomások pontbeli méréseit szükséges lehet interpolálni a vízgyűjtők területén (Beven 2012). Alternatív csapadékat források lehetnek a radar, műhold, illetve reanalízis alapú adatbázisok, melyeknek szintén mérlegelendőek az előnyeik és a hátrányaik. Utóbbi adattípus lényege, hogy a különböző forrású mért adatokat (például a felszíni állomások adatait, illetve a műholdas adatokat), valamint a modellfuttatások eredményeit együttesen alkalmazzák az idősorok előállításához. Habár főleg az elmúlt években egyre több olyan nemzetközi tanulmány jelent meg, amelyek összehasonlítanak egy-egy csapadékat típust akár hidrológiai modellek segítségével (Biggs és Atkinson 2011, Price és társai 2014, Niemi és társai 2017, Dybro Thomassen és társai 2022, Moges és társai 2022, Reis és társai 2022), a szerzők legjobb tudomása szerint mégsem jelent meg olyan tanulmány, amely többféle forrásból származó adatok széleskörű összehasonlítását tartalmazná csapadék-lefolyás modellezés szempontjából, ez igaz a magyarországi vízgyűjtőkre is.

A csapadék-lefolyás modellezés sikerességének kulcsa a lefolyásképző csapadék számítása, melynek fontos eleme a már említett csapadékat minősége, mindemellett pedig az alkalmazott modell típusa, illetve a modell számítási lépései. A modelleket osztályozhatjuk az eredmények jellege, a folyamatok leírása, az időbeliség és a térbeli felbontás szerint is, mindez befolyásolhatja a modell eredményeit. Azonban az egyik leglényegesebb tényező a lefolyásképző csapadék számítása esetén a veszteség módszerek paraméterei, melyek a talaj jellemzőitől, nedvességi állapotától függenek, ugyanis ezek jelentősen befolyásolják a szimulációs eredményeket (Hegedüs és társai 2013). A kutatás ugyancsak hangsúlyos eleme az ingyenesen elérhető talajfizikai paraméterek MTA ATK EU Soil Hydro Grid adatbázisának alkalmazása (Tóth és társai 2017). Külföldön, illetve hazánkban is az adatbázis több kutatásban is alkalmazásra került (Kozma és társai 2019, Yang és társai 2019, Fraga és társai 2020, Yang és társai 2020), azonban célzottan csapadék-lefolyás modellekben történő alkalmazhatóságának minősítése nem történt meg, amely jelen tanulmányban elkészült. Az adatbázisban a paraméterek összesen hét mélységben érhetőek el egészen két méter mélységig. A térképek legjobb felbontása 250 méteres, adataik az Európai Hidrológiai Adatbázisból származnak feldolgozás és kalibrálás után, amelyet 18 európai ország 18 000 talajmintája alapján készítettek el.

A vizsgálatok elsődleges célja a felderített csapadék-adat források összehasonlítása, illetve ezen adatforrások közül a felszíni csapadékmérő állomások, műholdas és re-

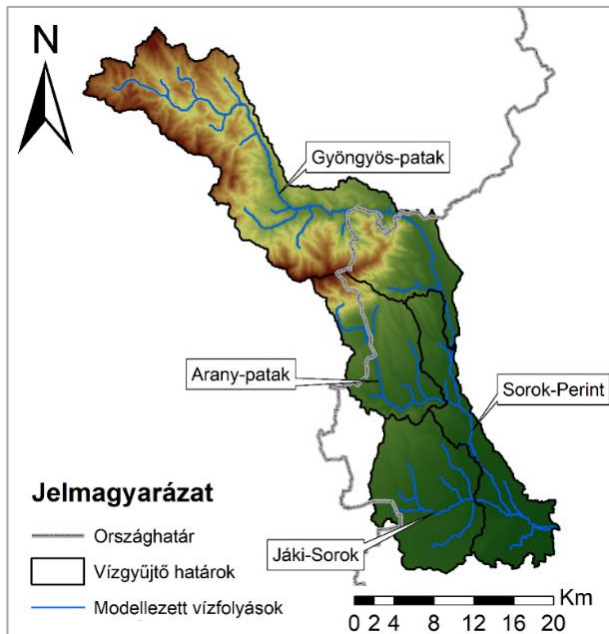
analízis adatok segítségével történő modellfuttatások vizsgálata kettő hazai, közepes méretű vízgyűjtő esetén a HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System*) szoftvert alkalmazva. A HEC-HMS egy amerikai fejlesztésű, ingyenesen letölthető program, amelynek segítségével teljes hidrológiai folyamatokat lehet szimulálni. A szoftver rendelkezik a hagyományos hidrológiai analízis eljárásokkal, mindemellett pedig grid alapú adatok felhasználásáért is lehetővé teszi. A vizsgálatok eredményeként megállapítható, hogy az alkalmazott csapadékat források milyen előnyökkel és hátrányokkal rendelkeznek a különböző szempontok szerint. A vizsgálatok másodlagos célja az MTA ATK EU Soil Hydro Grid adatbázis talajfizikai paramétereinek alkalmazása és minősítése.

## VIZSGÁLT TERÜLET BEMUTATÁSA

A modellezésre kiválasztott vízgyűjtők a Jáki-Sorok, Arany-patak és a Sorok-Perint. Fontos megjegyezni, hogy a Szombathely térségében található Gyöngyös-patak mesterséges vízkormányzásából származó vízhozama jelentősen befolyásolja a Sorok-Perint esetén a modell eredményeket. Gencsapáti községnél a Gyöngyös-patak vizei megosztásra kerülnek, melynek során zsilipen keresztül szabályozva a kisvizek (maximum  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  vízhozammal) a Gyöngyös-műcsatornába kerülnek, a nagyvizek pedig oldalbukón keresztül a régi természetes mederbe jutva Sorok-Perintként tovább folyva Zsennye községnél a Rábába csatlakoznak. Az említett okokból kifolyólag a Gyöngyös-patak nem képezi a modell részét, csupán vízhozamát vetjük figyelembe. A Sorok-Perint, a Jáki-Sorok és az Arany-patak vízgyűjtői összesen körülbelül  $350 \text{ km}^2$ -t tesznek ki. A Gyöngyös-patak vízgyűjtőjének területe  $341 \text{ km}^2$ , míg a Jáki-Sorok  $132 \text{ km}^2$ , a Sorok-Perint  $114 \text{ km}^2$ , illetve az Arany-patak  $106 \text{ km}^2$  vízgyűjtő területtel rendelkezik. A modellezéshez hazai viszonylatban közepes méretűnek tekinthető vízgyűjtő terület kiválasztása volt a cél, amely feltételnek megfelelnek az említett vízgyűjtő területek. A kiválasztásnál szempont volt, hogy a vízgyűjtő terület nem lehet túl kicsi, hogy a rásztercs csapadékforrások esetén ne egy cellába essen a vízgyűjtőterület, illetve nem lehetett túl nagy, elkerülendő a modell bonyolultságát és a túl változékony csapadékat a vízgyűjtőn belül. A vízgyűjtők az 1. ábrán láthatóak.

Elhelyezkedésüket tekintve, a modellezett területek az ország nyugati részén találhatóak. A vizsgált részvízgyűjtők közül egyedül a Sorok-Perint található meg teljes mértékben az ország határain belül. A magyarországi vízgyűjtő területek a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatósághoz tartoznak.

