

Csapadék- és vízállás-idősorok kapcsolatának vizsgálata a Duna és a Tisza vízgyűjtő területén

DIPLOMAMUNKA

METEOROLÓGUS MESTERSZAK

ELŐREJELZŐ SZAKIRÁNY



Készítette:

Bokodi Eszter Kata

Témavezető:

Dr. Pongrácz Rita

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Földrajz- és Földtudományi Intézet

Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2019

Tartalom

1. Bevezetés.....	3
2. Irodalmi áttekintés	5
2.1. Az éghajlatváltozás hidrológiai következményei	6
2.2. Hidrológiai következmények hazánkban	8
2.3. Hidrológiai modellek	10
3. Jelen vizsgálat tárgya és az alkalmazott módszerek	13
3.1. A Duna vízgyűjtője	13
3.2. Felhasznált adatok, módszertan	17
4. Eredmények	21
4.1. A vizsgált szelvények vízállás-idősorainak kapcsolata.....	21
4.2. A vízállás- és csapadék-idősorok kapcsolatának vizsgálata.....	23
4.2.1. Vízállás és csapadék kapcsolata a teljes időszakra vonatkozóan.....	23
4.2.2. Májusi, júniusi, júliusi és augusztusi vízállás- és csapadék-idősorok korrelációja.....	28
4.2.3. A vízállás és az 5 napos csapadékösszeg kapcsolata	32
4.3. A kiválasztott árvizek bemutatása	36
4.3.1. A 2002 augusztusában jelentkező árhullám időjárási feltételei, levonulása.....	37
4.3.2. A 2006-os árvizet kiváltó események, az árvíz levonulása	41
4.3.3. A 2010-es árvizet kiváltó szinoptikus skálájú ciklonok, az árvíz levonulása.....	45
4.3.4. A 2013-as árhullám – a megelőző időszak időjárása és az azt kiváltó időjárási helyzetek	51
5. Összefoglalás, következtetések	56
Köszönetnyilvánítás	62
Irodalomjegyzék.....	63
Internetes hivatkozások.....	67
Függelék.....	69

1. Bevezetés

A Duna 2 860 km hosszú, így Európa második leghosszabb és egyben legbővizűbb folyója is. Teljes vízgyűjtő területének kiterjedése 817 000 km² (1. ábra). Hazánk teljes egészében e területen fekszik, a folyó országon belüli szakasza 417 km hosszú. A Duna leghosszabb mellékfolyója a Tisza, amely Közép-Európa legfontosabb folyóinak egyike. 966 km-es teljes hosszából a hajózható rész ma 780 km [1 – www.vizugy.hu]. A Tisza vízgyűjtő területe eléri a 157 000 km²-t.



1. ábra. A Duna vízgyűjtője (Forrás: [2 – <https://www.danubecommission.org/>])

A Duna és a Tisza vizét az élet számos területén hasznosítjuk. A vízenergia kihasználására a folyók gyors sodrású szakaszain számos erőművet építettek, például Németországban és Ausztriában [3 – www.icpdr.org]. A folyókon – főleg a Dunán – történő teher-, illetve utasszállítás is igen nagy jelentőségű, mivel a folyó nemzetközi vízi összeköttetést biztosít Közép-Európa, Nyugat-Európa és a Fekete-tenger között [4 – <http://produna.hu>]. Ezenfelül a folyók az ivóvízellátásban is fontos szerephez jutnak, az Európai Unión belül a legmagasabb arányban. A Duna Budapest lakosságának 99%-át, valamint 21 közeli település [5 – vizmuvek.hu], a Tisza pedig Szolnok, illetve további hét környékbeli település ivóvízellátását biztosítja egész évben a folyók mentén telepített parti szűrésű vizet biztosító kutak segítségével [6 – <http://www.vcsm.hu>].

Rendkívül fontos, hogy tisztában legyünk a csapadék és a vízszintváltozás kapcsolatával, ugyanis ez nagymértékben elősegítheti az extrém vízállásokra való felkészülést. Problémát

okozhat például az alacsony vízállás a megfelelő víziút, így a hajóforgalom, áruszállítás biztosításában. Erre jó példa 2018 augusztusa, illetve októbere, amikor sorra dőltek meg a mindenkori negatív vízállásrekordok [7 – www.vizugy.hu]. Ekkor Komáromnál a 1,5 méternél mélyebb merülésű hajók már nem közlekedhettek. A rendkívül alacsony vízállás a vízellátásban – leginkább a fővárosban – szintén nehézséget okozhat. Ez abból adódik, hogy a parti szűrésű kutak átlagos vízállásnál kiválóan, azonban alacsony vízállásnál nem elég jól szűrik ki a szennyezőanyagokat a Duna vizéből, így szennyeződhet az ivóvíz. Ugyanakkor a folyók extrém magas vízállása is problémákat okoz. Árvizek esetén ugyanis rendkívül sok lakóház veszélybe kerül, sok út, vasútvonal járhatatlanná válik. A vízállás ilyen jellegű szélsősége is veszélyeztetheti a parti szűrésű kutakkal rendelkező települések ivóvízellátását (Kaluzsa, 2016, Turczi és munkatársai, 2015).

Az egyre gyakoribbá váló extrém vízállások és vízhozamok (IPCC, 2012) miatt az eddig alkalmazott vízgazdálkodási stratégiák nem alkalmazhatók a későbbiekben. Ezt felismerve jött létre a Kassay Jenő Terv, ami egy vízügyi keretstratégia, intézkedési terv. Célja többek között vizeink jobb hasznosításának elérése, vizeink állapotának javítása [8 – <http://www.kormany.hu>]. A vízstratégiák kidolgozása miatt is rendkívül fontos a folyók vízállásának jövőbeni alakulásának vizsgálata.

A folyók vízállásában bekövetkező változások megértéséhez elengedhetetlen a detektált értékek csapadékkal, esetlegesen a hőmérséklettel való összevetése. Ezért jelen diplomamunka fő célkitűzései a következők:

- Két dunai (Budapest, Mohács), illetve két tiszai (Vásárosnamény, Szeged) szelvényen jelentkező vízállások változásának mértéke és a folyók felvízi vízgyűjtő területén lehullott csapadék mennyisége közötti kapcsolat részletes elemzése
- A csapadék detektálása és a vízállásban történő változás között eltelt időszak vizsgálata

A Duna és a Tisza vízállás-vizsgálatának, hidroklimatológiai jellemzésének egy részét BSc szakdolgozatom (Bokodi, 2017) tartalmazza. Ennek keretében az 1876 és 2016 közötti vízállásadatokra számítottunk különféle statisztikákat, vizsgáltuk az extrémítások gyakoriságának, mértékének időbeni változását. Ezt folytatandó, diplomamunkámban a vizsgálatok elkészítése során a folyók csapadék hatására bekövetkező vízállásváltozásait statisztikai vizsgálatokkal elemezzük E-OBS és CarpatClim adatsorok felhasználásával. Ezt követően pedig annak érdekében, hogy jobban megérthessük a hazai árvizek kialakulását, bemutatunk négy, a tipikus árvizekre vonatkozó esettanulmányt.

