



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőmérnöki Kar
Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Különböző típusú csapadékadatok használatának összehasonlító elemzése

Négyesi Klaudia

építőmérnök Bsc szakos hallgató

Konzulensek:

Nagy Eszter Dóra

doktorandusz, BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Dr. Bene Katalin

egyetemi docens, Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék

Budapest, 2019.

Tartalomjegyzék

Absztrakt.....	3
Abstract.....	4
1. Bevezetés	5
2. Terület bemutatása.....	6
2.1. Történelmi áttekintés, területhasználat	7
2.2. Élővilág és geológia.....	9
2.3. Éghajlat és vízrajz.....	11
2.4. Helyszíni bejárás.....	12
2.4.1. Gyöngyös-patak	12
2.4.2. Arany-patak	13
2.4.3. Sorok-Perint	14
2.4.4. Jáki-Sorok	15
3. Rendelkezésre álló adatok	16
3.1. Vízrajzi adatok.....	16
3.2. Kiválasztott események	19
3.3. Térinformatikai adatok	19
3.4. Számított adatok	20
3.5. Talajfizikai paraméterek	20
3.6. Egyéb paraméterek	21
4. A modell felépítése	22
4.1. Vízgyűjtőmodell	22
4.2. Meteorológiai modell.....	24
4.3. Csapadék-lefolyás modell.....	24
4.3.1. A modell összetétele	24
4.3.2. A kiválasztott módszerek.....	25
5. Kalibráció és igazolás a felszíni csapadékadatok esetén	28
6. Kalibráció és igazolás az ECMWF adatok esetén	31
7. Az eredmények összehasonlítása.....	33
8. Összefoglalás	35

9. Köszönetnyilvánítás.....	36
10. Irodalomjegyzék	37
11. Mellékletek	39
11.1. számú melléklet: a kiválasztott események	39
11.2. számú melléklet: a talajfizikai paraméterek mélység menti megoszlása.....	41

Absztrakt

Név: Négyesi Klaudia
Dolgozat címe: Különböző típusú csapadékadatok használatának összehasonlító elemzése
Konzulensek: Nagy Eszter Dóra
BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék
Dr. Bene Katalin
Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék
Félév: 2019/20/1. félév

A dolgozat elkészítése során az első lépés egy megfelelő méretű és adatellátottságú vízgyűjtő kiválasztása volt. A kutatáshoz alkalmas vízgyűjtő a Sorok-Perint, a Jáki-Sorok és az Arany-patak részvízgyűjtőivel, illetve a Gyöngyös-patak mesterséges vízkormányzásból származó vízhozamával. A teljes modellezett terület közel 350 km².

Következő lépés a vízgyűjtőmodell előállítása ArcGIS és HEC-GeoHMS programok segítségével. Az ArcGIS térinformatikai szoftver használatával készült el a vízgyűjtőmodell, amely az alapja a HEC-HMS programban elkészült csapadék-lefolyás modellnek.

A modell determinisztikus, esemény alapú, ezen felül összevont, illetve osztott paraméterű változata is elkészült. A modellezett események 2005 és 2016 között bekövetkezett árhullámok a vizsgált területen. A rendelkezésre álló adatsorokból tíz esemény került kiválasztásra a modell kalibrálásához. A felhasznált adatok csapadék, illetve vízhozam idősorok. A modell input adatai a csapadék adatok, a vízhozam idősorok pedig a modell jóságának ellenőrzésére szolgálnak a kalibráció során. Emellett ingyenes adatbázisból hozzáférhető (MTA ATK TAKI, EU Soil Hydro Grid) talajfizikai paraméterek vizsgálatára is sor kerül. Ezek alkalmazhatóságának értékelése fontos eleme a dolgozatnak. A modellbe bekerülő csapadék adatok felszíni csapadékmérő állomásokról (OMSZ, NYUDUVIZIG), illetve az ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) adatbázisból származnak. Utóbbi egy független, számos európai ország által támogatott szervezet, mely grid alapú csapadék adatokat is szolgáltat. Az adatok feldolgozása a MATLAB numerikus matematikai szoftver segítségével történt. A modell kalibrálása után, a modell igazolására is sor kerül.

A dolgozat célja a fent említett adatok felhasználásával végzett futtatások eredményeinek összehasonlítása. Az eredmények kiértékelése során megállapíthatóvá válik a különböző forrásokból származó adatok használhatósága, minősége, különös tekintettel az ingyenesen elérhető adatokra. Amennyiben az említett ingyenesen elérhető adatok megfelelő eredményeket mutatnak, alternatívái lehetnek az általában költséges felszíni állomás adatoknak. Mindemellett összehasonlításra kerülnek a csapadékösszegek/eloszlások típusonként és eseményenként, illetve a kalibrált paraméterek értékei is.

Abstract

Name: Négyesi Klaudia
Thesis title: Comparison of different precipitation data sources for rainfall-runoff modelling
Supervisors: Eszter Dóra Nagy
BME Department of Hydraulic and Water Resources Engineering
Katalin Bene, Phd
Széchenyi István University, Department of Transport Infrastructure and Water Resources Engineering

Semester: 2019/20/1. semester

The first step in the study was to choose a river catchment with a proper size and data availability. The Sorok-Perint creek's catchment was found to be a suitable catchment for the research with two sub-catchments; Jáki-Sorok and Arany-patak, and includes discharge arriving to the area due to the regulation of Gyöngyös-patak. The modelled area is nearly 350 km² altogether.

The next step was to create the catchment model using ArcGIS and HEC-GeoHMS. The catchments were delineated in the ArcGIS software which is the basis of the rainfall-runoff model created in HEC-HMS.

The model is deterministic and event based. In addition, lumped and distributed versions of the model were built. The modelled events occurred between 2005 and 2016 in the study area. Ten hydrographs were selected for calibration from the available time series. Precipitation and discharge time series applied for modelling. The precipitation data is the input parameter in the model while the discharge time series were used to assess model performance. The physical parameters of the soil were examined using a free online map stock are applicable for rainfall-runoff modelling (MTA ATK TAKI, EU Soil Hydro Grid). The applicability of this source of data is very significant part of the study. Data from gauging stations (OMSZ, NYUDUVIZIG) and the ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) data base were used in the model. Latter is an independent organisation, supported by plenty of European countries, providing grid based precipitation data. The available data was pre-processed using MATLAB. Validation was also performed after the calibration of the model.

The aim of the study is to compare the results of the model with the application of different data sources, listed above. The results will show the reliability of the data sources used in Hungary, with special focus on freely available data (ECMWF). If the usage of ECMWF data leads to acceptable results, this method can offer an alternative for the usually expensive gauging station data. Moreover, the total depths of precipitation will be compared by types and events along with the calibrated parameters.

1. Bevezetés

Napjainkban az informatika rohamos fejlődése lehetővé tette az egyre részletesebb és pontosabb modellek felépítését, így a hidrológia területén is egyre több számítógépes modellt alkalmaznak. Mindezek használata már nemcsak kutatási célokból jellemző.

A dolgozatom elsődleges célja a különböző típusú csapadék adatok használatának összehasonlítása csapadék lefolyás modellezés esetén. Mivel manapság akár ingyenesen is elérhetőek szoftverek az említett modellek létrehozására, rendkívül fontos, hogy a felhasznált adataink megfelelő minőségűek legyenek a modell felépítéséhez és igazolásához. Az általam felhasznált és modellbe bevitt adatok felszíni csapadékmérő állomásokról, illetve az ECMWF adatbázisából származnak

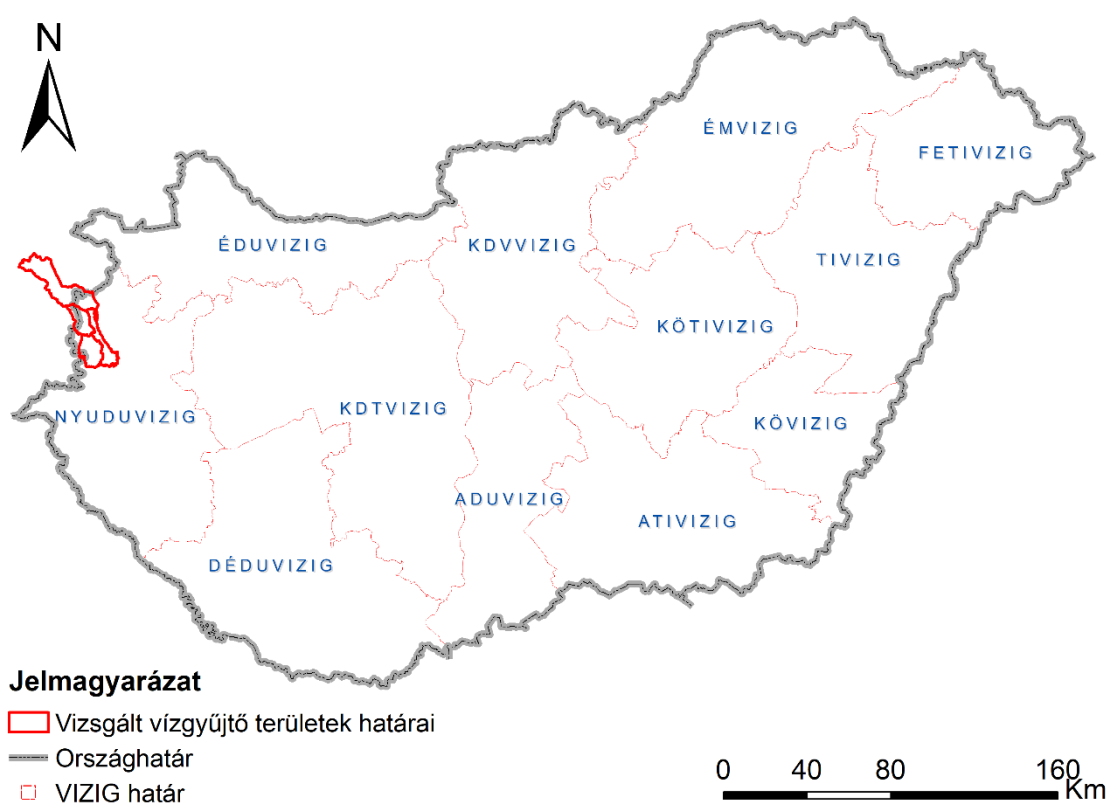
A dolgozat másik fontos célja a szintén ingyenesen elérhető Magyar Tudományos Akadémia, Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézete által elkészített talajfizikai paraméter adatbázis alkalmazhatóságának vizsgálata. Ezen adatokat bárki letöltheti az internetről.

A modellezésre kiválasztott területek a Sorok-Perint, a Jáki-Sorok és az Arany-patak részvízgyűjtői. Fontos megjegyezni, hogy a Gyöngyös-patak mesterséges vízkormányzásából származó vízhozama jelentősen befolyásolja a Sorok-Perint esetén a modelltől kinyerhető adatokat.

A dolgozatban ismertetésre kerülnek a kiválasztott vízgyűjtőterületek, a modell felépítésének lépései és az ehhez használt szoftverek, a bemeneti adatok, a modell kalibrálásának és igazolásának eredményei a különböző adatok használata esetén, amely az alapját szolgáltatja az adatok használhatósági összehasonlításának.

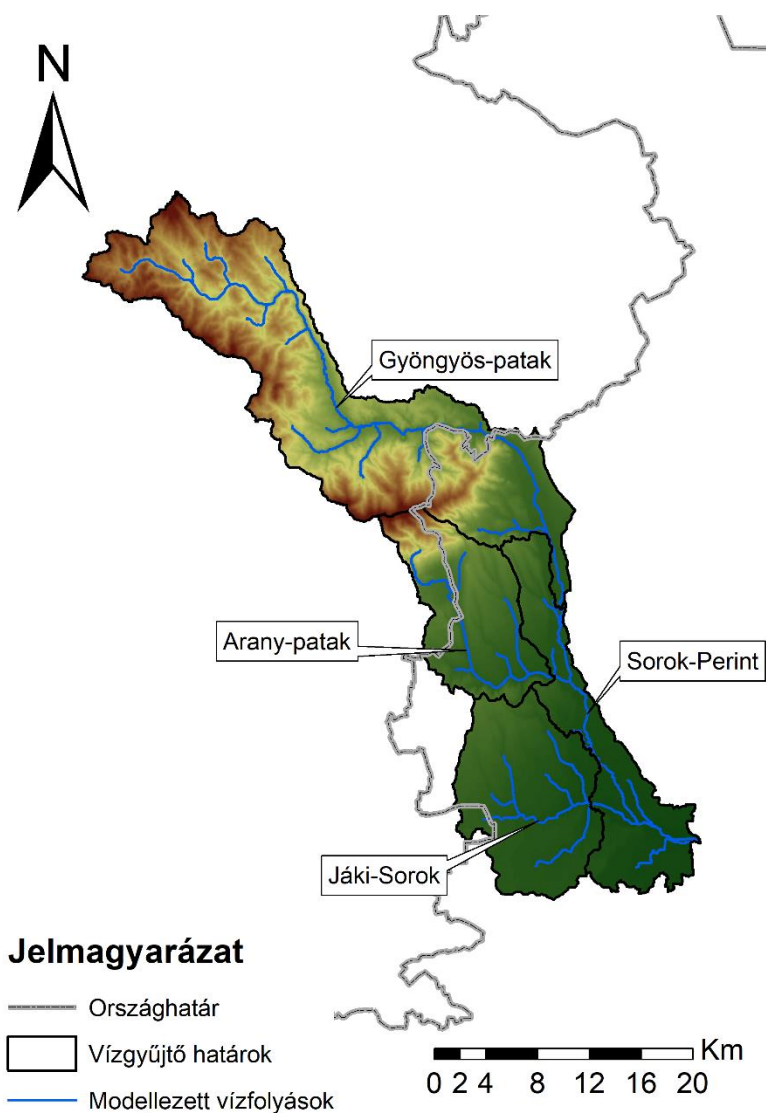
2. Terület bemutatása

A Sorok-Perint, a Jáki-Sorok és az Arany-patak vízgyűjtői összesen körülbelül 350 km²-t tesznek ki. A modellezéshez közepes méretű vízgyűjtőterület kiválasztása volt a cél, amely feltételnek megfelelnek az említett vízgyűjtőterületek. Elhelyezkedést tekintve, az ország nyugati részén található a modellezett terület. A vizsgált részvízgyűjtők közül egyedül a Sorok-Perint található teljes mértékben az ország határain belül. Ezen, illetve a többi részvízgyűjtő magyarországi területei a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatósághoz tartoznak (1. ábra).