A modellezett vízgyűjtők országhatáron belüli területeire jellemző az összefüggő és nem összefüggő városi településszerkezet és az ipari vagy kereskedelmi területek előfordulása, különösen Szombathely környékén. Szombathely területén kívül a vízgyűjtőkön a nem öntözött szántóföldek a dominánsak. Az országhatárhoz közelítve találhatóak lomblevelű és tűlevelű erdők, emellett kis mértékben szőlősök és gyümölcsösök, illetve komplex művelési területek (CORINE 2019).



1. ábra. A vizsgált vízgyűjtő területek  
Figure 1. The examined catchments

Az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet agropográfiai térképsorozat „fizikai féleség” térképéről megállapítható, hogy szinte majdnem a teljes terület vályogos, a Gyöngyös-patak vízgyűjtőjének déli részén találhatóak nagyobb területen nem, vagy részben mállott durva vázrészek. Elhanyagolhatóan kis területen mindemellett homokos vályog is fellelhető. Megállapítható, hogy a vízgyűjtő területeken a közepes víznyelésű és vízvezető-képességű, nagy vízraktározó-képességű, jó víztartó talajok a legjellemzőbbek (AGROTOPO 2019).

## FELHASZNÁLT ADATOK

A tanulmányhoz rendelkezésre álltak az Arany-patak, Gyöngyös-patak, Jáki-Sorok és Sorok-Perint változó időközönkénti (átlagosan 15 perces) vízhozam idősorai 2001. január 1-től 2017. december 31-ig, Szombathely-Olad, Kőszeg, Kisunyom és Sorkifalud állomásokról (NYUDUVIZIG 2020). Mindemellett feltérképezésre került összesen hat különböző csapadékadat forrás, melyek közül összesen három adattípust vizsgáltunk szimulációk segítségével. A vizsgálatok részét képezték a felszíni csapadékmérő állomások adatai, mely a magyarországi állomások esetén az Országos Meteorológiai Szolgálat adatbázisából származtak. Ezen adatokat az állomásokat kezelő Nyugat-Dunántúli Vízügyi Igazgatóságtól igényeltük (NYUDUVIZIG 2018). Emellett a vizsgálat kiterjedt az ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) reanalízis (C3S 2019) és a NASA műholdas adatbázisára (NASA Global Precipitation Measurement 2020). A kutatás további elérhető adatforrásai lehetnének a H-SAF műhold, az OMSZ radar és az OMSZ immáron ellenőrzött, nyilvánosan elérhető felszíni csapadékmérő állomások produktumai. Utóbbi adatbázis esetén fontos kiemelni, hogy habár az elsődleges adatellenőrzésen átesetek, nem mentesek a mérési körülmények változásából (állomás áthelyezése, műszercsere, mérési időpont változása stb.) fakadó inhomogenitásoktól. Az említett további adatforrások részletes vizsgálata nem képezi jelen kutatás részét, az

alkalmazhatóságuk későbbiekben bemutatott jellegzetességei miatt.

## Felszíni csapadékmérő állomások adatai

Az első adatforrást a felszíni csapadékmérő állomásokon rögzített idősorok jelentették. A terület kellő lefedéséhez hat állomás adata állt rendelkezésre, név szerint a Górá, Répcevis, Szombathely és Felsőcsatár magyarországi NYUDUVIZIG által kezelt állomások (NYUDUVIZIG 2018), illetve Hirschenstein és Dürnbach im Burgenland osztrák állomások adatai (Hydrographischer Dienst Burgenland 2019). Az állomások adatai eltérő időintervallumokban és mérési időpontokban álltak rendelkezésre. Az adatok feldolgozása során elvégeztük az állomásokon mért csapadékok területi átlagolását. Ehhez a medián módszert (más néven Thiessen poligon módszert) alkalmaztuk. Az adatok kezelése MATLAB szoftver segítségével történt. Az adattípus előnye a könnyű feldolgozhatóság, azonban jelen vizsgálatban a magyarországi állomások ellenőrzetlen adatai álltak a rendelkezésünkre. Habár az adatok legjobb tudomásunk szerint nem estek át minőségellenőrzésen, a kutatás során az adatsorokat vizsgáltuk, így az elemzésekhez olyan események kerültek kiválasztásra, amelyek nem rendelkeztek látható mérési hibával.

## ECMWF adatbázis

Az ECMWF egy független, számos európai ország által támogatott szervezet, amely úgynevezett reanalízis adatokat is szolgáltat, tehát a különböző forrású adatokat (például a felszíni állomások adatait, illetve a műholdas adatokat) interpolálják egy egységes rácsálózatra. Az adatok időbeli felbontása órás, térbeli felbontása  $0.1^\circ$  ( $\sim 9$  km), illetve 1950-től napjainkig érhető el az adatok. A vizsgálatban felhasznált produktum a C3S ERA5 (C3S 2019). Az ECMWF háló rácsai lefedik a vizsgált vízgyűjtő területet, amelyeket így több alrészre bontanak. A HEC-HMS szoftver lehetőséget nyújt olyan meteorológiai modell létrehozására, amelyben területarányosan súlyozhatjuk a vizsgált vízgyűjtőinkhez tartozó adatokat. Az ECMWF hálórácsából származó részterületek értékeivel súlyoztuk a hálórács csapadék adatait, így ezek összege teszi ki a vízgyűjtő területen belül a modellbe bekerülő csapadék adatokat. Az adatbázis előnye, hogy homogén és teljes, azaz nincsenek adathiányos helyek vagy időszakok, így olyan vízgyűjtők esetén is alkalmazható, ahol nincsenek felszíni csapadékmérő állomások. Mindemellett az adatok ingyenesen elérhetőek és letölthetőek közvetlenül az adatbázisból. Az ECMWF adatok hátránya, hogy az interpoláció során a térben változó adatok simításra kerülhetnek, azaz például az extrém csapadékkéntzítések csökkenhetnek a valósághoz képest. A kis térbeli kiterjedésű csapadékeseményeket szintén nem feltétlenül tudja visszaadni az adatbázis a mérések hiánya vagy a durva rácsfelbontás miatt.

## NASA műholdas adatbázis

A NASA egy olyan algoritmust használ, melynek célja interkalibrálni, azaz egybevonni és interpolálni minden műholdas mikrohullámú csapadék becslést a mikrohullám-kalibrált infravörös műholdas becslésekkel, a csapadékmérő állomások elemzéseivel és a potenciális egyéb csapadékbecslésekkel. Az algoritmus segítségével több számítás is elvégezhető minden megfigyelési időszakra,

először egy gyors becslést adva (*IMERG early run*), majd több beérkező adat után pontosított eredményeket (*IMERG late run*) kinyerve ameddig nem ér el az utolsó pontosításig (*IMERG final run*), amit már felhasználnak kutatásokhoz is. A vizsgálatokban használt csapadékatok az utóbbi pontosított, úgynevezett „*final run*” adatbázisból származnak (*NASA Global Precipitation Measurement 2020*). Az adatok térbeli felbontása ez esetben is  $0,1^\circ$ -os (~9 km-es), míg az időbeli felbontása 30 perces. Az adatok 2000 júniusától napjainkig érhetőek el a teljes glóbuszra, így a modellhez az események időintervallumaira tölthetjük le a vízgyűjtő területek csapadékatadatait az általunk kívánt térbeli kivágatra. Mivel az adatok térbeli felbontása megegyezik az ECMWF adatbázis térbeli felbontásával, így az ECMWF adatok rács-hálója szintén alkalmazható volt ezen adattípus esetén is, avagy az adatok feldolgozása és bevitele a modellbe ugyanazon elven történt. Az ECMWF adatokhoz hasonlóan a NASA adatbázis hátránya lehet a térben változókéony adatok elsimítása az interpolációs eljárás során, illetve a műholdas mérések hibája lehet, hogy a hidegebb időszakokban alulbecslik a csapadék mennyiségét (*AghaKouchak és társai 2011*). Azonban az adatállomány nagy előnye, hogy az adatokat ellenőrzik, illetve ingyenesen elérhetőek a NASA hon-

lapjáról, kiválasztva a kívánt formátumot, paramétereket, időintervallumokat, illetve területet.