2. Irodalmi áttekintés

A rendelkezésre álló adatok, illetve modellszimulációk alapján kijelenthető, hogy a légkörben egyre fokozódó mennyiségű üvegházgázok hatására a globális átlaghőmérséklet egyre nő, ami globális felmelegedést von maga után (IPCC, 2013). A melegebb légtömegek hatására a hótakaró világszerte korábban kezd olvadni, illetve a téli eső hóval szembeni arányának növekedése figyelhető meg. A hóolvadás korábbra tolódása miatt a magasabb vízállások is korábban jelentkeznek (*Hodgkins és munkatársai*, 2006). Az éghajlatváltozási szimulációk szerint a csapadék csökkenése és a hőmérséklet növekedése tovább folytatódik majd a 21. században is (*Nováky*, 2000a). Ezenfelül az is kimutatható, hogy az üvegházgázok mennyiségi növekedése miatt megváltozik a globális vízkörzés, ami nyilvánvalóan hatással lesz az aszályok, illetve az árvizek gyakoriságára is (*McCabe és Wolock*, 2002). A modellekkel végzett számítások alapján a hőmérséklet, a csapadék, valamint a szélsőséges jelenségek gyakoriságában is növekedésre kell számítani világszerte (IPCC, 2012, *Bartholy és munkatársai*, 2016). *Pekarova és munkatársai* (2008a, 2008b) által végzett kutatás szerint ilyen jellegű változás a folyók vízhozamában, és ennek következtében a vízállásokban már napjainkban is tapasztalható. A későbbiekben komoly gondokat okozhat majd a hőmérséklet emelkedése, ugyanis a melegedés következtében a téli csapadék várhatóan gyakrabban érkezik majd eső, nem pedig hó formájában. Ez a téli lefolyás erősödését okozhatja az adott régióban. Így tehát az árvizek korábban jelentkeznek, illetve gyakoribbá válnak az eddigieknél magasabban tetőző árvizek, hiszen a korábban hó formájában elraktározott csapadék késleltetés nélkül folyik majd le (*Lendér*, 2016). *Garner és munkatársai* (2015) eredményei szerint a nyárra várható alacsonyabb vízhozam pedig a nagyobb mértékű párolgásnak, illetve a hóolvadásból származó utánpótlás korábbi levonulásának tudható be. A melegedés hatására egyre fokozódó potenciális párolgás következtében a nyári kisvizek vízszintjének jelentős csökkenésére számíthatunk (*Somlyódy és munkatársai*, 2010). Az éghajlatváltozás várhatóan megváltoztatja a vízfolyásokat, felgyorsul a folyók áramlási sebessége, így a hidrológiai folyamatok kiszámíthatatlan változásokon mehetnek keresztül, például felléphetnek korábban szokatlan szélsőségek (*Garner és munkatársai*, 2015). Az az állítás, miszerint az átlaghőmérséklet emelkedni fog, a Kárpát-medencére vonatkozóan is egyértelműen igaz. Az évi átlagos hőmérséklet-emelkedéshez képest nagyobb növekedés várható nyáron és ősszel (*Bartholy és Pongrácz*, 2017). Az éghajlatváltozáshoz köthető folyamatok a Kárpát-medence régiójában a nyári csapadék mennyiségének csökkenését, ezzel szemben a téli csapadékmennyiség növekedését vonják maguk után (*Bartholy és Pongrácz*, 2011).

2.1. Az éghajlatváltozás hidrológiai következményei

Adott területen fekvő folyók vízhozamának, illetve vízállásának változása a hidrológiai ciklus révén összefüggésben van a légköri folyamatok változásaival. A lefolyás karakterisztikus értékei az éghajlattal állnak szoros kapcsolatban, s éppen annyira változékonyak, mint maga az éghajlat, így tehát az éghajlatváltozás megváltoztathatja az adott régió hidrológiai adottságait. Az egyes éghajlati változók módosulásai akár ellentétes irányban is hathatnak a hidrológiai viszonyokra. Erre mutat például *Radochay* (2010) diplomamunkája keretében végzett elemzése, aminek kapcsán kiemeli, hogy az évi csapadékmennyiség növekedése növeli, míg az évi középhőmérséklet emelkedése csökkenti a vízhozamot. *Stahl és munkatársai* (2010) 15 országból 441 kis vízgyűjtőterület 1962–2004 közötti adatainak vizsgálata során megállapították, hogy Európára vonatkozóan a vízhozam trendje negatív a déli és keleti, míg pozitív a többi régióban. A havi vízhozam adatok pozitív trendeket mutattak a legtöbb európai vízgyűjtőn a téli hónapokban, valamint márciusban és áprilisban. A többi hónapban a lefolyás csökkent, a legnagyobb negatív irányú tendencia augusztusban jelentkezett. Ezek az eredmények összhangban vannak *Koutsoyiannis és munkatársai* (2009) által megfigyelt éghajlatváltozásra adott hidrológiai válaszokkal. Dél-Kanadában szignifikáns csökkenést figyeltek meg a napi vízhozam értékében, illetve az éves átlagban is. Az árvizek gyakorisága ezzel szemben nőtt. Európában a folyók lefolyása a 20. században a 19. századhoz képest 5%-kal nőtt a hőmérsékletkülönbség miatt – főleg télen. Ennek köszönhetően nagyobb mennyiségű édesvíz kerül például az Északi-sarkra, ami később módosíthatja a globális éghajlati rendszert (*Koutsoyiannis és munkatársai*, 2009). *Aiguo és munkatársai* (2009) 925 nagy folyó vízhozamadatait vizsgálták az 1948 és 2004 közötti időszakokra. Ezek a folyók a világ folyóhálózatában található víz teljes mennyiségének 73%-át teszik ki. A kutatók a vizsgált területeken jelentős vízhozamváltozást mutattak ki: összességében a folyók 70%-án a vízhozam csökkent. A számítások szerint a vizsgált időszakban a folyókból a Csendes-óceánba érkező édesvíz mennyisége 6%-kal, az Indiai-óceánba érkező 3%-kal csökkent, ezzel szemben az Északi-sarkkörön található tengerekbe 10%-kal több édesvíz érkezik. Vannak olyan folyók is – mint például a Brahmaputra –, amelynek a vízhozama stabilnak mutatkozott, azonban az őket tápláló gleccserek visszahúzódása miatt a következő évtizedekben vízhozamcsökkenésre kell számítani. Az igazi veszélyt az okozhatja, hogy számos olyan folyó vízhozama csökken, amelyik nagy népességű területeket lát el ivóvízzel. *Aiguo és munkatársai* (2009) tanulmánya szerint ugyan sok tényező befolyásolhatja a folyók vízhozamának változását, az elsődleges ok azonban a klímaváltozás.

