



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőmérnöki Kar
Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Hidrometeorológiai adatok összehasonlító elemzése eseményalapú hidrológiai modellezés esetén

Négyesi Klaudia

infrastruktúra-építőmérnöki MSc 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, 2020.

Tartalomjegyzék

Absztrakt.....	1
Abstract.....	2
1. Bevezetés	3
2. Terület bemutatása.....	4
2.1. Áttekintés.....	4
2.2. Növényzet.....	5
2.3. Lejtőviszonyok.....	8
2.4. Magassági viszonyok.....	9
3. Rendelkezésre álló adatok	11
3.1. Felszíni állomások adatai.....	11
3.2. ECMWF.....	11
3.3. NASA.....	12
3.4. H-SAF.....	13
3.5. OMSZ	13
3.6. Összefoglalás	14
4. A modell felépítése	16
4.1. Áttekintés.....	16
4.2. Hóolvadás modellezése.....	17
5. Vizsgált események	22
5.1. Lefolyási hányad.....	22
5.2. Szezonális vizsgálatok	24
5.3. Futtatási eredmények	26
6. Hosszú idejű vizsgálatok	29
7. Összefoglalás	33
8. Köszönetnyilvánítás.....	34
9. Irodalomjegyzék	35
10. Mellékletek	37
10.1. A vizsgált események	37
10.2. Trendvizsgálat.....	39
Hóborítottság	39

Csapadék.....	40
Napi középhőmérséklet.....	41

Ábrajegyzék

1. ábra A vizsgált vízgyűjtőterületek elhelyezkedése, részletes helyszínrajza	4
2. ábra A Sorok-Perint részvízgyűjtői.....	5
3. ábra Az erdős területek aránya.....	6
4. ábra Az erdők összetétele	7
5. ábra Erdőkorosztályok	7
6. ábra Lejtőirány térkép (<i>flow direction grid</i>), égtáji helyzet jelmagyarázata.....	8
7. ábra Magassági viszonyok az Arany-patak és a Jáki-Sorok esetén	9
8. ábra A H-SAF hótakaró adatai kirajzolva egy adott időpillanatban	13
9. ábra A valós és modellezett vízrajzi állapot, illetve a végleges vízgyűjtőmodell	16
10. ábra A HEC-HMS számítási moduljai.....	17
11. ábra HEC-HMS hóolvadást számító moduljának működése [19]	17
12. ábra Az olvadási ráta görbéje [22].....	19
13. ábra A lefolyási hányadok alakulása havas és hómentes időszakban (Arany-patak)23	
14. ábra a csapadék mennyisége az Arany-patakon	24
15. ábra A hóolvadás, hőmérséklet és SWE adatok összehasonlítása	25
16. ábra Mért és modellezett árhullámok (2014).....	26
17. ábra A mért és modellezett hó-vízgyenérték (2014).....	28
18. ábra A hóesés és hóolvadás kapcsolata.....	29
19. ábra A hótakaró megjelenése és eltűnése	30
20. ábra Trend a havas napok számának esetén.....	30
21. ábra Trend a hó-vízgyenérték esetén	31
22. ábracsoport Trendek a téli hónapok esetén.....	31

Táblázatjegyzék

1. táblázat Lejtők égtáji helyzete	8
2. táblázat Vízmércék és elhelyezkedésük.....	11
3. táblázat A vízrajzi adatok fontosabb tulajdonságai	14
4. táblázat A különböző adatbázisok jellemzői	15
5. táblázat Az általános hőmérsékleti index paraméterei.....	19
6. táblázat A magassági sávok vízgyűjtőnkénti adatai	20
7. táblázat Kezdeti hó-vízgyenérték.....	20
8. táblázat Vizsgált árhullámok	22
9. táblázat Lefolyási hányadok a téli események esetén.....	22
10. táblázat A futtatás számszerű eredményei (2014)	27

Absztrakt

Név: Négyesi Klaudia
Dolgozat címe: Hidrometeorológiai adatok összehasonlító elemzése eseményalapú hidrológiai modellezés esetén
Konzulensek: Nagy Eszter Dóra
BME Vízépítési és Vizgazdálkodási Tanszék
Dr. Bene Katalin
Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék
Félév: 2020/21/1. félév

Korábbi vizsgálataim során már kiválasztásra került egy megfelelő méretű és adatellátottságú vízgyűjtő, a Sorok-Perint, a Jáki-Sorok és az Arany-patak részvízgyűjtőivel. Utóbbi két részvízgyűjtő területe körülbelül 132 és 106 km². A vízgyűjtőmodell az ArcGIS térinformatikai szoftver használatával készült el, amely az alapja a HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System*) modellező programban elkészült csapadék-lefolyás modellnek. A modell determinisztikus, esemény alapú, ezen felül összevont paraméterű.

Jelen dolgozat során összegyűjtöm és elemzem a hóolvadás számításához használható hidrometeorológiai adatokat a már elkészült modell segítségével. A hóolvadás vizsgálatához mindenképp szükséges adatok a csapadék, hőmérséklet, illetve vízhozam adatsorok, amelyeket MATLAB numerikus matematikai szoftver segítségével dolgozok fel. A modellbe bekerülő hidrológiai adatok felszíni (OMSZ, NYUDUVIZIG), re-analízis (ECMWF, *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), illetve műholdas (NASA, *National Aeronautics and Space Administration*; H-SAF, *EUMETSAT Satellite Application*) adatbázisokból származnak. A rendelkezésre álló idősorokból választom ki a modell kalibrálásához és igazolásához szükséges téli árhullám eseményeket. Ezután a már meglévő modell segítségével vizsgálom az említett hóolvadás számításához szükséges adatok használhatóságát.

A dolgozat célja az ismertetett adatok felhasználásával végzett futtatások eredményeinek összehasonlítása. Ennek során elsődleges célom a hóolvadás vizsgálata, ugyanis az ebből keletkező árhullámok is lehetnek mértékadóak, különösen olyan esetben, amikor hóolvadás és csapadék egyszerre jelentkezik. Azonban hazánkban a hóolvadás modellezése még nem rendelkezik olyan gyakorlattal, mint a folyékony csapadékból keletkező árhullámok modellezése.

Abstract

Name: Klaudia Négyesi
Thesis title: Comparison of hydro-meteorological data for event-based hydrological 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: 2020/21/1. semester

In my previous research, the Sorok-Perint creek catchment was selected for event based hydrological modelling. The catchment has the proper size and data availability for this type of modelling. The Sorok-Perint creek catchment has two sub-catchments: Jáki-Sorok and Arany-creek 132 and 106 km² respectively. The catchment was delineated and prepared for modelling with ArcGIS and HEC-GeoHMS software. The HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System*) was used for rainfall-runoff modelling. The applied model is deterministic, event-based and lumped.

In this study, I collect and analyze hydro meteorological data for modelling snowmelt using the previously determined rainfall-runoff model. Several types of data were collected; data to evaluate snowmelt processes, and hydro meteorological data such as precipitation, discharge, and temperature. The data are processed using MATLAB numerical computing software. Measured (OMSZ, NYUDUVIZIG), re-analysis (ECMWF, *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) and satellite (NASA, *National Aeronautics and Space Administration*; H-SAF, *EUMETSAT Satellite*) data are studied for event-based runoff modelling. From the available time series, winter flood events are selected for calibration and validation. With the calibrated model, I examine the applicability of the data used for snowmelt calculation.

The goal of this study to investigate the hydrological efficiency of different data sources listed above. My main objective is to study snowmelt because flood events caused by snowmelt can be significant, especially when snowmelt and precipitation occur simultaneously. We do not have as much experience modelling snowmelt in Hungary as modelling flood events with liquid form of precipitation.

1. Bevezetés

Napjainkban az informatika rohamos fejlődése lehetővé tette az egyre részletesebb és pontosabb modellek építését, így a hidrológia területén is egyre több számítógépes modellt alkalmaznak. Mindezek használata már nemcsak kutatási célokból jellemző, azonban ezen modellfuttatásokhoz különböző hidrometeorológiai adatok szükségesek.

A dolgozatom elsődleges célja a különböző típusú hidrometeorológiai adatok vizsgálata, illetve azok használhatóságának elemzése hidrológiai modellezés esetén, különös figyelmet fordítva a hóolvadás számításához szükséges adatokra. Manapság akár ingyenesen is elérhetőek szoftverek az említett modellek létrehozására, fontos azonban, hogy a felhasznált adataink megfelelő minőségűek legyenek a modell felépítéséhez, kalibrálásához és igazolásához. A korábbi kutatásaimban felhasznált és modellbe bevitt csapadék adatok felszíni csapadékmérő állomásokról (ellenőrzött, OMSZ által rögzített és nem ellenőrzött, Vízügyi Igazgatóságok által kezelt adatok), az ECMWF adatbázisából, illetve a NASA műholdas adatbázisából származnak, amelyeket hómentes időszakokban vizsgáltam. Jelen dolgozatom során vizsgálom az említett csapadékadatok használhatóságát a téli események modellezése esetén is.

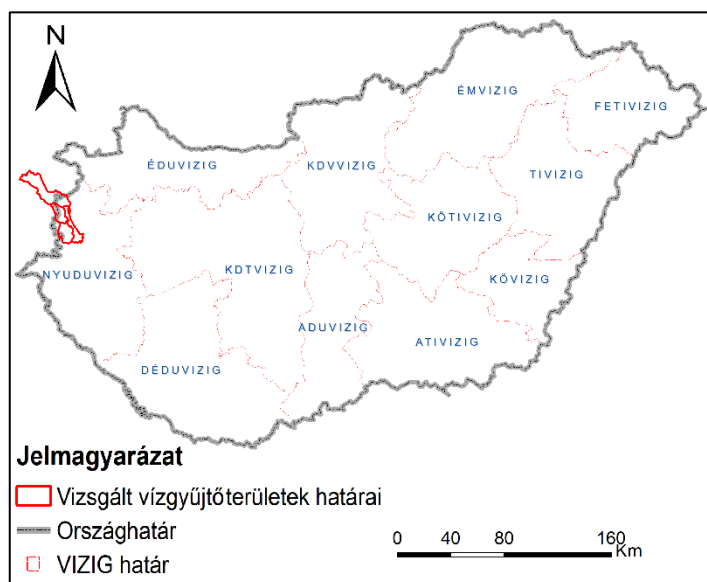
Amennyiben téli időszakban vizsgálunk árhullámokat, a csapadék adatok mellett számos más, hóolvadás számításához szükséges adatra is szükségünk van. Ezek közül többféle is elérhető az ECMWF adatbázisából, illetve korlátozottan a NASA és H-SAF adatbázisából is. Különösen fontos ezek alkalmazhatóságának megállapítása, ugyanis a hóolvadásból keletkező árhullámok is lehetnek mértékadóak, különösen olyan esetben, amikor hóolvadás és csapadék egyszerre jelentkezik. Ennek ellenére Magyarországon a hóolvadásból keletkező lefolyásról kevés kutatási anyag lelhető fel és ezek közül is a legfrissebb kutatások az 1970-1980-as évekből származnak, így felülvizsgálatuk mindenképp szükséges. A hóolvadás vizsgálata rendkívül összetett feladat, egyaránt szükséges a meteorológiai és hidrológiai szemlélet is, illetve mezőgazdasági, erdészeti, talajkutatói és geográfusi hozzáértés is. [1] A hóolvadásból keletkező árhullámok pontos modellezéséhez ugyancsak fontos tudnunk, hogy napjainkban vagy akár a jövőben mi a jellemző a hóesés és hóolvadás jelenségére, gondolva akár a hótakaró megjelenésének és eltűnésének dátumára és az ebből adódó havas napok számára. Az 1980-as évekből származó tanulmányok ugyan irányt mutatnak ezekkel kapcsolatban, de a klímaváltozás hatására ezek az adatok már elavulttá válhattak. Dolgozatom során a rendelkezésemre álló hosszú idejű re-analízis adatsorok segítségével szeretném ezeket felülvizsgálni, miközben feltárom az elmúlt évtizedekből adódó trendeket a különböző paraméterek esetén. [2]

A modellezésre kiválasztott területek a Jáki-Sorok, az Arany-patak és a Sorok-Perint részvízgyűjtői. A Sorok-Perint vízhozam adatait jelentősen befolyásolják a Gyöngyös-patakról érkező mesterséges vízkormányzás általi vízhozamok, amelynek pontos értékei ismeretlenek, így a vizsgálatokat elsősorban a Jáki-Sorok és az Arany-patak esetén végeztem el.

2. Terület bemutatása

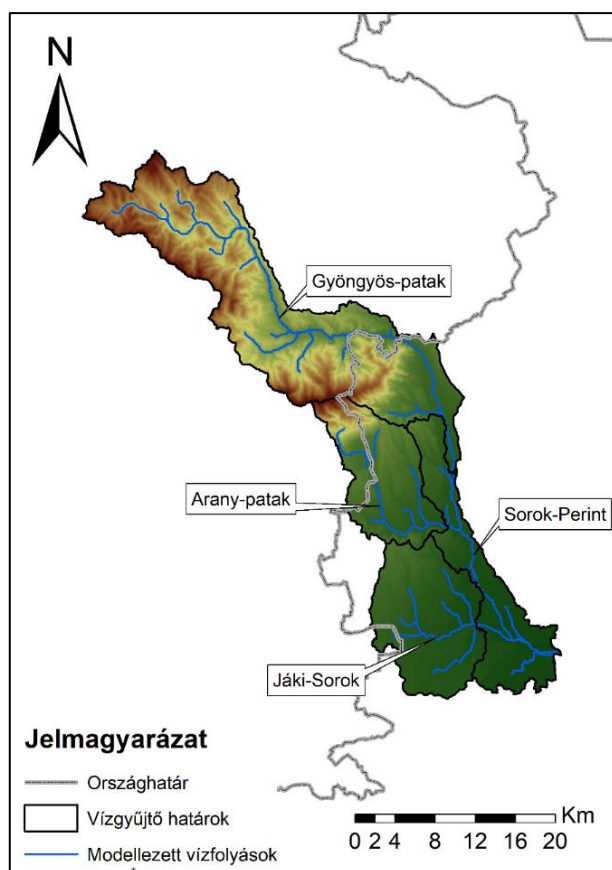
2.1. Áttekintés

A Sorok-Perint, a Jáki-Sorok és az Arany-patak vízgyűjtői összesen körülbelül 350 km²-t tesznek ki. A modellezéshez hazai viszonylatban közepes méretűnek tekinthető vízgyűjtőterület kiválasztása volt a cél, amely feltételnek megfelelnek az említett területek. A csapadékatatok szempontjából ez fontos szempont volt, ugyanis a vízgyűjtő nem lehetett túl kicsi, hogy a raszteres csapadékforrások esetén ne egy cellába essen a teljes terület, illetve nem lehetett túl nagy, elkerülve a modell bonyolultságát és a túl változékony csapadékot. Elhelyezkedését 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, részletes helyszínrajza

A dolgozat során modellezett Jáki-Sorok 132 km², amíg az Arany-patak 106 km² területű. A 2. ábra szemlélteti a részletes helyszínrajzot.