### Adatok összegzése

Az 1. táblázatban látható az adatok jellemzőinek összegzése a fájlok típusairól, lekérdezéséről, kezelhetőségi nehézségéről és feldolgozási lehetőségeiről. Ahogyan az a táblázatban is látható, a legkönnyebb kezelésű adatok a vízhozam, illetve felszíni csapadékatok, melyeket bármely átlagos felhasználó akár Excelben is fel tud dolgozni, amíg a H-SAF műhold és az OMSZ radar adatokat nehezen kezelhetőnek ítéltük. Ezeknek az adatoknak az esetén kiemelendő probléma a különböző fájlformátumok közötti átjárás, illetve, hogy a kezelésük egészen magas szintű programozási és szoftver ismereteket igényelnek. Mivel az elérhető adatok nagyon változatos képet mutatnak, mindenféleképpen érdemes vizsgálni a használhatóságukat. Fontos kiemelni, hogy a legmegfelelőbb, felszíni adatok helyettesítésére alkalmas adatforrás kiválasztásához elengedhetetlen a modell célok ismerete, a kezelhetőség és a felbontás nem elég szempont ennek eldöntésére. Az 1. táblázatban a szürkével jelölt adatok a jelenlegi kutatás során a modellezéshez fel nem használt, de a jövőben a további, lehetséges adatforrásokat jelölik.

1. táblázat. A vízrajzi adatok kezelési nehézségének megítélése  
Table 1. Rating the usage difficulty of the hydrographical data

| Adat                                  | Fájl típus   | Lekérdezhetőség |      |                    | Kezelhetőség nehézsége | Használt szoftver          | Feldolgozás feladatai  |
|---------------------------------------|--------------|-----------------|------|--------------------|------------------------|----------------------------|--|
|                                       |              | Idő             | Tér  | Ideje              |                        |                            |  |
| <b>Vízhozam VIZIG</b>                 | xls          | igen            | igen | ~ 1 hét            | nagyon könnyű          | Excel, MATLAB              | adatok ellenőrzése kiugró v. negatív értékek miatt, órás időintervallumok létrehozása          |
| <b>OMSZ felszíni (ellenőrizetlen)</b> | xls          | igen            | igen | ~ 1 hét            | könnyű                 | Excel, MATLAB              | adatok ellenőrzése, órás időintervallumok létrehozása, medián módszer alkalmazása              |
| <b>ECMWF reanalízis</b>               | netcdf, grib | igen            | igen | pár óra            | közepes                | ArcGIS, MATLAB             | hálórács létrehozása, adatok kiolvasása, területi súlyozás                                     |
| <b>NASA műhold</b>                    | netcdf       | igen            | igen | azonnal letölthető | közepes                | Wget, ArcGIS, MATLAB       | adatok letöltése Wget segítségével, hálórács létrehozása, adatok kiolvasása, területi súlyozás |
| <b>H-SAF műhold</b>                   | grib         | igen            | nem  | ~ 1.5 hét          | nehéz                  | ArcGIS, MATLAB             | adatok konvertálása, hálórács létrehozása, adatok kiolvasása, területi súlyozás                |
| <b>OMSZ radar</b>                     | broo         | igen            | nem  | ~ 1 hónap          | nehéz                  | ArcGIS, MATLAB/<br>C prog. | programozás fájlok beolvasására, területi súlyozás   |
| <b>OMSZ felszíni (ellenőrzött)</b>    | xls          | igen            | igen | azonnal letölthető | könnyű                 | Excel, MATLAB              | adatok ellenőrzése, órás időintervallumok létrehozása, medián módszer alkalmazása              |

### AZ ALKALMAZOTT MODELL FELÉPÍTÉSE

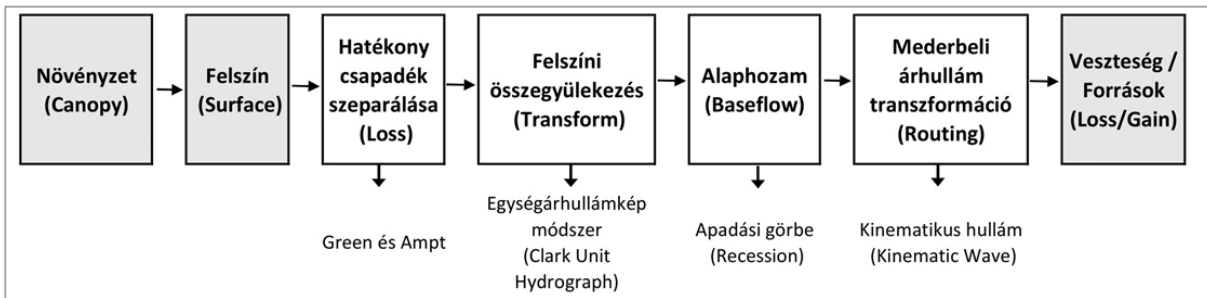
A kutatásban alkalmazott csapadék-lefolyás modell összevont paraméterű, determinisztikus és eseményalapú. Kiemelendő tulajdonság az eseményalapú modellfuttatások alkalmazása, ugyanis a hosszú idejű futtatással ellentétben ekkor nem szükséges az olyan folyamatok modellezése, melyek hosszú távon mutatkoznak meg a mért értékekben, ezzel elkerülhető számos további paraméter bekerülése a modellbe, melyek kalibrálást igényelnének. Fontos azonban, hogy eseményalapú modellezés során meg kell adnunk a kezdeti víztartalmat és az alaphozamot (mért értékekből), mint kezdeti feltételt. A modell felépítése a HEC-HMS szoftverben a már említett bemeneti adatokból és paraméterekből, a vízgyűjtő modellből és a meteorológiai

modellből áll. A vízgyűjtő modellt az ArcGIS szoftver HEC-GeoHMS eszköztárával hoztuk létre. A lehatároláshoz az EU-DEM terepmodellt használtuk, melynek cellamérete  $25 \times 25$  méteres (*Négyesi 2020*).