Az éghajlatváltozás korlátozza a rendelkezésre álló víz minőségét és mennyiségét egyaránt. A globális felmelegedés hatása sokkal kevésbé ismert a folyók vízállására, mint például a hőmérsékletre vagy a csapadékra. A szokásos vízállásokhoz viszonyítva még nagyobb bizonytalanság társítható a szélsőséges vízállásokban várható változások becsüléséhez. Ugyanis a következő évtizedekben várható klímaváltozás bizonytalan mértéke miatt rendkívül bizonytalan az extrém vízállások gyakoriságában és magasságában várható változás is – különösen hosszabb időtávon. Általánosságban a modellek szerint a csapadék intenzitásában és mennyiségében bekövetkező változások miatt nőni fog az árvizek és az aszályok kockázata Európában (EEA, 2012). A kutatók szerint egyes területeken eltérő irányú lehet az áradások gyakoriságában bekövetkező változás. Az árvizek száma várhatóan nőni fog az Andok északi részén, Dél-Ázsiában, az Indiai-félszigeten, valamint Kelet-Afrikában. Ezzel szemben Európa északi és keleti régióiban, Kis- és Közép-Ázsiában, Észak-Amerika középső területein, illetve Dél-Amerika déli régiójában az árvizek gyakoriságának csökkenése prognosztizálható (*Hirabayashi és munkatársai, 2013*). Klímamodellek segítségével vizsgálták, hogyan változik a folyókon az árvizek gyakorisága. *Hirabayashi és munkatársai (2013)* szerint a 21. században Dél- és Délkelet-Ázsiában, Óceániában, Afrikában, valamint Északkelet-Euráziában szinte az összes vizsgált folyón gyakoribbak lettek az áradások. A jövőre vonatkozóan azt feltételezik, hogy a 20. század százévente előforduló árvizei a 21. században gyakrabban, akár 10–50 évente is bekövetkezhetnek. A kutatások szerint az áradási kockázat a melegedés mértékétől függ. Minél nagyobb a hőmérsékletváltozás, annál nagyobb területet érinthetnek az árvizek, így annál több ember élete kerülhet veszélybe (*Hirabayashi és munkatársai, 2013*). A kutatók azt is megállapították, hogy míg a nyolcvanas évek elején évente kb. 10 súlyosabb veszteséget okozó aszály következett be, ez az előfordulási gyakoriság a 21. századra megduplázódott (*Steuer és Strobl, 2012*). Az aszályok tetemes károkat eredményeznek a mezőgazdaságban, sok erdőtüzet okoznak, illetve fennakadásokat gerjesztenek a villamosenergia-termelésben. Az éghajlatváltozással és az egyre extrémebben jelentkező csapadékkal összefüggésbe hozható aszályok a legjelentősebb természeti katasztrófák. *Spinoni és munkatársai (2014a)* az 1951–1970, 1971–1990 és 1991–2010 időszakokat elemezték tanulmányukban, amely szerint az első vizsgált időszakban leginkább az USA középső területe, az argentin Pampák, Oroszország és Közép-Ausztrália voltak a leginkább érintett régiók. A második vizsgált időszakban a legveszélyeztetettebb területek Dél-Chile, a Száhel-öv és Szibéria voltak, míg a harmadik időszakban az Amazonas menti erdők, a Kongó-medence, Mongólia, Északkelet-Kína és Borneó voltak. Az aszályok gyakoriságának, időtartamának és súlyosságának növekedése egyértelműen kimutatható Afrikában, Kelet-Ázsiában, a mediterrán területeken és Dél-

Ausztráliában. Ezzel szemben hatásuk csökkent az USA-ban és Oroszországban (*Spinoni és munkatársai*, 2014a).

2.2. Hidrológiai következmények hazánkban

A rendelkezésre álló vizsgálatok szerint (pl. Jacob és munkatársai, 2014) a Duna teljes vízgyűjtőjére jellemző lesz majd a jövőben a melegedés. A legpesszimistább becslés, az A2 scenárió szerint a Kárpát-medencében a legnagyobb mértékű melegedés a nyári hónapokban várható. Ez számokban kifejezve a 2071–2100 időszakra kb. 4,5-5 °C-ot jelent. A téli melegedést pár tizedfokkal mérsékeltebbre, 3,7-4,3 °C-ra becsülik. A hőmérséklet emelkedésének mértéke a nyári hónapokban az ország északi részétől a déli felé, a téli hónapokban pedig a nyugati országrésztől a keleti felé fog növekedni (*Bartholy és munkatársai*, 2011). A jövőben a Duna vízszintjének hosszú távú változása javarészt az Alpokat borító hó mennyiségének csökkenése miatt válik majd érezhetővé [9 – <http://wwf.hu>].

Nováky (2000a) vizsgálatai szerint általában a legnagyobb havi lefolyásokat tél végén, tavasz elején figyelhetjük meg a folyókon, ugyanis ekkor olvad el a télen felhalmozódott hó. Ezt követően nyár végéig, ősz elejéig fokozatosan csökken a lefolyás, a legalacsonyabb értékeket általában szeptember végén mérhetjük. A Duna – eltérően a többi kisebb vízfolyásunktól – rendkívül nagy vízgyűjtővel rendelkezik, a vízgyűjtő hegyvidéki térségeiben az olvadás sokáig elhúzódik, ami így folyamatosan biztosít többlet vízutánpótlást a Dunának. Éppen ezért a folyó vízjárása eltér az átlagtól, ugyanis a folyamatos táplálásra érkező nagy mennyiségű júniusi csapadékok miatt a Dunán a legnagyobb havi lefolyásértékek június, július hónapokra jellemzők, míg a legkisebbek novemberben jelentkeznek. Fontos megjegyezni, hogy a csapadéokra becsült jövőbeli tendenciák igen bizonytalanok. Várhatóan jelentős csapadéktöbblet jelentkezik majd a Duna ausztriai vízgyűjtőjén (*Nováky*, 2000b). A Kárpát-medencében a 2071–2100 időszakra a csapadék mennyiségét várhatóan kismértékű csökkenő tendencia jellemzi majd. Az évszakos csapadékösszeg télen növekedni, ezzel szemben nyáron csökkenni fog. Ezen változások mértéke mindkét évszakban meghaladhatja a 30–35%-ot (*Bartholy és munkatársai*, 2011). A csapadék legnagyobb mennyiségi növekedése az ország északnyugati felében várható. Az átlagos száraz időszakok hosszának 20. és 21. század közötti relatív változásának mértéke a Kárpát-medencében nyáron a legjelentősebb: mintegy 20%. Ez a csapadék hiányával kapcsolatos éghajlati index azért fontos, mert nagysága jelentős szerepet játszik a lefolyás mértékének alakulásában. Például egy hosszabb csapadékmentes időszakban az adott területen található folyó vízszintje lecsökken, így egy, a későbbiekben előforduló heves csapadékot áradás nélkül is el tud szállítani (*Kis és munkatársai*, 2015).

Korábban a BSc-szakedolgozatom (Bokodi, 2017) keretében vizsgáltuk három dunai (Nagymaros, Budapest, Mohács), illetve három tiszai (Vásárosnamény, Szolnok, Szeged) szelvényen az 1876 és 2016 közötti időszakban bekövetkező vízszintváltozásokat. Számításaink során kimutattuk, hogy Szegednél nem detektálható szignifikáns időbeli változás az éves átlagos vízállások terén, Budapestnél és Mohácsnál az éves átlagos vízállások nőttek, ezzel szemben a másik három mércénél csökkentek. A maximum vízállások Budapestnél, Mohácsnál és Szolnoknál nőttek, a minimum vízállások pedig Nagymarosnál, Vásárosnaménynál és Szolnoknál csökkentek. Az árvizes napok száma Vásárosnaménynál csökkent, Budapestnél és Szolnoknál pedig egyre nagyobb gyakorisággal jelentkeztek árvizek. Valamennyi vizsgált szelvényen a legtöbb árvizes nap áprilisban fordult elő, ami a hóolvadáshoz köthető. Összességében megállapítottuk, hogy a szélsőséges vízállások gyakorisága mind a hat vizsgált szelvényen nőtt, azonban a trendvizsgálatok során nem vettük figyelembe a folyók mederváltozásait. Az utóbbi évtizedekben hazánkban nemcsak az árvizek gyakorisága, hanem tetőzési magassága is jelentős mértékben emelkedett. Ennek több oka van, nevezetesen: az egyre szélsőségesebbé váló időjárás, a folyók mederbeli vízszállító-képességének csökkenése, illetve a vízgyűjtők mesterséges átalakítása. Az elmúlt évtizedekben az aszályok is gyakrabban jelentkeztek, illetve az általuk a mezőgazdaságban okozott károk is nagyobbak lettek [10 – <http://www.kvvm.hu>]. A szélsőséges időjárási események gyakoriságának növekedését alátámasztandó néhány példa a Nemzeti Vízstratégiából [10 – <http://www.kvvm.hu>]:

- 1998 óta 9 rekord méretű árhullám érte el hazánkat, míg az azt megelőző 50 évben csupán két ilyen eseményre volt példa.
- Az extrém alacsony vízállások is gyakoribbak lettek; 2015-ben a Hernád, a Sajó, a Rába, a Szamos, a Tisza és a Sebes-Körös vízállása is új negatív rekordot állított fel.
- Az elmúlt évtizedekben az aszály és a vízhiány jelentős kockázati tényezővé vált, ezek előfordulási gyakorisága, illetve erőssége is nőtt.

Fontos megjegyezni, hogy Magyarországon az egy főre jutó vízkészlet Európában az egyik legnagyobb, ezzel szemben a csapadékból származó saját vízkészlet az egyik legkisebb. Felszín alatti vízkészletünk mind ivóvízellátási, mind turisztikai célokra jó minőségben és bőségesen áll rendelkezésre, azonban a túlhasználat bizonyos területeken már problémát okoz. Medencejellegük következtében az árvízzel fenyegetett területek aránya Európán belül hazánkban a legnagyobb, illetve az ország klimatikus adottságai miatt az aszály kockázata is igen jelentős. A felsorolt okok tették világossá, hogy új vízstratégiára van szükség. Ennek érdekében jött létre a – már a bevezetésben is említett – Kvassay Jenő Terv, ami a Nemzeti

Vízstratégiát tartalmazza. Ez a stratégia azért fontos, hogy hazánk jól használja ki a rendelkezésre álló vízkészletet, ugyanakkor elkerülhesse a vízválságot, és megfelelő módon védekezhessünk az esetleges káros következményei, hatásai ellen [8 – <http://www.kormany.hu>].

A kutatások tehát azt mutatják, hogy mind a Dunán, mind a Tiszán a nagyvizek tavasszal és nyáron, a kisvizek pedig ősszel és télen fordulnak elő a legnagyobb gyakorisággal. Ezenfelül összefoglalva elmondható, hogy hazánkban a két fő folyónkon a magas vízállások száma növekvő, míg az alacsony és közepes vízállások száma határozottan csökkenő tendenciát mutat (Bokodi, 2017).

2.3. Hidrológiai modellek

A folyók vízállásában jelentkező változások a bevezetésben bemutatott okok miatt rendkívül sok ember hétköznapiját befolyásolják. Éppen ezért nagyon fontos a vízállásváltozást kiváltó tényezők vizsgálata, pontos megismerése. Ezt segítik elő a hidrológiai modellek, amelyek több elemből, almodulból épülnek fel. Magát a teljes lefolyási folyamatot rendszerint részfolyamatokra bontják, például elterjedt a hó felhalmozódásának, olvadásának elkülönítése a lefolyás egyéb szegmenseitől. A meteorológiai adatsorok fontossága nem vitatható a hidrológiai modellezésben; bemeneti adatként elsődlegesen a hőmérsékleti, illetve a csapadékadatok játszanak alapvető szerepet (Lucza és munkatársai, 2014). Például a lehullott csapadék térbeli eloszlása, valamint az összesített térfogata határozza meg a fellépő árhullámok nagyságát és az összegyülekezési időt. A lehullott csapadék halmazállapotát, az adott terület párolgási viszonyait, illetve a felhalmozódott hó vagy jég olvadásának kezdetét és gyorsaságát viszont a hőmérséklet térbeli és tengerszint feletti magasság szerinti eloszlása határozza meg. Ezek a modellek az utóbbi húsz évben rendkívül sokat fejlődtek (pl.: Szatmári, 2013), ugyanis manapság már sokkal több olyan számítógépes program áll rendelkezésre, amelyek segítségével komplex hidrológiai folyamatok leírása is lehetséges. A modellek igencsak eltérők lehetnek attól függően, hogy milyen konkrét feladatot látnak el. Dimenzió (D) szerint csoportosítva alkalmazásban vannak 0D, 1D, 2D, illetve 3D modellek is. 0D – dimenzió nélküli – modelleket abban az esetben használnak, ha egy vízrendszer statikus paramétereit kell meghatározni, például a vízgyűjtő lejtését, érdességi paramétereit, vagy valamilyen térinformatikai paraméterét. Erre a modelltípusra példa a GUH¹ modell. 1D esetben már valamiféle mozgási jelenséget is vizsgálnak, amelynek jól kijelölhető iránya van, ezt alapvetően

¹ Geomorphologic unit hydrograph (Rodríguez-Iturbe és munkatársai, 1979; Lin és munkatársai, 2002)

a folyómeder határozza meg. Ilyen modellek például a MIKE 11², a ThawLake1D³ és az OTEQ⁴. Ha viszont a modellezni kívánt meder struktúrája bonyolultabb, tehát például nem trapéz formájú, hanem töltésezett, akkor ugyan a főmeder leírásához elegendő az 1D-s megközelítés, azonban a töltésen túli területek leírásához már 2D modellre van szükség. Példaként említhető: Anuga⁵, IceFlow⁶, OverlandFlow⁷. A valóságot nyilvánvalóan a 3D-modellek írják le a legpontosabban, ugyanis ezek a tér mindhárom irányában bekövetkező változások leírására képesek (Szatmári, 2013). Ilyen modellek: Delft3D⁸, TELEMAC-MASCARET⁹.

A folyamatok leírása szempontjából máshogy is csoportosíthatjuk a hidrológiai modelleket. Például abban az esetben, ha az alkalmazott módszer valamilyen valószínűségi változón alapul, akkor sztochasztikus, ellenkező esetben determinisztikus modelltől van szó. Determinisztikus modell például a SWAP¹⁰ (Liptay és Czigány, 2014). A sztochasztikus modell – statisztikai jellege miatt – futtatásonként eltérő eredményeket ad, így ezeket statisztikai jellemzők, eloszlások vizsgálatára használják. Az is előfordulhat, hogy e két módszer kombinációját alkalmazzák egy modellben (például: BFS¹¹ modell).