1. ábra A vizsgált vízgyűjtőterületek elhelyezkedése

A három modellezett vízgyűjtő területével ér fel a Gyönyös-patak területe, amely 341 km². A Jáki-Sorok 132 km², a Sorok-Perint 114 km², míg az Arany-patak 106 km² területű. A 2. ábra szemlélteti a részletes helyszínrajzot.



2. ábra A vizsgált vízgyűjtőterületek

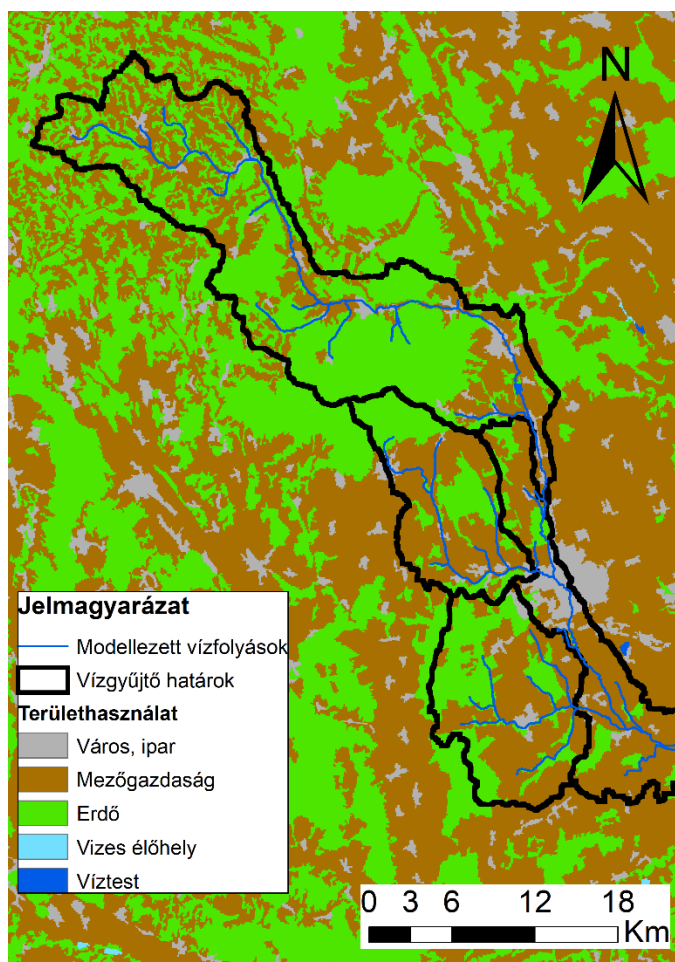
2.1. Történelmi áttekintés, területhasználat

A vizsgált területek Vas megyében találhatóak, amelynek megyeszékhelye Szombathely, mely a vízgyűjtőre esik. Szombathely a római kor idején Savaria néven létezett, amely fontos igazgatási, kereskedelmi és vallási központ volt. A latin Savaria vagy Sabaria szó a településen átfolyó Gyöngyös-patakra utal, amelynek ókori latin neve volt Sibaris. A későbbiekben a Szombathely nevet a város a szombati napokon rendezett heti vásárok miatt kapta.

A város és térségének gazdag történelmében kiemelten fontos állandó mértékű fejlődése, központi szerepe miatt. A közel múltban az első világháború és annak következményei vetették vissza a város fejlődését. Kiheverve a krízis korszakot az 1920-as évektől újra javuló körülmények jellemezték a térséget. Sok fejlesztés mellett a vízműveket is bővítették. Azonban a második világháború újabb károkat okozott, melynek helyrehozása évtizedekbe telt. Jelentős hatással volt a térségre a nagyüzemek megépítése az 1970-es években,

azonban a rendszerváltást követően a gyárak, üzemek nagy része megszűnt. Ennek ellenére az infrastruktúra fejlődése nem állt meg, és idővel újabb gyárak, vállalatok jelentek meg. [1]

Napjainkban a területhasználatra a vizsgált vízgyűjtőhatárokon belül a diverzitás a jellemző. A 3. ábrán látható a CORINE Landcover adatbázisából létrehozott térkép, amely egy műholdas adatokból létrejött területhasználati térkép több ország kooperációja által. Az adatbázis már 1985-ben is létezett, azóta folyamatos frissítések jellemzik. Legutóbbi változata 2018-ban került kiadásra, amelyet dolgozatomban is felhasználtam. [2]



3. ábra CORINE területhasználati térkép

Ahogy az a térképen is látható, az országhatáron belül főképp Szombathely és környékén jellemző az összefüggő és nem összefüggő városi település szerkezet és az ipari vagy kereskedelmi területek előfordulása. Szombathely területén kívül a nem öntözött szántóföldek a dominánsak. Az országhatárhoz közelítve találhatók lomblevelű és tűlevelű erdők, emellett kis mértékben szőlősök és gyümölcsösök, illetve komplex művelésű területek.

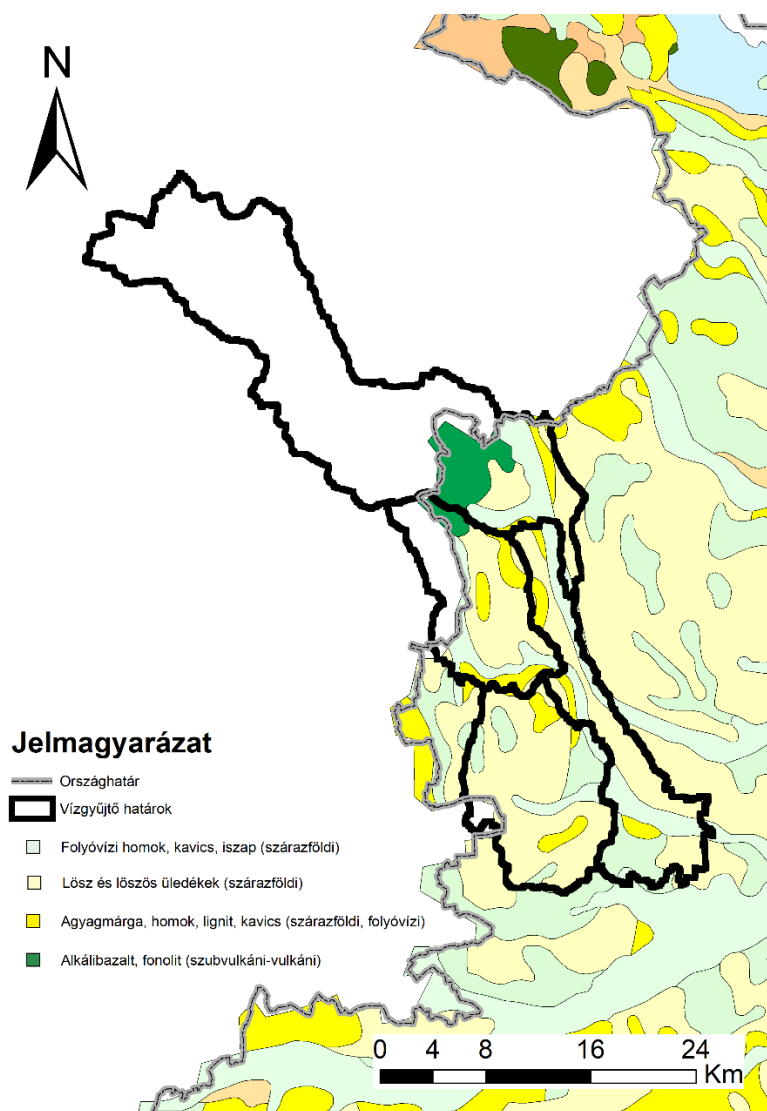
Ausztriába legnagyobb mértékben a Gyöngyös-patak vízgyűjtőterülete nyúlik át, amelynek déli területein a lomblevelű és vegyes erdők, míg északi területein a komplex

művelési területek a leggyakoribbak. Mindemellett kismértékben található nem összefüggő településszerkezet, nem öntözött szántóföld, illetve túlevelű erdők.

2.2. Élővilág és geológia

A vizsgált területek gazdag élővilággal rendelkeznek, Magyarország és Ausztria határain belül is számos Natura 2000-es területet találhatunk. Ilyen védett terület például a Gyöngyös-patak völgye is. Ausztriában a hegyvidékek, erdők száma is jelentős, változatos flórával és faunával. A határon belül a vizsgált területeken kevesebb az ember által érintetlen terület, azonban a klímaváltozás hatására már ezen területek esetén is észleltek olyan fajokat, amelyek eddig csak Észak-Európa térségeire voltak jellemzőek, mint például az uráli bagoly.

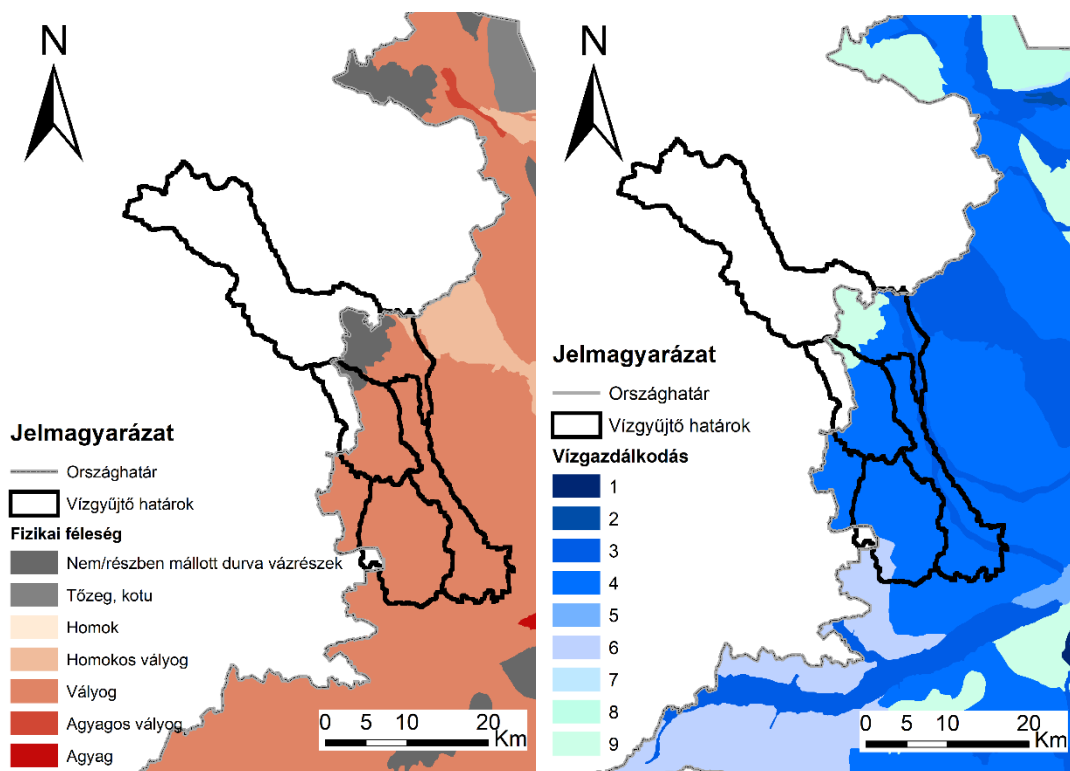
A modellezés szempontjából a geológiai jellemzők sem elhanyagolhatóak. A vízgyűjtők közül a legtöbb esetben csak a határon belüli területekről vannak adatok, ahogyan ezt a 4. ábra geológiai térképe is mutatja, de mivel a Gyöngyös-patak nem képezi a modell részét, csupán vízhozamát vesszük figyelembe, ezen adatok kielégítőek a modell felépítéséhez.



4. ábra Az országhatáron belüli területek geológiája

A Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat ingyenesen elérhető ArcGIS térképszerviz szolgáltatásából szerzett geológiai GIS térképen látható, hogy négy féle kőzet csoport fedi le a vizsgált területet. A lösz és löszös üledékek az egész területen nagymértékben találhatóak meg, amíg az agyagmárga, homok, lignit és a folyóvízi kavics szintén elszórtan, de kevésbé dominánsan észlelhetőek. A vízfolyások mentén a folyóvízi homok, kavics és iszap a jellemző. Az Arany-patak vízgyűjtőjének északi, illetve a Gyöngyös-patak vízgyűjtőjének a déli részén jelentős mennyiségben alkálizált és fonolit látható. Fontos információ a modell szempontjából, hogy a régió nem karsztos, ezért számottevő felszín alatti elfolyások nem jellemzőek.

Az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet agrotopográfiai térképe is fontos információkat hordoz, amely az 5. ábrán látható.



