

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
Természettudományi Kar
Földtudományok Doktori Iskola

**Árvízhozam előrejelzés optimalizálása középhegységi és
dombvidéki kisvízgyűjtőkre**

PhD értekezés tézisei

Balatonyi László

Témavezető:

Dr. Czigány Szabolcs
habil. egyetemi docens

Pécs, 2015

A doktori iskola neve: PTE Földtudományok Doktori Iskola
Vezetője: Dr. Dövényi Zoltán DSc. egyetemi tanár
PTE TTK Földrajzi Intézet
Társadalomföldrajzi és Urbanisztika Tanszék

A doktori témacsoport neve: Természetföldrajz és tájértékelés
Vezetője: Dr. habil Lóczy Dénes egyetemi tanár,
MTA doktora
PTE TTK Földrajzi Intézet
Természet- és Környezetföldrajzi Tanszék

Az értekezés tudományága: Hidrológia
Témavezető: Dr. Czigány Szabolcs egyetemi docens
PTE TTK Földrajzi Intézet
Természet- és Környezetföldrajzi Tanszék

1. Bevezetés

Az Éghajlat-változási Kormányközi Testület (*International Panel on Climate Change*, továbbiakban: IPCC) 2007-ben megjelent IV. jelentése alapján 2020-as évekre egyre nagyobb számban megjelenő és egyre nagyobb károkat okozó árvizek megjelenésétől lehet tartani. A hidrológiai ciklus intenzitásának növekedése következtében egyre gyakrabban jelennek meg szélsőséges időjárási jelenségek, mint például aszályok, vagy éppen az ellenkezője, heves, intenzív csapadékesemények. Az extrém csapadékos időszakok egyik legsúlyosabb hidrológiai következménye lehet hegy- és dombvidéki területeken megjelenő villámárvíz (*flash flood*).

A villámárvizek, vagy más néven gyors lefolyású árvizek megfelelő meteorológiai és hidrológiai hatások együtteseként jöhetnek létre. Az angolszász megfogalmazás szerint: „*too much water in too little time*”, azaz túl sok csapadék, rövid idő alatt. A villámárvizek egyik jellemzője a rendkívül gyors lefutás, általános definíció szerint összegyülekezési idejük kevesebb, mint 6 óra. A Dél-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság területén, elsősorban a domborzatból és a klimatológiai sajátosságokból fakadóan, komoly veszélyforrást jelenthetnek a kisvízfolyások hirtelen áradásai (BALATONYI 2013). Azonban az idő előrehaladtával már az emlékeink megfakulnak egy-egy csapadékos napról, esetleg hónapról. Már szinte alig emlékszik valaki a 2010. május, júniusi nagyvizes időszakokra (helyi vízkárok a pécsi Vincze utcában és a Május 1. utcában), pedig csak alig öt éve történtek.

Nagycsapadékok által kiváltott villámárvizek mind gyakoribbak nem csak világszerte, de Magyarországon is (ILISICS et al. 2011). Dél-Dunántúlon, illetve Pécs környékén az utóbbi évtizedben több alkalommal is voltak villámárvíz jellegű árvízi események (HEGEDÜS et al. 2013a, PIRKHOFFER et al. 2013). A legnagyobb károkat Hetvehely község nyugati részéről jelentették, közvetlenül a Sás- és Bükkösdi-patakok összefolyásától felfelé (HEGEDÜS et al. 2013b, 2014).

A villámárvizek előrejelzése nagyon nehéz és bizonytalan, mivel számtalan környezeti paraméter befolyásolja a kialakulásukat (BALATONYI 2015). Az előrejelzésnek egyik lehetséges módja a numerikus lefolyási modellek alkalmazása. Azonban a modellek nagy mennyiségű mért bemeneti adatot igényelnek (RONCZYK et al. 2012). Magyarországon a legjelentősebb problémát az előrejelzések megalkotásánál az jelenti, hogy nincs megfelelő térbeli sűrűségű vízállás, vízhozammérés, valamint nem áll rendelkezésre megfelelő hidrometeorológiai (csapadék, talajnedvesség) mérőhálózat a leginkább érintett kisvízfolyásoknál (BALATONYI 2014a). Egy jól működő előrejelző rendszer felépítéséhez többek között a talajnedvesség adatok nagy sűrűségű, gyakoriságú (időben és térben) tanulmányozása is szükséges a folyamat parametrizációjához (BALATONYI 2014b).

A Dél-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság (DDVIZIG) jelenlegi lefolyási modelljének (DDVIR) fejlesztése és pontosítása jelenleg is folyamatban van. Az aktuálisan használt modell pontosítása érdekében az AGWA programot, csapadék-lefolyás modellt (*Environmental Protection Agency által fejlesztett model*) közösen az Igazgatóság munkatársaival tervezzük integrálni. Ennek a modellnek a használhatóságát vizsgáltam a doktori kutatásom keretein belül, három villámárvízzel veszélyeztetett dél-dunántúli közepes méretű vízgyűjtő (Bükkösdi-víz, Karasica-patak és a Baranya-csatorna) esetében.

1.1. Árvízhozamok előrejelezhetősége a korai számítási módszerektől a számítógépes alapú numerikus lefolyásmodellekig

A számítógépes hidrológiai modellfuttatásokat megelőzően is voltak már törekvések arra, hogy előrejelezzék és megbecsüljék egy adott keresztmetszvényben a vízállásokat és tetőző vízhozamokat, ezeket az alábbiakban összefoglalóan egyszerű számolási módszereknek nevezem. A kisvízfolyásokon ez a feladat, azaz a mértékadó vízhozamok előállítása, még nagyobb nehézségekbe ütközött, mint manapság, a számítógépes modellek időszakában. A jelen dolgozatban érintőlegesen használtam az egyszerű numerikus modelleket is, azonban dolgozatom fő célja a tetőző vízhozam számítás az AGWA számítógépes lefolyás modell felhasználásával, melyet a Bükkösdi-vízfolyásra végeztem el első sorban, de további két villámárvizekkel veszélyeztetett vízfolyásra is kiterjesztettem (Karasica-patak, Baranya-csatorna).

A mérnöki gyakorlatban leggyakrabban alkalmazott egyszerű számítási módszerek közé tartozik a Csermák, Koris, Kollár és a Racionális módszer. Ezek általában egyszerű, terület alapú modellek (a racionális módszer kivételével), ezáltal nagy hibahatárral dolgoznak (BALATONYI et. al. 2013a). Természetesen az is előfordulhat, hogy az előzőekben felsorolt módszerek pontos értékeket szolgáltatnak (statisztikai hibahatáron belül), csak esetleg egyéb környezeti változó módosult a vízfolyás mentén, mint például csökkent a vízfolyás levezető sávjának szélessége.

Az előzőekben bemutatott egyszerű lefolyási modellekhez képest sokkal pontosabb és részletesebb eredményeket érhetünk el mind térben, mind időben a komplex csapadék-lefolyás szimulációs modellek (pl. AGWA) alkalmazásával, amelyeknél nagyszámú környezeti, felszínborítási (BALATONYI 2013, BALATONYI et al. 2013b), talajtani, hidrológiai és meteorológiai paraméter vehető figyelembe.

2. Célkitűzések

A jelen dolgozatban az alábbi vízgyűjtő szintű hidrológiai problémák vizsgálatát tűztem ki célul:

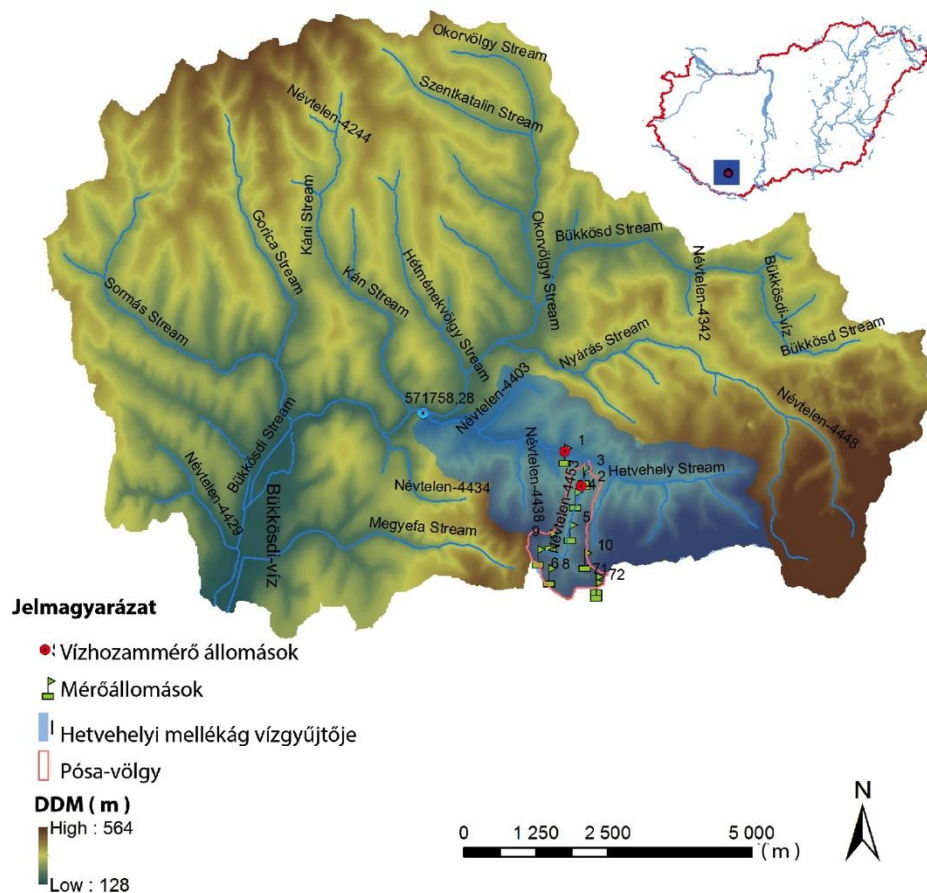
1. Csapadék és talajnedvesség adatok közötti összefüggések vizsgálata erdővel borított és fátlan mérőpontok esetében
2. A lombkorona fedettség éves lefutásának meghatározása egy, a Nyugat-Mecsekben található kisvízgyűjtő esetében, valamint az eredmények felhasználhatóságának vizsgálata más hasonló környezeti adottságokkal rendelkező közép-európai kisvízgyűjtőkre
3. Az intercepció nagyságának meghatározása egy, a Nyugat-Mecsekben található kísérleti vízgyűjtőn, az eredmények összehasonlítása korábbi irodalmi adatokkal
4. Szemi-empirikus, vízgyűjtőspecifikus, talajparaméterezetttségű nomogramok kialakítása a gyors árvízhozamszámítás elősegítéséért az AGWA numerikus modell alkalmazásával, három kísérleti vízgyűjtőre.

3. Eszközök és módszerek

3.1. Mintaterület bemutatása, a Bükkösi-víz vízgyűjtőjének általános jellemzése

A területre vonatkozó lefolyás-modell létrehozásához szükségem volt a mintavízgyűjtő környezeti változóinak a pontos ismeretére (csapadék, talajnedvesség, talajvastagság, borítottság). A részletes monitoring vizsgálatokat 2010 és 2012 között a Bükkösi-víz (Fekete-víz felső folyásának részvízgyűjtője) vízgyűjtőjén található ultra kisméretű (1,7 km²) Pósa-völgyben végeztem (1. ábra).

A vízgyűjtőt elsősorban a múltban bekövetkezett, továbbá a jövőben is várható helyi vízkáresemények miatt választottuk ki. A terület dombvidéki és középhegységi jellegéből fakadóan a villámárvízi veszélyeztetettsége nagy, illetve a terepi bejárások is könnyebben voltak megvalósíthatóak, mint egy távolabbi mintaterület esetén. A vízgyűjtő reprezentatívnak tekinthető a Magyarországon található középhegységi, többségében erdőszült vízgyűjtők lefolyási viszonyaira.



1. ábra A Pósa-völgyi mintaterület elhelyezkedése a Hetvehelyi mellékág (Sás-patak) vízgyűjtőjén (Saját szerkesztés)

3.2. Monitoring hálózat általános jellemzése

A Pósa-völgyben 2011. évben 11 adatgyűjtővel ellátott hidrometeorológiai és talajtani mérőállomás hálózatot telepítettem, üzemeltettem. Minden egyes mérőállomás tartalmazott egy *Decagon* gyártmányú EM50 (egy esetben EM50G *GPRS* alapú adatküldő modullal felszerelt) adatgyűjtőt, 5TM TDR rendszerű talajnedvesség szenzort és egy ECRN-100 típusú billenőedényes csapadékszenzort.

3.3. A lombkorona fedettség meghatározása a megfigyelési időszakban

A terepi bejárások alkalmával rögzítettem a lombkorona fedettség százalékos arányát, digitális tükörreflexes fényképezőgéppel. A fényképezőgépben és a csapadékmérő eszközben is beépített vízszintmérő volt, illetve rögzítettem az első felvétel alkalmával a fényképező eszköz pontos elhelyezkedését, ezáltal biztosítottam azt, hogy minden alkalommal pontosan ugyanaz a térszín kerüljön rögzítésre a csapadékmérő felett. A monokróm fényképek százalékos kvantitatív kiértékelését, meghatározását az ArcGIS 10.2-es szoftverkörnyezetben végeztem el.

3.4. Az AGWA modell parametrizációja

Csapadék és a talajnedvesség adatok, valamint a statikus környezeti változók alapján kiszámoltam a tetőző vízhozamokat. A csapadék adatokat, a vízhozam mérési keresztmetszélvényhez legközelebbi meteorológiai állomás adataiból használtam fel. A modellezés során azt vizsgáltam, hogy a mért tetőző vízhozam eléréséhez mekkora csapadékterhelésre van szükség, ha a megadott csapadékmennyiség az egész vízgyűjtőterületre esne, ami azt jelentette, hogy a mért adatokat az egész vízgyűjtő területre vetítettem ki. Minden esetben a tetőző vízhozam értékét próbáltam reprodukálni a lehullott csapadék és a csapadékesemény idejének a kombinálásával. Az eredményeket nomogramok formájában jelenítettem meg.

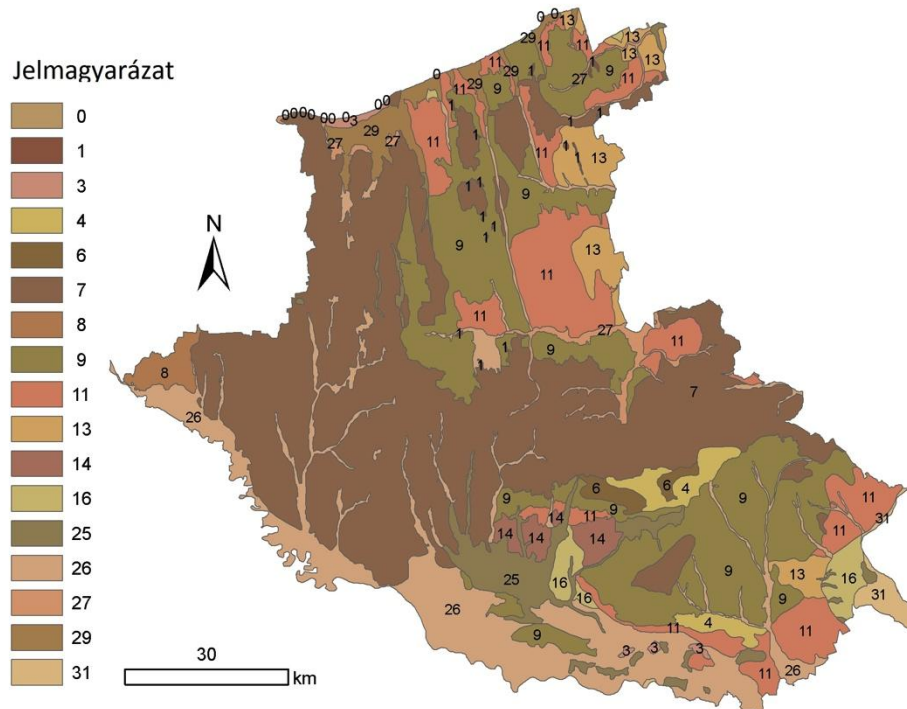
Az AGWA modellfuttatásokhoz szükség volt a területre és a kisvízfolyásokra jellemző környezeti változók és bemeneti paraméterek ismeretére. Az AGWA talaj oldali parametrizációját három módszerrel határoztam meg: a talajvastagság meghatározását terepi mérésekkel, a szemcseeloszlás meghatározását laboratóriumi mérésekkel, a genetikai típust az AGROTOPO adatok FAO talajtípussá történő konvertálásával oldottam meg.

3.5. Talajparaméterek meghatározása

A méréseim célja az volt, hogy meghatározzam a talaj vastagságát a Pósa-völgyben, mint reprezentatív középhegységi vízgyűjtőben, jobb területi felbontásban, mint az AGROTOPO esetében. A talaj vastagságának megállapítására vertikális elektromos szondázást, mint geoelektromos-geofizikai módszert alkalmaztunk (VESZ). A Pósa-völgy teljes területén 50 méteres hálóban végeztük el a szondázást. Tíz VESZ pont esetében validáló fúrásokat is végeztünk.

A terepi talajnedvesség szenzorok kalibrálásához a talajminták tömegalapú nedvességtartalom meghatározását szárítószekrényben történő szárítással végeztem 105°C-on súlyállandóságig.