2. ábra A Sorok-Perint részvízgyűjtői

A vízgyűjtőterület részletes ismertetése történelmi, területhasználati, geológiai, illetve éghajlati és vízrajzi szempontból megtalálható a csapadékatatok vizsgálatáról szóló diplomamunkámban. [3]

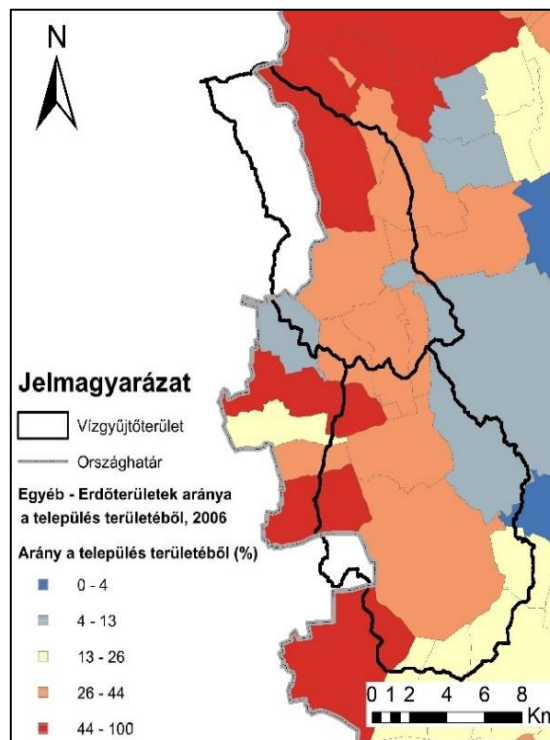
2.2. Növényzet

A hóolvadás vizsgálata egyike a legváltozatosabb és a legnehezebb meteorológiai, illetve hidrológiai vizsgálatoknak, ugyanis a hóolvadás folyamatát számos tényező befolyásolja. A legfontosabb befolyásoló tényezők közé tartozik a területet jellemző növényzet összetétele, a lejtők égtáji helyzete, illetve a terület magassági viszonyai.

A növényzet elsősorban a hótakaró felhalmozódásában és olvadásában játszik fontos befolyásoló szerepet. A friss hó jelentős része fennakadhat a fák koronáján, ágain vagy törzsein. Ennek a mennyiségnek a nagy részét ugyan a szél később lefújja a földre, de addig is növekszik a szublimáció. A fák visszatartó hatása, avagy az intercepció különösen a fenyőerdőkben lehet igen jelentős. Az erdők másik fontos hatása, hogy a koronaszint zártságától függően tovább megőrzi a talajon levő hótakarót, mint a fedetlen terület. Összességében megállapítható, hogy az évi maximális hó-vízegyenérték és a hóvastagság a fiatal fenyő és a bükk állományokban minden esetben nagyobb, mint a tisztáson, csupán az idős fenyőerdőkben kisebb annál; a legnagyobb akkumuláció a fiatal fenyőerdőkben és az idős lombos erdőkben alakul ki; illetve az olvadás erdőállományokban koncentráltabban a tél végére marad, de napi intenzitása általában kiegyenlítettebb, mint a tisztásokon. [4]

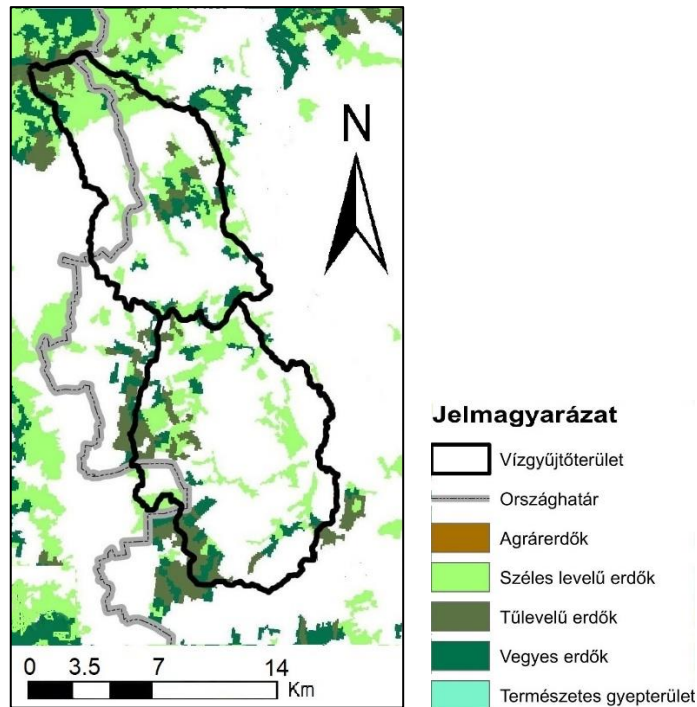
Mérések kimutatták, hogy a lombos, avagy széles levelű erdők esetén a fiatalok erdők is nagymértékű hóvisszatartásra képesek. [1] Az erdő hótakarót megőrző hatásával, illetve a téli olvadás és a belőle származó lefolyás erdős területeken sokkal intenzívebb lehet, mint például réten. [4] Ez növeli a vizsgált terület reprezentativitását.

A Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ) [5] ingyenesen elérhető ArcGIS térképszerviz szolgáltatásából szerzett 3. ábra szemlélteti a területre jellemző erdős területek arányát. Megfigyelhető, hogy a Jáki-Sorok és az Arany-patak esetén 26-44 % között mérhető az erdős területek nagysága, amíg északon, illetve észak-nyugaton már nagyobb arányban, 44% felett találhatóak erdős területek.



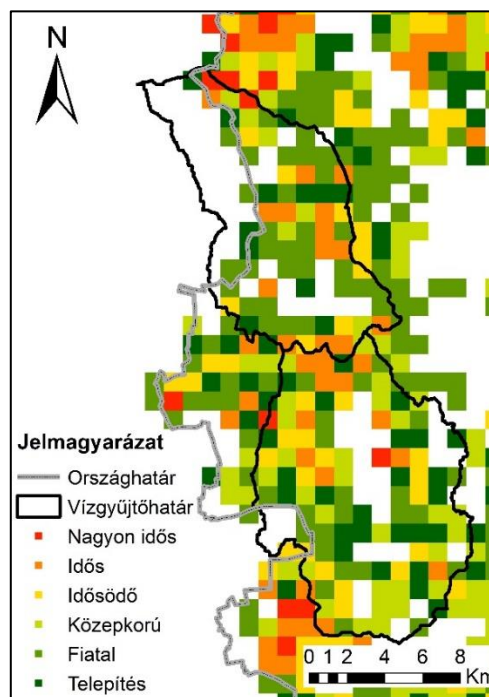
3. ábra Az erdős területek aránya

Az erdők típusáról a CORINE térképadatbázisából származó [6] 4. ábra alapján elmondható, hogy az országhatárhoz közelítve találhatóak nagyobb mértékben széles levelű, tűlevelű és vegyes erdők. Ausztriába legnagyobb mértékben az Arany-patak vízgyűjtőterülete nyúlik át. Ezen a területen a lomblevelű és vegyes erdők dominálnak, illetve kismértékben találhatóak tűlevelű erdők is. Megállapítható, hogy a Jáki-Sorok és az Arany-patak esetén a széles levelű erdők a legmarkánsabbak, így ezek hóvisszatartó hatása jelentős mértékű lehet.



4. ábra Az erdők összetétele

A hóolvadás vizsgálatának szempontjából szintén fontos tényező az erdők korosztálya is. Az 5. ábra MBFSZ térképe szemlélteti a területen jellemző fák korosztályait. Megfigyelhető, hogy a terület legnagyobb részére a fiatal, illetve középkorú fák a jellemzőek, de elszórtan találhatóak idősödő vagy idős fák is. Nagyon idős korú fák kis mértékben lelhetőek fel. Összevetve a térképek adatait, általánosítva elmondható, hogy fiatalkorú széles levelű fák a legjellemzőbbek a területre, amelyek hóvisszatartása jelentősebb, mint egy középkorú erdő esetén. [4]

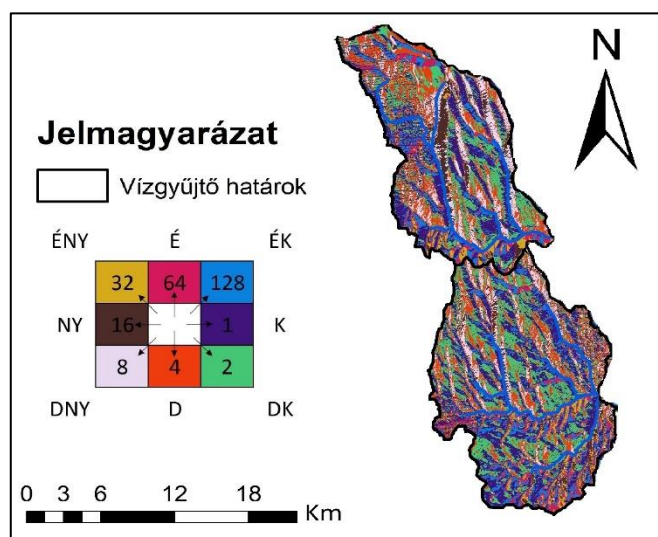


5. ábra Erdőkorosztályok

2.3. Lejtőviszonyok

A hófelhalmozódás és olvadás folyamataiban jelentős szerepet játszik a lejtésviszonyok változása, illetve égtáji helyzete. A lejtés egyrészt közvetlenül a hóolvadásra gyakorol hatást, lehetővé téve az olvadéknak a síkvidékinél gyorsabb elfolyását, másrészt közvetetten, azáltal, hogy a lejtő északias vagy délies kitétségétől függően a télen amúgy is alacsony beesési szögben érkező napsugárzás hatása csökkenten vagy fokozottan érvényesülhet. Megállapítható, hogy azonos időpontban a hó térfogatsúlya a délies lejtőn a legmagasabb, a fennsíkon és a völgyfenéken közepes és az északias lejtőn a legalacsonyabb. Ez a különböző mennyiségű hőenergia hatására megkezdődött „belső olvadás” eltérő mértékére utal. A hótakaró vastagsága és vízgyenértéke a déli lejtő közepe táján – különösen az olvadás előrehaladtával – lényegesen kevesebb, mint máshol. [4] A teljesen déli fekvésű területeken az olvadás sokszor hetekkel előbb játszódik le, mint más területeken. [7]

A 6. ábra szemlélteti a vizsgált vízgyűjtőterületek lejtési viszonyait. Ez a vízgyűjtő lehatárolás elkészítése során előállított lejtőirány térkép (*flow direction grid*). Az ábrán látható jelmagyarázat szemlélteti, hogy a különböző színekhez mely irányok és azokhoz mely égtájak tartoznak. [8]



6. ábra Lejtőirány térkép (*flow direction grid*), égtáji helyzet jelmagyarázata

A térkép segítségével meghatározható volt a modellezett vízgyűjtők esetén jellemző égtáji lejtőfekvés, amely az 1. táblázatban látható.

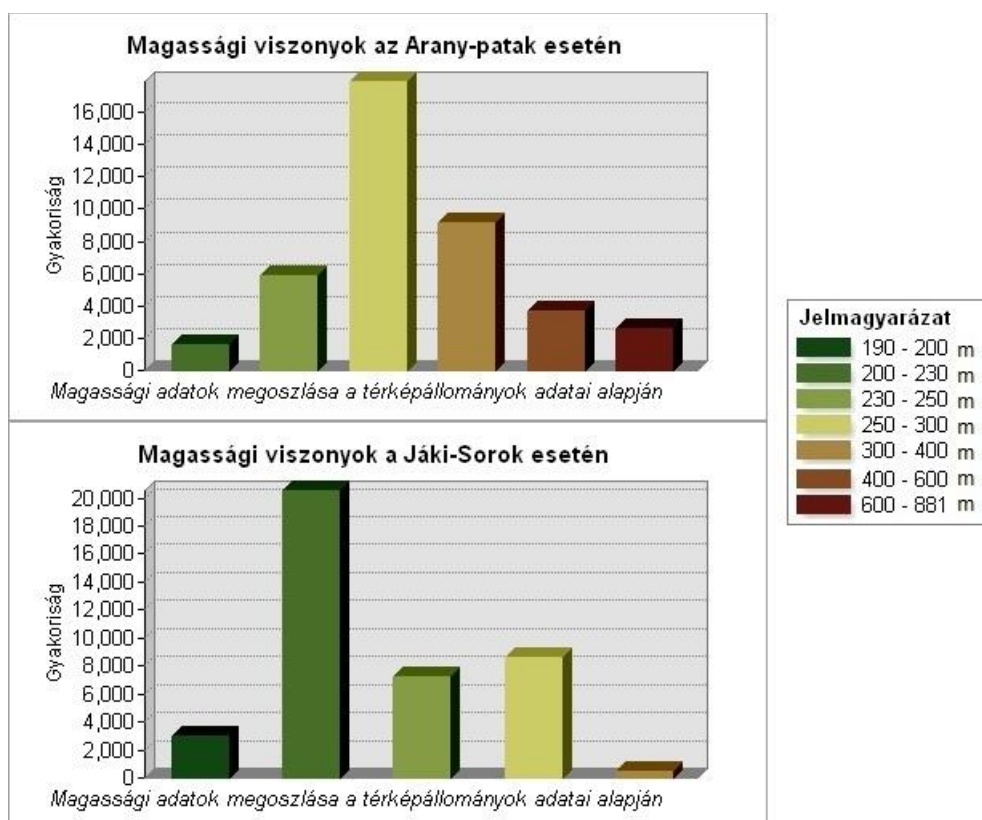
1. táblázat Lejtők égtáji helyzete

	Területi arány [%]	
	Arany-patak	Jáki-Sorok
dél	21	21
dél-kelet	19	29
dél-nyugat	14	10
észak	5	8
észak-kelet	8	12
észak-nyugat	3	5
kelet	23	32
nyugat	8	7

Az 1. táblázat alapján elmondható, hogy a vízgyűjtőterületeken leginkább a dél-keleti, keleti és déli lejtők dominálnak, ami összegezve azt jelenti, hogy a hó térfogatsúlya nagyobb, a hó vastagsága kisebb, illetve a hó olvadása hetekkel előbb megtörténhet, mint máshol.

2.4. Magassági viszonyok

A tengerszint feletti magasság szerepe elsősorban a fokozatos hőmérséklet csökkenésen keresztül érvényesül. A magasság növekedésével egyrészt a csapadéknak egyre nagyobb hányada hullik hó alakjában, másrészt egyre kevésbé valószínű, hogy a már kialakult hótakaró a téli hónapok folyamán teljesen elolvad. A hazai domborzati viszonyok között az állandó hó határánál sokkal nagyobb jelentősége van annak az elméleti határnak (800 - 850 m), amely felett a tél folyamán teljes olvadás nem szokott bekövetkezni, tehát fokozatosan felhalmozódó és egyre növekvő hótakaró teljes elolvadása koncentráltan a tél végén, tavasz elején, márciusban, áprilisban, esetleg május elején várható. [4] A klímaváltozás hatásával valószínűsíthető, hogy az elméleti magassághatár értéke is egyre nagyobb, így akár az is lehetséges, hogy ez az érték már nem Magyarország magassági viszonyain belül található, azonban ezt nem vizsgálom jelen dolgozatban. A magasság hatása általában egyértelmű: a víztartalom a magasság növekedésével növekszik, a térfogatsúly pedig csökken. Az átlagos hőmérséklet csökken a magasság növekedésével, illetve a magasabb területeken később indul meg az olvadás, lassabban tömörödik és olvad el a hótakaró. Ugyanakkor a magasabb területeken több hó rakódik le, mint a mélyebbekben. [7]



7. ábra Magassági viszonyok az Arany-patak és a Jáki-Sorok esetén

A 7. ábra szemlélteti a vizsgált terület magassági viszonyait. Az Arany-patak és a Jáki-Sorok vízgyűjtőinek legnagyobb része 350 m alatti, ugyanakkor az Arany-patak esetén megfigyelhetőek nagyobb, akár 650 - 850 m feletti magasságok is. A hó víztartalma 350 m-nél alacsonyabb területek esetén 20-50 mm között változik, amíg 650 m – 850 m esetén 40 – 100 mm között is adódhat. [7]

3. Rendelkezésre álló adatok

A korábbi dolgozataim során már rendelkezésemre álltak vízhozam, illetve különböző típusú csapadékadatok, ellenben a jelenlegi dolgot illetően, a hóolvadás számításához számos további adatra is szükségem volt.