A meteorológiai modellben megadhatóak a mért csapadékatok idősorok, melyek az ECMWF és NASA adatok esetén cellánként, a felszíni mérések esetén állomásonként kerültek a modellbe. Mindhárom esetben szükség volt a súlyozott átlag számítására, a felszíni állomások esetén a medián módszert alkalmaztuk, míg a másik két adattípus esetén a cellák által fedett vízgyűjtő területet számítottuk. A modellezett pár napos időszakok esetén a lefolyás mértékéhez képest elhanyagolhatónak tekintettük a párolgást,

mely eseményalapú modellezés esetén nem vezet számottevő hibához. Az események fagymentes időszakból (áprilistól októberig) kerültek kiválasztásra, így a hóolvadás számítására sem volt szükség. A 2. ábra fehér színnel ismerteti az alkalmazott számítási lépéseket a HEC-HMS

megfelelő moduljainak segítségével, illetve bemutatja, milyen módszerek kerültek kiválasztásra az adott lépés számításához. A szürkével jelölt lépéseket jelen HEC-HMS modell esetén nem számoltuk, ezen veszteségek értékét a hatékony csapadék szeparálásánál vettük figyelembe.



2. ábra. A HEC-HMS számítási moduljai  
Figure 2. The calculation modules of HEC-HMS

A hatékony csapadék szeparálási módszerek közül az úgynevezett Green and Ampt módszert használtuk, mivel ez a módszer alkalmazza az általunk vizsgálni kívánt talajfizikai paramétereket. A Green and Ampt módszer lényegében az egyszerűsítése a Richards egyenletnek, ami egy nedvesség-transzport egyenlet a telítetlen porózus közegben zajló folyadékmozgás leírására (Freeze és Cherry 1979). A Green and Ampt módszer azt feltételezi, hogy a talaj kezdetben egységes nedvességtartalommal rendelkezik és a beszivárgás az úgynevezett csappantyú elmozdulással jön létre (Donovál és Lédai 2013). A HEC-HMS szoftverben a Green and Ampt módszerhez szükséges paraméterek a kezdeti víztartalom, a veszteség nélküli területek (avagy burkolt felületek) aránya, a maximális vízkapacitás, a levegő belépési szívás és a szivárgási tényező értéke. A kezdeti víztartalom eseményenként változott, míg a veszteség nélküli területek aránya 0 értéket kapott a modellben, ugyanis ennek értéke szintén figyelembevételre került a hatékony csapadék meghatározás esetén. A maximális vízkapacitás, a levegő belépési szívás és a szivárgási tényező értéke a már említett EU Soil Hydro Grid adatbázis segítségével került megadásra.

Az EU Soil Hydro Grid adatbázisból letöltött paraméterek a maximális vízkapacitás és a szivárgási té-

nyező. Az egyes részvízgyűjtőkhöz tartozó értékeket területi átlagolással határoztuk meg minden mélységre. Az adott cellákra számolt talajhidrológiai paraméterek pontosságát két tényező határozza meg. Egyrészt a számításához bemeneti információként használt Soil Grids adatbázis pontossága, másrészt az, hogy az adatbázis elkészítéséhez alkalmazott becslő algoritmus az adott input paraméter kombinációt milyen jó közelítéssel tudja leírni. Mivel valószínűleg a felszín közeli értékek a legpontosabbak, emiatt is indokolt, hogy jelen esetben a lefolyás modellezéséhez a legvalóságosabb értékeket a legfelső, 0 centiméteres avagy felszíni értékei adják. A kapott paraméter értékek azt mutatják, hogy a vizsgált területek iszapos vályoggal vagy homokos agyagos vályoggal borítottak, amely megegyezik a terület talajairól szerzett információkkal, így reálisnak tekinthetőek a paraméter értékek. Mindezek után a Green and Ampt módszerhez az egyetlen hiányzó talajfizikai paraméter a levegő belépési szívás, amelynek értékét a HEC-HMS Technical Reference Manual (Műszaki kézikönyv) 5. fejezete alapján a szivárgási tényező értékének függvényében határoztuk meg (Feldman 2000). A 2. táblázatban találhatóak a vízgyűjtőkre kapott paraméterek pontos értékei.

2. táblázat. Az adatbázisból származó talajfizikai paraméterek vízgyűjtőnként  
Table 2. The soil properties of the catchments from the database

| Vízgyűjtő    | Levegő belépési szívás [mm] | Szivárgási tényező [mm/óra] | Maximális vízkapacitás [cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ] |
|--------------|-----------------------------|-----------------------------|--|
| Jáki-Sorok   | 407                         | 6,601                       | 0,512  |
| Arany-patak  | 427                         | 5,175                       | 0,521  |
| Sorok-Perint | 403                         | 6,901                       | 0,509  |

A modell kalibrálása és validálása során célunk a mért és modellezett lefolyási mennyiség, illetve mért és modellezett árhullám alakjának lehető legpontosabb közelítése volt. A kalibrálás során összesen öt paraméter értékét állítottuk: a három talajfizikai paraméter értékeit, a talaj kezdeti víztartalmát és a vízgyűjtők válaszüvegét jellemző paramétert. A paraméterek állítása a lehető legjobb szimulációs eredmények eléréséig történt, ugyanis a kiindulási ér-

tékként alkalmazott adatbázisból származó talajfizikai paraméter értékek, illetve a Wisnovszky formulával (Wisnovszky 1958) számított összegyűlekezési idő nem adott megfelelő szimulációs eredményeket. A kalibrálás során a talajfizikai paraméterek értékei, illetve az összegyűlekezési idő értéke meghatározásra került minden vízgyűjtőre, értékeik eseményenként állandók. Mivel jelen kutatásban eseményalapú modellfuttatásokat végeztünk el, a kezdeti

víz tartalom eseményenként változó kezdeti feltétel, a vízgyűjtő megelőző állapotát mutatja. Az alaphozam mért érték alapján került felvételre. A validálás során a kalibrált talajfizikai paraméter és összegyülekezési idő értékeket alkalmaztuk, a kezdeti víztartalom és az alaphozam értéke szintén eseményfüggő.