Az AGROTOPO a magyar felosztásban szereplő, genetikai alapú talaj fő- és altípusokat tartalmazza. Az AGWA modell azonban vagy USDA (*United States Department of Agriculture*) vagy FAO (*Food and Agriculture Organization*) bemeneti talajtípusokat tud feldolgozni, illetve értelmezni. Ehhez szükségem volt a magyar genetikai talajtípusok átkonvertálására és a FAO kategóriákkal történő megfeleltetésére. A genetikai talajtípusok térbeli eloszlásának a megállapításához az AGROTOPO adatbázisát használtam fel (2. ábra).



2. ábra A Dél-Dunántúl genetikai talaj térképe, az AGROTOPO adatbázis alapján. A számok az egyes AGROTOPO talajtípus azonosítókat jelöli

Az AGROTOPO adatbázisban szereplő genetikai talajtípusokat megfeleltettem a FAO adatbázis szerint (lefordítottam, konvertáltam a FAO-ban szereplő talajtípusokra), az 1. táblázat alapján.

Az AGWA csapadék-lefolyás modell Dél-Dunántúli vízgyűjtőkre történő kalibrálásához több kiválasztott nagyvízi esemény, tetőző vízhozam és csapadék adatait használtam fel. A célom az volt, hogy a robosztus modellen keresztül bemutassam a csapadék, vízhozam kapcsolatát több hegy- és dombvidéki vízgyűjtőn. A modellezés során lényegében azt vizsgáltam, hogy a mért tetőző vízhozam eléréséhez mekkora csapadékterhelésre lenne szükség, ha a megadott csapadékmennyiség az egész vízgyűjtőterületre esik.

A programba a vízgyűjtők leválogatása (ArcGIS/ArcHydro) után vittem be a csapadékeseményekre, valamint a mederre, talajra és felszínhasználatra jellemző adatokat. Létrehoztam az adott vízgyűjtő AGWA alapú nomogramját, azaz azt a grafikont, ami megmutatja, hogy adott tetőző vízhozam érték eléréséhez milyen csapadékösszegre és csapadék időtartamra van szükség.

1. táblázat Magyar genetikai talajtípusokat konverziója a FAO osztályoknak megfelelően (Soil Atlas of Europe 2005 évben kiadott, majd 2015 évben pontosított új WRB osztályozás alapján)

AGROTOPO Szám	AGROTOPO Genetikai talajtípus neve	WRB Név	AGWA/FAO SNUM
1	Köves és földes kopárok	Calcari-lithic Leptosol	6494
3	Humuszos homoktalajok	Mollic Fluvisol	3141
4	Rendzina	Rendzic Leptosol	6494
6	Savanyú, nem podzolos barna erdőtalajok	Haplic Luvisol	6571
7	Agyagbemosódásos barna erdőtalaj	Chromic Luvisol	6550
8	Pszudoglejes barna erdőtalaj	Gleyic Luvisol	6559
9	Barnaföldek (Ramann)	Chromic Cambisol	6400
11	Csernozjom barna erdőtalaj	Eutric Cambisol	6434
13	Mészlepedékes Csernozjom	Calcic Chernozem	6485
14	Alföldi Mészlepedékes Csernozjom	Calcic Chernozem	6485
16	Réti csernozjom	Luvic Chernozem	3067
26	Réti öntéstalajok	Molli-gleyic Fluvisol	3141
27	Lápos réti talaj	Eutric-gleyic Fluvisol	3141
29	Leccsapolt és telkesített síkláptalajok	Fluvi-mollic Gleysol	3141
31	Fiatl nyers öntéstalajok	Calcaric Fluvisol	3141

3.6. Vízyűjtő-specifikus területi csapadék korrekciós faktor megállapítása

A kívánt tetőző vízhozam eléréséhez megadtam a csapadékesemény során lehullott csapadék mennyiségét és idejét. A mért tetőző vízhozam érték eléréséhez minden esetben a valós csapadékmennyiségnél kevesebb bemeneti csapadékadat beadását igényelte a lefolyási modell. Ez alapján a modell túlbecsüli a tetőző vízhozam értékeket.

A modellfuttatás számára szükséges bemeneti csapadékadatra vonatkozóan bevezettem a Bükkösdi-vízre, illetve két további Dél-dunántúli, hegy- és dombvidéki vízfolyásokra vonatkozóan (Baranya, Karasica) egy területi szorzót, egy vízyűjtő-specifikus területi csapadék korrekciós faktort.

4. Eredmények

A célkitűzésekben megadott pontok alapján a disszertációmban kitűzött és elért eredmények az alábbi célkitűzésekben meghatározott pontok alapján foglalhatóak össze tételesen:

4.1. Csapadék és talajnedvességi adatok összefüggés vizsgálata erdővel borított és fátlan mérőpontok esetében

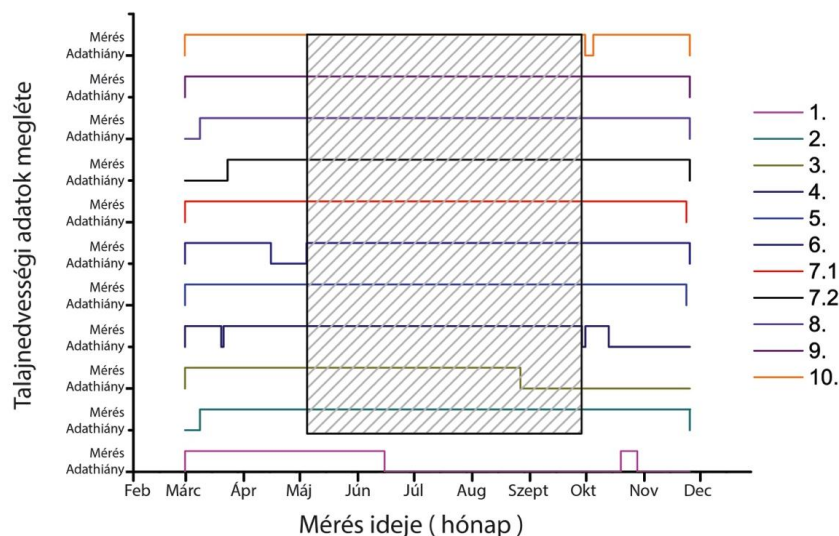
A modellezési eredmények pontosságához (GIGO hatás elkerüléséhez) elengedhetetlen a megfelelő mennyiségű tér- és időbeli adat (KERESZTÉNY et al. 2011). Kutatásom egyedisége, újszerűsége abban rejlik, hogy Magyarországon eddig nem vizsgáltak még ilyen térbeli (1,7 km²-en 11 mérőpont) és időbeli (10 percenkénti felbontásban) csapadék- és talajnedvességi adatokat. Mérőpontonként közel 150.000 rekord (összesen 11×150.000 adat) begyűjtését, elemzését végeztem el. A vizsgált időszakban a 11 mérőállomáson összesen 1022

darab csapadékesemény került leválogatásra. A legtöbb esemény az 5. mérőponton (146 darab), a legkevesebb pedig a legszárazabb, 8. mérőponton (44 darab) került feldolgozásra (2. táblázat).

2. táblázat A csapadékesemények mennyiségi eloszlása a lehullott csapadékösszegek alapján a mérőpontok között 2011. évben a Pósa-völgyben

Mérőpont	2-nél kisebb (mm)	2-3 között (mm)	3-4 között (mm)	4-5 között (mm)	5-10 között (mm)	10-nél nagyobb (mm)	Σ_{db}
1.	37	11	12	5	6	10	81
2.	41	6	4	2	4	6	63
3.	98	10	3	2	8	3	124
4.	23	6	3	1	3	3	39
5.	117	9	5	6	6	3	146
6.	39	5	3	2	6	5	60
7.1	54	5	5	8	14	5	91
7.2	70	11	7	9	17	13	127
8.	30	5	2	4	2	1	44
9.	80	11	10	8	10	8	127
10.	74	8	9	11	13	5	120
Σ_{db}	663	87	63	58	89	62	1022