5. ábra Agrotopológiai térképek az országhatáron belüli területeken

Az agrotopográfiai fizikai féleség térképéről leolvasható, 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. A vályog erősen kötött talajfajta, rossz víznyelő képességgel, így emiatt feltételezhető a felszín alatti elfolyások elhanyagolhatósága.

A talaj vízgazdálkodási tulajdonságait ábrázoló térkép esetén a színek az alábbi jelentéssel rendelkeznek:

1. Igen nagy víznyelésű és vízvezető-képességű, gyenge vízraktározó-képességű, igen gyengén víztartó talajok
2. Nagy víznyelésű és vízvezető-képességű, közepes vízraktározó-képességű, gyengén víztartó talajok
3. Jó víznyelésű és vízvezető-képességű, jó vízraktározó-képességű, jó víztartó talajok
4. Közepes víznyelésű és vízvezető-képességű, nagy vízraktározó-képességű, jó víztartó talajok
5. Közepes víznyelésű és gyenge vízvezető-képességű, nagy vízraktározó-képességű, erősen víztartó talajok
6. Gyenge víznyelésű, igen gyenge vízvezető-képességű, erősen víztartó, igen kedvezőtlen, extrémén szélsőséges vízgazdálkodású talajok
7. Igen gyenge víznyelésű, szélsőségesen gyenge vízvezető-képességű, igen erősen víztartó, kedvezőtlen vízgazdálkodású talajok
8. Jó víznyelésű és vízvezető-képességű, igen nagy vízraktározó-, és víztartó-képességű talajok
9. Sekély termőrétegűség miatt szélsőséges vízgazdálkodású talajok [3]

Ahogy az a térképen is látható, a vízgyűjtőterületeken a közepes víznyelésű és vízvezető-képességű, nagy vízraktározó-képességű, jó víztartó talajok (4.) a legjellemzőbbek. Az északi területrészekeken előfordul sekély termőrétegűség miatt szélsőséges vízgazdálkodású talaj is (9), emellett dél-nyugat kis részén gyenge víznyelésű, igen gyenge vízvezető-képességű, erősen víztartó, igen kedvezőtlen, extrémén szélsőséges vízgazdálkodású talajok (6) is találhatóak.

2.3. Éghajlat és vízrajz

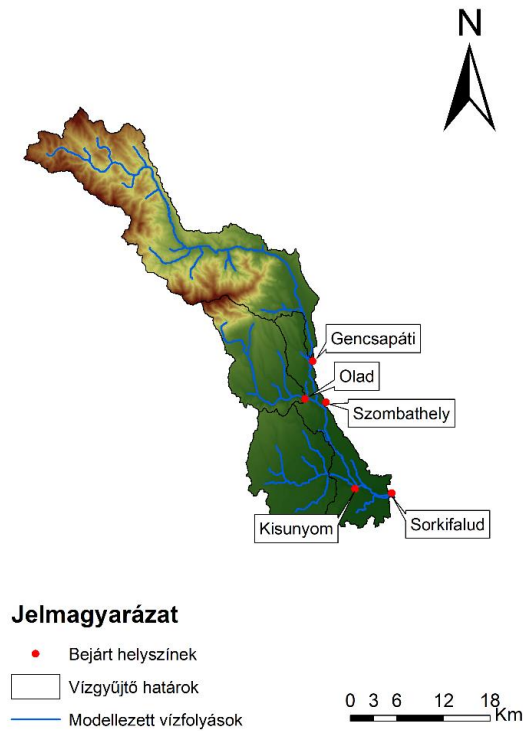
A vizsgált területen Magyarország határain belül szintén az MBFSZ térképei adnak információt az éghajlat elemeinek jellemzőiről. A térképi adatok alapján belátható, hogy az éves átlaghőmérséklet 9-10° közé esik.

Az átlagos évi csapadékösszegek jellemzője, hogy észak-keletről dél-nyugat irányába haladva nőnek a csapadékösszegek. Észak-keleten a Gyöngyös-patak vízgyűjtőterületének kis részén az átlagos évi csapadékösszeg 625-650 mm. Az Arany-patak, a Sorok-Perint teljes területén, illetve a Jáki-Sorok mértékadó részén ezen összeg 650-675 mm. A Jáki-Sorok legdélebbi területeire jellemző egyedül a 675-700 mm-es csapadékösszeg. A területen belüli változékonyság miatt indokolt az igény a minél részletesebb, lehetőleg raszteres csapadékatatokra. [4]

A terület vízrajzát egyértelműen a négy vízgyűjtőterület vízfolyásai határozzák meg. A Gyöngyös-patak Ausztriából ered és a Rábába torkollik, ez a patak a Kőszegi-hegység egyik fő vízfolyása. Az Arany-patak az Ausztriában eredő Rohonci-patak és Bozsoki-patak egyesüléséből jön létre, Szombathelynél éri el a Sorok-Perintet, azaz a Perint patakot. A Perint a Gencsapáti község felső részén a Módos-gátnál ágazik el a Gyöngyös-patakából. Ezután párhuzamosan folynak nyugatra, majd Sorokpolánytól északra a Perint egyesül a Jáki-Sorokkal, amely ezután Sorok néven fut tovább. A 2. ábrán látható a vízfolyások elhelyezkedése, illetve a vízfolyások viszonyulása egymáshoz.

2.4. Helyszíni bejárás

2019 júliusában egy teljes napos bejárás során érintettük Sorkifalud, Kisunyom, Szombathely, Olad és Gencsapáti településeket, összesen kilenc felmérési állomással. A bejárás fő célja a fontosabb műtárgyak és a mederhálózat állapotának, geometriájának felmérése volt. A 6. ábrán láthatóak a bejárás során érintett települések elhelyezkedései.



6. ábra A helyszíni bejárás fontosabb pontjai

2.4.1. Gyöngyös-patak

A Gyöngyös-patakot Gencsapáti községnél tekintettük meg. Láthattuk, hogy a meder erősen növényzettel borított, amely fontos tényező a modell Manning-féle érdességi paraméterének meghatározásához. A 7. ábrán látható a meder állapota és nagysága.



7. ábra A Gyöngyös-patak medre

A modell elkészítéséhez különösen fontos volt megtekintenünk a Gyöngyös-patakot a Gencsapáti községnél, ugyanis a NYUDUVIZIG tájékoztatása alapján itt a patak vizei megosztásra kerülnek, melynek során zsilipen keresztül szabályozottan a kisvizek (max. 5 m³/s) a Gyöngyös-műcsatornába kerülnek, a nagyvizek pedig oldalbukón keresztül a régi természetes mederbe jutva Sorok-Perintként tovább folyva Zsennye községnél a Rábába csatlakoznak. A zsilip műtárgy és az oldalbukó is jó állapotú, azonban a zsilip méretei miatt felmerülő probléma lehet a visszaduzzasztás kérdése. A természetes meder erősen borított növényzettel. A műtárgyak és a természetes meder képei a 8. ábrán láthatóak.



8. ábra Az oldalbukó és alvize (felső sor) illetve a zsilip felvízi és alvízi oldala (alsó sor)

2.4.2. Arany-patak

Az Arany-patak főmedre erősen borított növényzettel, hullámtere azonban rendben tartott, a bejárásunk épp a növényzet hullámtéri lekaszálása után történt. A patak vizének jó vízminőségére indikátor a bejárás során is megfigyelt folyami rákok jelenléte (9. ábra).



9. ábra Az Arany-patak, illetve folyami rák a medrében

Az oladi vízmérce állapota kiváló, a mérce környezetében a meder betonozott, beépített Thomson bukóval (10. ábra).



10. ábra Az oladi vízmérce és a Thomson bukó

2.4.3. Sorok-Perint

A Sorok-Perint teljes szakaszán dominál a többi vízfolyás esetén is látható erős növényzet a meder és környékén. Az Arany-patak és Jáki-Sorok torkolatai között láthattunk egyedül hullámtéri rendezést, a növényzet kaszálását.

Az Arany-patak Szombathelynél történő befolyásánál látható volt, hogy a két patak találkozására, illetve az Arany-patak medre szabályozott, nemrégiben rendezhették kotrással (11. ábra).



11. ábra A Sorok főága és az Arany-patak betorkollása

2.4.4. Jáki-Sorok

A Jáki-Sorok esetén is a növényborítottság igen nagymértékű a mederben és a hullámtéren. A kisnyomi vízmérce szintén jó állapotú, Thomson bukóval beépített burkolt mederszakasszal (12. ábra), azonban a víz sokkal zavarosabb, mint például az Arany-patak esetén.



12. ábra A Jáki-Sorok medre és mérceszelvénye

3. Rendelkezésre álló adatok

A csapadék-lefolyás modell elkészítéséhez számos bemeneti adatra szükség volt. Természetesen a legfontosabbak a csapadék és vízhozam adatok, illetve a kalibráláshoz és az igazoláshoz használt események kiválasztása. Ezeken kívül szükség volt a terepi adatokra a kiindulási terepmodellhez. A HEC-HMS-ben állítandó paraméterek közül sok az ArcGIS szoftverben készült terepmodellből kivett érték, emellett szükség volt az MTA ATK AKI (EU Soil Hydro Grid) talajfizikai paraméter adatbázisára, és egyéb akár bejárás során felmért paraméterre.

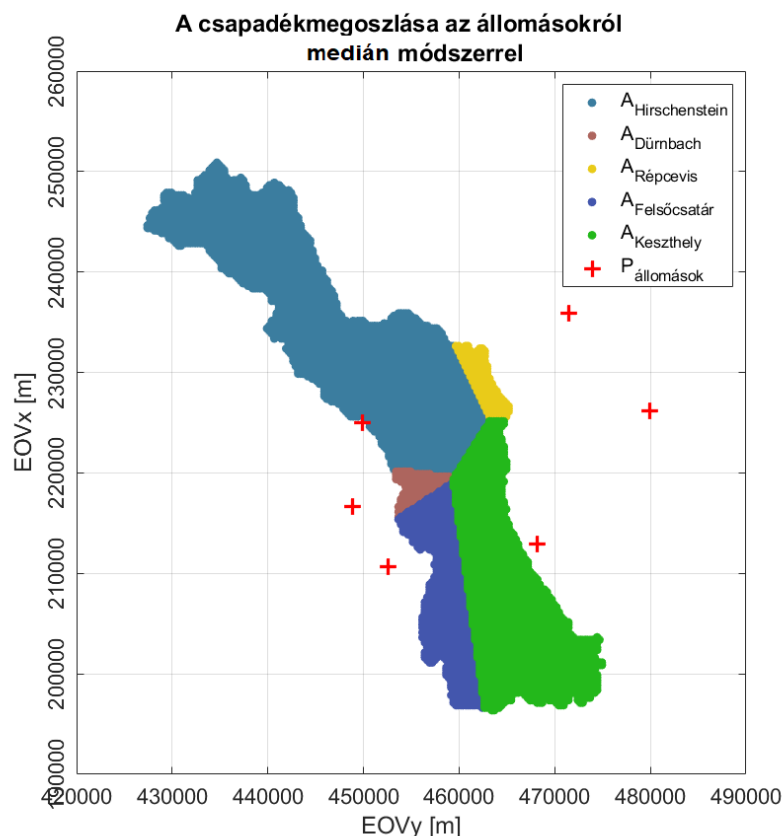
3.1. Vízrajzi adatok

A dolgozathoz rendelkezésre álltak az Arany-patak, Gyöngyös-patak, Jáki-Sorok és Sorok-Perint változó időközönkénti (általánosságban 15 perces) vízhozam idősorai 2001. január 1-től 2017. december 31-ig. Ezen idősorokat MATLAB numerikus matematikai szoftver segítségével konvertáltam órás idősorokká.

Mivel a dolgozat célja a különböző típusú csapadékadatok használatának összehasonlító elemzése, ezért kétféle típusú csapadékadattal dolgoztam.

Az első adatforrás felszíni csapadékmérő állomások idősoraiból származik. A terület kellő lefedéséhez hat állomás adataira volt szükség, név szerint a Gór, Répcevis, Keszthely és Felsőcsatár magyarországi állomások, illetve Hirschenstein és Dürnbach im Burgendland osztrák állomások adataira. Az állomások adatai eltérő időintervallumokban álltak rendelkezésre, emellett pedig szükséges volt az ezen állomásokon mért csapadékok területi átlagolására.

Ehhez a medián módszerre volt szükség. Az állomásokat összekötő egyenesekre felező merőlegeseket állítva osztjuk fel a területet. Így minden csapadékmérőhöz egy részterület tartozik. Ezen a részterületen az állomáson mért csapadékmagasságot tekintjük átlagosnak. A módszer igen nagy előnye, hogy nincsenek kieső és fölösleges területek, valamint az, hogy a vízgyűjtőn kívüli állomásokhoz kisebb területeket rendel, mint a vízgyűjtő belsejében elhelyezkedőkhöz. [5] A 13. ábrán látható az állomások elhelyezkedése, illetve a szerkesztett poligonok. Az adatok feldolgozásához szintén a MATLAB szoftvert használtam.