3.1. Felszíni állomások adatai

A vízhozam idősorok nélkülözhetetlenek voltak a korábbi kutatásaim során, illetve a jelenlegi hóolvadási vizsgálatok esetén is.

Az idősorok átlagosan 15 perces felbontásúak, illetve 2001. január 1-től 2017. december 31-ig álltak a rendelkezésemre. A 2. táblázatban láthatóak a jelen dolgotban vizsgált vízfolyásokhoz tartozó vízmércék folyamkilométer szerinti elhelyezkedésükkel.

2. táblázat Vízmércék és elhelyezkedésük

Vízfolyás	Vízmérce név	Fkm
<i>Jáki-Sorok</i>	Kisunyom	3.400
<i>Arany-patak</i>	Szombathely-Olad	1.742

A felszíni csapadékmérő állomásokon rögzített idősorok esetén a terület kellő lefedéséhez hat állomás adataira volt szükség, név szerint a Gór, Répcevis, Szombathely és Felsőcsatár magyarországi állomások, illetve Hirschenstein és Dürnbach im Burgenland osztrák állomások adataira. Az állomások adatai eltérő időintervallumokban álltak rendelkezésre. Az állomásokon mért adatok segítségével végeztem el a területi átlagolást a vízgyűjtőkre, ehhez medián módszert (más néven Thiessen poligon módszer) alkalmaztam. A korábbi vizsgálataim során a felszíni csapadékmérő állomások adatait alkalmazó futtatások esetén megállapítható volt, hogy alakra jól, de mennyiségre már kevésbé megfelelően közelít a modell a különböző események esetén.

3.2. ECMWF

Az ECMWF egy független, számos európai ország által támogatott szervezet, amely úgynevezett re-analízis adatokat szolgáltat, tehát a különböző forrású adatokat (például a felszíni állomások adatait, illetve a műholdas adatokat) és modelleredményeket interpolálnak egy egységes rácshálóra. Az általam felhasznált produktum a C3S ERA5. [9] Az ECMWF adatai hálórácsokra adóttak. Ezek lefedik a vizsgált vízgyűjtőterületeket, amelyeket így több alrészre bontanak. Az ezekből származó részterületek értékeivel súlyoztam a hálórács csapadékadatait, így ezek összege a vízgyűjtőterületen belül kiteszik a modellbe bekerülő csapadékadatokat. Az ECMWF adatbázis ingyenesen elérhető bárki számára, illetve az adatok feldolgozása elvégezhető akár MATLAB numerikus szoftver segítségével is.

A korábbi dolgozatomban vizsgált ECMWF csapadékadatokról elmondható volt, hogy a modellben alkalmazva mennyiségre megfelelő értékeket adtak, de az árhullámok alakját nem sikerült jól közelíteni az adatok alkalmazásakor.

A hóolvadás vizsgálatához szükséges adatok az ERA5-Land adatbázisból származnak, ami az ERA5 éghajlati re-analízis szárazföldi komponensének újragondolása, de számos olyan fejlesztéssel, amely pontosabbá teszi a különböző szárazföldi vizsgálatokhoz. Az ERA5-Land felbontása 9 km szemben a 31 km felbontású ERA5 adatbázissal. Az időbeli felbontása órás. Az ERA5-Land egyetlen szimulációval készül, amely nem áll kapcsolatban az ECMWF integrált előrejelző rendszerének légköri moduljával, sem az óceán hullámmodelljével. [10] Az adatbázisból számos adat letölthető, összesen 9 közvetlenül hóval kapcsolatos paraméter, illetve 7 hőmérsékleti paraméter. Az általam kiválasztott adatok között szerepel a hóvastagság, hóesés, hóborítottság, hó-vízegyenérték (SWE, *snow water equivalent*), hóolvadás, hósűrűség, a földfelszín hőmérséklete, illetve a földfelszín feletti 2 méteres magasságban levő hőmérséklet.

3.3. NASA

A NASA által alkalmazott algoritmus célja interkalibrálni, 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 többször is futtatásra kerül minden megfigyelési időszakra. [11] Mivel az adatok térbeli felbontása megegyezik az ECMWF adatbázis térbeli felbontásával, így az ECMWF esetén ismertetett rácsháló, illetve területi súlyozás szintén alkalmazható volt ezen adattípus esetén is.

A NASA csapadékadatokból származó hómentes időszakra végzett modellfuttatások mennyiségre és alakra is megfelelő eredményeket mutattak a korábbiakban.

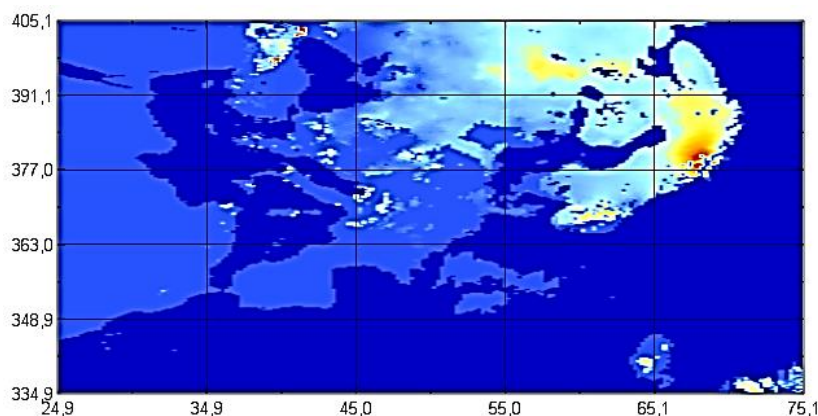
A NASA hóolvadás vizsgálatához alkalmas adatairól általánosan elmondható, hogy a legtöbb esetben a vizsgált vízgyűjtő léptékéhez képest túl nagy térbeli felbontással rendelkeznek. A letölthető adattípusok esetén ugyancsak nehézség, hogy a különböző adatok, különböző letöltési módszereket igényelnek, emellett a fájlok formátuma is változó. A NASA sajátfejlesztésű programja a Panoply nevű szoftver, aminek segítségével NetCDF, HDF és GRIB formátumú adatokba nyerhetünk betekintést, így ennek a segítségével próbáltam megvizsgálni az adataikat. [12] A program a NASA adatbázisából letöltött HDF formátumú adatokat nem tudta megnyitni. Az adatbázis ebben az esetben is rendelkezik olyan paraméterekkel, mint például a hóborítottság, hósűrűség, hóvastagság, hóolvadás, hó-vízegyenérték, illetve hőmérsékleti adatok, ennek ellenére az ismertetett térbeli vagy időbeli felbontás problémája miatt nem mindegyik alkalmazható megfelelően Magyarországra vagy az adott vizsgálati időszakra.

3.4. H-SAF

A H-SAF adatai olyan térképekből származnak, amelyeket a Nappal szinkronizált műholdakból származó úgynevezett mikrohullámú képek és a geostacionárius műholdakból származó infravörös képek egyesítésével állítottak elő. A torzítások csökkentése érdekében a műholdas eredetű mezőket összevetik a felszíni állomások megfigyeléseivel, hogy az adatok pontosabbak legyenek. [13]

A korábbiakban a H-SAF csapadékadatokai nem kerültek felhasználásra bonyolult kezelhetőségük miatt, jelen dolgozat során is csak az elérhető paraméterek kerülnek bemutatásra.

A hóolvadás vizsgálatához szükséges adatokat illetően a H-SAF adatbázisából GRIB formátumú adatok érhetőek el. A megigénylés után körülbelül 2 hét elteltével tölthetőek le. A letöltött állományok fájl típusa, illetve a változó térbeli felbontás miatt az adatok feldolgozása nagyobb időigényű feladat. Ugyancsak nehézségnek bizonyult, hogy az állományok esetén nem megfelelőek a koordináta adatok. A 8. ábra szemlélteti a koordinátarendszer problémáját, amelyet a már említett Panoply program segítségével állítottam elő.



8. ábra A H-SAF hóhatár adatai kirajzolva egy adott időpillanatban

Az adatbázis kevesebb adatsorral rendelkezik, mint az ECMWF vagy NASA adatbázisai, ezek név szerint a hóészlelés hegyvidéken és síkságon, a hó állapot (nedves vagy száraz), az effektív és napi hóborítottság, illetve a hó-vízegyenérték.

3.5. OMSZ

Az OMSZ radar adatai jelenleg hazánkban négy dual-polarizációs radarral felszerelt meteorológiai radarállomástól származnak. [14] A radarképeken minden egyes pixel egy-egy rácspontnak felel meg a földrajzi fókálózat, amelynek vetülete sztereografikus, 60 szélességi fokon hossztartó. A rácspontok távolsága egymástól körülbelül 2 km (~0.018°). Az adatokat broo fájlformátumban érhetőek el.

Az OMSZ radar adatbázisa feldolgozásának időigényessége miatt szintén nem került alkalmazásra a korábbiak során.

A hóolvadás vizsgálatához a legalapvetőbb adatforrást a helyi észlelések jelentenék. Mivel jelen dolgozat során nagy mennyiségű adatra van szükségem, ez már túllépné a kutatási célra ingyenesen elérhető adatmennyiséget. Ebből adódóan az OMSZ felszíni mérőhálózatának hóészleléseit nem tudtam vizsgálni a dolgozat készítése során.

3.6. Összefoglalás

A különböző adatok eltérő elérhetőséggel, lekérdezéssel, illetve feldolgozási móddal rendelkeztek, ebben a fejezetben összefoglalom a vízhozam és csapadékadatok, illetve a hóolvadás elemzéséhez vizsgált adatbázisok fontosabb tulajdonságait.

A 3. táblázatban láthatók a **vízhozam és csapadékadatok** jellemzőinek összegzése a fájlok formátumairól, lekérdezéséről, kezelhetőségi nehézségéről és feldolgozási lehetőségeiről. A táblázatban szürkével jelölt adatok számításba vett, de bonyolultságuk miatt egyelőre nem alkalmazott adatforrások, ugyanis a feldolgozásuk időigényes.

3. táblázat A vízrajzi adatok fontosabb tulajdonságai [3]

Adat	Fájl formátum	Lekérdezhetőség			Kezelhetőség nehézsége	Használt szoftverek	Feldolgozás feladatai
		Időbeli	Térbeli	Ideje			
Vízhozam	xls	igen	igen	~ 1 hét	nagyon könnyű	Excel, MATLAB	adatok ellenőrzése kiugró vagy negatív értékek miatt, órás időintervallumok létrehozása
Felszíni adatok	xls	igen	igen	~ 1 hét	könnyű	Excel, MATLAB	adatok ellenőrzése kiugró vagy negatív értékek miatt, órás időintervallumok létrehozása, medián módszer alkalmazása
ECMWF	netcdf, grib	igen	igen	pár óra	közepes	ArcGIS, MATLAB	hálórács létrehozása, adatok kiolvasása, területi súlyozás
NASA műhold	netcdf	igen	igen	azonnal letölthető	közepes	Wget, ArcGIS, MATLAB	adatok letöltése Wget segítségével, hálórács létrehozása, adatok kiolvasása, területi súlyozás
H-SAF műhold	grib	igen	nem	~ 1.5 hét	nehéz	ArcGIS, MATLAB	adatok konvertálása, hálórács létrehozása, adatok kiolvasása, területi súlyozás
OMSZ radar	broo	igen	nem	~ 1 hónap	nehéz	ArcGIS, MATLAB/ C program	programozás fájlok beolvasására, területi súlyozás

A hóolvadás vizsgálatához szükséges adatok korlátozott mértékben, illetve minőségben szerezhetőek be Magyarországra vonatkozóan. Jelen dolgozatom során a már ismertett okokból három adatbázis adatelérhetőségét vizsgáltam, név szerint H-SAF, NASA és az ECMWF szervezetek adatbázisait. A 4. táblázatban látható összefoglalóan, hogy az

adatbázisok hányféle paraméterrel rendelkeznek, illetve mi jellemzi a letölthető állományokat.

4. táblázat A különböző adatbázisok jellemzői

		H-SAF	NASA	ECMWF
Elérhető paramétertípusok száma*		4	8	16
Fájl formátum	Legjellemzőbb	GRIB	HDF-EOS	NetCDF (illetve GRIB)
	Néhány esetben	HDF	ASCII Text, JPEG, NetCDF	-
Időbeli elérhetőség		2011, 2012, illetve 2013-tól napjainkig	nagymértékben változó az adatok esetén	1981 - napjainkig
Térbeli elérhetőség		teljes körű**	korlátozott	teljes körű**
Időbeli felbontás		napi	általában napi	órás
Térbeli felbontás		0.05° - 0.25°	általában 0.25°	0.1°
Letöltés és feldolgozás		nehéz	nagyon nehéz	közepes

*Hóolvadás vizsgálatához szükséges vagy hasznos paraméterek

** Magyarország teljes területére elérhető adatok

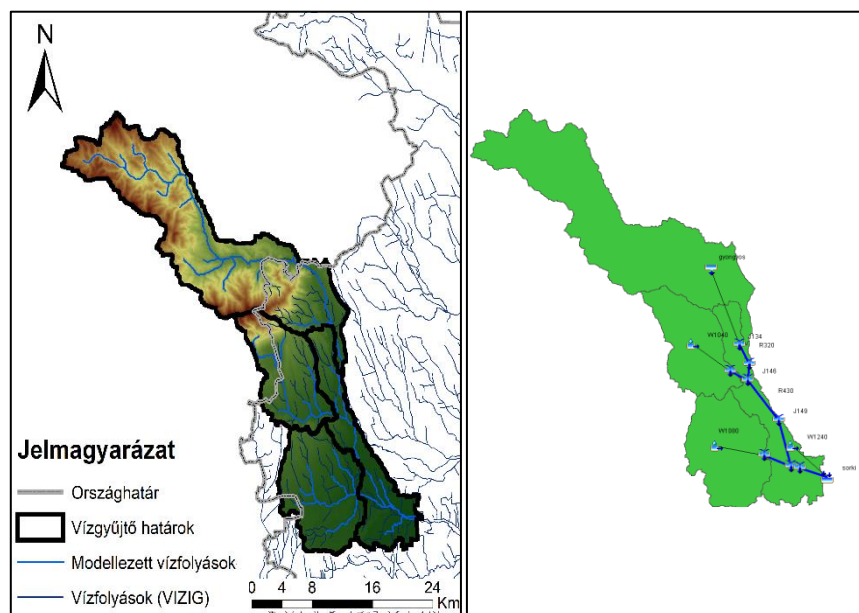
A különböző adatbázisok összevetése után az ECMWF adatbázisa bizonyult a legalkalmasabbnak az általam kiválasztott vízgyűjtőn történő hóolvadás vizsgálatához, így a továbbiakban ezeket a hóolvadáshoz szükséges adatsorokat elemzem és alkalmazom, a csapadékadatokat tekintve pedig mindhárom, már korábbiakban is vizsgált (felszíni, ECMWF, NASA) adatbázist felhasználok összehasonlítás céljára.