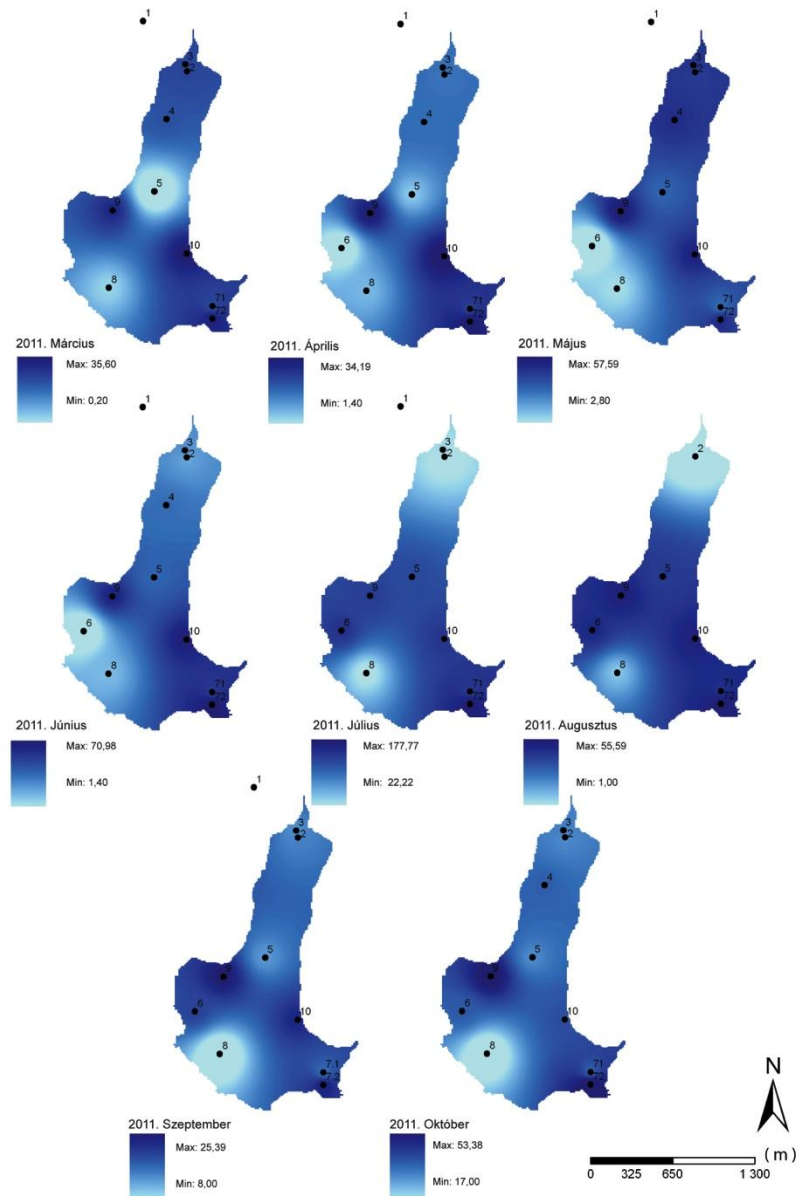
A csapadékadatokhoz hasonlóan a talajnedvesség adatok összehasonlíthatóságának érdekében meghatároztam azt a mérési időintervallumot, ahol minden (vagy legalább közel minden) mérőhelyen párhuzamosan történt adatrögzítés (3. ábra). A gyűjtött talajnedvesség adatok időbeli eloszlását szemlélteti. Leghosszabb adathiány a talajnedvesség adatokban az 1. mérőponton volt, itt többszöri rongálás (ez a mérőpont volt legközelebb a turistaúthoz, illetve egy erdészeti úthoz) következtében június közepétől október végéig nem volt adatrögzítés.



3. ábra Rögzített és adathiányos talajnedvességi adatok időszakok a monitoring évében (2011) a Pósa-völgyben

A csapadékmennyiségre vonatkozóan megállapítottam, hogy a legtöbb 2 mm alatti (a csapadékesemény alkalmával esett össz mennyiség) szintén az 5. mérőponton esett, összesen 117 ilyen esemény volt. Az általam választott kategóriák alapján, a legtöbb, 10 mm-t meghaladó csapadékesemény a 7.2 (fátlan) mérőponton, 13 alkalommal került rögzítésre.

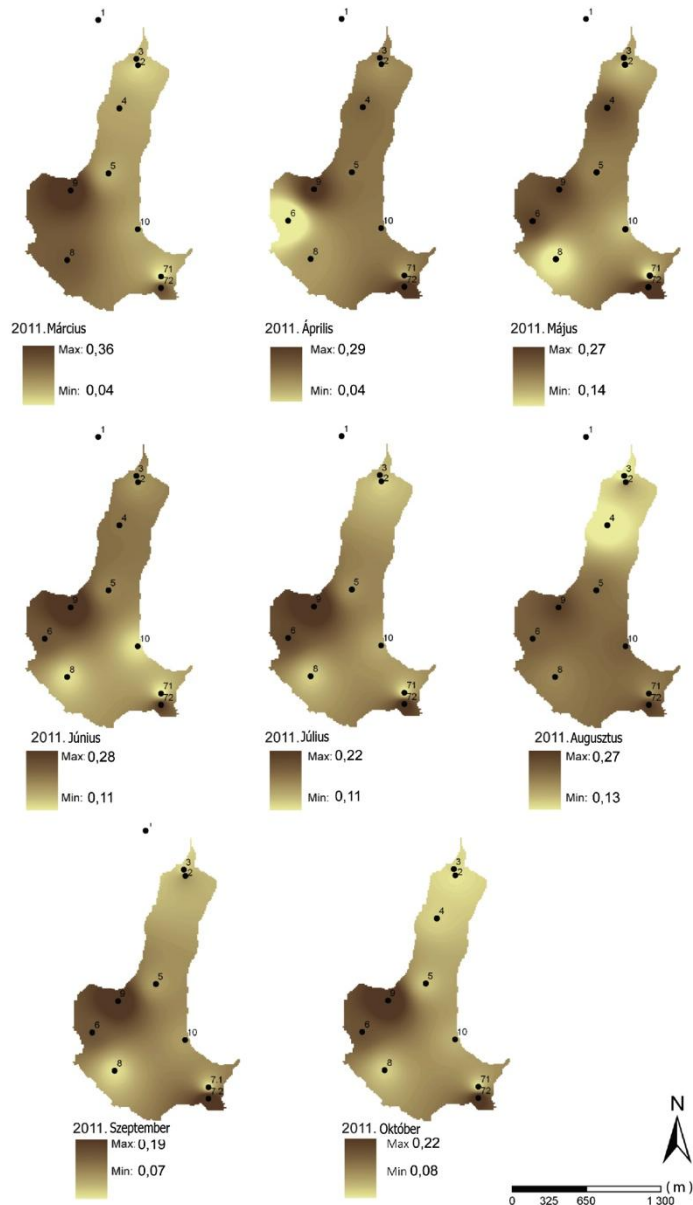
A csapadékösszegek jelentős térbeli különbségeket mutattak a vízgyűjtőn belül minden vizsgált hónapban (4. ábra). A legalacsonyabb értékeket a vízgyűjtő keleti és északi szélén mértem, ahol jellemzően magasabb lombkorona borítottság volt jellemző. Márciusban és áprilisban azonban az 5. mérőpont szigetszerűen alacsonyabb értéket mutatott, míg jellemzően az egész mérési időszakban a 6. és 8. mérőpontok mutattak alacsonyabb értéket.



4. ábra Havi csapadékösszegek (mm-ben) a Pósa-völgyben 2011. március és október között

A talajnedvesség adatok vízgyűjtőn belüli térbeli eloszlásának vizsgálatához, elvégeztem a mért adatok távolsággal fordítottan arányos interpolációját (5. ábra). A talajnedvesség időbeli eloszlása a vizsgált évben kvázi mediterrán jellegű volt (USDA

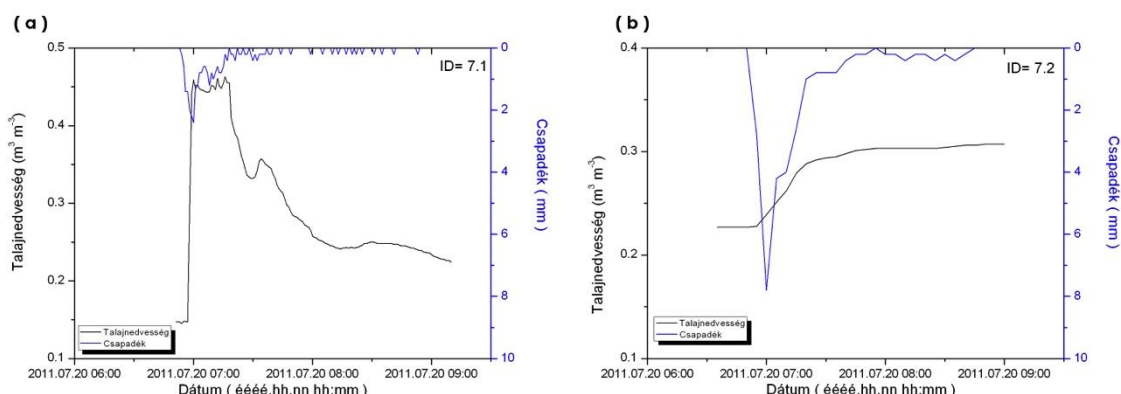
klasszifikációban *xeric*), azaz július hónapban volt legalacsonyabb a talajban tárolt (20 cm mélységben) nedvesség mennyisége, ezt követően augusztus hónapban már elkezdett növekedni a jelentősebb augusztusi csapadékoknak köszönhetően. A maximális területi átlagokat márciusban, a legalacsonyabbat szeptemberben regisztráltam.