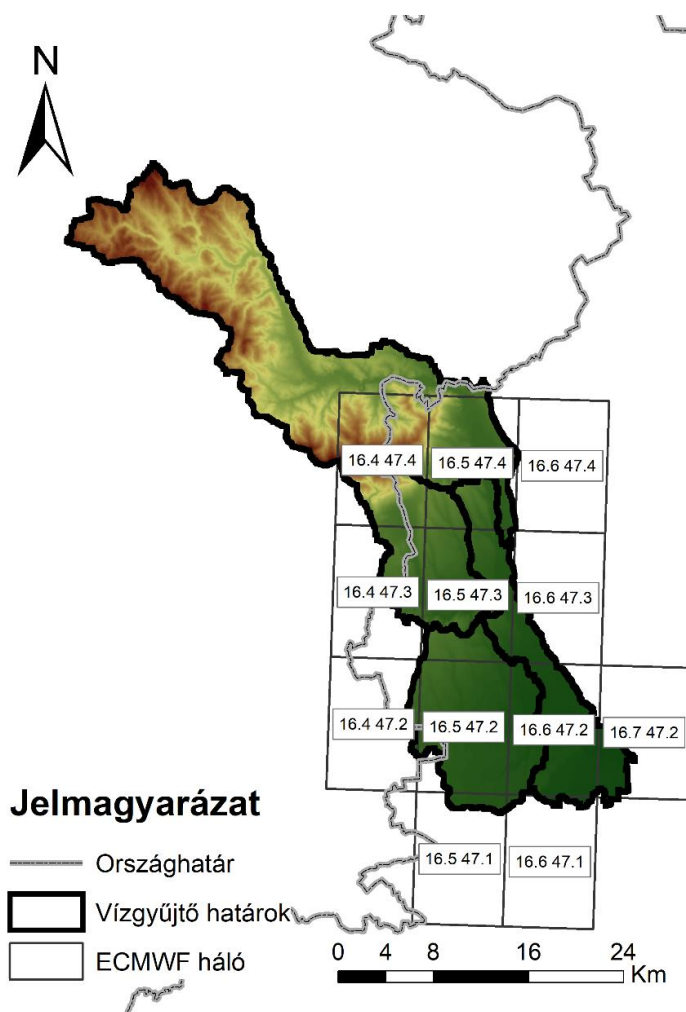


13. ábra A medián módszer során kijelölt poligonok

A másik alkalmazott csapadék adatforrás az ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) adatbázisa. Ez egy független, számos európai ország által támogatott szervezet, amely úgynevezett reanalízis adatokat szolgáltat. Ez azt jelenti, hogy a különböző forrású adatokat (például a felszíni állomások adatait, illetve a műholdas adatokat) interpolálják egy egységes rácshálózatra. Ennek előnye, hogy az adatbázis homogén és teljes, azaz nincsenek adathiányos időszakok. Emellett az adatbázis ingyenesen elérhető, emellett a HEC-HMS szoftver lefolyás-modellébe is beolvasható. Azonban az ECMWF adatbázis hátránya, hogy az interpoláció során a térben változékony adatok simításra kerülnek, azaz például az extrém csapadékkintenzitások csökkenhetnek a valósághoz képest. Az általam felhasznált produktum a C3S ERA5. [6]

Az adatok időbeli felbontása órás, térbeli felbontása 0.1° , illetve 2001-től napjainkig szerezhetőek meg az adatok.

Az ECMWF háló rácsei lefedik a vizsgált vízgyűjtőterületeket, amelyeket így több alrészre bontanak, ahogyan ez a 14. ábrán is látható.



14. ábra Az ECMWF hálórácsa

A HEC-HMS szoftver lehetőséget nyújt olyan meteorológiai modell létrehozására, amelybe területarányosan súlyozhatjuk a vizsgált vízgyűjtőinkhez tartozó vízmérce adatokat. Az ECMWF hálórácsából származó részterületek értékeivel súlyozzuk a hálórács csapadék adatait, így ezek összege a vízgyűjtőterületen belül kiteszik a modellbe bekerülő csapadékatokat.

Összegezve az adatokat az 1. táblázatban láthatóak időbeli felbontásuk, illetve a rendelkezésre álló időintervallum.

1. táblázat A vízrajzi adatok összefoglalója

Adattípus	Hol	Időbeli felbontás	Mettől	Meddig
Vízhozam	Gyöngyös-patak	órás	2001.01.01.	2017.12.31.
	Arany-patak	órás	2001.01.01.	2017.12.31.
	Jáki-Sorok	órás	2001.01.01.	2017.12.31.
	Sorok-Perint	órás	2001.01.01.	2017.12.31.
Csapadék, felszíni	Dürnbach	napi	2007.12.31.	2008.10.02.
		15 perces	2008.10.01.	2019.10.02.
	Hirschenstein	napi	2002.01.01.	2015.06.11.
		15 perces	2015.06.11.	2019.02.26.

Csapadék, felszíni	Felsőcsatár	órás	2006.01.02.	2017.12.31.
	Gór	órás	2006.01.22.	2017.12.31.
	Répczevis	órás	2006.01.02.	2017.12.31.
	Keszthely	órás	2005.08.20.	2016.05.14.
Csapadék, ECMWF	Teljes terület	órás	2001.01.01.	2019.05.01.

3.2. Kiválasztott események

A modellhez kiválasztásra kerültek események, amelyekkel a kalibrálást, illetve az igazolást elvégeztem. Legelőször azon események kerültek kiválasztásra, amelyek látszólag kellő mérési adattal rendelkeztek, azaz az ábrázolt árhullámok biztosan nem voltak hiányosak. Másodlagos szempont volt az árhullámok alakja, azaz szintén az olyan események kiszűrése, ahol lehetséges hiba történt az adatok rögzítésénél, vagy ismeretlen külső hatás miatt az árhullám alakja torzult. A kiválasztott tíz esemény az 1. mellékletben látható azonosító számmal együtt. Sajnos a rendelkezésre álló csapadék idősorok 2007-től rendelkeznek adatokkal, ezért az eseményekből kilenc darab lett felhasználva a modell kalibrálásához, illetve igazolásához.

3.3. Térinformatikai adatok

A modell beviteli adatai között morfológiai paraméterek is találhatóak. Ezek a vízgyűjtőterületek nagysága, a vízfolyások hossza és esése. Az ArcGIS szoftverben készített vízgyűjtőmodellből mindezek könnyedén kinyerhetőek és manuálisan bevihetők a HEC-HMS programba. Az 4.1. fejezetben olvasható a paraméterek kinyeréséhez szükséges vízgyűjtőmodell lehatárolásának módja.

Az ismertetett paraméterek mellett számos térinformatikai térképre is szükség volt a modell felépítéséhez. A felhasznált terepmodell az EU-DEM raszter állománya, melynek cellamérete 25x25 méteres. A 3.5. fejezetben kifejtett talajfizikai paraméterek is az EU-Soil Hydro Grid letölthető térképállományaiból voltak kinyerhetőek, amelyeknek a 250 méteres felbontását használtam. Mindemellett a modell ellenőrzésére a vízügyi igazgatóságok hivatalos adatbázisának térképeit, illetve a területhasználat meghatározására a CORINE Land Cover vektoros állományát használtam fel. Az MBFSZ online térképszerviz adatai és az MTA ATK AKI Agrotopo nevű térképállománya is információkat nyújtott számomra a vízgyűjtőterületek jellemzőiről.

3.4. Számított adatok

A modellben szükséges paraméter az összegyülekezési idő, amely az egyetlen külön számítást igénylő érték. Kiszámítása a vízgyűjtőterületekre a Wisnovszky-formulával történt [7]

$$\tau = \frac{L^2}{\sqrt{A * S}} \quad [min]$$

ahol

- L a völgy hossza [km],
- S a völgy átlagos esése [-],
- A a vízgyűjtő nagysága [km²].

A 2. táblázatban láthatóak a számítás eredményei a négy vízgyűjtőterületre.

2. táblázat A vízgyűjtőterületek összegyülekezési idejei

Vízgyűjtő	Összegyülekezési idő [óra]
Gyöngyös-patak	9.65
Arany-patak	4.43
Sorok-Perint	15.90
Jáki-Sorok	3.87

3.5. Talajfizikai paraméterek

A dolgozat fontos témaköre MTA ATK AKI Európai 3D Talajhidrológiai adatbázisából származó talajfizikai paraméterek használhatóságának a megállapítása.

Az adatbázisból három féle talajfizikai paramétert töltöttem le, amelyek a HEC-HMS csapadék-lefolyás modellhez szükségesek. Az adatbázisban a paraméterek összesen hét mélységben vizsgáltak egészen 2 méterig. A térképek 250 méteres és 1 kilométeres felbontásban is elérhetőek. A kiindulási adatokról, a szükséges adatok előállításának módszeréről és az eredményekről tanulmány is készült 2017-ben [8]. A tanulmány kifejti, hogy az adatbázis európai PTF (pedotransfer functions) módszer segítségével (Tóth et al., 2015) [9] készült el. Ennek az európai PTF-nek az alapja az Európai Hidrológiai Adatbázis [10]. Az adatbázis 18 európai ország 29 intézményétől származik, és megtalálható benne több, mint 18 000 talajmintának a taxonómiai, kémiai és fizikai talajparaméterei. Ezen adatok PTF kalibrálására és eredményeinek igazolására voltak felhasználva.

A számomra szükséges és alkalmazott paraméterek a maximális vízkapacitás (saturated water content THS) [cm³*cm⁻³ *100] és a szivárgási tényező (saturated hydraulic conductivity KS) [cm*nap⁻¹ *100]. Ezen paraméterekből az ArcGIS szoftver segítségével leképezhetőek lettek a vízgyűjtőterületekhez tartozó átlagos értékek mélységenként. A 2.

mellékletben látható ezen paraméterek mélység menti alakulása a különböző vízgyűjtőterületek esetén. Számunkra a lefolyás modellezéséhez a legvalóságszerűbb értékeket a legfelső, 0 centiméteres réteg értékei adták.

Mindezek után az egyetlen hiányzó talajfizikai paraméter a levegő belépési szívás (suction), amelynek értékét a HEC-HMS Technical Reference Manual 5. fejezete alapján a szivárgási tényező értékének függvényében határoztam meg, ez látható a 3. táblázatban. [11]

3. táblázat A levegő belépési szívás meghatározása

Talaj típusa	Szivárgási tényező [cm/hr]	Levegő belépési szívás [cm]
homok	21	10.6
vályogos homok	6.11	14.2
homokos vályog	2.59	22.2
vályog	1.32	31.5
iszapos vályog	0.68	40.4
homokos agyagos vályog	0.43	44.9
agyagos vályog	0.23	44.6
iszapos agyagos vályog	0.15	58.1
homokos agyag	0.12	63.6
iszapos agyag	0.09	64.7
agyag	0.06	71.4

A 4. táblázatban találhatóak a vízgyűjtőkre kapott paraméterek értékei, amelyek a 3. táblázat alapján az jelzik, hogy a vizsgált területek iszapos vályog vagy homokos agyagos vályoggal borítottak. Ez nem mutat nagy eltérést a 2.2. fejezet agrotopográfiai térképeitől.

4. táblázat A talajfizikai paraméterek vízgyűjtőnként

Név	Levegő belépési szívás [mm]	A szivárgási tényező [mm/óra]	Telített víztartalom
<i>Arany-patak</i>	407	6.601	0.512
<i>Jáki-Sorok</i>	427	5.175	0.521
<i>Sorok-Perint</i>	403	6.901	0.509

3.6. Egyéb paraméterek

A modell felépítéséhez szintén szükséges bemeneti adat a meder, illetve a vízfolyások különböző fizikai jellemzői.

A helyszíni bejárás segített az említett paraméterek értékét felvenni. A modellbe szükséges a Manning-féle érdesség megadása, amelyre a bejárás tapasztalatai után a legtöbb vízfolyás szakasz esetén 0.07-es értéket vettem fel a modellbe, a nagymértékű növényborítottság miatt [12]. A medrek a legtöbb esetben trapéz szelvényűek, a vízfolyások szélességei 1-2.5 méter között változnak.

4. A modell felépítése

A HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) 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 felhasználását is lehetővé teszi. [13]

A szoftver grafikus felhasználói felülettel rendelkezik. Több különböző számítási módszerrel történő szimuláció létrehozható, emellett minden paraméter állítható a kiválasztott módszerhez.

Az általam készített modell a talajfizikai paraméterek figyelembevételével készült el, így a szoftverben is az ehhez megfelelő módszereket alkalmaztam a veszteségek számítása terén. Az általam használt módszerek az 4.3.2. fejezetében olvashatóak.

A HMS modell felépítése a már említett bemeneti és ellenőrző adatokból, paramétereiből, a vízgyűjtőmodellből és a meteorológiai modellből áll.

Az általam készített modell eseményalapú, egyesített paraméterű és determinisztikus.

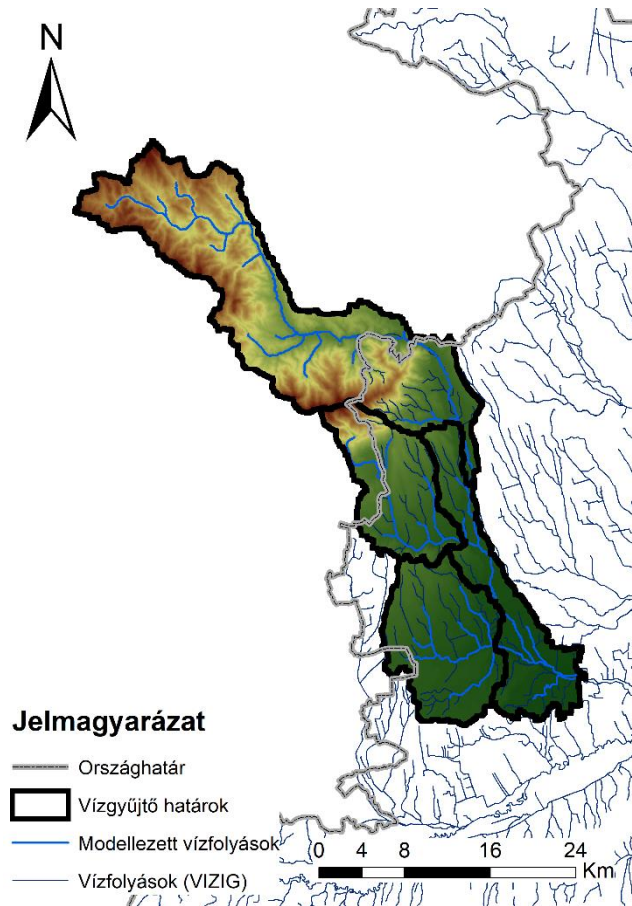
4.1. Vízgyűjtőmodell

A vízgyűjtőmodellt az ArcGIS szoftver segítségével hoztam létre. A szoftvert különböző bővítményekkel lehet kiegészíteni. A vízgyűjtőmodellhez a HEC-GeoHMS kiegészítő szoftverre volt szükség, amely esetén, a menükön végighaladva lehet lehatárolni a vízgyűjtőket, illetve elkészíteni a vízgyűjtőmodellt.