4. A modell felépítése

Az általam alkalmazott modell HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System*) szoftver segítségével készült el, amely egy amerikai fejlesztésű, ingyenesen letölthető program, ennek segítségével teljes hidrológiai folyamatokat lehet szimulálni. A szoftver rendelkezik a hagyományos hidrológiai analízis eljárásokkal, mindemellett pedig grid alapú adatok felhasználását is lehetővé teszi. [15] A HMS modell bemeneti és ellenőrző adatokból, paramétereiből, vízgyűjtőmodellből és meteorológiai modellből épül fel.

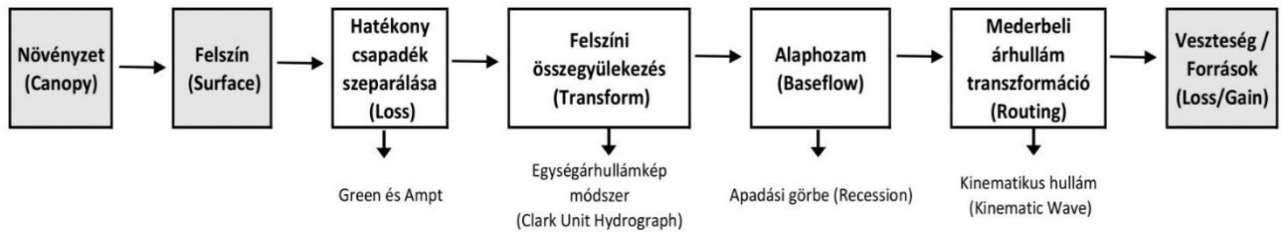
4.1. Áttekintés

A korábbiakban már előállításra került a vízgyűjtőmodell, a különböző csapadékadatokat tartalmazó meteorológiai modell, illetve a csapadék-lefolyás modell, amely eseményalapú, egyesített paraméterű és determinisztikus. A vízgyűjtőmodellt az ArcGIS szoftver segítségével hoztam létre. A 9. ábracsoport bal oldali ábrája szemlélteti a lehatárolt vízgyűjtőt, illetve a jobb oldali ábra a HEC-HMS szoftverbe importált állományt.



9. ábra A valós és modellezett vízrajzi állapot, illetve a végleges vízgyűjtőmodell

A csapadék-lefolyás modell a korábbi dolgozatomban céljaihoz igazítottan került előállításra. A modell különböző számítási modulokból és bemeneti adatokból áll, ezek felépíthetőek a paraméter menü eszközein végighaladva. A 10. ábra egy folyamatábrára, ami ismerteti a számítási lépések moduljait, illetve bemutatja, milyen módszerek kerültek kiválasztásra az adott lépés számításához. Korábbi dolgozatomban részletesen kifejtem a kiválasztott módszereket. [3]

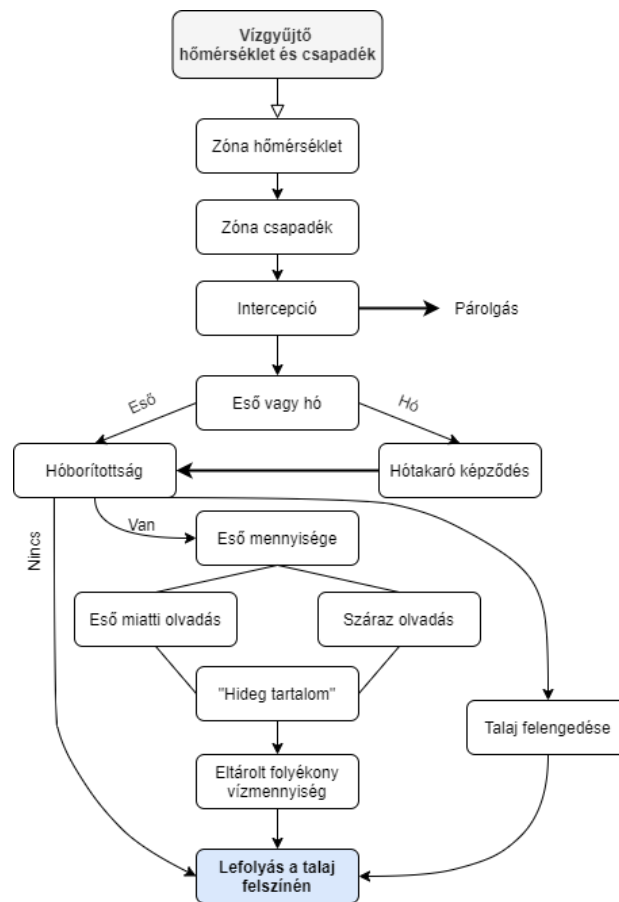


10. ábra A HEC-HMS számítási moduljai

4.2. Hóolvadás modellezése

A hóolvadás vizsgálatához a már említett módon a korábbiakban előállított vízgyűjtőmodell és csapadék-lefolyás modellt alkalmaztam. Ellenben a már meglévő meteorológiai modell csak a csapadék adatokat tartalmazta, így a hóolvadás vizsgálatához új meteorológiai modellt készítettem.

A HEC-HMS esetén a meteorológiai modellen belül lehet megadni a hóolvadás vizsgálatához szükséges adatokat. Hazánkban nem leltem fel tanulmányt a HEC-HMS alkalmazására hóolvadás modellezése esetén, inkább külföldi források álltak rendelkezésemre. [16][17][18] A 11. ábra a HEC-HMS hóolvadást számító moduljának működését mutatja be.



11. ábra HEC-HMS hóolvadást számító moduljának működése [19]

Az ábrán megfigyelhető, hogy a hőmérséklet és a csapadék (akár folyékony vagy szilárd halmazállapotú) kulcsfontosságú a folyamatban. Az úgynevezett hideg tartalom reprezentálja azt a hőt, ami ahhoz szükséges, hogy a hótakaró hőmérséklete megemelkedjen 0°C-ra, avagy hogy milyen képessége van a hótakarónak abból a szempontból, hogy megfagyassza a csapadékból érkező vizet, ez pedig a fagyott víz milliméteres értékében van kifejezve. [20] A meteorológiai modell ez alapján a csapadékadatokból és hóolvadás számításához szükséges adatokból áll össze. A csapadék adatok a már ismertett módon csapadék idősorok megadásával a vízgyűjtőkre vagy rácshálós adatok esetén a cellaadatok területi súlyozásával kerülnek bele a modellbe. Ezzel ellentétben a hóolvadási paraméterek megadása sokkal összetettebb.

A meteorológiai modell esetén először is szükséges a hóolvadás vizsgálatához alkalmazott módszer kiválasztása. Alapvetően az alkalmazható módszerek között szerepel a hőmérsékleti index, az energia egyensúlyi, illetve hibrid módszer. [21] A HEC-HMS-ben az adatok függvényében rácisos hőmérsékleti index (*Gridded Temperature Index*) módszer vagy sima hőmérsékleti index módszer (*Temperature Index*) választható. Az általam kiválasztott módszer az adatoknak megfelelően a sima hőmérséklet index módszer volt.

A módszer kiválasztása után a paraméter értékek megadása következik az összes vízgyűjtő esetén általános érvényességgel, illetve egyedileg, a különböző részvízgyűjtők esetén is.

Első lépésként szükséges az összes vízgyűjtőre vonatkozó paraméterek megadása, amelyek a következők:

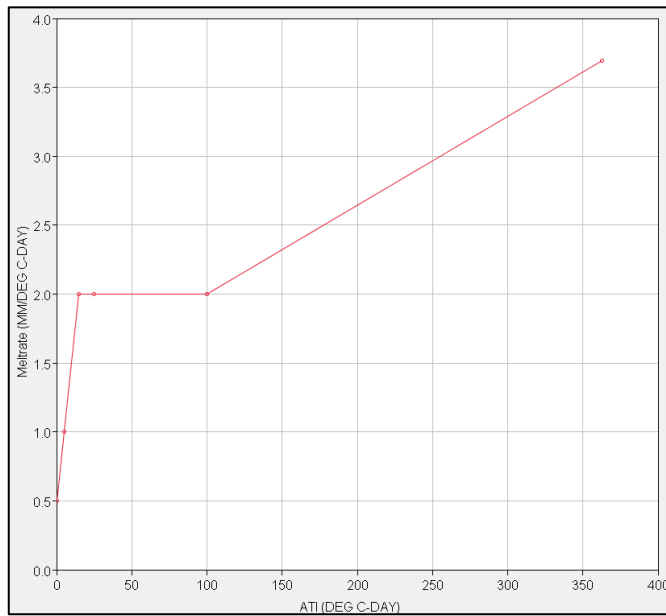
- A hőmérsékleti paraméterek: hány foktól szilárd halmazállapotú a csapadék (*PX Temperature*), illetve hány fok az, aminél már nem történik olvadás (*Base Temperature*).
- A nedves olvadás rátája és az olvadási ráta megelőző hőmérsékleti indexhez tartozó együtthatója (*Wet Meltrate, ATI-Meltrate Coefficient*), emellett pedig az olvadási ráta (szintén megelőző hőmérsékleti indexhez tartozó) görbéje (*ATI-Meltrate Funcion*).
- A napi eső korlát (*Rain Rate Limit*).
- Az úgynevezett hideg határ (*Cold Limit*), ami a hirtelen hőmérsékleti változásokért felel a hótakaróban nagyobb mennyiségű csapadék esetén, illetve az ehhez tartozó megelőző hőmérsékleti index együtthatója (*ATI-Coldrate Coefficient*).
- A maximum víztartalom (*Water Capacity*), ami az a megolvadt vízmennyiség, amelynek fel kell gyűlnie a hótakaróban, mielőtt a folyékony víz feltűnik a talaj felszínén és megkezdődik a lefolyás.
- A talajfelengedési konstans vagy idősor (*Groundmelt*), ami a talajban fagyott állapotú víz olvadását jellemzi.

Az általam felvett paraméter értékek az 5. táblázatban láthatóak, amikről általánosságban elmondható, hogy az értéküket a HMS felhasználói útmutatójának javaslatai alapján becsültem meg. [20]

5. táblázat Az általános hőmérsékleti index paramétereit

Paraméter	Érték
PX Hőmérséklet [°C]	0
Bázis hőmérséklet [°C]	0
Nedves olvadási ráta [mm/°C*nap]	3
Eső ráta határa [mm/nap]	10
Olvadási ráta együtthatója [-]	0.98
Olvadási ráta görbéje	táblázat*
Olvadási ráta rendszere	-
Hideg határ [mm/nap]	1
Hideg határ együtthatója [-]	0.84
Hideg határ görbéje	-
Víztartalom [%]	4
Talajfelengedési módszer	konstans
Talajfelengedés [mm/nap]	0

*Az olvadási ráta görbét táblázatos formában szükséges megadni, az általam megadott görbét a 12. ábra szemlélteti.



12. ábra Az olvadási ráta görbéje [22]

A következő lépés a hőmérsékleti index módszerének paraméterezése a különböző részvízgyűjtők esetén. A teljes részvízgyűjtőre háromféle adat megadása lehetséges, ez a hőmérsékleti idősor (*Temperature Gage*), a hőmérsékletesési ráta (*Lapse Rate*), illetve a csapadék index (*Index*). A hőmérsékleti idősor az adatbázis alapján teljes mértékben feltölthető volt, amíg a hőmérsékletesési ráta egy olyan becsült érték, ami a hőmérséklet esését jellemzi a magasság növekedésével arányosan. A csapadék index ebben az esetben nem kötelező paraméter. Az Arany-patak és a Jáki-Sorok esetén is a hőmérsékleti ráta értékének $-5\text{ °C} / 1000\text{ m}$ került megadásra.

Az utolsó lépés a vízgyűjtőterületek sávokra osztása aszerint, hogy milyen magassági viszonyok dominálnak. Ahogyan azt a terület ismertetésénél a 7. ábra is szemléltette a Jáki-

Sorok nem rendelkeznek különösebben eltérő magassági viszonyokkal, amíg az Arany-patak a magassági kategóriákat tekintve két részre osztható. Ennek megfelelően a modellben a Jáki-Sorok egy sávval, amíg az Arany-patak két sávval rendelkezik.

A sávon belül elsődlegesen szükséges megadni magának a sávnak a területi arányát (*Percent*) és a magasságát (*Elevation*). Ezután itt is választhatóan megadható a csapadék index (*Index*). A kiindulási paraméterek megadása is itt lehetséges, ezek a következők:

- a kezdeti hó-vízegyenérték (*Initial SWE*),
- a kezdeti hideg tartalom (*Initial Cold Content*),
- a kezdeti folyékony víztartalom (*Initial Liquid Water*),
- a kezdeti hideg tartalom megelőző hőmérséklet indexe (MHI) (*Initial Cold Content ATI*),
- kezdeti olvadás megelőző hőmérsékleti indexe (*Initial Melt ATI*).

A vízgyűjtők sávjaihoz az általam felvett értékek a 6. táblázatban láthatóak.

6. táblázat A magassági sávok vízgyűjtőnkénti adatai

Paraméter	Arany-patak		Jáki-Sorok
	1. sáv	2.sáv	2. sáv
Százalék [%]	20	80	100
Magasság [m]	628	200	245
Csapadék index [mm]	-	-	-
Kezdeti hóvízgyenérték [mm]	változó	változó	változó
Kezdeti hideg tartalom [mm]	változó	változó	változó
Kezdeti víztartalom [mm]	2	2	2
Kezdeti hidegtartalom MHI [°C]	0	0	0
Kezdeti olvadási MHI [°C*nap]	0	0	0

A sávokhoz tartozó területi százalék, illetve magasság az ArcGIS szoftver segítségével könnyen meghatározható volt. A csapadék index megadása ebben az esetben sem kötelező. A kezdeti víztartalom, hidegtartalom MHI, illetve olvadási MHI értékei az eddigiek során ismertetett paraméterekhez hasonlóan a felhasználói útmutató alapján kerültek megadásra.

A hó-vízgyenérték és a hidegtartalom esetén alkalmazható volt az ECMWF adatbázis állománya. A hó-vízgyenérték értékei idősor formájában közvetlen módon letölthetőek voltak az adatbázisból, így a modellezés során a kezdeti időpont esetére felvehettem az idősorban szereplő megfelelő időpontú értéket, természetesen a megfelelő mértékegységben. A vizsgált események esetén ezen kezdeti értékek a 7. táblázatban láthatóak.