Leírás szempontjából egy másik csoportosítás a (1) fizikai alapú; (2) konceptuális; illetve (3) empirikus modellek halmaza:

- A fizikai alapú modellek parciális differenciálegyenlet-rendszerekből épülnek fel, amelyek a lehető legpontosabban írják le a modellezni kívánt jelenségeket. Nagy előnyük, hogy a számításokat leginkább fizikai mennyiségekkel végzik, tehát a bemenő adatok mérhető értékek (például: SHE¹², IHDM¹³, SWAT¹⁴).
- A konceptuális modellek a fizikai rendszereket analógiák segítségével írják le, amelyek során lényegesen egyszerűbb összefüggéseket alkalmaznak, mint a fizikai

² MIKE 11 [11 – <https://www.mikepoweredbydhi.com>]

³ ThawLake1D [12 – <https://csdms.colorado.edu/>]

⁴ One-Dimensional Transport with Equilibrium Chemistry [13 – <https://pubs.usgs.gov>]

⁵ Australian National University, Geoscience Australia [14 – <https://anuga.anu.edu.au/>]

⁶ IceFlow [15 – <https://csdms.colorado.edu>]

⁷ OverlandFlow [16 – <https://github.com/>]

⁸ Delft 3D [17 – <https://oss.deltares.nl/>]

⁹ TELEMAC-MASCARET [18 – <http://www.opentelemac.org/>]

¹⁰ Soil Water Atmosphere Plant [19 – <http://www.swap.alterra.nl/>]

¹¹ Bayesian forecasting system (Krzysztofowicz, 1999; Biondi és munkatársai, 2013)

¹² Systeme Hydrologique Europeen (Refsgaard és munkatársai, 2010)

¹³ Institute of Hydrology Distributed Model (Beven és munkatársai, 1987; Breuer és munkatársai, 2003)

¹⁴ The Soil & Water Assessment Tool [20 – <https://swat.tamu.edu/>]

modellek. Ennél a módszernél egyes valós értékeket elhanyagolnak, esetleg helyettesítenek. A helyettesítés elméleti mennyiségekkel történik. Ennek köszönhetően az ilyen modellek jóval olcsóbbak, gyorsabbak, a pontosság pedig a kalibrációs értékeken múlik (például: WASMOD¹⁵, CRR¹⁶, HBV-96¹⁷).

- Az empirikus modellek a jelenségek leírására tapasztalati úton meghatározott összefüggéseket, illetve paramétereket alkalmaznak. Ilyen modelleket használnak gyakran a műszaki hidrológiában árvízszámításhoz (például: GSM¹⁸). Fontos megjegyezni, hogy mivel ezek a modellek megfigyeléseken alapulnak, így összefüggéseik, paramétereik rendszerint csak a kidolgozásuk helyszínén érvényesek.

A módszereket tehát sokféleképpen csoportosíthatjuk, azonban egy adott modellben sokszor ezek kombinációjával is találkozhatunk. Mivel a hidrológiai és a hidraulikai modellekkel a kisebb folyamatok összességét írják le, így sokszor az egyes részfolyamatok jellemzésére eltérő módszereket alkalmaznak (Liptay, 2018). A részfolyamatok modelljei az ún. funkcionális modulok. Ilyen részfolyamat például a hófelhalmozódás, a hóolvadás vagy a lefolyási komponensek (Földi és Halász, 2014).

Figyelembe véve a modellezett paraméterek változékonyságát, vannak összevont paraméterű és osztott paraméterű modellek. Összevont paraméterű modellekről beszélünk, ha a modell minden paramétere kifejezhető numerikus karakterisztikák átlagaival, ám a térbeli változékonyságot nem veszi figyelembe (Ostojski, 2013). Ilyen modellre példa a MIKE NAM¹⁹ és a IHACRES²⁰. Osztott paraméterű modellek esetén figyelembe kell venni a térbeli változékonyságot is, ezáltal a hidrológiai folyamatok pontosabb leírása érhető el. Ennél a módszernél a tér kisebb egységeiben, például cellákra lebontva vizsgálják az egyes részfolyamatokat (Bódis, 2008). Ezekre példa a CREST²¹, a DHSVM²², és a GEOTop²³.

¹⁵ Water And Snow balance MODeling system (Chong-Yu, 2002, Li és munkatársai, 2011)

¹⁶ Conceptual Rainfall-Runoff (Gan és munkatársai, 1997; Cooper és munkatársai, 2007)

¹⁷ Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning [21 – <https://www.smhi.se/>]

¹⁸ Global Spectral Model (Wood és Maurer, 2002)

¹⁹ MIKE NedborAfstromnings Model [22 – <https://www.mikepoweredbydhi.com/>]

²⁰ Catchment-scale rainfall-streamflow modelling (Littlewood és munkatársai, 1997; Ghorbani és munkatársai, 2016)

²¹ Coupled Routing and Excess Storage model [23 – <http://hydro.ou.edu/>]

²² Distributed Hydrology Soil Vegetation Model [24 – <https://dhsvm.pnnl.gov/d/>]

²³ GEOTop [25 – <http://geotopmodel.github.io/>]

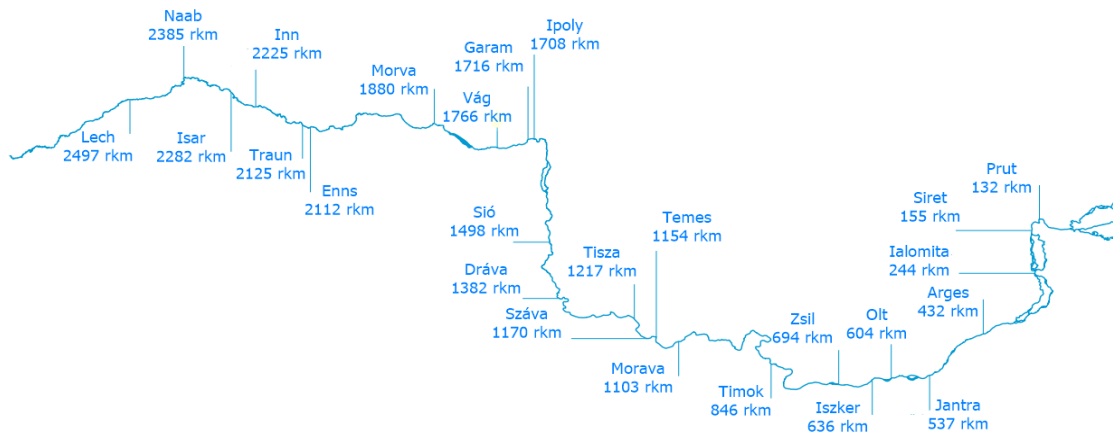
3. Jelen vizsgálat tárgya és az alkalmazott módszerek

3.1. A Duna vízgyűjtője

A Duna vize 14 országon áthaladva, 2857 km-t megtéve jut el a Fekete-erdőből a Fekete-tengerbe. 801 463 km²-es vízgyűjtőjével Európa második legnagyobb folyója. 27 nagy, és több mint 300 kisebb mellékfolyója van. Leghosszabb mellékfolyója a Tisza, a legbővizűbb pedig a Száva [3 – www.icpdr.org].

A Duna vízgyűjtőterületén található az Alpok néhány vonulata, amiket gleccserek tarkítanak. A gleccserekkel borított térségek az Inn vízgyűjtőjére korlátozódnak, ami a teljes vízgyűjtőterület 1,4%-át teszi ki. A középhegységeket sűrű erdő, a karsztvidékeket alacsony növényzet borítja. Mialatt a folyó az Alpokból a Fekete-tengerbe torkoló deltához ér, a lejtés 0,4%-ról 0,004%-ra csökken (*Sommerwerk és munkatársai*, 2009). A tengerszint feletti magasság – ahogy az az 1. ábrán is látszik – igen változatos; 4052 m-től 0 m-ig terjed, a teljes vízgyűjtőterületre számított átlagos értéke 458 m. Az ICPDR (2015) adatai alapján a régióon belül a legtöbb csapadék az Alpok nyugati részén, a Dinári-hegység déli részén, illetve a Kárpátok vonulatain hullik (1000–2000 mm). Ezzel szemben a Bécsi-medencében, a Kárpát-medencében, Románia és a Prut völgyének síkságain, valamint a Duna-delta alacsonyabban fekvő területein az évi csapadékösszeg nem éri el a 600 mm-t (ICPDR, 2015).