Mindenekelőtt szükség volt a terepmodell létrehozása, amelynek alapja a 3.3. fejezetben ismertetett EU-DEM raszter adatbázis. Ezután következett a terepmodell előkészítése.

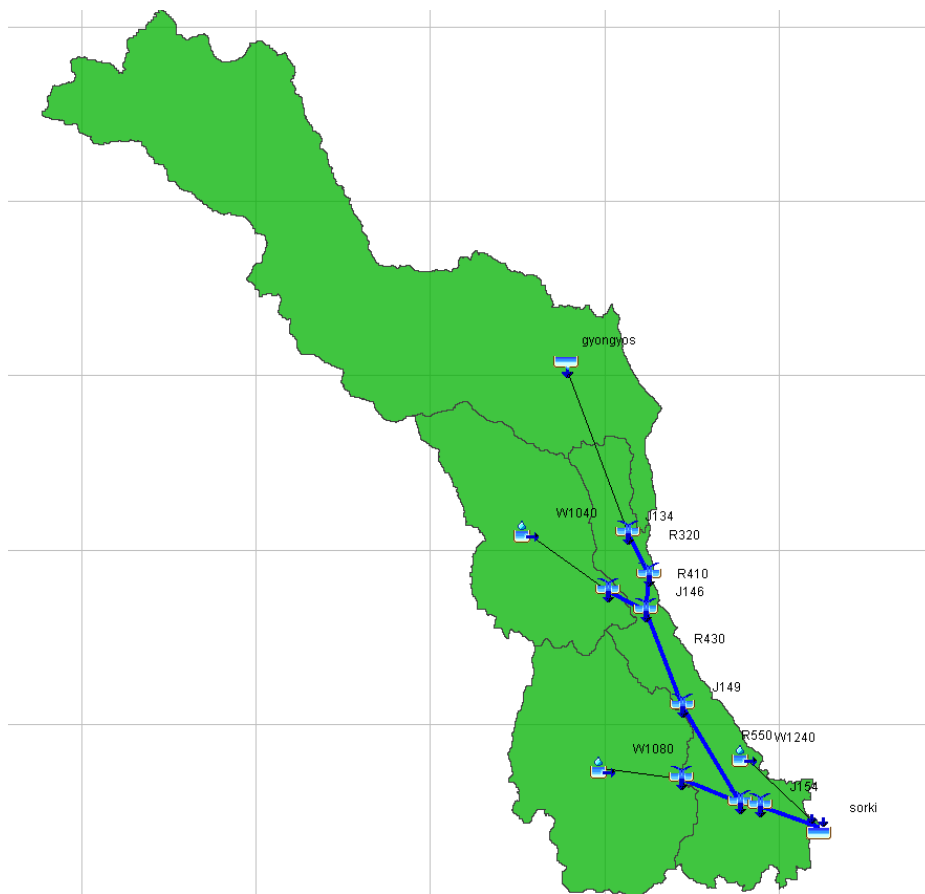
A terepmodell előkészítésének 9 fő lépése van, minden lépésnél külön réteget hoz létre a program. Elsőként a mélyedések feltöltése szükséges (Fill Sinks). Második lépésben a program hozzárendeli minden cellához a legmeredekebb lejtő irányát (Flow Direction). Következő lépésben az adott cellához tartozó felvízi cellák számát határozza meg a program (Flow Accumulation). Ezután meghatározható a felhasználó által megadott felvízi cellaszám alapján, hogy mely cellák számítanak medernek (Stream Definition). Következő lépésben a program vízfolyásszakaszokra osztja a mederként meghatározott cellákat (Stream Segmentation). 6. lépésben a meghatározott vízfolyásszakaszokhoz lehatárolásra kerülnek a vízgyűjtők (Catchment Grid Delineation). Az utolsó előtti két lépésben tér át a szoftver raszter formátumról vektor formátumra a részvízgyűjtők határvonalainak és a vízfolyásszakaszoknak a vektorizálásával (Catchment Polygon Processing, Drainage Line Processing). Az utolsó lépés összesíti a részvízgyűjtőket minden torkolatnál, ennél a lépésnél újabb réteg már nem jön létre (Adjoint Catchment Processing). [14]

Miután az előkészítő lépéseken végighaladtam a modellt a kifolyási pont torkolatával, azaz a sorkifaludi ponttal kimentettem egy új projektbe. A projekten belül a kis részvízgyűjtő területek összevonásra kerültek megadva a vizsgált vízfolyások vízgyűjtőterületeit. Ellenőrzésként a modellezett vízfolyások és a Vízügyi Igazgatóságtól származó hivatalos vízfolyás adatok kerültek összevetésre, amely a 15. ábrán látható. Az eredmények kielégítőek, megfigyelhető a valóság jó közelítése.



15. ábra A valós és modellezett állapot

Az így létrehozott modell már alkalmas volt a 3.3 fejezetben ismertetett adatok kinyerésére. Ezután a vízfolyások és a részvízgyűjtők automatikus elnevezése után, az eredmények ellenőrzésre kerültek és átkonvertáltam őket a HEC-HMS formátumára. Végül exportálásra került, hogy a HMS programba beolvasható legyen. A végleges vízgyűjtőmodell a 16. ábrán látható.



16. ábra A végleges vízgyűjtőmodell szerkezete

4.2. Meteorológiai modell

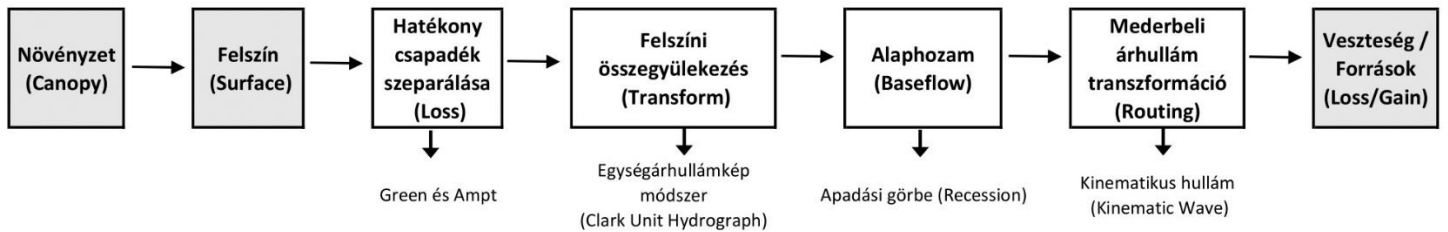
A meteorológiai modellben megadható a mért csapadékadatok bemeneti módja, amely a felszíni csapadékállomás adatai esetén a csapadék idősor megadását jelenti a vízgyűjtők területére (specified hydrograph). Az ECMWF adatok esetén a kiválasztott meteorológiai modell adatai a 3.1 fejezetben ismertetett módon, terület szerinti súlyozással kerültek figyelembevételre (gage weights).

4.3. Csapadék-lefolyás modell

A HEC-HMS program által a vízgyűjtőmodell és meteorológiai modell segítségével a csapadék-lefolyás modell már létrehozható.

4.3.1. A modell összetétele

A csapadék-lefolyás modell különböző számítási modulokból és bemeneti adatokból áll. A modell felépíthető a paraméter menü eszközein végighaladva. A 17. ábrán látható folyamatábra ismerteti a számítási lépések moduljait, illetve bemutatja, milyen módszerek kerültek kiválasztásra az adott számításhoz. A szürkével jelölt lépéseket jelen modell esetén elhanyagoltuk. A 4.3.2. fejezetben ismertetem a lépések esetén kiválasztott módszereket.



17. ábra A HEC-HMS számítási lépés moduljai

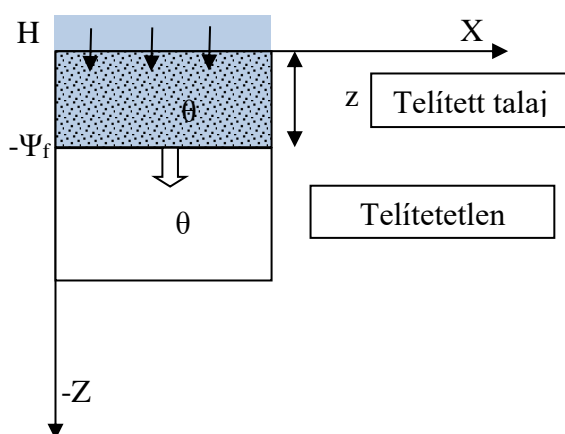
A modell fontos elemei közé tartoznak a bemeneti adatok és paraméterek. Első sorban a kiválasztott módszerek igényelnek paramétereket, emellett a modellezni kívánt időszak intervallumának megfelelően kell csapadék, illetve vízhozam idősorokat megadnunk. A dolgozatban felhasznált idősorokat és paramétereket a 3. fejezetben ismertettem.

4.3.2. A kiválasztott módszerek

Az előző pontban említett hidrológiai számítási lépés modulok módszereinek kiválasztása a vizsgált vízgyűjtők esetén az alábbiak szerint történt.

A modell esetén növényzettel, illetve felszínnel kapcsolatos veszteségeket a hatékony csapadék meghatározásán keresztül vettem figyelembe. Öntözés hiányában a növényzettel borított felszínnek elsődleges vízbevitelét a csapadék képezi, míg kiadási oldalon a párologtatás (transpiráció) dominál. A rendszerbe belépő eső vagy hó egy részét felfogja a lombzat, míg a többi közvetlenül eléri a talajt. A felfogott víz tulajdonképpen a raktározás egyik formájához járul hozzá (növényfelszíni tárolás), amelyet a mikrocsapadékképződés (harmat, dér, zúzvara), valamint a növény által a levél felszínére kiválasztott víz (guttáció) tovább növelhet. A csapadékfelfogás hatékonysága a csapadék fajtájától, intenzitásától és mennyiségétől, valamint a növényzet sajátosságaitól függ. [15]

A hatékony csapadék szeparálási módszerek közül az úgy nevezett Green and Ampt módszert alkalmaztam, mivel ez a módszer tartalmazza az általam vizsgálni kívánt talajfizikai paramétereket, illetve vízgyűjtők modellezésekor ez az egyik legpontosabb módszer beszivárgás számításához. Feltételezzük, hogy H magasságú víz áll a felszínen, és egy éles határ választja a nedves (telített) és száraz (telítetlen) talajt el. Ez a határfelület mozog a talajfelszíntől lefelé a beszivárgás folyamán. A modell a Darcy-féle beszivárgási egyenlet alapján került levezetésre. (18. ábra)



18. ábra: Green-Ampt beszivárgási modell

$$q = -K_s \frac{dh}{dz} = -K_s \frac{h_2 - h_1}{z_2 - z_1} = -K_s \frac{(-\Psi_f - z_f) - (H + 0)}{-z_f - 0} = -K_s \frac{-\Psi_f - z_f - H}{-z_f} = K_s \frac{\Psi_f + z_f + H}{z_f}$$

Ahol q = Darcy beszivárgási sebesség [cm/s], K_s szivárgási tényező [cm/s], Ψ_f belépési szívás [-cm], H a felszíni vízmélység [cm]. [18]

A Green and Ampt módszer lényegében az egyszerűsítése a Richard egyenletnek, ami egy tranziens áramlási egyenlet a telítetlen porózus közegben zajló folyadékmozgás leírására. [16] A Green and Ampt módszer azt feltételezi, hogy a talaj kezdetben egységes nedvességtartalommal rendelkezik és a beszivárgás az úgy nevezett csappantyú elmozdulással jön létre. [17] A paraméterekhez megadásra került a maximális vízkapacitás, a szivárgási tényező értéke, a veszteség nélküli területek aránya és a kezdeti víztartalom. A kezdeti víztartalom eseményenként változó, míg a veszteség nélküli területek aránya 0 értéket kapott a modellben, ugyanis ennek értéke szintén figyelembe vételre került a hatékony csapadék meghatározás esetén. A kutatás folytatásában tervezett ezen paraméter különálló meghatározása a Copernicus adatállományok segítségével.