7. táblázat Kezdeti hó-vízgyenérték

Esemény	Kezdeti hó-vízgyenérték [mm]	
	Arany-patak	Jáki-Sorok
<i>1</i>	0.221	0.221
<i>2</i>	0.179	0.179
<i>3</i>	1.379	1.379
<i>4</i>	0.571	0.571
<i>5</i>	0.096	0.096

Az úgynevezett hideg tartalom megadásához már nem volt közvetlen érték, csupán közvetett módon, az adatbázis több adatából volt számítható. A hideg tartalmat az alábbi képlet segítségével határoztam meg:

$$w_c = \frac{c_i \rho_s}{c_f \rho_w} d_s (T_m - T_s),$$

ahol

w_c :	a hó hideg tartalma (<i>cold content</i>) [mm w.e.]
c_i :	a jég specifikus hője (<i>specific heat of ice</i>) [kJ/kg°C]
c_f :	olvadáshő (<i>latent heat of fusion</i>) [kJ/kg]
ρ_s :	az átlagos hósűrűség (<i>snow density</i>) [kg/m ³]
ρ_w :	a víz sűrűsége (<i>water density</i>) [kg/m ³]
d_s :	a hótakaró vastagsága (<i>depth of the snowpack</i>) [m]
$T_m - T_s$:	az átlagos hőmérsékleti deficit (<i>average temperature deficit</i>) [°C].

Ezen paraméterek közül a jég specifikus hője, az olvadáshő és a víz sűrűsége állandó értéként felvehető: $c_i = 2,06 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$, $c_f = 334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$, $\rho_w = 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. [23] A hósűrűség, a hótakaró vastagsága, illetve a hőmérséklet a letöltött adatokból volt megadható.

5. Vizsgált események

5.1. Lefolyási hányad

A hóolvadási paraméterek vizsgálatához öt darab árhullámesemény került kiválasztásra, amelyek a 8. táblázatban láthatóak, ábrájuk pedig a 10.1. számú mellékletben található.

8. táblázat Vizsgált árhullámok

Esemény	Arany-patak		Jáki-Sorok	
	$Q_{max} [m^3/s]$	Tetőzés időpontja	$Q_{max} [m^3/s]$	Tetőzés időpontja
1	3.94	'10-Feb-2014 00:00:00'	4.54	'10-Feb-2014 00:00:00'
2	4.65	'04-Feb-2017 19:00:00'	14.70	'06-Feb-2017 18:00:00'
3	8.15	'26-Feb-2013 11:00:00'	29.10	'26-Feb-2013 12:00:00'
4	6.40	'31-Mar-2013 14:00:00'	24.60	'31-Mar-2013 12:00:00'
5	10.57	'12-Feb-2014 16:00:00'	14.00	'12-Feb-2014 16:00:00'

A VITUKI 1979-ben kiadott hóolvadásról publikált közleménye alapján a hótakaró megjelenése átlagosan december 9-én, eltűnése pedig február 29-én várható. [4] Annak érdekében, hogy biztosan minden hóolvadásból adódó árhullámot figyelembe vegyek az általam vizsgált időszak október elejétől április végéig terjed. A vizsgált események ebből az időszakból kerültek kiválasztásra, illetve a paramétereket is ezen időszak esetén vizsgálom. A modellt így összesen három különböző évre (2013, 2014 és 2017) futtattam, hogy a hó felhalmozódása is megjelenhessen.

A kiválasztott események mindegyikénél található csapadék és hófedettség észlelése, így az árhullámok nem csupán hóolvadásból keletkeztek, hanem csapadék és hóolvadás együttes megjelenéséből. A vizsgált események lefolyási hányadainak értékei a különböző csapadék-adattípusok esetén a 9. táblázatban láthatóak.

9. táblázat Lefolyási hányadok a téli események esetén

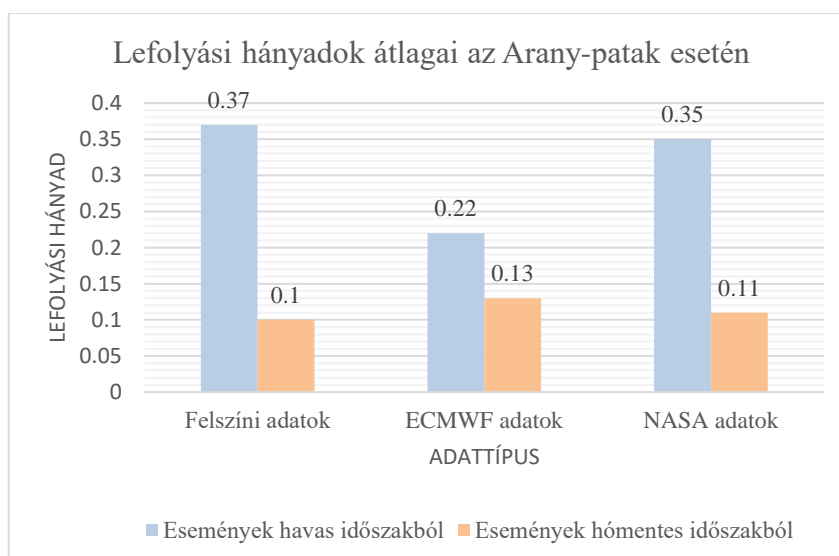
Esemény	Felszíni		ECMWF		NASA	
	Arany-patak	Jáki-Sorok	Arany-patak	Jáki-Sorok	Arany-patak	Jáki-Sorok
1	0.22	0.43	0.18	0.19	0.20	0.21
2	1.14	0.59	0.20	0.42	0.14	0.26
3	0.17	1.25	0.16	0.54	0.73	2.54
4	0.79	4.18	0.32	1.16	0.29	0.88
5	0.31	0.62	0.23	0.25	0.36	0.33

	Nyári időszakra jellemző lefolyási hányad (0.01 - 0.2)
	Téli időszakra jellemző lefolyási hányad (0.2 - 0.5)
	Fagyott talajra jellemző lefolyási hányad (0.5 - 1)
	Hibás érték

Megfigyelhető, hogy a lefolyási hányadok értékei a legtöbb esetben nagyok, bizonyos esetben a maximális 1 feletti értéket is túllépik. Az 1 feletti értékek oka lehet a téli időszakban pontatlanabb mérések a szilárd halmazállapotú csapadékok esetén. A színskálát

a VITUKI téli lefolyásviszonyokat vizsgáló mérései alapján vettem fel, amelynek során táblázatos formában kimutatták a különböző nyári, illetve téli lefolyási hányadok értékeit Zagyva-Pásztó, illetve Fehértó-Majsa vízgyűjtők esetén. A zölddel jelölt lefolyási hányadok alapvetően a téli időszakra jellemzőek, ugyanis a téli hónapokban a lefolyás forrása egyidejűleg lehet eső és hóolvadék, ami a nagyobb felhalmozódás esetén még jelentősebb lefolyást jelenthet. Mindemellett az átfagyott talajon is nagyobb felszíni lefolyás alakulhat ki, ahogyan az a táblázatban a kézzel jelölt események esetén is látható, erre példa a VITUKI Zagyva-pásztói vízgyűjtő vizsgálata, amelynek során fagyott talajon történő olvadási lefolyás 0.88-as lefolyási hányadot eredményezett. [4]

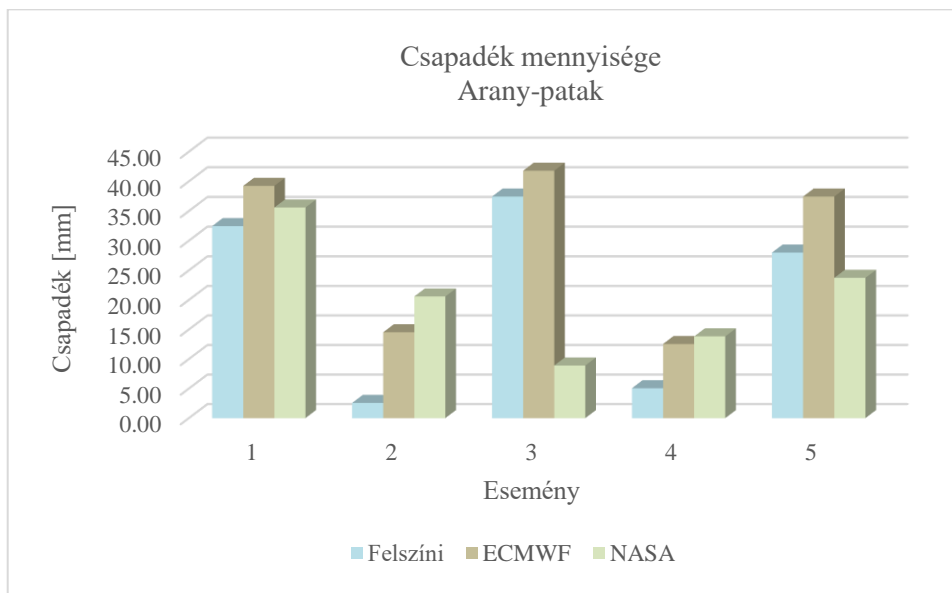
A 13. ábra szemlélteti a lefolyási hányadok alakulását havas, illetve hómentes időszakban az általam kiválasztott Arany-patak esetén, ugyanis ezen vízgyűjtőn a lefolyási hányadok értékeit kevésbé jellemzi nagy mértékű szórás, illetve csak egy esetben szerepelt a lefolyási hányadok között kiugró (avagy hibás), 1 feletti érték, ez pedig a felszíni adatok esetén történt. A további összehasonlításhoz ezt az értéket nem vettem figyelembe. A hómentes, illetve havas időszakhoz – a korábbi és a jelen dolgozatomból is – a vizsgált események lefolyási hányadainak átlagát vettem.



13. ábra A lefolyási hányadok alakulása havas és hómentes időszakban (Arany-patak)

Az ábrázolt diagramon is megfigyelhető a már említett eltérés a havas, illetve hómentes időszakból származó lefolyási hányadok között. Látható, hogy a legkisebb különbség az ECMWF adatok esetén adódik, amíg a legnagyobb a felszíni csapadékatok vizsgálatokor. Ebben az esetben felmerülő kérdés, hogy vajon melyik adatforrás a megbízhatóbb, mi a legvalóságosabb eltérés. A felszíni adatok között 1 feletti érték is szerepelt, amíg a másik két adattípus előnye, hogy nem tartalmaztak valószínűleg mérési hibából adódó értékeket az Arany-patak esetén. Az ECMWF adatok alkalmazásakor a téli lefolyási hányad értéke eltér a másik két adattípus értékétől. A NASA és az ECMWF adatok leírásaiban is azt láthatjuk, hogy az általuk szolgáltatott adatok tartalmazzák a folyékony és szilárd csapadékot is, ennek ellenére mégis eltérő lefolyási hányadokat eredményeznek. Az adatok előállításuk bonyolult algoritmusokkal történik, feltehetőleg a két szervezet más műholdak

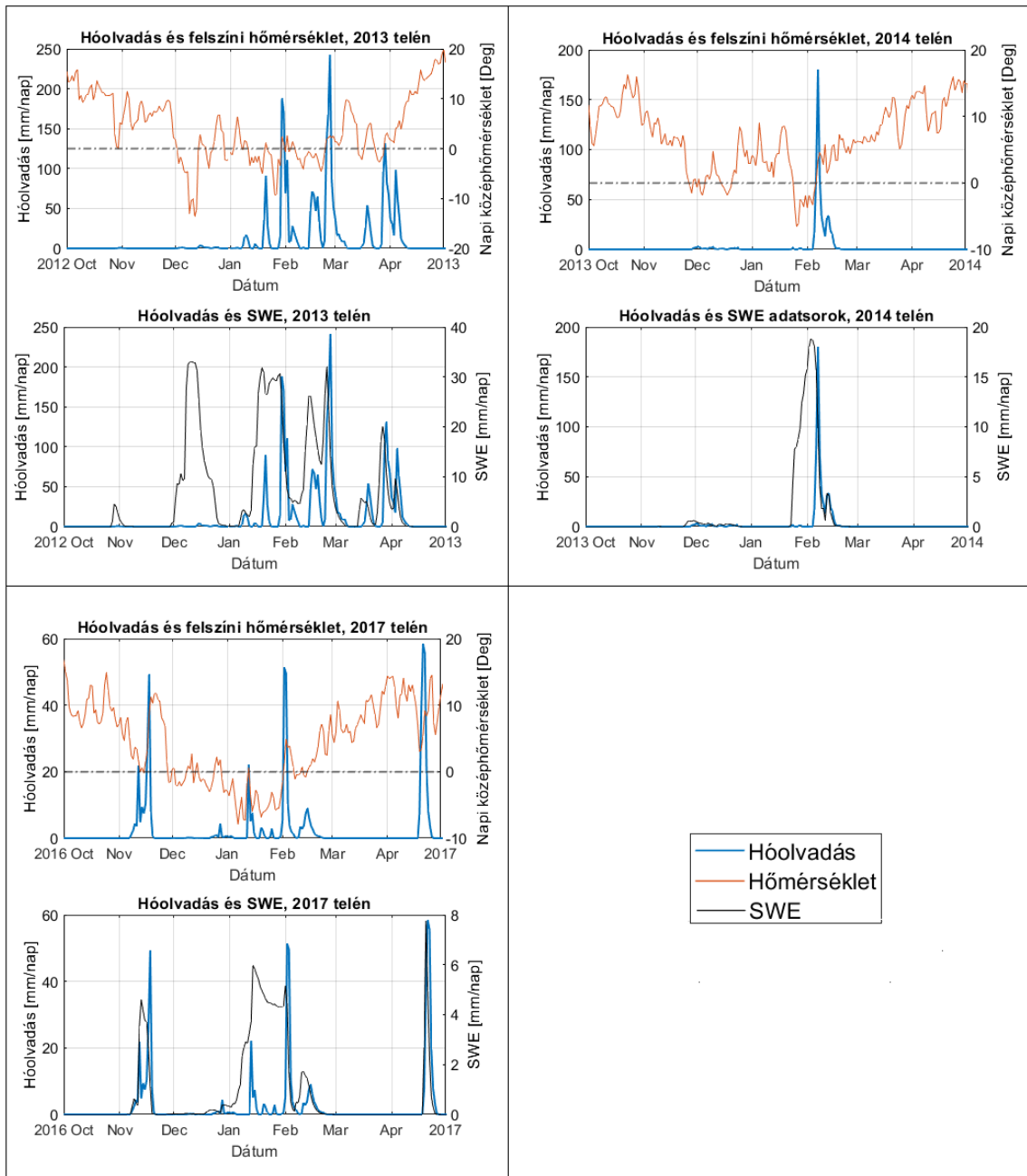
adatait használja, illetve más matematikai megoldásokkal dolgozhatja fel azokat. Következésképp az adatok vizsgálata mindenképp szükséges, ugyanis – a szervezetek adatfelhasználását és feldolgozását tekintve – két hasonló adatbázis is lehet nagyobb mértékben eltérő. A 14. ábra az Arany-patakon megfigyelhető csapadékmennyiségeket ábrázolja a három különböző adattípus esetén. Az oszlopdiagram szemlélteti az adatok változékonyságát, ami alapján elmondható, hogy az adatok megbízhatósága csupán szemrevételezés alapján nem eldönthető.



14. ábra a csapadék mennyisége az Arany-patakon

5.2. Szezonális vizsgálatok

Az ECMWF ERA5-Land adatbázisából az 5. fejezetben ismertett események éveire, azon belül is a téli időszakokra töltöttem le az adatokat. Mivel az adatok a 3.2. fejezetben ismertett módon mérések és szimulációs eredmények kombinációjából származnak, fontos megvizsgálni, hogy az adatok közötti kapcsolatok milyen mértékben tükrözik reális eredményeket. Ehhez a vizsgálathoz kiválasztottam a fontosabb adatokat, azaz a hóolvadást, a hó-vízegyenértéket és a hőmérsékletet. A vizsgált három év esetén a 15. ábra mutatja a napi átlagos adatok grafikonjait, ahol nem szemléltetem az adatokat vízgyűjtőnként, ugyanis a területek közötti eltérés elhanyagolhatóan kicsinek mutatkozott.