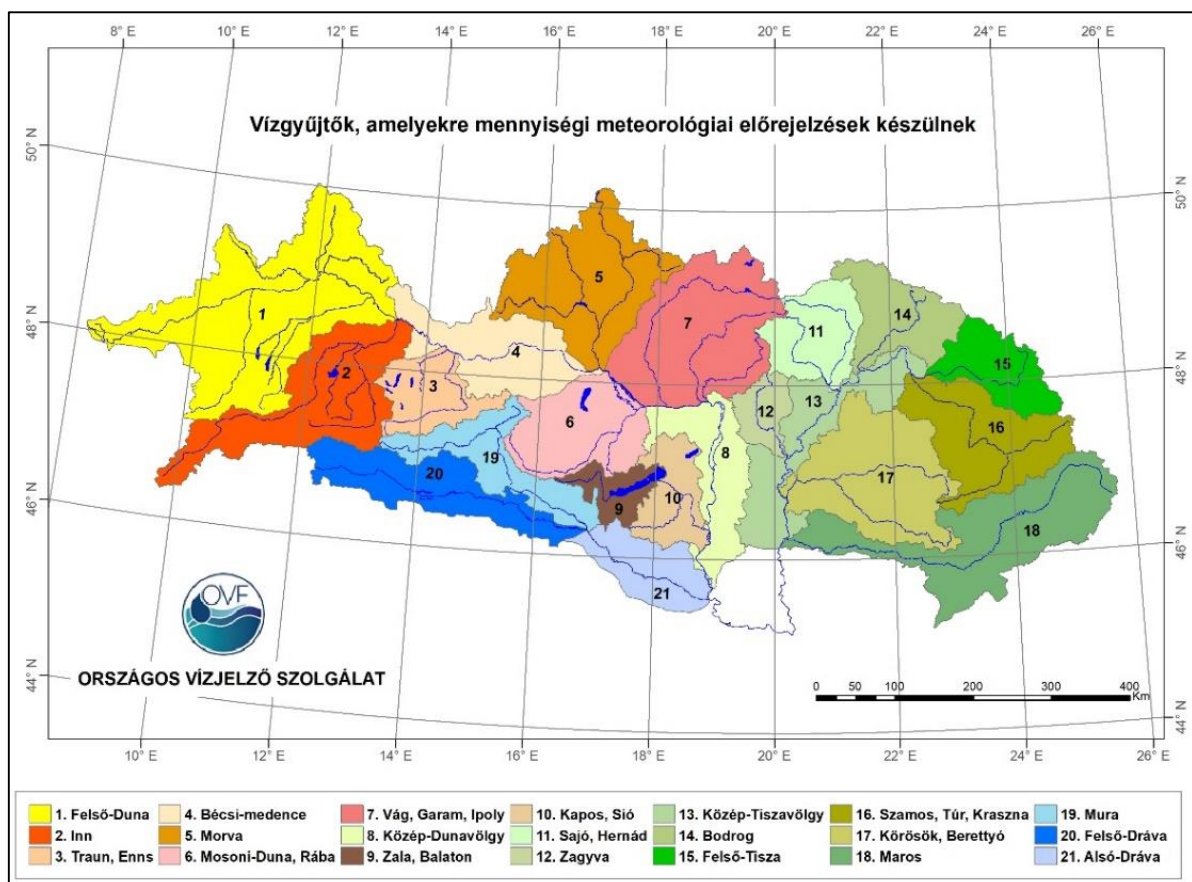
A 2. ábrán a Duna nagyobb mellékfolyói a torkolatuk helye szerint láthatók.



2. ábra. A Duna nagyobb mellékfolyóinak betorkolási helye (rkm: folyamkilométer a Duna delta-torkolatától számítva) (Forrás: [26 – <http://www.hydroinfo.hu>])

A folyón mind a három folyószakaszjelleg megfigyelhető. A Duna a forrásától Pozsonyig felsőszakasz-jellegű, Pozsonytól a Vaskapuig középső-, illetve Románia alföldjein és fennsíkjain alsószakasz-jellegű. (1) A felső szakaszon a folyó sebessége nagyobb, 8-9 km/óra körüli a meder nagyobb gradiensének köszönhetően. Mélysége 1–8 m közötti. Ezen

a területen az Atlanti-óceán erőteljesebb éghajlati hatása érvényesül, aminek egyik legfontosabb jellemzője a sok csapadék. A felső szakasz legnagyobb mellékfolyója az Inn, ami a Dunába torkollásával körülbelül megkétszerezi a Duna vízhozamát Passaunál (*Schiller és munkatársai*, 2010). Az alpesi részvízgyűjtőkből származó vizet a felső szakasz déli mellékfolyói juttatják el a Dunába. (2) Pozsony után, a Kisalföldre érve a meder lejtése jelentősen csökken, így a középső szakaszon a Duna már lassabban folyik, a felső szakasz sebességének körülbelül a felével. Medre kiszélesedik, mintegy 1,5 km-re. A kisebb sebesség miatt csökken a folyó hordalékszállítási kapacitása is, ennek következtében nagy mennyiségű homok és kavics rakódik le a mederben; így jöhetnek létre ezen a szakaszon homokpadok, illetve szigetek. Három nagy mellékfolyója is ezen a szakaszon torkollik a Dunába: Dráva, Tisza, Száva, aminek köszönhetően a vízhozama mintegy megháromszorozódik. A Kárpátokból a Tiszán, a Vágon és az Ipolyon keresztül érkezik a víz a Dunába. A térség klímáját elsősorban kontinentális hatások alakítják, ennek megfelelően száraz, hideg a tél, és kevés a csapadék. A mediterrán éghajlat leginkább a Száva és a Dráva folyóra van hatással. (3) Az alsó szakaszon a Duna még lassúbb folyású és szélesebb lesz, a mederben több nagy sziget is kiépült. E szakasz főbb mellékfolyói az Olt, a Siret és a Prut.



3. ábra. A Duna Magyarországra hatással lévő vízgyűjtőjének részvízgyűjtői
 ([Forrás: 27 – <http://www.eumet.hu/>])

Az alsó szakasz csupán 1000 m³/s vízzel járul a Duna teljes vízhozamához – az átlagos vízhozam a Duna-delta bejáratánál 6480 m³/s (*Stagl és munkatársai, 2015*).

A Duna és a Tisza vízgyűjtő területét azonban nem kizárólag a folyók szakaszjellege szerint szokták részvízgyűjtőkre osztani. Az Országos Meteorológiai Szolgálat és az Országos Vízeljáró Szolgálat a Duna vízgyűjtőjét a nagyobb mellékfolyók betorkollása szerint 21 részvízgyűjtőre osztja fel. Ezek közül 18 részvízgyűjtő helyezkedik el a jelen dolgozatban vizsgált legdélebbi szelvények, Mohács és Szeged fölött.

Az 1. táblázatból és a 3. ábráról is leolvasható, hogy a Duna legnagyobb vízgyűjtője az 1-es vízgyűjtő, ami a Felső-Duna. Ebben a részvízgyűjtőben torkollik a Dunába a 3258,36 km² vízgyűjtő területtel rendelkező Altmühl, a 2152 km² vízgyűjtőjű Iller, a 3292 km² vízgyűjtőjű Lech, az 5225 km² vízgyűjtőjű Naab és a 9000 km² vízgyűjtőjű Isar is.