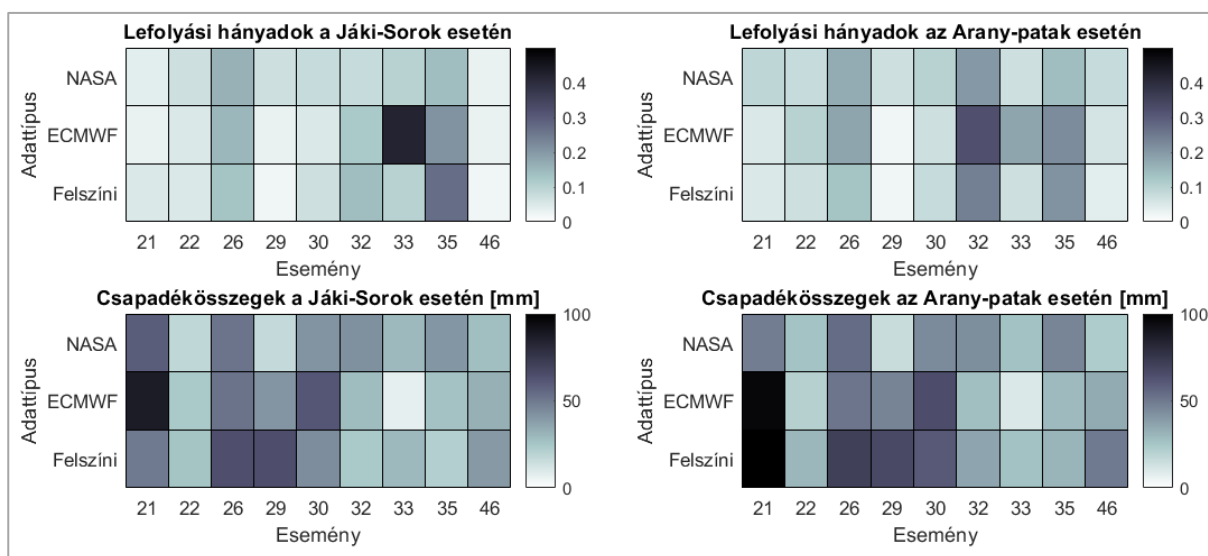
A modell hatékonyságának minősítése a Nash-Sutcliffe hatékonyság mutatószám segítségével történt. A Nash-Sutcliffe hatékonyság mutatószám (NSE) értéke  $-\infty$  és 1,0 között változhat. Ha  $NSE < 0$  a modell rosszul közelít és jobb közelítést ad a megfigyelt idősor átlagával való számítás, ha pedig  $0,5 < NSE < 1,0$  akkor a modell már kielégítő eredményt ad. A tökéletes illeszkedés azonban  $NSE = 1$  esetén teljesül, így minél nagyobb az értéke, annál jobb az illeszkedés (Nash és Sutcliffe 1970).

## EREDMÉNYEK

### A lefolyás mennyiségi kalibrációja és igazolása a három adattípus esetén

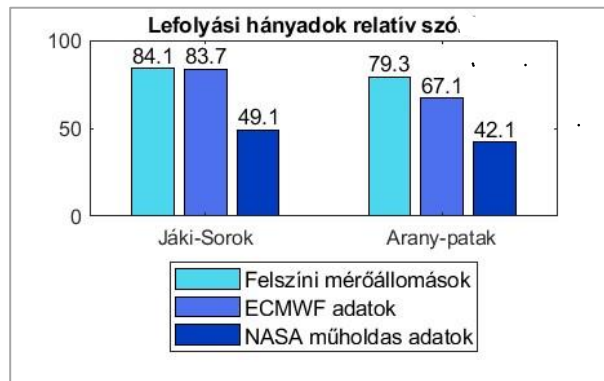
A 3. ábra szemlélteti a felszíni, az ECMWF és a NASA műholdas csapadékatatokból számított lefolyási hányadok és csapadékösszegek egymáshoz való vi-

szonyát a két vízgyűjtő terület esetén, amely előzetes információt szolgáltat a nyers csapadékatatok minőségéről. A csapadékatatok területi eloszlásuk, változékonyságuk miatt pontatlanabbnak tekintjük, mint a vízhozam adatokat, melyek értéke ugyan származtatott és pontossága a Q-H görbe pontosságától függ, azonban pontszerűek és jól mérhetőek egy adott vízgyűjtőre vonatkozóan. Mindezek alapján a csapadékatatok feltehetően jobban közelítik a valóságot a reálisabb lefolyási hányadok esetén. A 3. ábra lefolyási hányadain megfigyelhető, hogy az ECMWF adatok esetén két kiugró érték szerepel a lefolyási hányadok között. A 32-es (Arany-patak) és 33-as (Jáki-Sorok) esemény is 2014 augusztusának elején történt, mindkét esetben nagyok a lefolyási hányadok értékei. Ennek oka lehet egy-egy intenzív, lokális zivatar, ami a reanalízis adatokból hiányzik, ezért a 4. ábrán látható relatív szórások számításához ezt a két értéket nem vettük figyelembe az ECMWF adatok esetén. Az ábra második sorában láthatóak a csapadékösszegek a három adattípus esetén. Ez esetben is megfigyelhető, hogy a legkisebb eltérések a NASA műholdas adatbázis esetén láthatóak.



3. ábra. A modellek lefolyási hányadai és csapadékösszegei  
Figure 3. The runoff rates and total depth of precipitation in case of the models

A lefolyási hányadokat vizsgálva a NASA műholdas adatokból származó modell esetén a lefolyási hányadok szórása, illetve a minimum és maximum értékei közötti különbség kisebb, mint a felszíni vagy az ECMWF csapadékatatok esetén. A 4. ábrán látható relatív szórásokat vizsgálva is azt láthatjuk, hogy a NASA műholdas adatok esetén a legkisebb ez az érték, ezután az ECMWF adatokból adódó lefolyási hányadok kisebbek, végül pedig a felszíni csapadékmérő állomások adataiból származó hányadok relatív szórása a legnagyobb. A lefolyási hányadokra történő kalibrálás eredményei azt mutatják, hogy a modell legmegfelelőbben a NASA műholdas adatokkal, ezután az ECMWF adatokkal és végül a felszíni csapadékmérő állomások adataival kalibrálható.



4. ábra. Lefolyási hányadok relatív szórásai  
Figure 4. Relative standard deviation of the runoff rates

A validálási események esetén az adatok hasonló eredményeket hoztak, mindhárom adattípusnál két-három esetben nem felelt meg a modell eredménye a megfigyelt értékhez képest. A felszíni adatok esetén a modellezett lefolyás maximális kezdeti víztartalom esetén sem érte el teljesen a megfigyelt értéket, míg az ECMWF és NASA műholdas adatok esetén is előfordult kettő olyan eset, amelynél a modell egyáltalán nem mutatott felszíni lefolyást, így valószínűleg ezekben az esetekben hibásak az adatok.

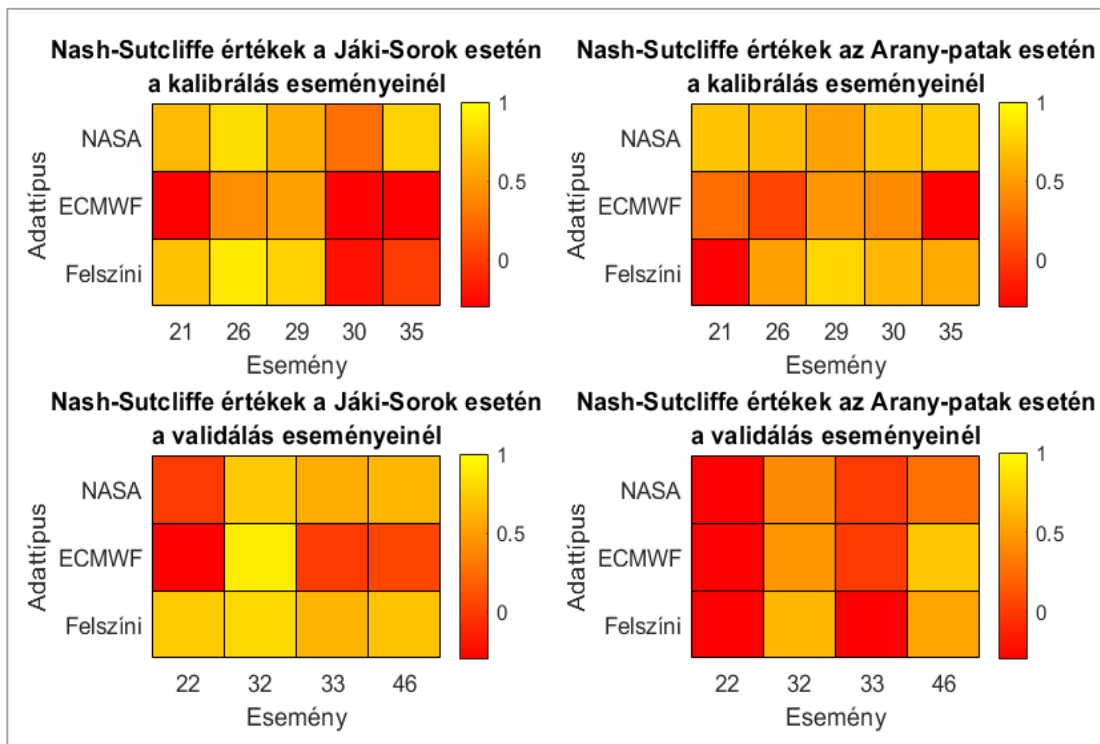
#### Az árhullám alaki kalibrációja és igazolása a három adattípus esetén