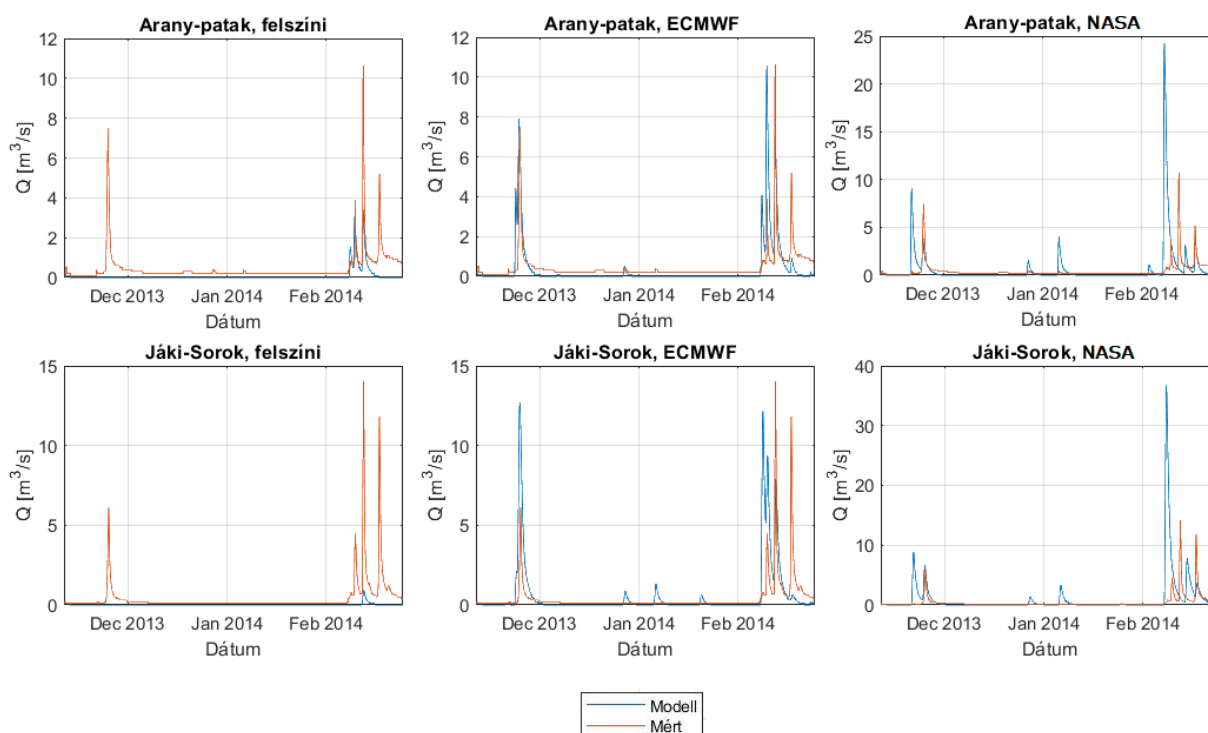
15. ábra A hóolvadás, hőmérséklet és SWE adatok összehasonlítása

A 15. ábracsoporton megfigyelhető, hogy a hóolvadás és hőmérséklet kapcsolata nem nevezhető egyértelműen megfelelőnek. Az adatok 2014 telén az elvárt jelenséget mutatják, miszerint $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ felett a hóréteg oladásnak indul. Ezzel ellentétben, 2017 januárjában tartósabb mínusz fokok mellett is, illetve 2017 áprilisában is csökkenő hőmérséklet után is nagyobb mértékű oladást jeleznek az adatok. A hóolvadás és a hó-vízgyenérték kapcsolata is azt mutatja, hogy az adatbázis nem mindig valóságos értékeket ad. A hó-vízgyenérték a hótakaróban tárolt vízkészlet, azaz annak a vízoszlopnak a magassága, amely a hó veszteség nélküli elolvadása esetén keletkezne. [4] Ez szintén a 2014-es év téli időszakának esetén elfogadhatóan alakul, ugyanis ameddig létezik a hótakaró, létezik a hó-vízgyenérték, ami azután csökken le, miután a hóréteg oladásnak indul. Emellett látható, hogy a hóolvadás mértéke nem nagyobb a hó-vízgyenértéknél, azaz a hótakaróban található

vízészlet kisebb veszteséggel jelent meg az olvadás során. 2013-ban és 2017-ben is megfigyelhetőek olyan esetek, amikor a hóolvadás mértéke nagyobb, mint a hóvízgyenérték, vagy akár a hó-vízgyenérték eltűnése mellett nem jelentkezett hóolvadási adat. Mindezek alapján az adatbázis megfelelő kiindulási értékeket adhat, de az adatokat fenntartásokkal kell kezelni.

5.3. Futtatási eredmények

A modell felépítése és az adatok eseményekre történő elemzése után elvégeztem a különböző adatokkal történő modellfuttatásokat. Ahogyan az a korábbiakban ismertetésre került a megelőző dolgozatomban bekalibrált paraméterek értékeit elfogadtam, további kalibrálást nem végeztem, illetve a 4.2. fejezetben ismertetett hóolvadás számítására elkészített meteorológiai modellt alkalmaztam. Fontos kiemelni, hogy a talajparaméterek esetén a kezdeti víztartalom értékét a maximális 0.5-re vettem fel, így a lefolyás mértéke a lehető legnagyobb minden esetben, illetve, hogy a felhasznált hőmérséklet idősorok minden esetben az ECMWF adatbázisából származnak, így ezek nem egyértelmű megbízhatósága is befolyásolhatja a modell eredményeit. Mivel az adatok a 2014-es év esetén mutatták a szezonális vizsgálatok során a legvalóságosabb értékeket, ezért a 16. ábra a 2014-es év futtatási eredményeit szemlélteti.



16. ábra Mért és modellezett árhullámok (2014)

Az eredmények számszerűen a 10. táblázatban láthatóak.

10. táblázat A futtatás számszerű eredményei (2014)

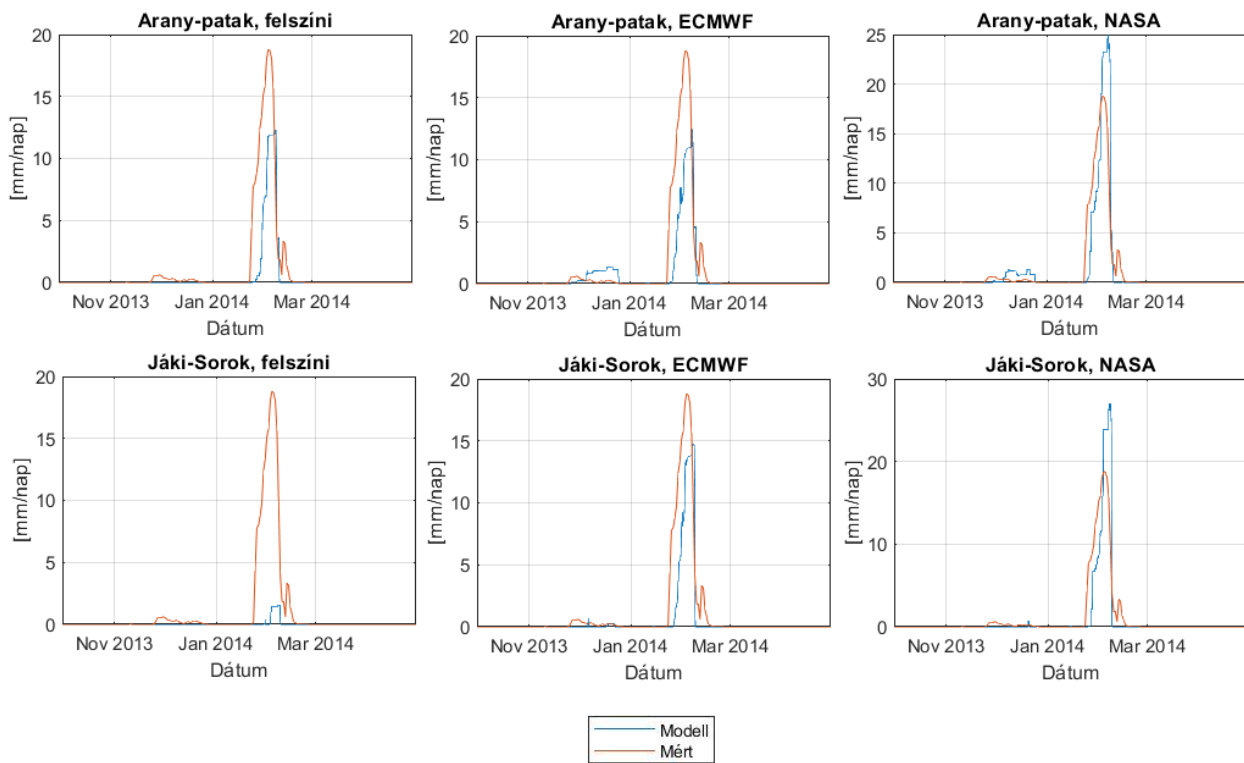
	<i>Felszíni</i>	<i>ECMWF</i>	<i>NASA</i>
	Jáki-Sorok		
Mért lefolyás [mm]	30.3		
Modellezett lefolyás [mm]	0.73	38.94	59.35
Mért tetőzés	2014.02.12. 16:00		
Modellezett tetőzés	2014.02.12. 19:00	2013.11.24. 17:00	2014.02.08. 14:00
	Arany-patak		
Mért lefolyás [mm]	40.15		
Modellezett lefolyás [mm]	6.09	37.66	45.25
Mért tetőzés	2014.02.12. 16:00		
Modellezett tetőzés	2014.02.12. 12:00	2014.02.29. 23:00	2014.02.08. 1:00

A táblázatban zöld, sárga és piros jelzi a legjobb, második legjobb és legrosszabb eredményeket. Megfigyelhető, hogy felszíni csapadékmérő állomások adataival futtatott modell a mért árhullámokhoz képest jóval kisebb árhullámokat eredményezett, illetve az ábrán látható, hogy a decemberi árhullám nem jelent meg a modellben. Mivel a lehető legnagyobb lefolyás értéke ez esetben ennyire kicsi, ez minősül a legrosszabbnak. Amennyiben biztosnak feltételeznénk, hogy a felszíni állomásokon mért csapadék a valós érték, a hóolvadáshoz szükséges paraméterek kalibrálása mellett valószínűleg a talajfizikai paraméterek újrakalibrálása is szükséges lehetne a téli időszakra. A mért és modellezett tetőzési időpontok megfelelőek.

Az ECMWF adatokkal történő futtatás mutatja a legmegfelelőbb értéket a lefolyás mennyiségére vonatkozóan, az árhullámok megjelentek a futtatási időszak alatt. A kezdeti víztartalom módosításával könnyen elérhető a mért lefolyási mennyiség, így a korábban megállapított talajfizikai paraméterek valószínűleg megfelelőnek bizonyulnak a téli időszakra is. Mindemellett az árhullámok mért tetőzési időpontját a Jáki-Sorok esetén nagymértékben, az Arany-patak esetén pedig kisebb mértékben, de félre becsüli.

A NASA csapadékadatából származó eredmények azt mutatják, hogy a modell nagymértékben túlbecsüli a lefolyás mennyiségét, azonban a tetőzés időpontját pár napos eltéréssel közelíti. Ebben az esetben is szükséges lehet a kezdeti víztartalom módosítása, amennyiben az adatokat valósan feltételezzük.

A futtatás ugyancsak fontos része, hogy vajon a lefolyási mennyiségekben valóban megjelennek-e a hóolvadás mennyiségei. A hó-vízegyenérték az egyetlen hóval kapcsolatos érték, amit a HEC-HMS eredményei között végig lehet követni a futtatási idő során. Az ECMWF adatbázisából a hó-vízegyenérték értéke letölthető volt, amelyet a 3.2. fejezetben ismerttettem és az 5.2. fejezetben vizsgáltam. Mivel pontos és teljesen megbízható mért adat nem állt rendelkezésemre, ezért az ECMWF adatait használtam fel a modell eredményeinek vizsgálatához, ugyanis a modell működésének ellenőrzésére megfelelő értékeket mutatnak, különösen a 2014-es év esetén. Mivel a 2014-es év esetén valóságszerű adatok jellemezték az adatbázist, ezért összevettem az adatbázis és a modell napi átlag hó-vízegyenértékét, ennek eredményeit a 17. ábra szemlélteti.



17. ábra A mért és modellezett hó-vízgyenérték (2014)

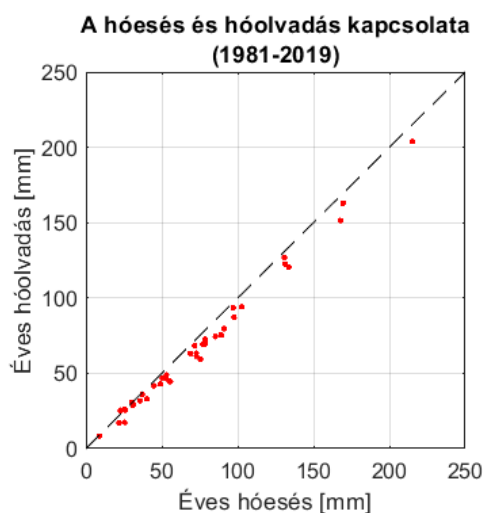
Megfigyelhető, hogy a hó-vízgyenérték időbeli megjelenése és eltűnése megfelelő, ellenben a mennyiség sok esetben eltér, akár alul vagy felülbecsléssel. A legjobb közelítést a NASA adatok, ezután pedig az ECMWF adatok adják a mennyiséget illetően.

Összehasonlítva az eredményeket, a csapadékmennyiség és a hó-vízgyenérték közelítő értékei alapján az ECMWF és a NASA adataival lefuttatott modell bizonyult a legmegfelelőbbnek, ellenben a paraméterek – akár a korábbi dolgozatban vizsgált talajfizikai vagy a jelen hóolvadás számításához szükséges paraméterek – további kalibrálást igényelnek a legjobb eredmények eléréséhez. Ez megerősíti a korábbi megállapításokat miszerint az ECMWF hóolvadás vizsgálatához használható adatait nem tekinthetjük teljes mértékben megbízhatónak. A NASA adatai a csapadék mennyisége, az árhullám tetőzése és a hó-vízgyenérték szempontjából is jól helytálltak, kalibrálással megfelelő értékek érhetőek el. Ezen adattípus esetén nagyobb beszivárgás lenne szükséges a talajba. A téli körülmények közötti összegyülekezésben és felszíni lefolyásban a legdőntőbb befolyásoló hatás a talajfelszín hőmérsékleti és nedvességállapotának tulajdonítható. Az erősen fagyott talaj vízáteresztő képessége nagyon lecsökken, ugyanakkor még az erősen fagyott talaj sem lehet teljesen vízzáró [4], így indokolt lehet a talaj kezdeti víztartalmának csökkentése, hogy a NASA adatokat felhasználó modellben megtörténjen a szükséges mennyiségű beszivárgás.