5. ábra Havi átlagos talajnedvességi adatok a Pósa-völgyben 2011. márciustól-októberig

A csapadékesemények vizsgálatakor azokat az eseményeket válogattam le, ahol egyidejűleg kerültek rögzítésre talajnedvesség és csapadék adatok is. Azért telepítettem ki két mérőpontot egymáshoz nagyon közel (30 méter), hogy egyéb környezeti változó tekintetében közel megegyező biotóp legyen, illetve, csak a mérőállomás felett elhelyezkedő növényzet hatását vizsgáljam. A csapadékesemény hatására a talajnedvességben bekövetkező változásokat az alábbi, 6. ábra mutatja. A 7.1 (erdővel borított) területen, csapadékesemény elején a csapadék teljes mennyisége fennmaradt a lombzaton, majd azt telítve elkezdett

beszivárogni a talajba, ahol hirtelen emelkedni kezdett a talajnedvesség értéke (6a ábra). Ezzel szemben a fátlan területen ez az átnedvesedési (beszivárgási) folyamat sokkal egyenletesebben zajlott (6b. ábra).



6. ábra Erdővel borított (7.1) és fátlan (7.2) mérőpontokon rögzített 1 perces csapadékkintenzitás és a talajnedvesség adatok kapcsolata, a Pósa-völgyben, 2011. június. 20-i csapadékesemény alkalmával

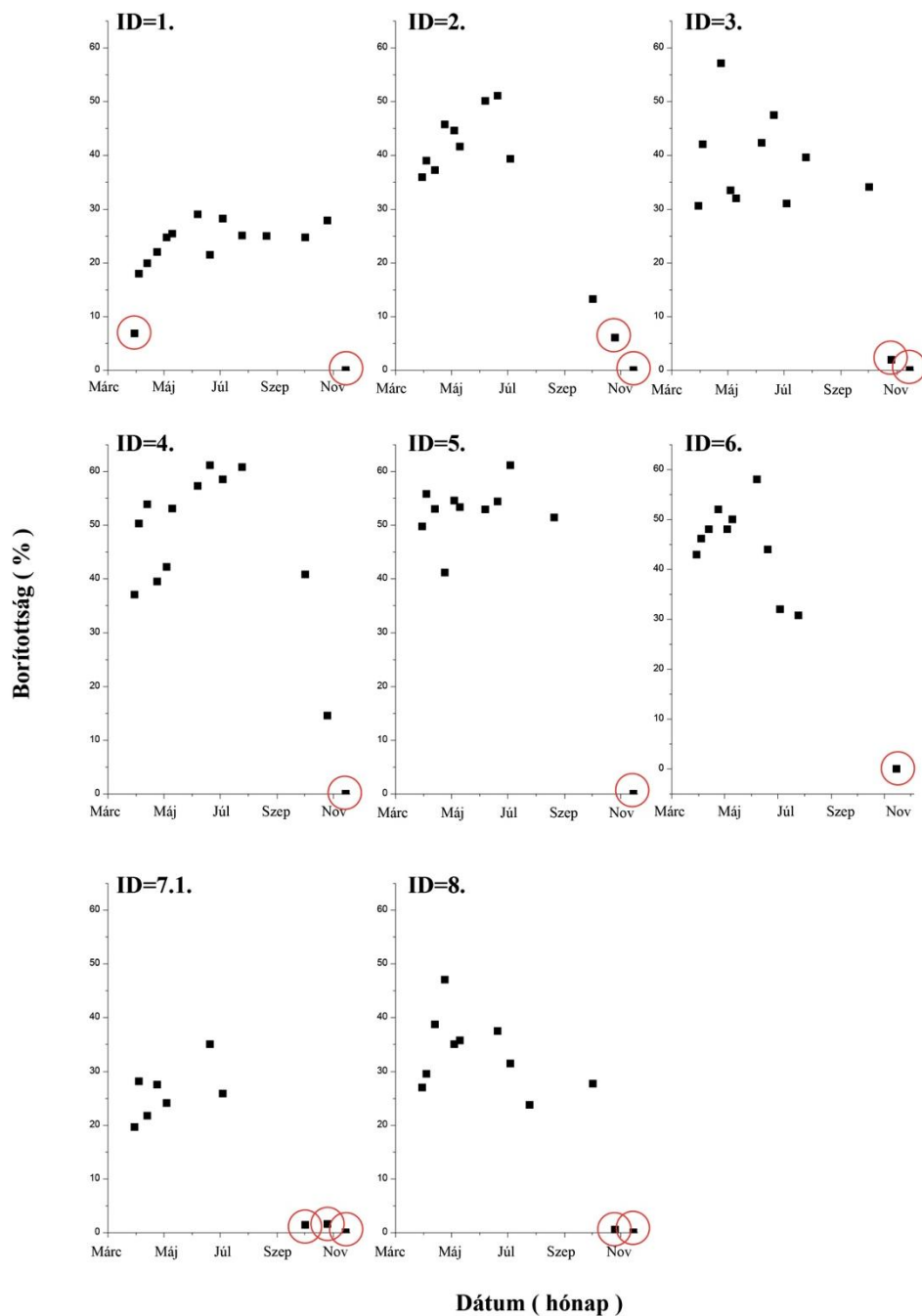
4.2. A lombkorona fedettség éves lefutásának meghatározása a Pósa-völgy vízgyűjtőjében

A lombkorona fedettség (gyertyános-bükkös-csertölgyes társulás) éves lefutását (minden egyes erdővel borított mérőpontra) a 3. táblázat tartalmazza. A tavaszi minimum 19,65 % (7.1 mérőpont felett) és őszi minimum érték 13,2 % (2. mérőpont felett) valamint a maximum érték, 61,15% között (5. mérőpont) változtak.

3. táblázat A Pósa-völgyi borítottsági adatok összefoglaló táblázata a 2011. évre

Mérőpont	Min (%)	Dátum _{Min} (hh.nn.)	Max (%)	Dátum _{Max} (hh.nn.)
1.	17,92	ápr.06.	28,98	jún.09
2.	13,20	okt.04.	51,05	jún.22.
3.	30,61	ápr.01.	57,10	ápr.26.
4.	37,07	ápr.01.	57,25	jún.09.
5.	41,15	ápr.01.	61,15	júl.06.
6.	30,79	júl.27.	58,00	jún.09.
7.1	19,65	ápr.01.	35,00	jún.22.
8.	23,75	júl.27.	47,00	ápr.26.

A terepi bejárásaim és az elkészített fényképek elemzése alapján megállapítottam, hogy a késő tavaszi, nyári időszakban (április 26. és július 6. között) maximalizálódott minden egyes mérőpont felett a felfogó levélzet mennyisége (7. ábra).



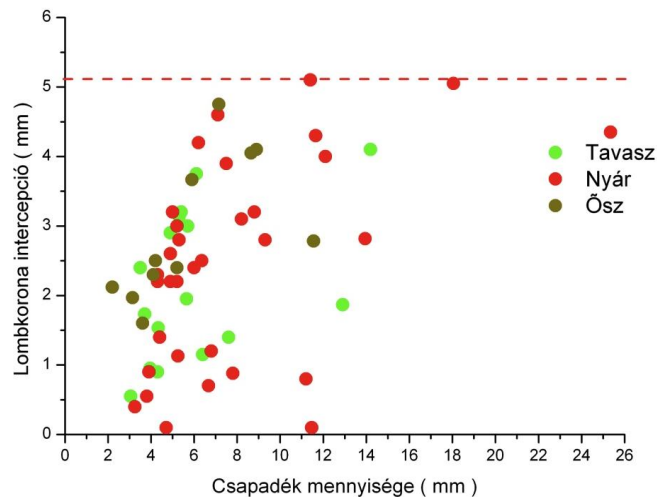
7. ábra A borítottság éves lefutása mérőpontonként. A végső újraosztályozási eredményekből néhány irreálisan alacsony értéket (piros karikával jelölve) nem vettem figyelembe

4.3. Az intercepció nagyságának meghatározása a Pósa-völgy vízgyűjtőjében

A monitoringrendszer csapadékmérői változóan lombkoronával borított, illetve fátlan területeken helyezkedtek el. A két-típusú mérőhely különbségeiből meghatároztam az intercepció mértékét. Megvizsgáltam a lombkoronán fennmaradt csapadékmennyiségeket évszakos (tavaszi, nyár és tél) bontásban. Ezt azért végeztem el, hogy megállapítsam az

intercepció százalékos arányát, ugyanis a százalékos érték kifejezőbb, ha hosszabb időtartamok vizsgálunk, mint például a tenyészidőszak alatti visszatartott csapadékvíz mennyisége. Az abszolút visszatartott csapadékmennyiség egy-egy csapadékesemény jellemzésénél használatos, ami villámárvízi modellezéseknél, amikor egyetlen eseményt vizsgálunk, lehet praktikus. Ilyenkor megállapítható az, hogy hány mm az a csapadékmennyiség, ami még nem jut el a talajszintre.