Az alaki kalibráció során a legkönnyebben használható adattípus szintén a NASA műholdas adatbázisa volt, illetve a felszíni csapadékmérő állomások adatai is könnyen kalibrálhatóak voltak. A csúcosságot illetően a két adattípus hasonlóan volt kalibrálható. A tetőzés időpontjára azonban a felszíni csapadékmérő állomások adatai voltak jobban kalibrálhatóak, míg a NASA műholdas adatokból származó árhullámok több esetben adták vissza a megfigyelt árhullám alakját.

Mind a három vizsgált adattípus esetén jellemző volt, hogy a modell hol alul, hol felülbecsülte a megfigyelt árhullám csúcosságát. Ennek oka lehet az eseményenként azonos paraméterek alkalmazása. Amennyiben nem feltételez-

zük, hogy az összegyülekezési idő és tározási együttható is megegyező minden eseménynél, jobb illeszkedés lehetne elérhető külön-külön az események esetén, hiszen bizonyított, hogy a vízgyűjtők válaszeje, avagy többek között az összegyülekezési idő eseményenként változhat (Szilágyi 2007), ami már a HEC-HMS szoftverben is eredményesen kezelhető összegyülekezési idő és csapadékintenzitás függvényekkel (Négyesi és Nagy 2022). Jelen esetben azonban a kalibráció során a cél azon középértékű paraméterértékek megkeresése volt, amelyeknél minden esemény esetén hasonló a megfelelése az illeszkedésnek.

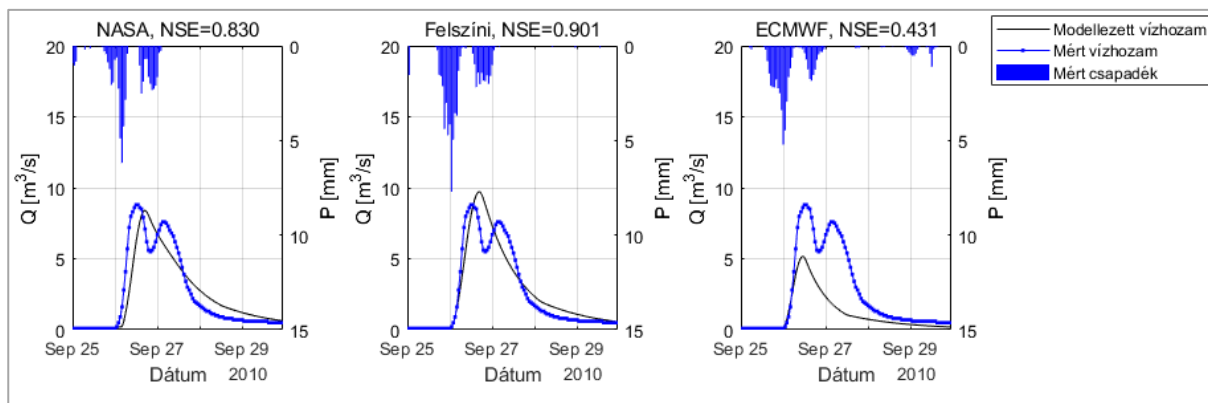
Az ECMWF adatok esetén a modell jóval kevesebb esetben tudta visszaadni a megfigyelt árhullám alakját és csúcosságát. A tetőzés időpontja is változóan felelt meg a megfigyelt tetőzési időpontnak, a modellezett és megfigyelt tetőzési időpont között előfordult csupán egy órás eltérés, de akár 48 órás eltérés is. Ezzel szemben a másik két adattípus órás eltérései kisebb mértékű szórást mutatnak. Az 5. ábra szemlélteti az adattípusonként adódó Nash-Sutcliffe hatékonysági mutató (NSE) értékeit. A piros szín jelzi a negatív értékeket, azaz ahol a modell illeszkedése nem megfelelő. Minél világosabb egy cella, annál jobb az NSE értéke. Látható, hogy a legrosszabb illeszkedés az ECMWF adatok esetén fordult elő, míg a legjobb a NASA műholdas adatok használatakor adódott.



5. ábra. A Nash-Sutcliffe hatékonysági mutató értékei a különböző adattípusok esetén  
Figure 5. The Nash-Sutcliffe efficiency coefficient values in case of the different data types

Az igazolás eredményei mindhárom adattípusnál a kalibrálás során tapasztaltakat mutatták, azonban az ECMWF adatok esetén a validáláshoz használt eseményeknél két esetben is meglehetősen pontosan illeszkedett a megfigyelt árhullámhoz a modellezett árhullám. Ezzel szemben a másik két adattípus esetén az igazoláshoz használt események már

nem hoztak olyan jó illeszkedést, mint ahogyan az a kalibráláshoz használt események esetén volt látható. Mindemellett az 5. ábra szemlélteti, hogy a 22. és a 33. eseménynél egyik adattípus esetén sem illeszkedett megfelelően a modell. A 6. ábra példát szemléltet egy modellezett eseményre a három csapadékatípus esetén.



6. ábra. Példa egy szimulációra a különböző csapadékadat típusokkal (Jáki-Sorok, 26. esemény)  
Figure 6. An example for a simulation with the different precipitation data (Jáki-Sorok, event 26.)

### A talajfizikai paraméterek vizsgálata

Az EU Soil Hydro Grids térképek használhatóságáról megállapítható, hogy az értékek nem használhatók fel közvetlenül a modellezés során, csak nagyságrendi becslésre alkalmasak. Így a modellben kiindulási értékek megfeleltek a kalibráláshoz, de mindhárom adattípus esetén el kellett térni az eredeti talajfizikai értékektől. A térképekből

származó szivárgási tényező segítségével megállapítható volt a levegő belépési szívás értéke és a talaj típusa is. Mivel a talaj típusa, illetve annak változása a legérdekesebb információ, így a kalibrált paraméterek közül a 3. táblázatban láthatóak a vízgyűjtőkre állandó értéként felvett kiindulási, valamint a kalibrálás utáni levegő belépési szívás értékek és az ahhoz tartozó talajtípusok.