Ezzel ellentétben a felszíni csapadékmérő állomások adatai esetén az eredmények nem kielégítőek, ennek oka lehet a szilárd csapadékok nem megfelelő rögzítése.

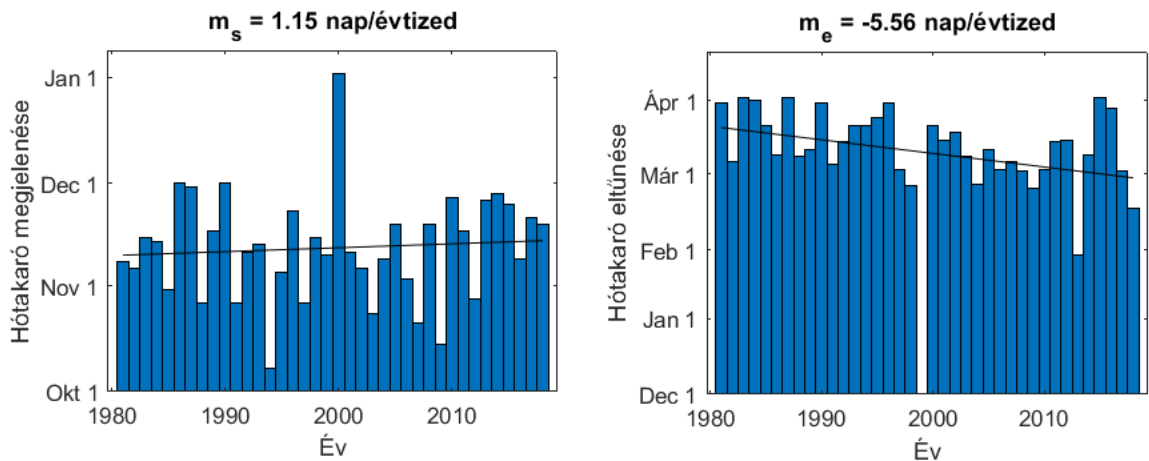
6. Hosszú idejű vizsgálatok

A hóolvadásból keletkező árhullámok pontos modellezéséhez és a téma relevanciájának felméréséhez fontos tudnunk, hogy napjainkban vagy akár a jövőben mi a jellemző a hóesés és hóolvadás jelenségére. Ehhez segítséget nyújt az ECMWF adatbázisa, ugyanis az adatok 1981-től érhetőek el napjainkig. Az adatokkal történő ténymegállapítások előtt fontos ebben az esetben is ismernünk azt, hogy az adatok mennyire tükrözik a valóságot. A 18. ábra szemlélteti a hóesés és hóolvadás kapcsolatát a rendelkezésre álló évek esetén. Megfigyelhető, hogy három év esetén a hóolvadás mértéke nagyobb, mint a hóesés. A hóolvadás a szublimációs folyamat miatt lehet kisebb, mint a hóesés, ellenben fordítva az adatok hibát jeleznek. Mindezek ellenére ez a különbség elhanyagolható mértékű és előfordulású, az adatbázis alkalmazható a továbbiakban részletezett vizsgálatokhoz.



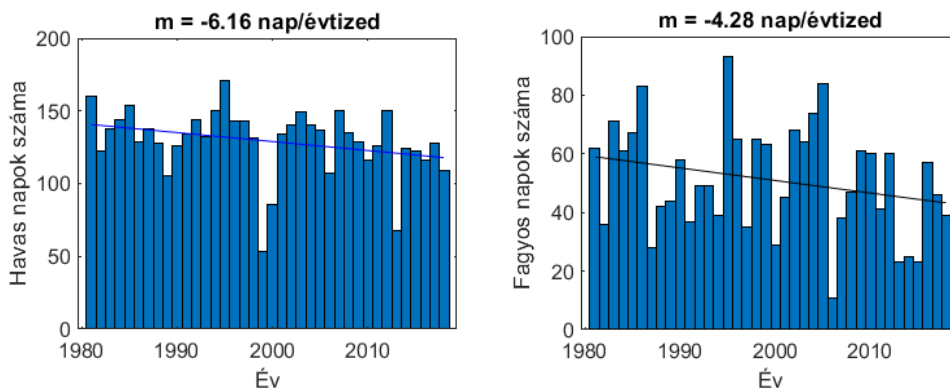
18. ábra A hóesés és hóolvadás kapcsolata

A hóolvadás vizsgálatához elsődleges szempont a hótakaró megjelenésének és eltűnésének dátuma. A korábbiakban is említett, VITUKI által kiadott hóolvadási lefolyásról szóló közlemény szerint az általam vizsgált területen a hótakaró várhatóan december 9-én jelenik meg és február 29-én tűnik el. [4] Ezzel ellentétben az adatbázis alapján november és december eleje között jelent meg a hótakaró, illetve március és április eleje között tűnt el. Ennek oka, hogy az adatbázis a már egészen kicsi mértékű hó jelenlétét is jelzi, illetve a VITUKI méréseiből feltételezett időpontok az első összefüggő hótakaró megjelenésére vonatkoznak. Megfigyelhető, hogy a hótakaró megjelenését 1.15 nap/évtizedes, az eltűnését pedig -5.56 nap/évtizedes trend jellemzi.



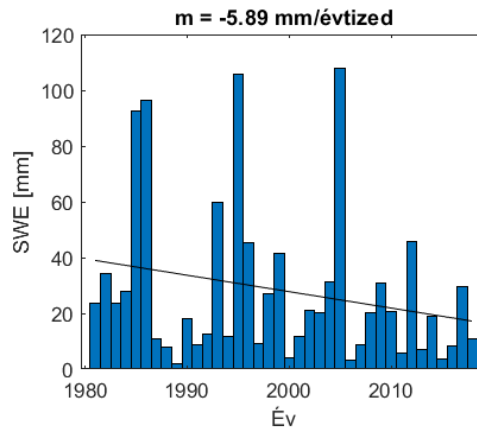
19. ábra A hótakaró megjelenése és eltűnése

A VITUKI az összefüggő hótakaró első megjelenésének és végső eltűnésének dátumával meghatározta a területen várható hótakarós időszakot. A két dátum különbsége 81 nap, ebből a VITUKI által 10 éves adatokból előállított térképen a hótakarós napok száma várhatóan 53 a területen. [4] A 20. ábra a bal oldalon a havas napok számát szemlélteti a vizsgált évek esetén. Az adatbázis alapján az átlagos havas napok száma 1980-as évek elején körülbelül 140 nap volt. Ez az érték szintén nagyobb, mint a VITUKI által meghatározott érték, de ennek oka lehet, hogy az adatbázis kismértékű hótakaró megjelenését is rögzíti. Az ECMWF adatbázisából kiszámítható a fagyos napok száma, ahol a napi középhőmérséklet $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti volt, ennek eredménye a 20. ábra jobb oldalán látható. Az 1980-as évek elején a fagyos napok száma 59. Ez az érték reális a VITUKI által meghatározott 53 hótakarós napjához. Ugyanakkor az adatok tendenciáját vizsgálva az látható, hogy az elmúlt 40 évben -4.28 nap/évtized trenddel csökkent a fagyos napok száma, emiatt napjainkban és a jövőben egyértelműen nem tekinthetőek érvényesnek a több évtizeddel ezelőtt meghatározott adatok.



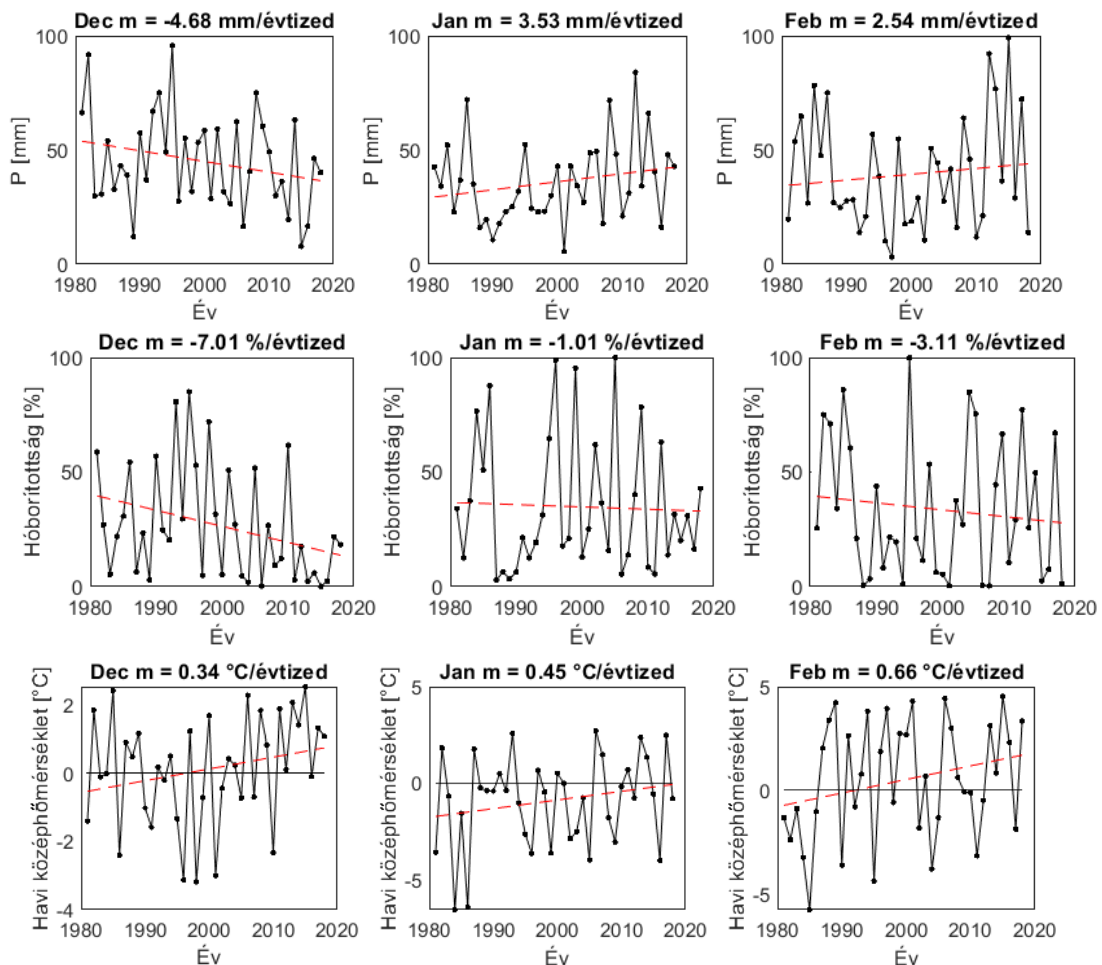
20. ábra Trend a havas napok számának esetén

A fagyos napok mellett a hó mennyisége is fontos tényező a modellezéshez. A hó mennyiségéről iránymutató lehet a hó-vízgyenérték, amelynek havi átlagokból számított éves értékei a 21. ábra oszlopdiagramján láthatóak. A hó-vízgyenérték esetén is megfigyelhető a csökkenő trendvonal, -5.89 mm/évtized változással.



21. ábra Trend a hó-vízgyenérték esetén

A teljes évek adatain felül fontos megvizsgálni a téli hónapok fontosabb paramétereit, avagy a csapadékot, hóborítottságot és a hőmérsékletet, amelyeket 22. ábracsoport szemléltet a téli hónapok esetén. A teljes vizsgált időszakra a 10.2. számú mellékletben láthatóak az eredmények. Ahogyan az már a korábbi esetekben is megfigyelhető volt, a hóborítottság mértéke az összes téli hónapban csökken, ezzel összefüggően a havi középhőmérséklet nő. A csapadék mennyisége decemberben csökken, amíg januárban és februárban nő, ami a hőmérsékleti emelkedéssel együtt eredményezheti a már ismertetett hótakarós időtartam kezdetének kitolódását.



22. ábracsoport Trendek a téli hónapok esetén

Wisnovszky István egy 1993-ban publikált tanulmányában a téli záporosót és az általa olvasztott hótakaróvíz lehetséges mértékét, illetve ezek várható előfordulási valószínűségeit vizsgálta. A hóolvadásból keletkező extrém esemény várható ismétlődési idejét a záporosemények, a hótakaró vastagságának, sűrűségének és a hőmérsékleti viszonyoknak egybeesési gyakorisága (feltételes valószínűsége) határozza meg. Szélsőségesen nagy károkat okozhat olyan meleg front, ami meleg záporokat ont a fagyott vagy a fagyott és hóval takart felületekre. [24]

A bemutatott trendek alapján nem egyértelmű, hogy a felmelegedés hatására irreleváns lesz-e a hóolvadásból keletkező árhullámok valószínűsége, hiszen bizonyos esetekben, mint például februárban nő a csapadék mennyiség, de például márciusban és áprilisban csökken, emiatt az említett tanulmány felülvizsgálata is szükséges lehet napjaink viszonyaira.

7. Összefoglalás

A hófelhalmozódás, a hóolvadás és a hóból származó lefolyás vizsgálata egy rendkívül változatos és nehéz meteorológiai, illetve hidrológiai vizsgálat, számos befolyásoló tényezővel. A vízgazdálkodás csaknem valamennyi feladatának a megoldásánál figyelemmel kell lennünk a hó felhalmozódására és olvadására. Ezek a jelenségek szabályozzák ugyanis a téli és a tavaszi árvizek és belvizek keletkezését, illetve levonulását, tavasszal a legkülönbözőbb vízhasznosítási célokra (vízerő-hasznosítás, öntözés) tárolható víz mennyiségét vagy például a források vízhozamát is. [1] Mindazonáltal hazánkban nem található aktuális szakirodalom a hóolvadás vizsgálatához, így különösen fontos a több évtizeddel ezelőtti kutatások felülvizsgálata.

Mindehhez napjainkban olyan szoftverek segítségével is elvégezhetőek a vizsgálatok, mint a HEC-HMS. A vizsgálatokhoz fontos lenne tudnunk a megfelelő beállításokat, illetve elengedhetetlenül jelentősek a jó minőségű és megbízható adatok. A dolgozatom során részleteztem a hóolvadás vizsgálatához szükséges meteorológiai modell létrehozását, illetve utánajártam a lehetséges adatforrásoknak, név szerint a felszíni, ECMWF, NASA, H-SAF és OMSZ adatainak. Az elérhető csapadékadatokkal, illetve az ECMWF adatbázisából származó hóolvadási paraméterek felhasználásával futtattam a modellt, amelyből megállapítható volt, hogy a NASA és ECMWF adatokkal előlátott modell segítségével lehet elérni a legjobb eredményeket.

Az ECMWF hóolvadáshoz szükséges adatainak szezonális és többéves vizsgálata során, látható volt, hogy az adatok nem minden esetben adnak reális értékeket, de kiindulási értéként felhasználhatóak. A többéves adatok elemzése során egyértelművé vált, hogy a korábbi szakirodalmak számításai bizonyos jellemző értékekről napjainkra már nem helytállóak. A hőmérséklet növekedésével a hó mennyisége évről évre csökken, azonban ez nem azt jelenti, hogy a téli lefolyások mértéke elhanyagolható, ugyanis a téli események lefolyási hányadai napjainkban is nagy értékűek.