Az utolsó fontos paraméter a Green and Ampt módszerhez a levegő belépési szívás. A pórúsvíznyomás talajvíztükör feletti lineáris változásából adódik a telítetlen talajok legfontosabb tulajdonsága, hogy bennük a pórúsvíznyomás kisebb a pórúsvíznyomásánál, e két talajjellemző különbségét nevezik a szívásnak. A szívás a kapilláris szívás és az ozmotikus szívás összegeként írható le ($Y = (u_a - u_w) + \Pi$), ahol a kapilláris szívás ($u_a - u_w$) a légnyomás és a talajvízzel azonos sótartalmú víz feszültségének különbségeként definiálható, az ozmotikus szívás (Π) pedig a talajvízzel azonos sótartalmú víz és a kémiaiailag tiszta víz feszültségének különbsége. Mivel csak a kapilláris szívás nagysága függ a talaj víztartalmától, a víztartalom változása csak a szívás kapilláris komponensét változtatja lényegesen, így egy átlagos mérnöki probléma megoldásakor szíváson a kapilláris szívást értjük. [18]

A felszíni összegyülekezési módszerek közül a Clark Unit Hydrograph egységárhullámkép módszert választottam. Az ehhez szükséges paraméterek az összegyülekezés idő, illetve a tározási együttható.

Az alaphozam módszerei esetén az apadási görbe (recession) lett a kiválasztott. Itt állíthatóak a kezdeti vízhozamok, a recessziós konstansok, a küszöbértékek típusa és értékei. A kezdeti vízhozamok 0, a recessziós konstansok pedig 0.5 értéket vesznek fel. A küszöbérték típusa az árhullámcúcsához viszonyított arány (ratio to peak), melynek értéke 0.2 a vízgyűjtők esetén.

A kiválasztott mederbeli lefolyás (mederbeli árhullám transzformáció) számítási lépés módszere a kinematikus hullám. Itt állítandó a vízfolyás szakaszok hossza, esése, érdessége, alakja, szélessége és rézsűje.

5. Kalibráció és igazolás a felszíni csapadékadatok esetén

A kalibrációhoz alkalmas események kiválasztásához az első lépés volt a lefolyási hányadok vizsgálata, amelyek kiszámíthatóak a megfigyelt lefolyási mennyiségek csapadék mennyiségekkel való elosztásával. A kalibrálás ebben a dolgozatban a felszíni lefolyás értékeire végeztük el. A 5. táblázatban láthatóak a lefolyási hányadok értékei, zölddel kijelölve a kalibrálásra kiválasztott eseményeket.

5. táblázat A felszíni csapadékadatokból származó lefolyási hányadok

	Esemény	Vízgyűjtő		
		Arany-patak	Jáki-Sorok	Sorok-Perint
Csapadék mennyisége	21	39.50	95.77	26.35
Megfigyelt lefolyási mennyiség		7.47	10.59	104.18
Lefolyási hányad		0.19	0.11	3.95
Csapadék mennyisége	22	19.57	27.81	7.74
Megfigyelt lefolyási mennyiség		2.53	1.34	40.79
Lefolyási hányad		0.13	0.05	5.27
Csapadék mennyisége	26	47.52	65.21	34.35
Megfigyelt lefolyási mennyiség		13.67	21.61	103.62
Lefolyási hányad		0.29	0.33	3.02
Csapadék mennyisége	29	47.51	60.93	21.56
Megfigyelt lefolyási mennyiség		1.48	1.90	21.07
Lefolyási hányad		0.03	0.03	0.98
Csapadék mennyisége	30	33.47	56.87	10.45
Megfigyelt lefolyási mennyiség		9.28	5.97	108.14
Lefolyási hányad		0.28	0.10	10.35
Csapadék mennyisége	32	17.84	33.84	32.90
Megfigyelt lefolyási mennyiség		10.32	25.95	103.38
Lefolyási hányad		0.58	0.77	3.14
Csapadék mennyisége	33	7.50	18.72	14.59
Megfigyelt lefolyási mennyiség		9.37	1.74	26.06
Lefolyási hányad		1.25	0.09	1.79
Csapadék mennyisége	35	25.71	32.98	49.67
Megfigyelt lefolyási mennyiség		17.34	16.33	70.11
Lefolyási hányad		0.67	0.50	1.41
Csapadék mennyisége	46	25.97	45.54	21.51
Megfigyelt lefolyási mennyiség		0.76	4.41	23.09
Lefolyási hányad		0.03	0.10	1.07

A lefolyási hányadok ideális esetben 0.1 és 0.6 értékek között változnak a KoKoWin 4-46. ábrája és 6-9. táblázata alapján. [19] A Sorok-Perint esetén látható, hogy külső hatás történik a vízgyűjtőterületen. Ez a már ismertetett mesterséges vízkormányzás, amelyet a

2. 3. fejezetben fejtettem ki. A vízkormányzás pontos adatainak hiányában, illetve annak összetettsége miatt a Sorok-Perint vízgyűjtőjére nem kalibráltam az eseményeket. Az Arany-patak és a Jáki-Sorok esetén nagy eltérések mutatkoznak a lefolyási hányadok között. A minimum érték 0.03, amíg a maximum 1.25, amely mérési hibára utal, ugyanis eszerint nincs elég csapadék a területen.

A kalibráció során kezdeti értéként pontosan a kinyert értékeit adtam meg a talajfizikai paramétereknek. Ezek értékei vízgyűjtőként változóak, de eseményenként állandók voltak. Eseményenként egyedül a kezdeti víztartalmat változtattam, mert ez a futtatások során kezdeti feltételnek tekinthető. A kalibráció eredménye a hatékony csapadék felszíni lefolyásáról a 6. táblázatban látható.

6. táblázat A felszíni csapadékadatokkal való kalibráció eredménye

	Esemény	Modellezett lefolyás [mm]	Megfigyelt lefolyás [mm]	10% belül?	Kezdeti víztartalom
Arany-patak	21	6.85	7.47	IGEN	0.5
Jáki-Sorok		13.96	10.59	NEM	0
Arany-patak	26	13.76	13.67	IGEN	0.5
Jáki-Sorok		19.23	21.61	IGEN	0.5
Arany-patak	29	1.56	1.48	IGEN	0.29
Jáki-Sorok		1.96	1.9	IGEN	0.21
Arany-patak	30	9.02	9.28	IGEN	0.5
Jáki-Sorok		6.29	5.97	IGEN	0.48

A kalibráció egy eseménynél, a Jáki-Sorok esetén nem hozott elfogadható értéket (21 %-os eltéréssel), a többi eseménynél megfelelő az eredmény a paraméterek felhasználásával. A paraméterek értékei a kalibrálás elvégzése után a 7. táblázatban láthatóak.

7. táblázat A kalibrálás utáni talajfizikai paraméterek

Név	Levegő belépési szívás [mm]	Szivárgási tényező [mm/óra]	Telített víztartalom
Arany-patak	636	1.2	0.512
Jáki-Sorok	581	1.5	0.521

A talajfizikai paraméterek közül a maximális vízkapacitás változtatására nem volt szükség, amíg a szivárgási tényező értéke és ezzel összefüggően a levegő belépési szívás is változtatást igényelt a modell kalibrálása során. A szivárgási tényező értéke az Arany-pataknál több, mint ötödére csökkent, azonban ez a levegő belépési szíváson 36%-os növekedést eredményezett. A Jáki-Sorok esetén a szivárgási tényező értéke több, mint harmadára csökkent, és az ehhez tartozó levegő belépési szívás 27%-os növekedést mutat. A változás a talajtípus átsorolását jelenti, amely az Arany-patak esetén homokos agyaga Jáki-Sorok esetén pedig iszapos agyagos vályog. A kezdeti értékek szerint iszapos vályog és

homokos agyagos vályog között szerepeltek a vízgyűjtők. A kategóriák változása ez esetben nem nagyléptékű.

A modell igazolásához a kiválasztott kilenc eseményből választottam bizonyos, kalibráláshoz fel nem használt eseményeket.

A validálás eredményei a 8. táblázatban láthatóak.

8. táblázat A validálás eredményei felszíni csapadékatok esetén

	Esemény	Modellezett lefolyás	Megfigyelt lefolyás	10% belül?	Kezdeti víztartalom
Arany-patak	22	2.58	2.53	IGEN	0.5
Jáki-Sorok		1.3	1.34	IGEN	0.425
Arany-patak	32	10.24	10.32	IGEN	0.49
Jáki-Sorok		15.31	25.95	NEM	0.5
Arany-patak	33	0.65	9.35	NEM	0.5
Jáki-Sorok		0.59	1.74	NEM	0.5
Arany-patak	46	0.78	0.76	IGEN	0.49
Jáki-Sorok		2.39	4.41	NEM	0.5

Az igazolás eredményeiből látható, hogy három esemény esetén is nem megfelelő eredményeket hoz a modell.

6. Kalibráció és igazolás az ECMWF adatok esetén

Ahogy a felszíni csapadékadatoknál, úgy az ECMWF adatok esetén is a kalibrációhoz alkalmas események kiválasztásához az első lépés a lefolyási hányadok vizsgálata volt. A kalibrálás ebben az esetben is a felszíni lefolyás értékeire készült el. A 9. táblázatban láthatóak a lefolyási hányadok értékei, zölddel kijelölve a kalibrálásra kiválasztott eseményeket.

9. táblázat Az ECMWF adatokból származó lefolyási hányadok

	Esemény	Vízgyűjtő		
		Arany-patak	Jáki-Sorok	Sorok-Perint
Csapadék mennyisége		87.12	96.43	87.94
Megfigyelt lefolyási mennyiség	21	7.47	10.59	104.18
Lefolyási hányad		0.09	0.11	1.18
Csapadék mennyisége		24.03	20.64	21.83
Megfigyelt lefolyási mennyiség	22	2.53	1.34	40.79
Lefolyási hányad		0.11	0.06	1.87
Csapadék mennyisége		52.16	51.58	52.41
Megfigyelt lefolyási mennyiség	26	13.67	21.61	103.62
Lefolyási hányad		0.26	0.42	1.98
Csapadék mennyisége		41.26	46.62	42.61
Megfigyelt lefolyási mennyiség	29	1.48	1.90	21.07
Lefolyási hányad		0.04	0.04	0.49
Csapadék mennyisége		76.22	76.44	75.60
Megfigyelt lefolyási mennyiség	30	9.28	5.97	108.14
Lefolyási hányad		0.12	0.08	1.43
Csapadék mennyisége		49.19	48.66	48.81
Megfigyelt lefolyási mennyiség	32	10.32	25.95	103.38
Lefolyási hányad		0.21	0.53	2.12
Csapadék mennyisége		34.84	37.33	34.72
Megfigyelt lefolyási mennyiség	33	9.37	1.74	26.06
Lefolyási hányad		0.27	0.05	0.75
Csapadék mennyisége		54.02	43.90	50.53
Megfigyelt lefolyási mennyiség	35	17.34	16.33	70.11
Lefolyási hányad		0.32	0.37	1.39
Csapadék mennyisége		32.33	34.43	32.86
Megfigyelt lefolyási mennyiség	46	0.76	4.41	23.09
Lefolyási hányad		0.02	0.13	0.70

Az Arany-patak és a Jáki-Sorok esetén is sokkal kedvezőbben alakulnak a lefolyási hányadok az ECMWF adatok esetén. A minimum érték 0.02 amíg a maximum 0.53. A kalibráció a zölddel jelölt események esetén zajlott le, melynek eredményeit a 10. táblázat tartalmazza.

10. táblázat Az ECMWF adatokkal való kalibráció eredménye

	Esemény	Modellezett lefolyás	Megfigyelt lefolyás	10% belül?	Kezdeti víztartalom
Arany-patak	21	7.31	7.47	IGEN	0.48
Jáki-Sorok		10.88	10.59	IGEN	0.425
Arany-patak	29	1.56	1.48	IGEN	0.475
Jáki-Sorok		1.93	1.9	IGEN	0.41
Arany-patak	35	17.04	17.34	IGEN	0.48
Jáki-Sorok		17.27	16.33	IGEN	0.5
Arany-patak	30	9.42	9.28	IGEN	0.45
Jáki-Sorok		5.79	5.97	IGEN	0.37

Az eredmények biztatóak, minden eseményre sikerült megfelelő értékeket kinyerni a modellből. Az ez esetben alkalmazott paramétereket a 11. táblázat tartalmazza.

11. táblázat A kalibrálás utáni talajfizikai paraméterek

Név	Levegő belépési szívás [mm]	Szivárgási tényező [mm/óra]	Telített víztartalom
Arany	636	1.2	0.512
Jáki-Sorok	647	0.9	0.521

A maximális vízkapacitás ismét változatlan maradt, meghagyva az eredeti adatbázisból kinyert értéket. Azonban a többi paraméter újra csak kalibrálást igényelt, az Arany-patak esetén a felszíni csapadékállomás adataival kalibrált modell paramétereivel megegyeznek az értékek. A Jáki-Sorok esetén a szivárgási tényező értékének csökkentésére volt szükség. A csökkentett érték közelítőleg a hatoda az eredeti paraméternek. Így az ehhez tartozó levegő belépési szívás 34 %-al nőtt. Így ez a vízgyűjtőterület a 3. táblázat szerint iszapos agyag borítású. Az ezután következő validálás eredményei a 12. táblázatban láthatóak.