3. táblázat. Levegő belépési szívás értékei és az ehhez tartozó talajtípusok a kalibrálás előtt és után  
Table 3. Values of suction and the belonging soil types before and after calibration

| <b>Jáki-Sorok</b>               |                                    |                               |
|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
|                                 | <b>Levegő belépési szívás [mm]</b> | <b>Talajtípus</b>             |
| Kiindulási érték                | <b>407</b>                         | <b>iszapos vályog</b>         |
| Felszíni csapadékmérő állomások | 581                                | iszapos agyagos vályog        |
| ECMWF adatbázis                 | 647                                | iszapos agyag                 |
| NASA műholdas adatbázis         | 550                                | agyagos vályog                |
| <b>Arany-patak</b>              |                                    |                               |
|                                 | <b>Levegő belépési szívás [mm]</b> | <b>Talajtípus</b>             |
| Kiindulási érték                | <b>427</b>                         | <b>homokos agyagos vályog</b> |
| Felszíni csapadékmérő állomások | 446                                | agyagos vályog                |
| ECMWF adatbázis                 | 660                                | iszapos agyag                 |
| NASA műholdas adatbázis         | 550                                | agyagos vályog                |

Az elvártaknak megfelelően megfigyelhető, hogy a talajtípusokban egyik csapadékadat típus alkalmazása során sincs nagymértékű változás a kiindulási talajtípushoz képest, illetve az, hogy szinte majdnem a teljes terület vályogos. A paraméterek vizsgálatánál fontos kiemelni, hogy a csapadék lefolyás egyik legnagyobb nehézsége, hogy számos paraméter együttes kalibrálására van szükség. Az ekvifinalitás elvének megfelelően előfordulhat, hogy a különböző paraméterkombinációk esetén is hasonlóan jó eredményt ad a modell. Ebből kifolyólag jelen vizsgálat esetén sem állapítható meg egyértelműen, hogy más paraméter változtatásával elérhető lett volna-e hasonlóan a jó eredmény. A bemutatott eredmények tehát jó kiindulási alapot szolgáltatnak, hiszen látható, hogy nagyságrendileg megfelelőek a paraméterek, azonban több állandó paraméter felvételére lenne szükség ahhoz, hogy pontosabban meghatározható legyen az adatok alkalmazhatósága.

### ÖSSZEFOGLALÁS

Összefoglalva a leírtakat, a vizsgálat során összehasonlításra kerültek a különböző típusú csapadékadatok, tekintettel a felszíni csapadékmérő állomások, az ECMWF adatbázis és a NASA műholdas adataira, emellett pedig az ingyenesen elérhető EU Soil Hydro Grids térképek adatainak alkalmazhatósága is értékelésre került.

A három adattípust különböző szempontok alapján elemeztük a kutatás során. Mindhárom adattípus esetén vizsgáltuk az események lefolyási hányadait, elvégeztük és elemeztük a különböző adatokkal történő mennyiségi és alakú kalibrálást, illetve az igazolást, mindemellett pedig megvizsgáltuk a kalibrálás után adódó talajfizikai paramétereket. A 4. táblázatban látható az adatok összegzése az említett elemzési szempontokkal, illetve a fontosabb jellemzőkkel együtt. Mindegyik adattípus 1-től 3-ig terjedő besorolást kapott a szempontok szerint, ahol 1 a legjobb, 3 pedig a legkedvezőtlenebb értékelés.



4. táblázat. Az adattípusok összegző elemzése  
Table 4. The summary of the examined datatypes

| Típus           | Adat kezelése | Felbontás |         | Lefolyási hányadok szórása | Kalibrálhatóság |                  |                 | Talajfizikai paraméter eltérés* | Átlag |
|-----------------|---------------|-----------|---------|----------------------------|-----------------|------------------|-----------------|---------------------------------|-------|
|                 |               | Időbeli   | Térbeli |                            | Mennyiségi      | Alaki            |                 |                                 |       |
|                 |               |           |         |                            |                 | Alak, csúcsosság | Tetőzés időpont |                                 |       |
| Felszíni adatok | 1             | 2         | 2       | 3                          | 3               | 2                | 1               | 1                               | 1,9   |
| ECMWF adatok    | 2             | 2         | 1       | 2                          | 2               | 3                | 3               | 3                               | 2,3   |
| NASA műhold     | 2             | 1         | 1       | 1                          | 1               | 1                | 2               | 2                               | 1,4   |

\* A kiindulási és a kalibrált talajfizikai paraméterek közötti eltérés mértéke.

A 4. táblázatban látható értékelések segítséget nyújthatnak a jövőben csapadék-lefolyás modellezést végző szakembereknek. A táblázat segítségével megállapítható, hogy melyik adattípus a legmegfelelőbb, hiszen a fontos és szükséges szempontok értékelésének súlyozásával akár személyre szabottan is kijelölhető a legalkalmasabb adattípus. A táblázat átlag oszlopában látható az értékelések súlyozás nélküli átlaga, ami alapján megállapítható, hogy az összes szempontot ugyanolyan mértékben figyelembe véve a NASA műholdas adatok bizonyulnak a legjobbnak. A második helyen a felszíni, a harmadik helyen pedig az ECMWF adatok állnak.

Az eredmények okai eltérőek a különböző adattípusok esetén. Az ECMWF adatbázissal történő modellfuttatások minőségét befolyásolta, hogy az ECMWF által alkalmazott interpolációs adatfeldolgozás valóban kisimítja a térben változó adatokat, ezáltal az extrém csapadékin-tenzitások is csökkennek a valósághoz képest. A felszíni adatok jelen esetben az elvárttal ellentétben a legrosszabb eredményeket adták a három adatbázis közül, ennek okai mérési hibák lehetnek. A NASA műholdas adatok eredményei azt mutatják, hogy az adatok feldolgozása és korrigálása ebben az esetben a legmegfelelőbb.

Az EU Soil Hydro Grids térképek használhatóságát alátámasztják a kutatás készítése során kapott eredmények, azonban az értékek nem használhatók fel közvetlenül a modellezés során, csak nagyságrendi becslésre alkalmasak. A modellezés folyamata előtt fontos lépés a több mélység menti értékkel rendelkező adatbázisból kiválasztani az optimális mélységi értéket vagy mélységi értékek átlagát, ami jelen esetben az alkalmazott modell felépítése című fejezetben ismertetett okokból a 0 cm mélységhez tartozó paraméterérték volt.

Mindezek mellett a kutatás témakörében még számtalan kutatási lehetőség van. A jövőben vizsgálhatók lehetnének az OMSZ ellenőrzött felszíni és radar csapadék adatai, illetve a H-SAF műholdas adatállományok is. A modell felépítését illetően az osztott paraméteres megoldás is nyitott kérdés. Mindemellett fontos vizsgálat lehetne a különböző adattípusok csapadékeloszlásainak vizsgálata, illetve a hálórácsos adatok esetén a szomszédos rácsok adatainak korreláció vizsgálata. Jövőbeli célunk a vizsgálataink kiterjesztése ezen kérdéskörökre is és ezzel teljes körűvé tenni a különböző típusú csapadékadatok használatának elemzését.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnénk megköszönni dr. Bene Katalin konzulensi segítségét és munkáját, mely nélkül jelen tanulmány nem születhetett volna meg. Köszönjük Rehák András Miklós

segítségét a helyszíni bejárás megvalósításában. Hálával tartozunk az Országos Meteorológiai Szolgálat adatszolgáltatás terén nyújtott segítségéért. Mindemellett köszönjük a Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítványának az ösztöndíj pályázati támogatását.