A magas intercepció vízmennyiség oka lehet az is, hogy nagyon sűrű lombzat van a területen, illetve a csapadékesemények csapadékösszege, valamint az intenzitás is alacsony volt. Az évszakos különbségeket bemutató ábra alapján szintén megállapítható, hogy főként a tavaszi, de a nyári adatok is nagy mértékben szórnak, még az 1,7 km² nagyságú területen belül is. A lombkorona méréseink alapján maximálisan mintegy 5 mm csapadékot képes tárolni a vizsgált területen a saját méréseim alapján (8. ábra). Ilyen mértékű összefüggés alapján már viszonylag jól becsülhető a fedettségi százalék és a lombkoronaszint tetejére hulló csapadékmennyiség ismeretében a talajra hulló csapadékmennyiség, valamint a lombkoronában visszatartott vízmennyiség.



8. ábra Intercepció maximális szélső felső peremfeltételének a meghatározása

Az intercepció arányát a csapadékesemény összege is befolyásolta, amint azt már több más szerző is leírta általános megfigyelésük alapján, valamint az én megfigyeléseim is azt igazolták, hogy kisebb mennyiségű csapadék sokkal nagyobb százalékban marad fent lombkoronán. A csapadékösszegeből közvetlenül becsülhető a területre (illetve a Pósa-völgyhöz hasonló társulással borított vízgyűjtők) az intercepció az alábbi Horton mintájára számolt egyenlet alapján (1. egyenlet).

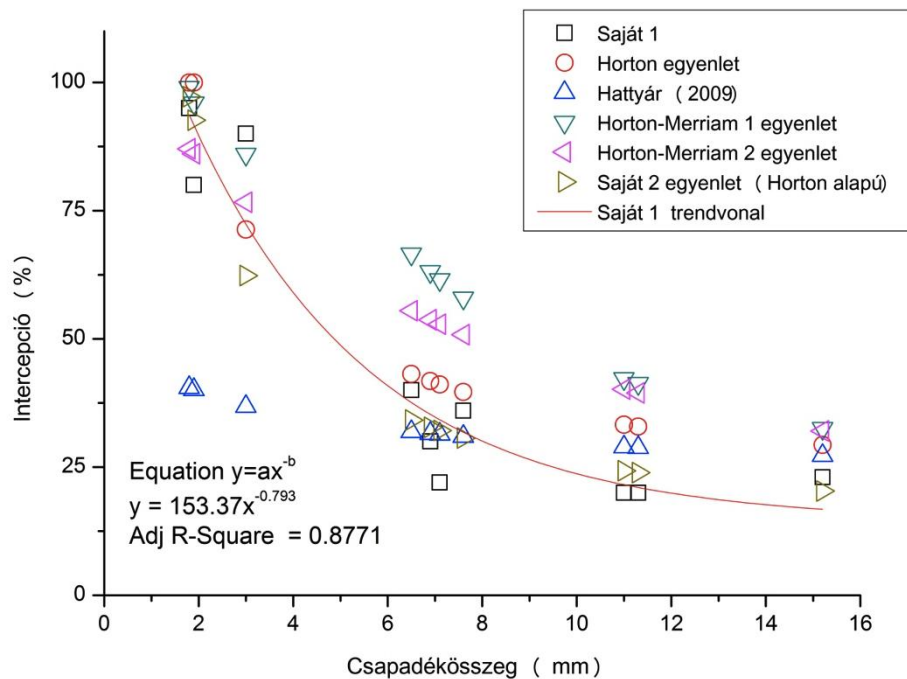
$$I = 0,90 * P^{-1,57} \quad [1]$$

ahol:

I = az intercepció %-ban kifejezve

P = pedig a csapadékösszeg csapadékeseményenként mm-ben.

A mért adatpontjaink jó összhangban vannak egyéb bükkösben végzett mérések alapján generált egyenletekkel, jelentősebb eltérést csak egy egyenlet esetében tapasztaltam, kis csapadékösszegek esetében (9. ábra). A csapadékösszeg-intercepció (%-ban kifejezve) vízgyűjtő specifikus, azaz minden egyes vízgyűjtőre, társulásra egyedileg jellemző, ezért a pontos parametrizáció érdekében megállapítása minden vízgyűjtő esetében szükséges.



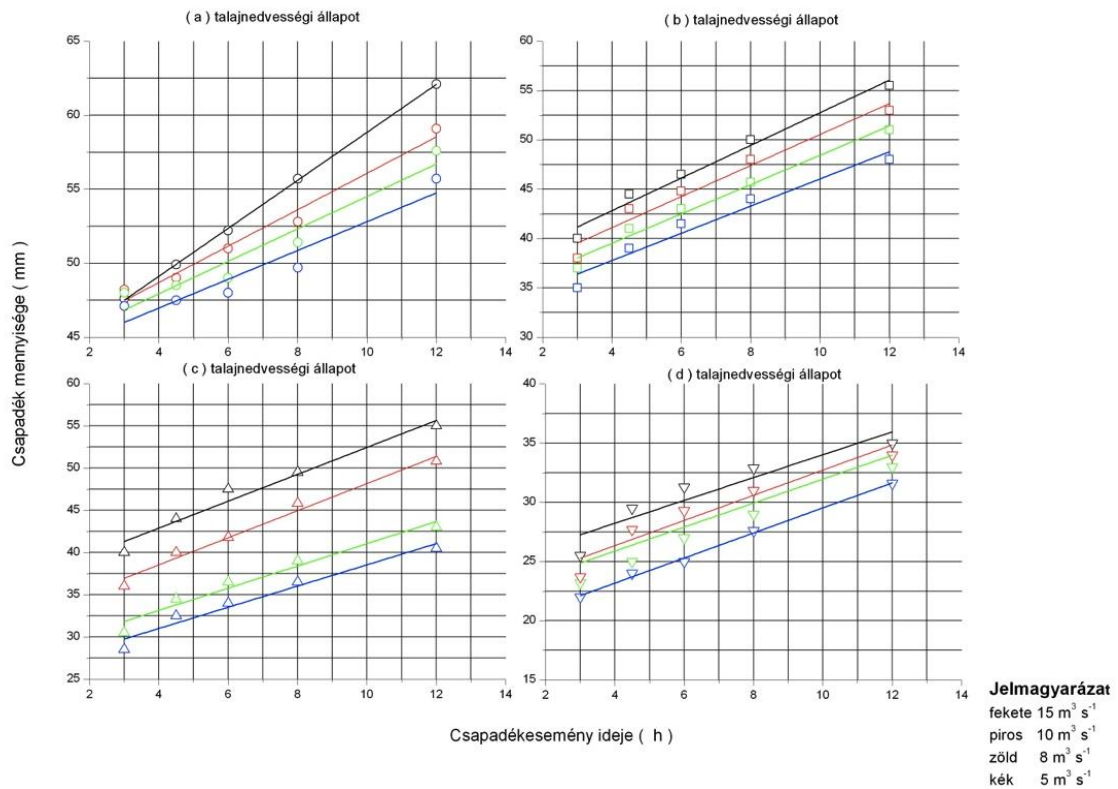
9. ábra A mért csapadékösszegek és a számolt intercepció értékek közötti összefüggések összehasonlítása korábbi kutatások eredményeivel

4.4. Szemi-empirikus, vízgyűjtőspecifikus, talajparaméterezetségi nomogramok készítése

A három dél-dunántúli mintavízgyűjtő esetében vizsgáltam a bemeneti adatok (csapadékesemény ideje, csapadék mennyisége, talajnedvesség értéke) alapján indukált tetőző árhullám értékeket. Négy eltérő kezdeti bemeneti talajnedvességi adatokra vonatkozóan (a) igen száraz ($0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), (b) száraz ($0,2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), (c) nedves ($0,3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) és (d) a közel telített ($0,4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) határoztam meg a tetőző vízhozam értékeket.