12. táblázat A validálás eredményei az ECMWF adatok esetén

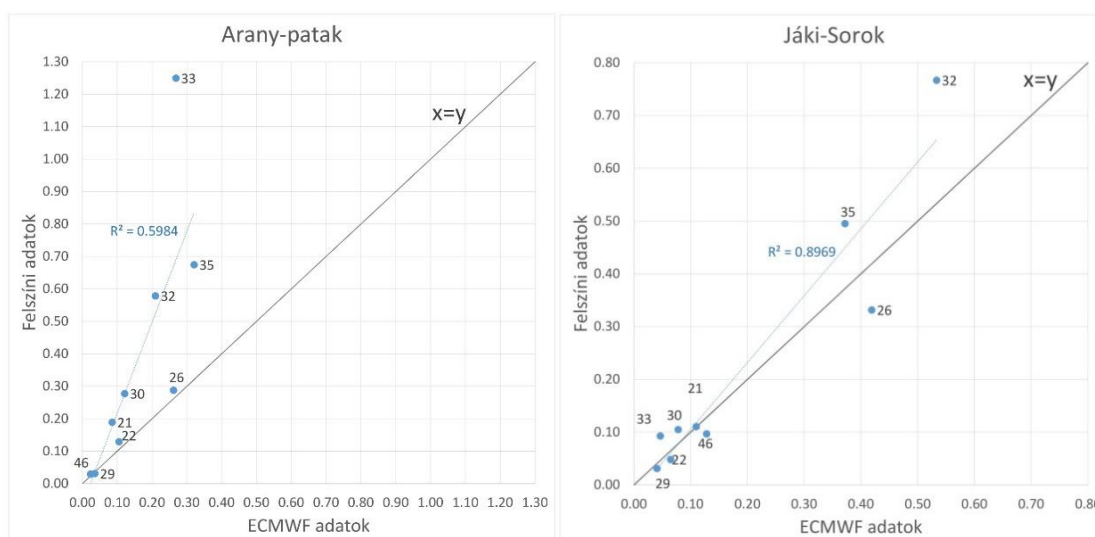
	Esemény	Modellezett lefolyás	Megfigyelt lefolyás	10% belül?	Kezdeti víztartalom
Arany-patak	22	1.03	2.53	NEM	0.5
Jáki-Sorok		1.09	1.34	NEM	0.5
Arany-patak	32	10.62	10.32	IGEN	0.43
Jáki-Sorok		20.89	25.95	NEM	0.5
Arany-patak	33	9.25	9.35	IGEN	0.46
Jáki-Sorok		1.73	1.74	IGEN	0.3
Arany-patak	46	0.71	0.76	IGEN	0.463
Jáki-Sorok		4.51	4.41	IGEN	0.484

A táblázat alapján megállapítható, hogy a validálás két esemény esetén volt sikertelen, azonban jóval kisebb eltérések adódtak, mint a felszíni csapadék adatok esetén.

7. Az eredmények összehasonlítása

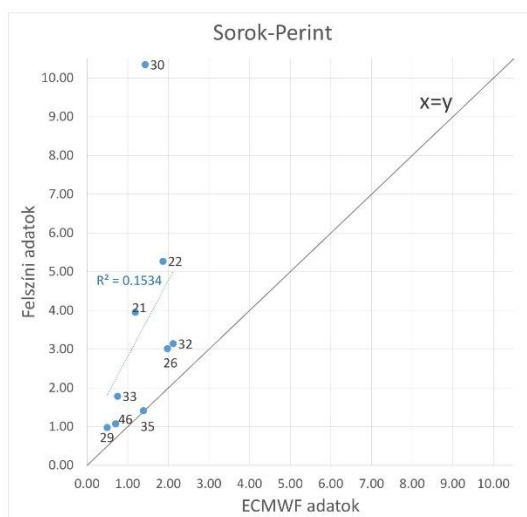
A kalibrálás és a validálás eredményei is sikeresebbek az ECMWF adatokkal előállított modell esetén, a lefolyási mennyiségek nagyobb hatékonysággal feleltek meg a valós mért értékeknek.

A lefolyási hányadokat vizsgálva, az ECMWF adatokból származó modell esetén a hányadok szórása, minimum és maximum közötti különbség jóval kisebb, mint a felszíni csapadék adatok esetén. A 19-20. ábra csoporton látható a felszíni, illetve ECMWF csapadékadatok lefolyási hányadainak egymáshoz viszonyítása a három vízgyűjtőterület esetén. Mivel a vízhozam adatokat, azaz a lefolyást megbízhatóbbnak tekintjük, így a csapadék adatok feltehetően jobban közelítik a valóságot a reálisabb lefolyási hányadok esetén.



19. ábra Az Arany-patak és a Jáki-Sorok lefolyási hányadai

Az Arany-patak és a Jáki-Sorok esetén látható, hogy a felszíni csapadékmérő állomás adatai tendenciózusan nagyobb lefolyási hányadokat eredményeznek, mint az ECMWF adatokból származó eredmények. A Jáki-Sorok vizsgálatánál a korrelációs együttható is jobb értéket mutat, mivel e vízgyűjtőterület esetén közelít a legjobban egyhez, így ebben az esetben a leginkább elmondható, hogy a modell megfelel a mért adatoknak.



20. ábra A Sorok-Perint lefolyási hányadai

A Sorok-Perint esetén a mesterséges vízkormányzás hatása látható az ábrán, ugyanis a lefolyási hányadok mindkét adattípus esetén valótlánul nagyok. A korrelációs együttható is ebben az esetben a legrosszabb értékű, azaz kimutatható, hogy a Sorok-Perint esetén a modell rosszul közelíti a mérési adatokat.

8. Összefoglalás

Összefoglalva a leírtakat, a dolgozat célja a különböző típusú csapadékadatok használatának összehasonlító elemzése, tekintettel a felszíni csapadékmérő állomások és az ECMWF adatbázis adataira, emellett az ingyenesen elérhető EU Hydro Soil térképek adatainak használhatóságának megállapítása.

A csapadékadatok használatát illetően a dolgozat eredményei egyértelműen azt mutatják, hogy az ECMWF adatai sokkal inkább alkalmasak csapadék lefolyás modellezésre, mint a felszíni csapadékmérő állomások adatai. Összehasonlítva a két adathalmaz modelljeinek lefolyási hányadait, azt láthatjuk, hogy a felszíni adatokból előállított modell esetén a hányadok következetesen jóval nagyobbak, mint az ECMWF adatok esetén. Emellett az ECMWF adatok esetén a lefolyási hányadok szórása is kisebb a felszíni adatok lefolyási hányadainak szórásánál, illetve sokkal inkább elérik a kívánt 0.1-0.6 közötti intervallumot, amelyet az 5. fejezetben is részleteztem. Ugyan a paraméterek az ECMWF adat alapú modell esetén nagyobb csökkentést igényeltek a kiindulási adatokhoz képest (Jáki-Sorok), a kalibráció így is ebben az esetben volt eredményesebben elvégezhető az eseményekre. A validálás értékei szintén kedvezőbben alakultak, több esemény esetén lehetett kimutatni a modell eredményeivel a mért értékeket a kalibráció után, mint a felszíni csapadékadatokat felhasználó modellel. Az EU Hydro Soil térképek használhatóságát alátámasztják a dolgozat készítése során kapott eredmények, azonban az értékek nem használhatók fel közvetlenül a modellezés során, csak nagyságrendi becslésre alkalmasak.

Mindezek mellett a dolgozat témakörében még számtalan kutatási lehetőség van. Az ECMWF és a felszíni csapadékmérő állomások adatai mellett vizsgálhatóak lehetnének az OMSZ radar csapadék adatai és H-SAF műholdas adatállományok is. A modell felépítését illetően az osztott paraméteres megoldás is nyitott kérdés. Emellett a felszíni lefolyásra elvégzett kalibráció kiegészíthető az árhullámok alakjának, illetve a tetőző vízhozamok idejének kalibrációjával is. Habár a jelenlegi modellek adatai bizonyos kezdeti paraméterekkel már jelen állapotban is jól közelítik a megfigyelt árhullámok adatait, a tetőzés időpontjai nem egyeznek a valósággal. Ebből kiindulva a Wisnovszky-képlet segítségével számított összegyülekezési idő is átgondolandó, esetlegesen más módszerrel számítható, ugyanis az összegyülekezés idő ezen képlettel való számításának bizonytalansága egy tanulmány során már kimutatásra került. [20]

A jövőben szeretném dolgozatomat ezen kérdéskörökre is kiterjeszteni és ezzel teljes körűvé tenni a különböző típusú csapadékadatok használatának elemzését.

9. Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni Nagy Eszter Dóra és Dr. Bene Katalin konzulenseim rengeteg segítségét és munkáját, mely nélkül jelen dolgozat nem születhetett volna meg.

Köszönöm Rehák András Miklós segítségét a helyszíni bejárás megvalósításában.

Hálával tartozom az Országos Meteorológiai Szolgálat adatszolgáltatás terén nyújtott segítségéért.

Mindemellett köszönöm a Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítványának ösztöndíj pályázati támogatását.

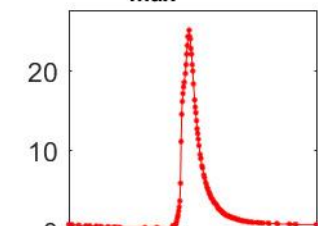
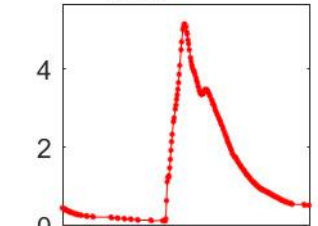
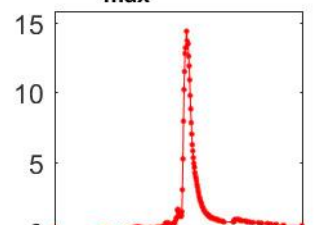
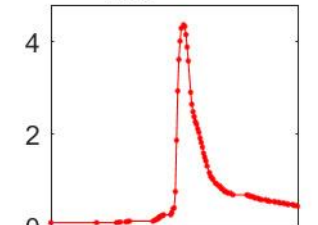
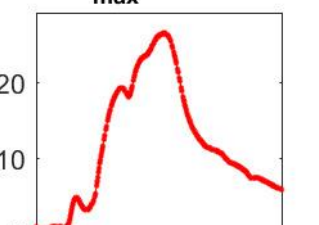
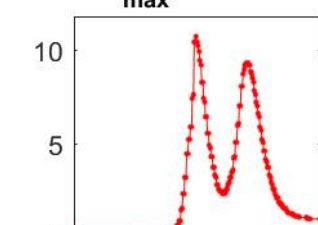
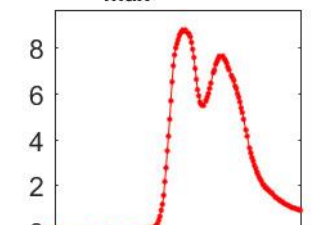
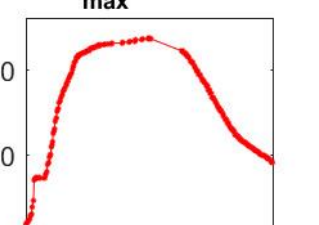
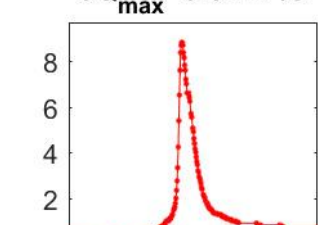
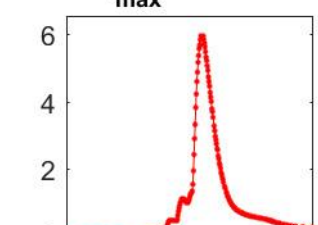
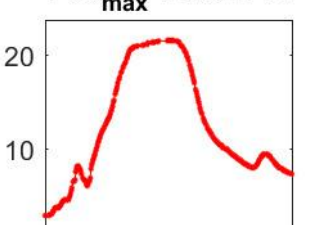
10. Irodalomjegyzék