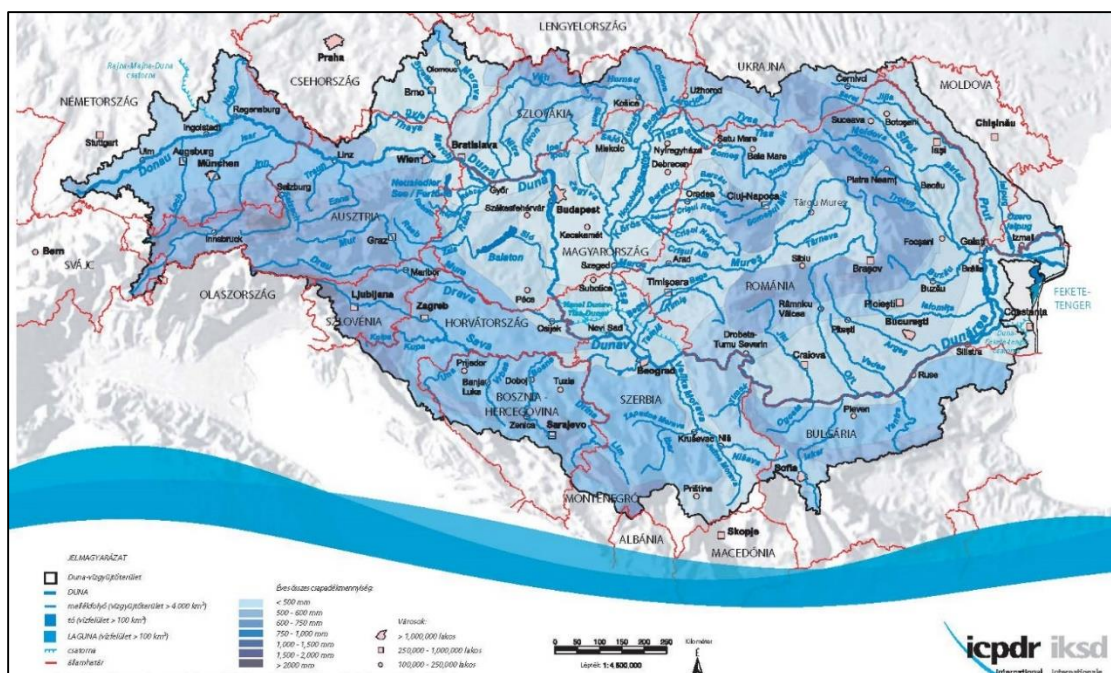
1. táblázat:

A Duna és a Tisza részvízgyűjtői a mohácsi, illetve a szegedi szelvény felett

<i>Részvízgyűjtő terület neve</i>	<i>Betorkolló fontosabb mellékfolyók</i>	<i>Kiterjedés (km²)</i>	<i>1981-2010 közötti éves átlagos csapadékösszeg (mm)</i>
Duna			
1. Felső-Duna	Altmühl, Iller, Lech, Naab, Isar	61 227,6	923,3
2. Inn	Inn	29 520,5	1308,3
3. Traun, Enns	Traun, Enns	12 026,9	1197,5
4. Bécsi-medence		19 680,3	771,5
5. Morva	Morva	30 067,1	616,1
6. Mosoni-Duna, Rába	Rába	20 773,7	641,8
7. Vág, Garam, Ipoly	Vág, Gara, Ipoly	32 800,5	745,2
8. Közép-Dunavölgy		12 026,9	492,9
9. Zala, Balaton	Zala	7 106,8	591,1
10. Kapos, Sió	Kapos, Sió	10 386,8	536,3
Tisza			
11. Sajó, Hernád	Sajó, Hernád	11 480,2	594,1
12. Zagyva	Zagyva, Tarna	7 107,1	489,3
13. Közép-Tiszavölgy		20 227,1	490,9
14. Bodrog	Bodrog, Latorca	16 946,9	780,9
15. Felső-Tisza		13 120,2	847,5
16. Szamos, Túr, Kraszna	Szamos, Túr, Kraszna	21 320,3	642,1
17. Körösök, Berettyó	Körösök, Berettyó	27 333,8	526
18. Maros	Maros	32 554,6	572,9

A második legnagyobb részvízgyűjtő, ami a Dunán Mohács felett található, a 7-es, amely többek között a Vág, a Garam és az Ipoly vizét gyűjti össze. E három folyó vízgyűjtője rendre 10 640 km², 5463 km², illetve 5108 km² kiterjedésű. A Tisza Szeged feletti szakaszán fekvő részvízgyűjtők közül a 18-as rendelkezik a legnagyobb területtel, itt torkollik a Tiszába a Maros, ami 27 049 km²-es vízgyűjtőterülettel rendelkezik.

A 4. ábrán a Duna vízgyűjtőjének – ez értelemszerűen tartalmazza a Tisza vízgyűjtőterületét is – csapadéktérképe látható. A térkép alapján könnyen megállapítható, hogy a csapadékviszonyok alakításában fontos szerepe van a domborzatnak. A csapadékösszeg növekedésének mértéke a magassággal az Atlanti-óceánhoz közelebb eső régiókban a legnagyobb. *Mika és munkatársai* (2001) számításai alapján 42,5 mm/100 m-es növekedést kaptak erre a térségre. Ezzel az eredménnyel összhangban áll a következő: ha ránézünk a 4. ábrára, láthatjuk, hogy a legtöbb csapadék (> 750 mm) általában a vízgyűjtő nyugati, délnyugati területén jelentkezik, ugyanis ezen a területen húzódnak az Alpok vonulatai, s a nyugati áramlások övében az óceáni, tengeri nedvességforráshoz is közelebb található. Emellett jelentős mennyiségű (> 600 mm) – bár az Alpoknál jelentkező mennyiséghez képest kevesebb – csapadék figyelhető meg a Kárpátok koszorúja mentén is, ugyanis a csapadékösszeg a magassággal itt is nő, azonban kisebb mértékben; ugyanis ez a régió már keletebbre, az Atlanti-óceántól távolabb helyezkedik el. A legkisebb csapadékösszegek a vízgyűjtő keleti, alacsonyan fekvő régióiban figyelhetők meg.

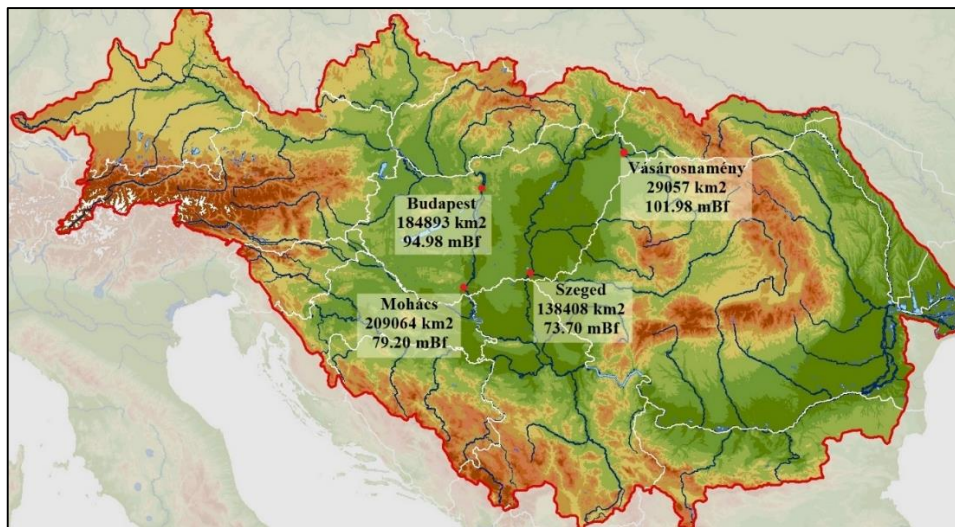


4. ábra. A Duna vízgyűjtőterületének átlagos éves csapadékmennyisége 1950 és 1980 között (Forrás: [28 – <https://www.icpdr.org>])

3.2. Felhasznált adatok, módszertan

A diplomamunkám elkészítéséhez felhasznált adatsorok három adatbázisból származnak.