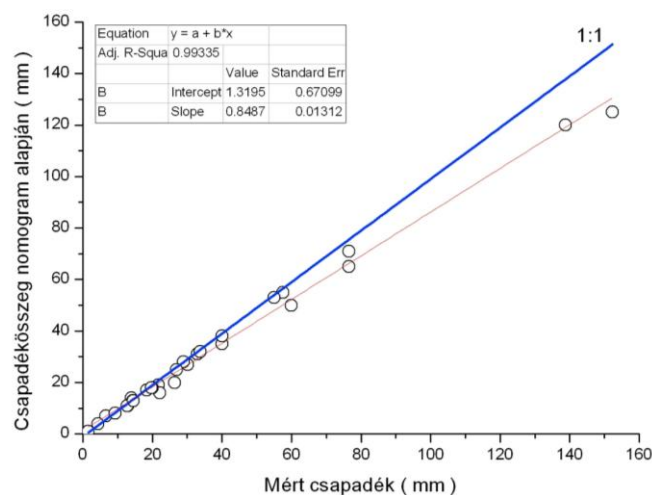
Az adott vízgyűjtőre jellemző AGWA alapú nomogram egyedileg jellemző az adott vízfolyásra. A csapadék mennyiségének, vagy az esemény ideje ismeretében a grafikonról leolvasható a tetőző vízhozam értéke.

A Bükkösi-vízre modellezett adatok alapján megállapítható, hogy a parametrizált AGWA modell, a kisebb, $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ értékű tetőző vízhozam értékek esetében, a rövidebb csapadékeseményekre fokozottan érzékeny (10. ábra). Rövidebb időintervallumú (3; 4,5 és 6 órás) csapadék események esetében, ez megközelítőleg 46 és 50 mm közötti csapadékmennyiséget jelent, áll fenn a modell érzékenysége. Általánosságban megállapítható, hogy a növekvő talajnedvességi érték esetén, egyre kevesebb csapadékmennyiség szükséges ugyanazon mennyiségű tetőző vízhozam eléréshez.



10. ábra Tetőző vízhozam értékek a csapadékösszegek függvényében (nomogram), a leválogatott nagy- és árvízi eseményekre, a Bükködsi-víz (Hetvehely kifolyási pont)

Az összehasonlított adatok azt mutatják, hogy a program rendre túlbecsüli a tetőző vízhozam értékeket (11. ábra). A tetőző vízhozam értékek túlbecsülése adódhat a mért (egy pontban), illetve a vízgyűjtőre esett csapadékmennyiség területi inhomogenitásából, illetve abból fakadóan, hogy az egy pontban mért értéket a teljes vízgyűjtőre terjesztetem ki.



11. ábra Az AGWA lefolyási modell futtatás során megadott input csapadékatatok összehasonlítása a mért csapadékatatokkal (Hetvehely állomás), a Bükködsi-vízre. A kék vonal az 1:1-es vonal, a vizuális összehasonlíthatóság miatt.

A modellfuttatás számára szükséges bemeneti csapadékadatra vonatkozóan bevezettem a Bükkösdi-vízre, illetve két további dél-dunántúli, hegy- és dombvidéki vízfolyásokra vonatkozóan (Baranya, Karasica) egy területi szorzót (4. táblázat).

4. táblázat Az AGWA modellfuttatáshoz szükséges területi (csapadék) szorzó értékei a három vizsgált vízgyűjtőre

Vízgyűjtő terület	Bükkösdi-víz	Baranya-csatorna	Karasica-patak
Területi szorzó (dimenzió nélküli szám)	0,84	0,82	0,60
Vízgyűjtő terület nagysága (km ²)*	102	462	736
Vízgyűjtő terület nagysága (km ²)**	185	473	705

* érvényes vízjogi engedély alapján

** DDVIR leválogatás alapján

5. Konklúzió

A gyűjtött csapadék, talajnedvességi és borítottságra vonatkozó adatok biztos alapot képeztek a három, lefolyást befolyásoló változó területi és időbeli eloszlásának megismeréséhez a Pósa-völgyi kisvízgyűjtőben. A nagy térbeli sűrűségű adatbázis létrehozása lehetővé tette a Dél-Dunántúlra kifejlesztett ArcGIS szoftverkörnyezet alá beépülő AGWA alapú csapadék-lefolyás modell parametrizálását.

A mérőpontokon rögzített csapadék és talajnedvesség adatok alapján szignifikáns különbségek jelentek az egyes mérőállomások adatsorai között. A jelentős térbeli különbségek részben a csapadékmérő edény feletti eltérő sűrűségű lombzatra, valamint a domborzati és más lokális, domborzati és talajtani hatásokra vezethető vissza.

Az AGWA program használhatóságát illetően, arra következtetésre jutottam, hogy a program csak korlátozottan használható kis és közepes vízgyűjtők hidrológiai modellezésére. Mindhárom vizsgált vízfolyás esetében, az összehasonlított adatokból jól látszik, hogy kevesebb csapadék megadásával is elérhető a kívánt tetővízhozam érték. Az összehasonlított adatok azt mutatják, hogy a program túlbecsüli a vízhozam értékeket, ha a csapadékmérőpontokon rögzített csapadékösszegeket homogén módon kiterjesztjük a teljes vízgyűjtőre. Az AGWA program eredményeinek pontosítása végett vezettem be egy területi csapadékkorrektív tényezőt a vizsgált Bükkösdi-vízre, illetve a Baranya-csatornára és a Karasica-vízfolyásra. A területi csapadékkorrektív tényező értéke vízgyűjtő specifikus, s a vízgyűjtő terület növekedésével egyre nagyobb korrekcióra volt szükség, ahhoz, hogy a modellezett tetőtő vízhozam megegyezzen a mért értékkel.

A kutatás során olyan, eddig még nem létező részletességű módszer, modell került kidolgozásra, amely képes a mértékadó árvíz gyors meghatározására, ezáltal a gyors beavatkozást, kárelhárítást is lehetővé teszi a fenti kárértékek töredékéért. A kifejlesztett modellbe olyan árvízhozam meghatározási módszer került integrálásra, amely alkalmas a mértékadó árvízhozam meghatározására. A vízhozam meghatározása a vizsgált vízfolyások bármely keresztszelvényében lehetséges ezzel a modellel, a csapadékkorrektív tényező felhasználásával. Amennyiben rendelkezünk térben differenciált, inhomogén csapadékadatokkal, akkor a korrekciós tényező használatától, ideális esetben, el is

tekinthetünk, azaz a modell pontossá válhat. Ideális esetben a modellfuttatás a legfrissebb mérési adatokra és adatsorokra támaszkodva, több passzív paraméter figyelembe vétele mellett alkalmas pontos előrejelzésre kisvízfolyásokon.

A jelen kutatás, hasonlóan a nyugat-európai és észak-amerikai gyakorlathoz, erősíti az egyetem stratégiai kapcsolatait a különböző intézményekkel, mint például a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatósággal, vagy az Országos Vízügyi Igazgatósággal a környezeti kutatások javítása és alkalmazása terén.

Jelen doktori disszertáció eredményei reményeim szerint hasznosulni fognak, mind a Dél-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság által üzemeltetett DDVIR rendszerben, mind az AGWA lefolyási modell további pontosítása, kiterjesztése során. Mivel minden egyes vízgyűjtő egyedi élettal, egyedi működési sajátosságokkal bír, ezért szükséges a dél-dunántúli egyéb hegy és dombvidéki vízfolyások bevonása a jövőbeli kutatásokba. A kutatások további iránya több szinten definiálható. A Pécsi Tudományegyetem Földrajzi Intézetén belül működő Villámárvízi Kutatócsoport további mérőállomások telepítésével, üzemeltetésével kíván mind térben, mind időben részletesebb képet kapni a csapadékról, talajnedvességről, összegyülekezési időről, lefolyási viszonyokról, nem csak kül-, hanem lakott területeken is. A Kutatócsoport tagjaként, a jövőben fejlesztendő monitoring hálózat fejlesztésében (monitoring eszközök telepítésében, üzemeltetésében) és az adatok analízisében tudnám a disszertációm eredményeit hasznosítani.

Saját mért adataim elemzése alapján számszerűsíteni tudtam a mintaterületre és a mintaterülethez hasonló fás társulásokra jellemző intercepció nagyságát a csapadékesemény csapadékösszege alapján. Ez több okból is fontos volt, ugyanis az irodalmakban fellelhető egyenletek közül egyik sem volt alkalmazható a mintaterület esetében. Gyakorlati haszna abban rejlik, hogy szinte minden lefolyás modell veszteségi paramétereit között szükséges megadni ezt az értéket.

Felhasználva a jelen disszertáció, valamint a kutatócsoport eredményeit, Pécs város vízgazdálkodási stratégiájának fejlesztése érdekében, valamint a Smart City koncepció inicializálása végett, létrehoztunk Pécs területén egy hidrometeorológiai mérőhálózatot. Ebben a rendszerben kevesebb, mint 12 km^2 -re jut egy hidrometeorológiai ($162 \text{ km}^2 / 14$ állomás), amely talán a legsűrűbb csapadékmérő hálózatot jelenti hazánkban. A csapadékmérő hálózat mellett kutatócsoportunk kiépített egy öt műszerből álló vízállásmérő hálózatot több, Pécs területén található vízfolyáson is a BOKOM városgazdálkodási céggel közösen, valamint több ponton mérünk talajnedvességet és léghőmérsékletet, valamint egy-egy ponton hóvastagságot és talajvíztükör mélységet is. A jelen dolgozat eredményei, főleg a mérőhálózat alapjainak kidolgozása okán, nagymértékben hozzájárultak és remélhetőleg hozzá is járulnak egy adatokon és méréseken alapuló városi vízgazdálkodási rendszer létrehozásához.