## IRODALOMJEGYZÉK

AghaKouchak, A., Behrangi, A., Sorooshian, S., Hsu, K., Amitai, E. (2011). Evaluation of Satellite-Retrieved Extreme Precipitation Rates Across the Central United States. *Journal of Geophysical Research*. p. 116. <https://doi.org/10.1029/2010JD014741>

AGROTOPO, <https://www.mta-taki.hu/hu/osztalyok/kornyezetinformatikai-osztaly/agrotopo>

Beven, K. (2012). *Rainfall-Runoff Modelling*. The Primer. Second Edition. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119951001>

Biggs, E., Atkinson, P. (2011). A comparison of gauge and radar precipitation data for simulating an extreme hydrological event in the Severn Uplands, UK. *Hydrological Processes*. 25. pp. 795-810. <https://doi.org/10.1002/hyp.7869>

CORINE Land Cover-Copernicus (2019). <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (Letöltve: 2019.10.25.)

C3S (2019). Copernicus Climate Change Service. C3S ERA5-Land reanalysis. Copernicus Climate Change Service, 15/09/2019. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home> (Letöltve: 2019.09.18.)

Donovál K., Lévai D. (2013). Telítetlen talajparaméterek pontos meghatározása. TDK dolgozat. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

Dybro Thomassen, E., Thorndahl, S., Andersen, C., Gregersen, I., Arnbjerg-Nielsen, K., Sørup, H. (2022). Comparing spatial metrics of extreme precipitation between data from rain gauges, weather radar and high-resolution climate model re-analyses. *Journal of Hydrology*. 610. 127915. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127915>

Feldman, A. D. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*, Washington. pp. 39-40.

Fraga, H., Pinto, J.G., Santos, J.A. (2020). Olive tree irrigation as a climate change adaptation measure in Alentejo, Portugal, *Agricultural Water Management*. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106193>

Freeze, R.A., Cherry, J.A., (1979). *Groundwater* Prentice-Hall, New Jersey.

Hegedüs P., Czigány Sz., Balatonyi L., Pirkhoffer E. (2013). Analysis of soil boundary conditions of flash floods in a small basin in SW Hungary. *Central European Journal of Geosciences*, 5. <https://doi.org/10.2478/s13533-012-0119-6>

*Hydrographischer Dienst Burgenland*, csapadékmérő állomás adatok. (Igénylés dátuma: 2019.03.01.)

Kozma Zs., Decsi B., Manninger M., Móricz N., Makó A., Szabó B. (2019). Becsült talajhidrológiai paraméterek szimulációs vizsgálata a NAIK Erdészeti Tudományos Intézet két mintaterületén, *Agrokémia és Talajtan* 68. pp. 13-36. <https://doi.org/10.1556/0088.2019.00031>

McMillan, H., Jackson, B., Clark, M., Kavetski, D., Woods, R. (2011). Rainfall uncertainty in hydrological modelling: An evaluation of multiplicative error models. *Journal of Hydrology*, 400(1-2). pp. 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.01.026>

Moges, D.M., Kmoch, A., Uuemaa, E. (2022). Application of satellite and reanalysis precipitation products for hydrological modeling in the data-scarce Porijõgi catchment, Estonia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101070>

*NASA Global Precipitation Measurement, Data Downloads* (2020). [https://gpm.nasa.gov/data-access/downloads/gpm?fbclid=IwAR0oOOb-Dto-xfAX1iz9obpKq9mgTW5\\_L8dIfZu-la7GsRqZ1a9I700T20Go](https://gpm.nasa.gov/data-access/downloads/gpm?fbclid=IwAR0oOOb-Dto-xfAX1iz9obpKq9mgTW5_L8dIfZu-la7GsRqZ1a9I700T20Go) (Letöltve: 2020.05.20.)

Nash, J.E., Sutcliffe, J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles, *Journey of Hydrology*. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)

Négyesi K. (2020). Különböző típusú csapadékatok használatának összehasonlító elemzése. BSc diplomamunka. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

Négyesi K., Nagy E. D. (2022). Analyzing the connection between rainfall intensities and times of concentration using rainfall-runoff modeling. *Hydro-Carpath-2022, Hydrology Of The Carpathian Basin: Synthesis Of Data, Driving Factors And Processes Across Scales: Abstracts and Posters of the Conference*. <https://doi.org/10.35511/978-963-334-452-1>

Niemi, T., Warsta, L., Taka, M., Hickman, B., Pulkkinen, S., Krebs, G., Moisseev, D., Koivusalo, H., Kokkonen, T. (2017). Applicability of open rainfall data to event-scale urban rainfall-runoff modelling. *Journal of Hydrology*, 547. pp. 143-155. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.01.056>

NYUDUVIZIG (2020). Vízrajzi adatok. (Igénylés dátuma: 2020.10.08.)

NYUDUVIZIG (2018). Csapadékatok. (Igénylés dátuma: 2018.08.06.)

Price, K., Purucker, S., Kraemer, S., Babendreier, J., Knightes, C. (2014). Comparison of radar and gauge precipitation data in watershed models across varying spatial and temporal scales. *Hydrological Processes*, 28. <https://doi.org/10.1002/hyp.9890>

Reis, A., Weerts, A., Ramos, M., Wetterhall, F., Fernandes, W. (2022). Hydrological data and modeling to combine and validate precipitation datasets relevant to hydrological applications. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 44. 101200. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101200>

Szilagyi J. (2007). Analysis of the nonlinearity in the hillslope runoff response to precipitation through numerical modeling. *Journal of Hydrology*, 337(3-4), pp. 391-401. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.02.005>

Tóth, B., Weynants, M., Pásztor, L., Hengl, T. (2017). 3D Soil Hydraulic Database of Europe at 250 m resolution, *Hydrol. Process.*, <https://doi.org/10.1002/hyp.11203>

Yang, C., Fraga, H., van Ieperen, W., Trindade, H. (2019). Effects of climate change and adaptation options on winter wheat yield under rainfed Mediterranean conditions in southern Portugal, *Climatic Change* 154. pp. 159-178. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02419-4>

Yang, C., Fraga, H., van Ieperen, W., Santos J. A. (2020). Assessing the impacts of recent-past climatic constraints on potential wheat yield and adaptation options under Mediterranean climate in southern Portugal, *Agricultural Systems*. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102844>

Wisnovszky I. (1958). Az összegyülekezési idő számítása. *Hidrológiai Közlöny*, 38. évf. 3. szám. pp. 195-200.

## SZERZŐK



**NÉGYESI KLAUDIA** 2022-ben szerzett okleveles infrastruktúra-építőmérnök diplomát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán, jelenleg a Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék elsőéves doktorandusz hallgatója. Doktori témájának címe „Kisvízgyűjtők csapadék-lefolyás kapcsolatának modellezése”.



**NAGY ESZTER DÓRA** 2018-ban szerzett okleveles infrastruktúra-építőmérnök diplomát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán. Jelenleg ugyanitt a Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéken tanársegéd. Kutatási témája kisvízgyűjtők csapadék-lefolyás kapcsolatának modellezése. 2016 óta a Magyar Hidrológiai Társaság tagja.