A dolgozat témája még számos kutatási lehetőséget rejt, ugyanis vizsgálhatóak további adatbázisok is, amelyek a hóolvadás vizsgálatához szükséges paraméterekkel rendelkeznek, emellett a modell eredmények elemzésén felül elvégezhető lehetne a modell kalibrálása és igazolása is. A több évtizeddel ezelőtt publikált szakirodalmak tényei és megállapításai is egyértelműen megváltoztak napjainkra, ezek felülvizsgálata is lehetséges folytatása a kutatási témának. Legfontosabb ezek közül a hóolvadás és csapadék együtteséből keletkező árhullámok valószínűségének vizsgálata. Fontos lenne továbbá helyszíni mérések bevonása a vizsgálatba, érteve ezalatt az OMSZ felszíni hóészleléseit vagy akár a helyszínen végzett beszivárgásvizsgálatokat.

8. Köszönetnyilvánítás

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

Hálával tartozom az Országos Meteorológiai Szolgálat és a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság adatszolgáltatás terén nyújtott segítségéért.

Mindemellett köszönöm a Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítványának ösztöndíj pályázati támogatását.

9. Irodalomjegyzék

- [1] Salamin, P., (1995) *A hóolvadás vizsgálatának kérdései*, MTA. IV.Osztálya rendezésében megtartott vitaülés anyaga
- [2] Kis, A., Pongrácz, R., Bartholy, J., Szabó, A. J., (2017) *Application of RCM results to hydrological analysis*, *Időjárás - Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, Vol. 121, No. 4., pp. 437-452., Budapest
- [3] Négyesi, K. (2020) *Különböző típusú csapadékadatok használatának összehasonlító elemzése*, [Diplomamunka] BME, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapest
- [4] Kovács, Gy., (1979) *A hófelhalmozódás, a hóolvadás és a hóból származó lefolyás tér- és időbeli változékonysága Magyarországon*, VITUKI Közlemény, Budapest
- [5] MBFSZ éghajlat térképei – MBFSZ térképszerver
<https://map.mbfsz.gov.hu/>
[Megtekintve: 2020.10.03.]
- [6] CORINE Land Cover – Copernicus
<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
[Megtekintve:2020.10.03.]
- [7] Salamin, P., (1960) *A domborzat befolyása a hó felhalmozódására és olvadására*, *Hidrológiai Közlöny* 1960. 6. sz.
- [8] How Flow Direction Works – ArcGIS segítség
<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-direction-works.htm>
[Megtekintve: 2020.10.08.]
- [9] Copernicus Climate Change Service (C3S) (2019): *C3S ERA5-Land reanalysis* .
Copernicus Climate Change Service, 15/09/2019.
<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>
[Megtekintve: 2019.09.18.]
- [10] ERA5 Land Documentation
<https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5-Land%3A+data+documentation>
[Megtekintve: 2020.10.03.]
- [11] NASA Global Precipitation Measurement, Data Downloads
https://gpm.nasa.gov/data-access/downloads/gpm?fbclid=IwAR0oOOB-DtoxfAX1iz9obpKq9mgTW5_L8dlfZu-la7GsRqZ1a9I700T20Go
[Megtekintve: 2020.05.20.]
- [12] NASA Panoply
<https://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/>
[Megtekintve: 2020.10.13.]
- [13] H-SAF Official Web Site, Description H05B product

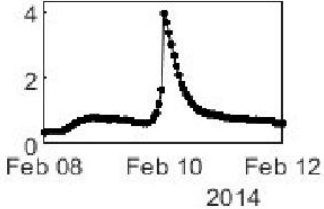
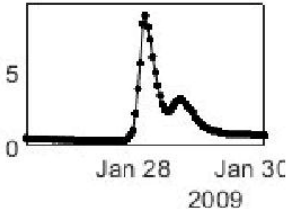
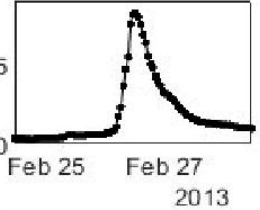
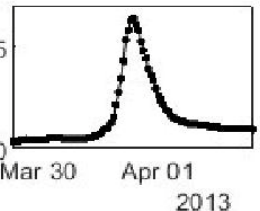
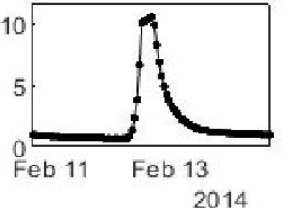
<http://hsaf.meteoam.it/description-h05b.php>

[Megtekintve: 2020.05.26.]

- [14] Országos Meteorológiai Szolgálat
https://www.met.hu/omsz/palyazatok_projektek/keop-radar/palyazat_leirasa/
[Megtekintve: 2020.05.26.]
- [15] HEC-HMS – US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center
<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>
[Megtekintve: 2019.10.25.]
- [16] Porhemmat, J., (2013) *Calibration of snowmelt parameters using the HEC-HMS hydrologic model*, Research on Crops
- [17] Green, I. R. A., Stephenson, D., (1986) *Criteria for comparison of single event models*, Hydrological Sciences Journal, 31:3, 395-411
- [18] Khatri, H. B., Jain, M. K., Jain, S. K. (2017) *Modelling of streamflow in snow dominated Budhigandaki catchment in Nepal*, J. Earth Syst. Set. 127:100
- [19] Verdhen, A., Chahar, B.R., Sharma, O.P., (2013) *Snowmelt runoff simulation using HEC-HMS in a Himalayan Watershed*, World Environmental and Water Resources Congress
- [20] Scharffenberg, W. A. (2013) *Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual*, Washington
- [21] Dingman, S. L., (2015) *Physical Hydrology* (Third Edition), University of New Hampshire, Waveland press, Inc., Long Grove, Illinois, pp. 159. (Chapter 4., Summary of Point Measurement)
- [22] Nagy, E. D., (2016) *Vízgyűjtő-modellezés gyakorlati alkalmazhatóságának vizsgálata a Tarján-patak vízgyűjtőjén* [Diplomamunka] BME, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapest
- [23] Schaeffli, B., Huss, M., (2011) *Supplementary Material for „Integrating point glacier mass balance observations into hydrologic model identification”: cold content concept to delay melt water production*, Hydrology and Earth System Sciences 15-1227
- [24] Wisnovszky, I., (1993) *Záporcsapadék és hó – a települési vízelvezetés hidraulikai terhelő elemei*, Hidrológiai Közlöny 1993.73.évf. 2.sz.

10. Mellékletek

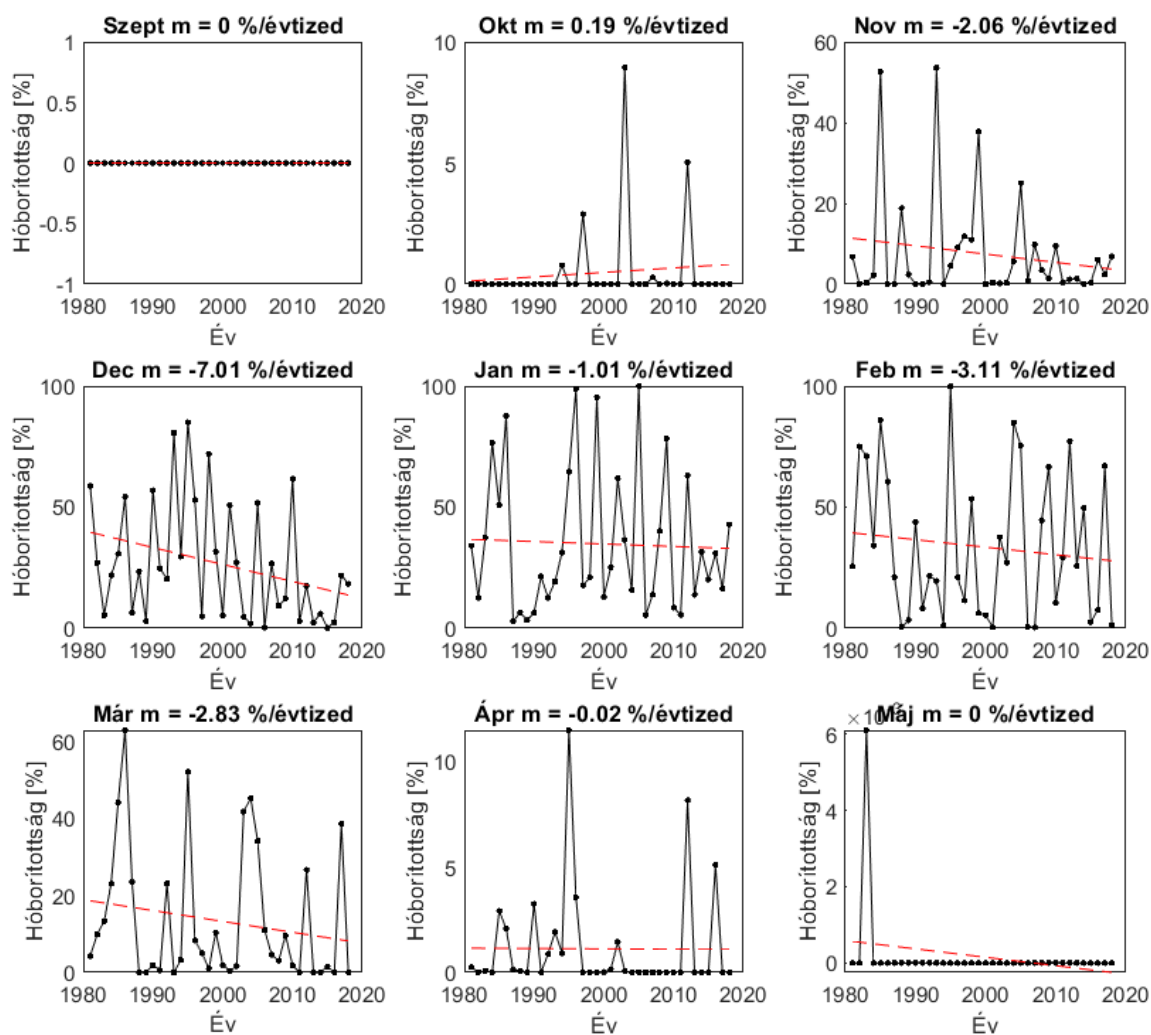
10.1. A vizsgált események

Arany-patak				
1	'10-Feb-2014 00:00:00'	3.94	'08-Feb-2014 00:00:00'	'12-Feb-2014 00:00:00'
				
2	'06-Feb-2017 19:00:00'	4.65	'04-Feb-2017 19:00:00'	'08-Feb-2017 19:00:00'
				
3	'26-Feb-2013 11:00:00'	8.15	'24-Feb-2013 11:00:00'	'28-Feb-2013 11:00:00'
				
4	'31-Mar-2013 14:00:00'	6.40	'29-Mar-2013 14:00:00'	'02-Apr-2013 14:00:00'
				
5	'12-Feb-2014 16:00:00'	10.57	'10-Feb-2014 16:00:00'	'14-Feb-2014 16:00:00'
				

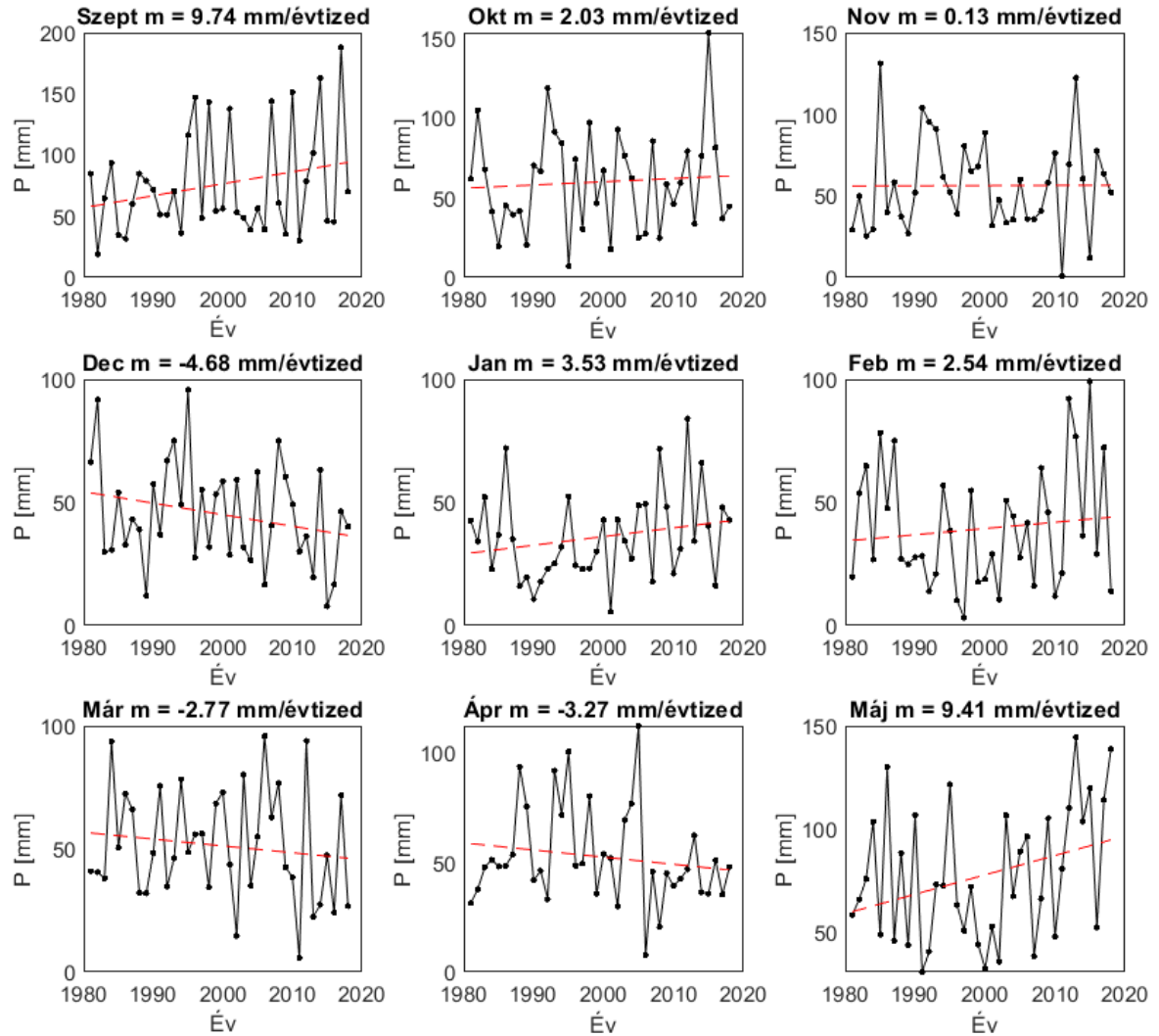
Jáki-Sorok				
1	'10-Feb-2014 00:00:00'	4.54	'08-Feb-2014 00:00:00'	'12-Feb-2014 00:00:00'
2	'06-Feb-2017 18:00:00'	14.70	'04-Feb-2017 18:00:00'	'08-Feb-2017 18:00:00'
3	'26-Feb-2013 12:00:00'	29.10	'24-Feb-2013 12:00:00'	'28-Feb-2013 12:00:00'
4	'31-Mar-2013 12:00:00'	24.60	'29-Mar-2013 12:00:00'	'02-Apr-2013 12:00:00'
5	'12-Feb-2014 16:00:00'	14.00	'10-Feb-2014 16:00:00'	'14-Feb-2014 16:00:00'

10.2. Trendvizsgálat

Hóborítottság



Csapadék



Napi középhőmérséklet