6. Publikációs lista

Az értekezés témaköréhez tartozó tanulmányok, könyvfejezetek

- BALATONYI, L., CZIGÁNY, SZ., PIRKHOFFER, E. és LÓCZY, D. (2014b): Talajnedvesség és talajvastagság hatása a Sás-patak vízgyűjtőjének a lefolyási viszonyaira. Hidrológiai Közlöny 2014: (3) pp. 56-64.
- BALATONYI, L., CZIGÁNY, SZ. és PIRKHOFFER, E. (2013): A csapadék és a lombkorona-fedettség hatása a talajnedvességre a Sás-patak (Mecsek) vízgyűjtőjén. A geográfia változó arcai. 230 p. Publikon Kiadó, 2013. pp. 23-36. (Geographia Pannonica Nova ; 15.) (ISBN:978-615-5001-88-8)
- HEGEDÜS, P., CZIGÁNY, SZ. BALATONYI, L., PIRKHOFFER, E. és HICKEY, R. (2014): Analysis of spatial variability of near-surface soil moisture to increase rainfall-runoff modelling accuracy in SW Hungary. Central European Journal of Geosciences
- CZIGÁNY, SZ., PIRKHOFFER, E., LÓCZY, D. és BALATONYI, L. (2013): Flash flood analysis for Southwest-Hungary. Geomorphological Impacts of Extreme Weather: Case Studies from Central and Eastern Europe. 373 p. Dordrecht: Springer Science+Business Media, 2013. pp. 67-82. (Springer Geography), ISBN:978-94-007-6300-5
- HEGEDÜS, P., CZIGÁNY, SZ. BALATONYI, L. és PIRKHOFFER, E. (2013a): Sensitivity of the HEC-HMS runoff model for near-surface soil moisture contents on the example of a rapid-response catchment in SW Hungary. RISCURI SI CATASTROFE 12:(1) pp. 125-136.
- HEGEDÜS, P., CZIGÁNY, SZ. BALATONYI, L. és PIRKHOFFER, E. (2013b): Analysis of Soil Boundary Conditions of Flash Floods in a Small Basin in SW Hungary. CENTRAL EUROPEAN JOURNAL OF GEOSCIENCES 5:(1) pp. 97-111.
- HEGEDÜS, P., CZIGÁNY, SZ., BALATONYI, L., PIRKHOFFER, E. és RONCZYK, L. (2013c): Estimation of flow rate calculation errors on the example of five rapid response catchments in the Mecsek Hills. HUNGARIAN GEOGRAPHICAL BULLETIN 62: (4) pp. 331-350.
- PIRKHOFFER, E., CZIGÁNY, SZ., HEGEDÜS, P., BALATONYI, L. és LÓCZY, D. (2013): Lefolyási viszonyok talajszempontú analízise ultra-kisméretű vízgyűjtőkön. TÁJÖKOLÓGIAI LAPOK 11:(1) pp. 105-123.
- RONCZYK, L., CZIGÁNY, SZ., BALATONYI, L. és KRISTON, A. (2012): Effects of excess urban runoff on wastewater flow in Pécs, Hungary RISCURI SI CATASTROFE 11:(2) pp. 144-159.
- KERESZTÉNY, B., ILISICS, N., BALATONYI, L., HEGEDÜS, P., PIRKHOFFER, E. és CZIGÁNY, SZ. (2011): Collection and employment of soil parameters for numerical flash flood modeling in ultra-small watersheds. RISCURI SI CATASTROFE 9:(1) pp. 45-57.

Az értekezés témaköréhez tartozó konferenci cikkek és absztraktok

- BALATONYI L. (2015): Flash floods and difficulties of numerical modeling processes in Hungary. River Basins and Flood Risk Management 2015 and Hydrology Days 2015 (Bratislava)
- BALATONYI L., CZIGÁNY SZ. és PIRKHOFFER E. (2015): Árvízi előrejelzés optimalizálása kisvízgyűjtőn, monitoring alapján. MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG XXII. IFJÚSÁGI NAPOK, Balatonfüred 2015. szeptember 17-18. Konferencia előadás
- BALATONYI, L., CZIGÁNY, SZ. és PIRKHOFFER, E. (2014a): Cost reduction and density optimization of hydrometeorological monitoring systems in small catchments. Well-being in Information Society: Book of Abstracts. 35 oldal. University of Pécs, 2014. pp. 19-20. (ISBN:978-963-642-701-6)
- BALATONYI, L. (2013).: Flash Floods in Hungary, Budapest Water Summit, http://www.budapestwatersummit.hu/data/images/side_event_No9.pdf (2013)

- BALATONYI, L., CZIGÁNY, SZ. és PIRKHOFFER, E. (2013a): Dél-dunántúlon található Bükkösdi-víz felső vízgyűjtőjének villámárvízi veszélyeztetettsége. XXXI. Országos Vándorgyűlés: Magyar Hidrológiai Társaság. Budapest: Magyar Hidrológiai Társaság, 2013. Paper CD. (ISBN:987-963-8172-31-0)
- BALATONYI, L., CZIGÁNY, SZ. és PIRKHOFFER, E. (2013b): Árvízhozamszámítási módszerek összehasonlítása egy dunántúli kisvízgyűjtőn. XXXI. Országos Vándorgyűlés: Magyar Hidrológiai Társaság. Budapest: Magyar Hidrológiai Társaság, 2013. Paper CD. (ISBN:987-963-8172-31-0)
- BALATONYI, L., CZIGÁNY, SZ. és PIRKHOFFER, E. (2012): Ultra-kisméretű vízgyűjtők monitoring alapú árvízi modellezése. Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában III. - Térinformatikai konferencia és szakkiállítás. Debreceni Egyetemi Kiadó, 2012. pp. 43-52. (ISBN:978-963-318-218-5)
- BALATONYI, L., CZIGÁNY, SZ. és PIRKHOFFER, E. (2012): Monitoring alapú árvízi modellezés ultra-kisméretű vízgyűjtőn és a területen található kritikus kockázati pontok bemutatása. Magyar Hidrológiai Társaság, XXX. Országos Vándorgyűlés. Budapest: Magyar Hidrológiai Társaság, 2012. p. 1. (ISBN:978-963-8172-29-7)
- BALATONYI, L., CZIGÁNY, SZ. és PIRKHOFFER, E. (2012): Impact of canopy cover on hydrometeorological parameters in a flash flood-affected watershed. Impact of canopy cover on hydrometeorological parameters in a flash flood-affected watershed. London: CRC Press - Taylor and Francis Group, 2012. pp. 191-198. (ISBN:978-0-415-62144-1)
- CZIGÁNY, SZ., BALATONYI, L. és PIRKHOFFER, E. (2012): Modeling of surface runoff in a low-mountain catchment in Hungary. European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2012. Wien: Paper EGU2012-2953-2. (Geophysical Research Abstracts; 14.)
- HEGEDÜS, P., CZIGÁNY, SZ., PIRKHOFFER, E. és BALATONYI, L. (2012): Ensemble modeling of boundary conditions of flash floods. Nordic Water 2012. Abstracts. Catchment Restoration and Water Protection. Oulu, Finnország 2012. p. 51. (ISBN:978-951-42-9894-3)
- ILISICS, N., KERESZTÉNY, B., BALATONYI, L., HEGEDÜS, P., CZIGÁNY, SZ. és PIRKHOFFER, E. (2011): Villámárvíz paraméterek kutatása és elemzése térinformatikai eszközökkel a Pósa-völgy példáján. Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában: II. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás Debrecen. Debreceni Egyetem, 2011. pp. 287-295. (ISBN:978-963-318-116-4)

Az értekezés témájához nem kapcsolódó egyéb tanulmányok: nincs

Az értekezés témájához nem kapcsolódó egyéb konferencia előadások

- BALATONYI, L.: Flood Risk Management a Large River Basins- living with floods. The 3rd ASEM Sustainable Development Seminar on Water Management, TULCEA Romania, 2014, <http://asiaeuropemeeting.com/> (2014)
- BALATONYI, L.: IMPLEMENTING the SEE RIVER Project in Hungary Sustainable Integrated Management of International River Corridors in SEE Countries. European River Restoration Conference, Vienna 2014
- BALATONYI, L.: Morphological monitoring of the Drava River - Sediment study. European River Restoration Conference, Vienna 2014