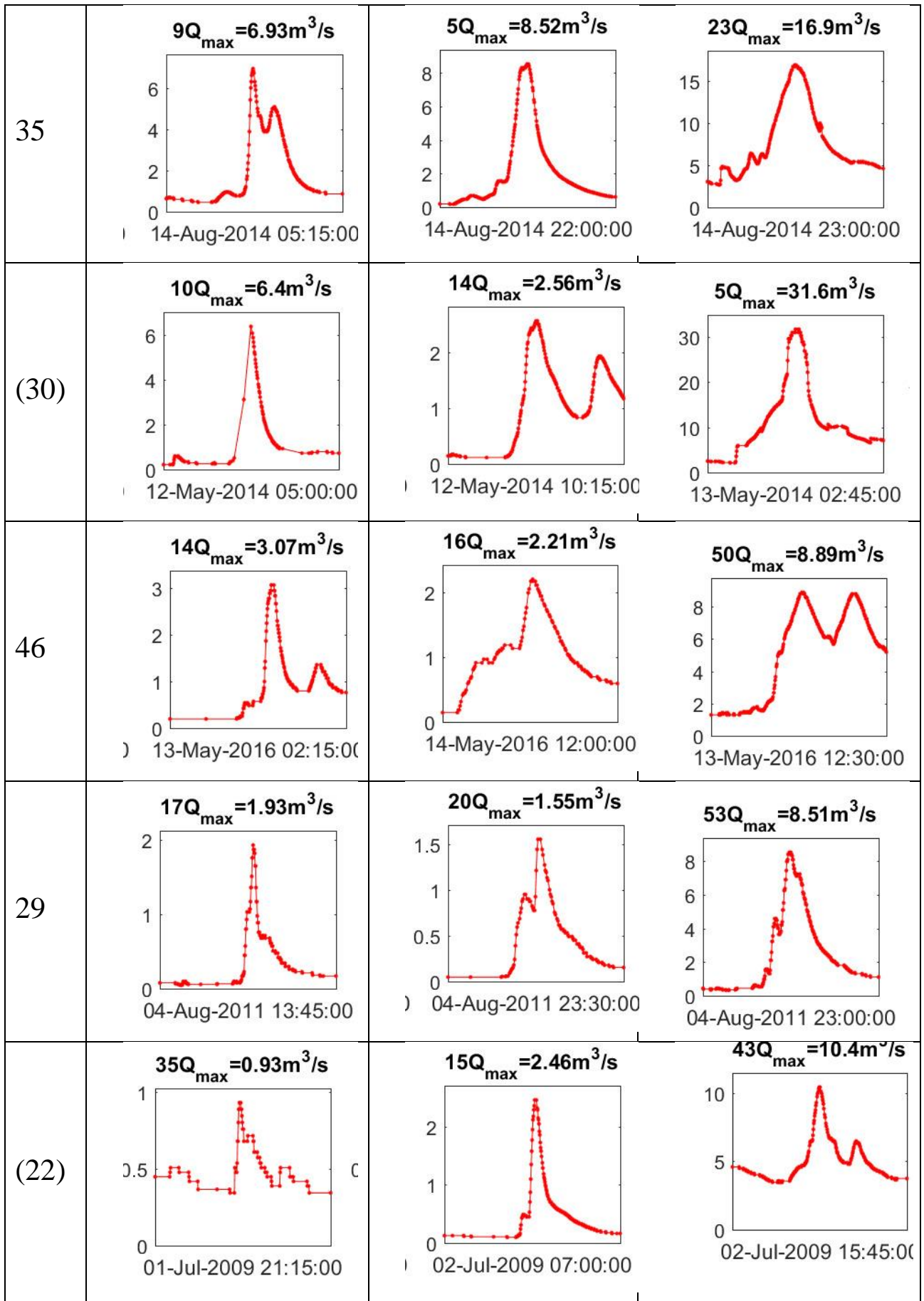
- [1] Vas megye története – Vas megye weboldala
<http://vasmegye.hu/megye/tortenet> [Megtekintve: 2019. 10. 25.]
- [2] CORINE Land Cover – Copernicus
<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
[Megtekintve:2019.10.25.]
- [3] Melléklet az AGROTOPO adatbázisához – letöltött adatok (MTA ATK TAKI)
- [4] MBFSZ éghajlat térképei – MBFSZ térképszerver
<https://map.mbfsz.gov.hu/>
[Megtekintve: 2019.09.18.]
- [5] Kontur,I., Koris, K., Winter, J. (2003) Hidrológiai számítások Lanograf Kft.,
Gödöllő, pp. 230-231.
- [6] Copernicus Climate Change Service (C3S) (2019): *C3S ERA5-Land reanalysis* .
Copernicus Climate Change Service, 15/09/2019.
<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>
- [7] Kontur,I., Koris, K., Winter, J. (2003) Hidrológiai számítások Lanograf Kft.,
Gödöllő, pp. 437.
- [8] Tóth, B., Weynants, M., Pásztor, L., Hengl, T. (2017) *3D Soil Hydraulic Database of Europe at 250 m resolution*, [Publikáció] Hydrol. Process., doi: 10.1002/hyp.11203
- [9] Tóth, B., Weynants, M., Nemes, A., Makó, A., Bilas, G. and Tóth, G. (2015) *New generation of hydraulic pedotransfer functions for Europe*. European Journal of Soil Science. 2015 January, 66: pp. 226–238.
- [10] Weynants, M., Montanarella, L., Tóth, G., Arnoldussen, A., Anaya Romero, M., Bilas, G., ... Wösten, H. (2013). *European HYdropedological data inventory (EU-HYDI)*. EUR – Scientific and Technical Research series – ISSN 1831–9424, Luxembourg. <https://doi.org/10.2788/5936>
- [11] Feldman, A. D. (2000) *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*, Washington, pp. 39-40.
- [12] Ven te, C. (1959) *Open-Channel Hydraulics*, Kogakusha Company, Tokyo, pp. 110-113.
- [13] HEC-HMS – US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center
<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>
[Megtekintve: 2019.10.25.]
- [14] Nagy, E. D., (2016) *Vízgyűjtő-modellezés gyakorlati alkalmazhatóságának vizsgálata a Tarján-patak vízgyűjtőjén* [Diplomamunka] BME, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapest

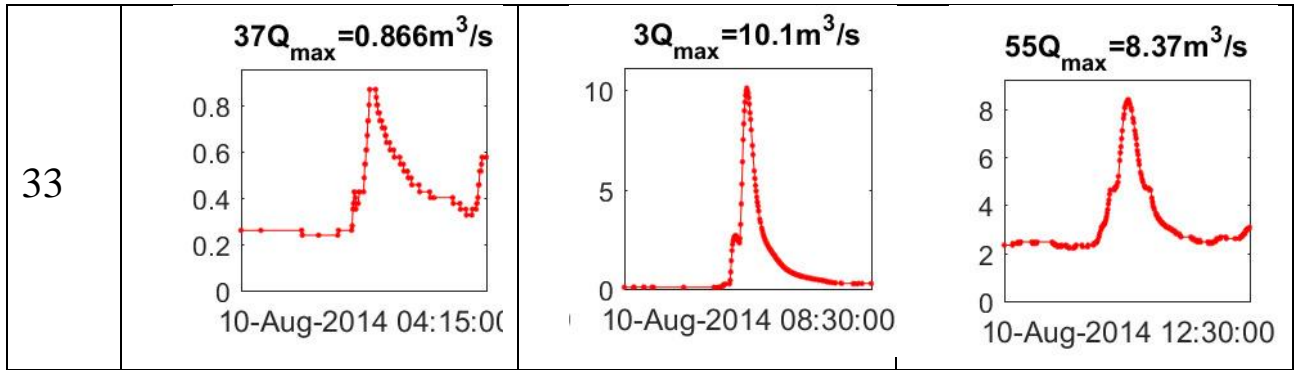
- [15] Unger, J., Sümegehy, Z., Kántor, N., Gulyás, Á., (2012) *Kisléptékű környezeti klimatológia* JATEPress, Szeged
- [16] Freeze, R.A., Cherry, J. A., (1979) *Groundwater* Prentice-Hall, New Jersey
- [17] Scharffenberg, W. A. (2013) *Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual*, Washington, pp. 161.
- [18] Donovál, K., Lévai, D., (2013) *Telítetlen talajparaméterek pontos meghatározása* [TDK dolgozat]
- [19] Kontur I., Koris K., Winter, J. (2003) *Hidrológiai számítások* Lanograf Kft., Gödöllő, pp. 262, 446.
- [20] Nagy, E.D., Torma, P., Bene, K., (2016) Comparing methods for computing the time of concentration in a medium-sized Hungarian catchment

11. Mellékletek

11.1. számú melléklet: a kiválasztott események

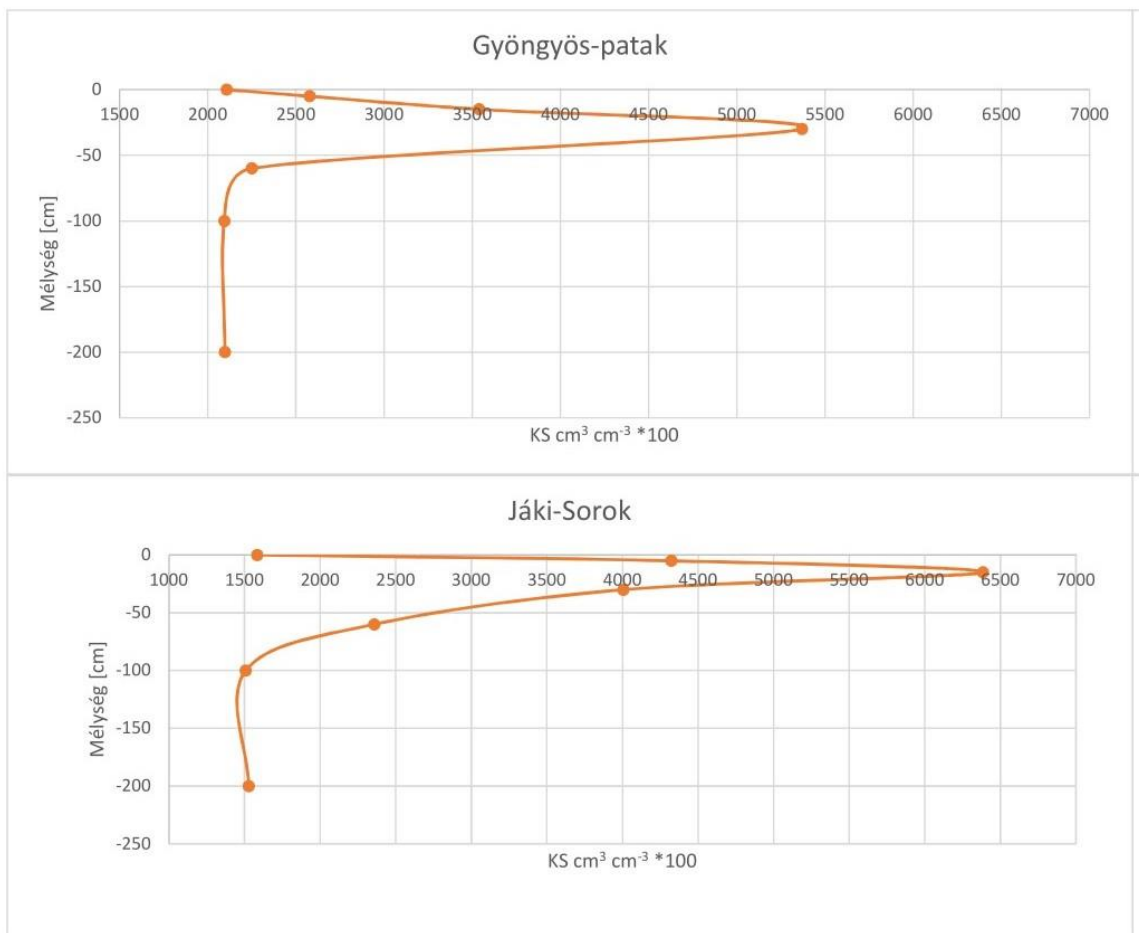
	Arany-patak	Jáki-Sorok	Sorok-Perint
32	<p>$2Q_{\max} = 25\text{m}^3/\text{s}$</p>  <p>31-Jul-2014 01:00:00</p>	<p>$8Q_{\max} = 5.13\text{m}^3/\text{s}$</p>  <p>31-Jul-2014 01:30:00</p>	
10	<p>$5Q_{\max} = 14.4\text{m}^3/\text{s}$</p>  <p>22-Aug-2005 22:45:00</p>	<p>$11Q_{\max} = 4.35\text{m}^3/\text{s}$</p>  <p>22-Aug-2005 20:00:00</p>	<p>$10Q_{\max} = 26.6\text{m}^3/\text{s}$</p>  <p>23-Aug-2005 11:00:00</p>
26	<p>$7Q_{\max} = 10.7\text{m}^3/\text{s}$</p>  <p>26-Sep-2010 09:30:00</p>	<p>$4Q_{\max} = 8.76\text{m}^3/\text{s}$</p>  <p>26-Sep-2010 12:00:00</p>	<p>$12Q_{\max} = 23.7\text{m}^3/\text{s}$</p>  <p>27-Sep-2010 23:00:00</p>
21	<p>$8Q_{\max} = 8.82\text{m}^3/\text{s}$</p>  <p>24-Jun-2009 21:00:00</p>	<p>$7Q_{\max} = 5.94\text{m}^3/\text{s}$</p>  <p>25-Jun-2009 00:30:00</p>	<p>$14Q_{\max} = 21.6\text{m}^3/\text{s}$</p>  <p>25-Jun-2009 23:15:00</p>

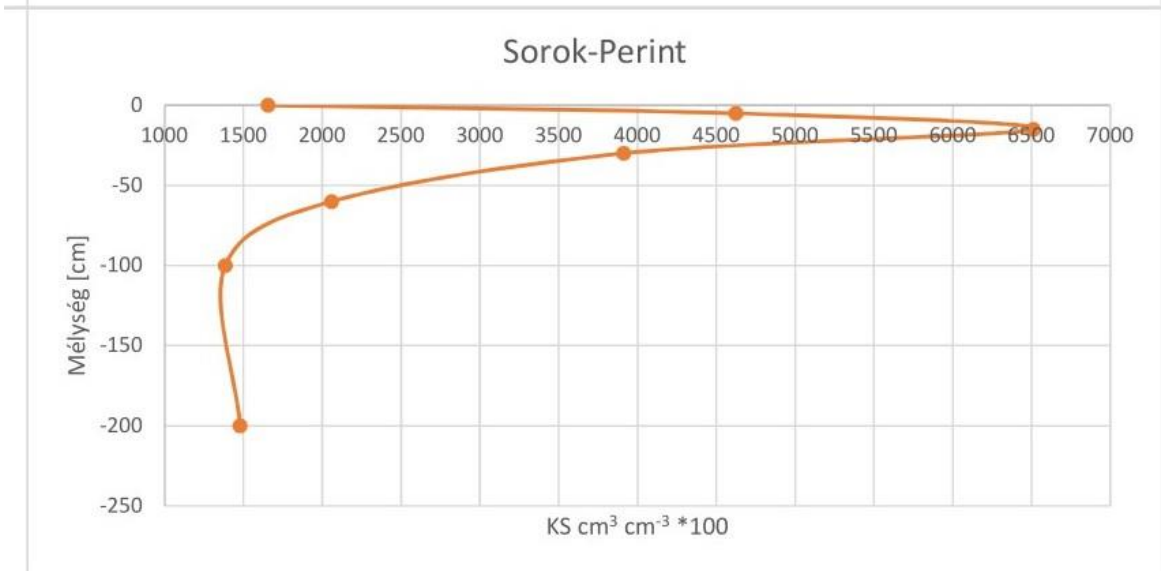




11.2. számú melléklet: a talajfizikai paraméterek mélység menti megoszlása

A szivárgási tényezők értéke





Maximális vízkapacitás