A szükséges vízállásadatokat – a BSc-szakdolgozatomhoz (Bokodi, 2017) hasonlóan – az Országos Vízelző Szolgálat honlapjáról [26 – <http://www.hydroinfo.hu>] töltöttem le. Ezek az adatsorok a Központi Hidrológiai Adattár négy állomására – Budapest, Mohács, Vásárosnamény és Szeged – vonatkozó, reggel mért vízállásértékeket tartalmaznak 1876-tól 2018-ig.



5. ábra. A vizsgált szelvények, vízgyűjtőterületük, mérce 0 pontjának jelenlegi magassága (Forrás: [29 – <http://ns.geo.info.hu/~hm/>])

Ezek az adatsorok nem hitelesítettek, azonban nem is nyers adatok, ugyanis többszörös ellenőrzést végeztek rajtuk. A hiányzó adatokat interpolációs eljárással pótolták. Az adatsorokban megtalálhatók még – többek között – az adott állomásra vonatkozó törzsadatok, mint például az adott szelvény és a torkolat távolsága, vagy a vízmérce nullpontjának tengerszint feletti magassága [26 – <http://www.hydroinfo.hu>]. Az adatok között lehetnek negatív vízállásértékek is, ugyanis a folyók medre időről-időre változik, ezért az aljának a vízmérce 17–19. századi telepítésekor meghatározott nullponttól vett távolsága módosulhatott az eltelt évtizedek során. Kavrán (2009) vizsgálatai megállapították, hogy ez a módosulás a folyómeder időnkénti kotrása következtében jelentkezik (erre például annak érdekében van szükség, hogy az adott folyó megfeleljen a rá előírt víziúti paramétereknek), emellett a mederszabályozások is jelentős hatást gyakorolnak a folyók medrének változására.

A Duna és a Tisza számos folyó vizét gyűjti össze. Ezek közül a legnagyobb felvízi mellékfolyókat összegzi a 2. táblázat aszerint, hogy a torkolat melyik országban található.

2. táblázat:

A Duna és a Tisza nagyobb felvízi mellékfolyói

Duna	<ul style="list-style-type: none">• Németország: Altmühl, Iller, Lech, Naab, Isar, Inn• Ausztria: Traun, Enns, Morva• Szlovákia: Morva, Vág, Garam, Ipoly• Magyarország: Rába, Ipoly, Sárvíz
Tisza	<ul style="list-style-type: none">• Ukrajna: Tarca, Talabor, Nagy-ág, Borzsa• Románia: Visó, Iza• Magyarország: Sajó, Bodrog, Túr, Szamos, Kraszna, Lónyai-főcsatorna, Keleti-főcsatorna, Zagyva, Körösök, Maros

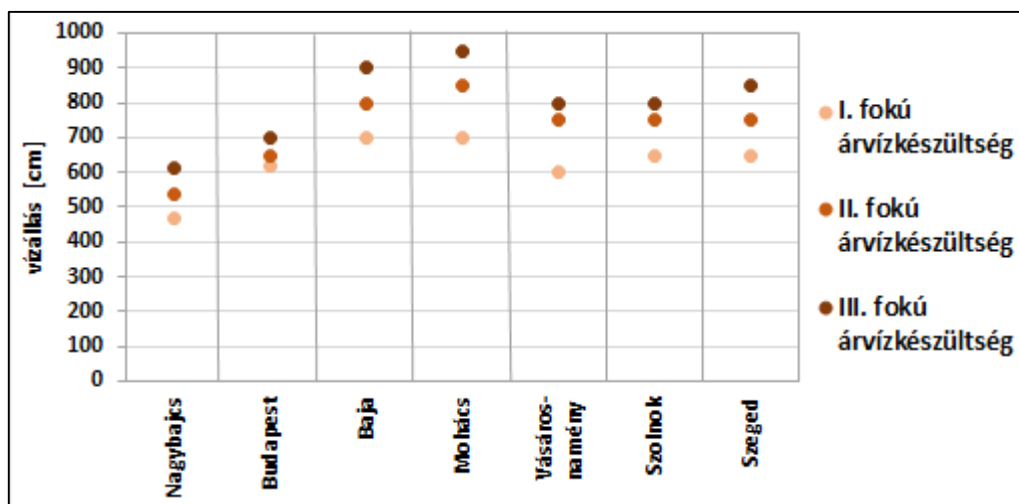
A számításokhoz használt hőmérséklet- és csapadékadatokat a Duna Mohács fölötti vízgyűjtőjére az E-OBS adatbázisból (a számításaim kezdetekor elérhető legfrissebb verzió v17 volt) választottuk le, míg a Tisza Szeged feletti vízgyűjtőjére egyrészt ugyancsak az E-OBS, másrészt a CarpatClim adatbázisból töltöttük le.

Az E-OBS adatbázis (*Haylock és munkatársai, 2008*) az északi szélesség 25° és 75° , valamint a nyugati hosszúság 40° és keleti hosszúság 75° közötti területre vonatkozó hőmérséklet-, csapadék- és légnyomásadatokat tartalmazza napi felbontásban. Ez az állomási méréseken alapuló adatbázis $0,25^\circ$ felbontású szabályos rácshálózaton érhető el. Az idősorok 1950-től csupán néhány hónapos késéssel folyamatosan frissítve tölthetők le NetCDF formátumban.

A másik felhasznált adatbázis a CarpatClim (*Spinoni és munkatársai, 2014b*), ami az E-OBS-nál jóval kisebb területet fed le. A hőmérsékleti, csapadék- és légnyomásadatokat az északi szélesség 44° és 50° , illetve keleti hosszúság 17° és 27° közötti területéről tartalmazza. A horizontális felbontás viszont az E-OBS-hoz képest finomabb: $0,1^\circ$ -os. Az adatbázis létrehozásakor kifejezett cél volt, hogy javítsák a Kárpátokra, illetve a Kárpát-medencére vonatkozó adatok pontosságát, valamint az időbeli és térbeli felbontását a jobb éghajlati vizsgálatok érdekében. Ezért a régióon belüli nemzeti meteorológiai szolgálatok kezelésében lévő szabványos állomások méréseinek felhasználásával egy szabadon elérhető, nagy felbontású rácshálózaton értelmezett adatbázist hoztak létre az OMSZ vezetésével. Az adatsorok valamivel rövidebbek, mint az E-OBS esetén: az 1961-től 2010-ig terjedő időszakot fedik le; és sajnos nincs folyamatos frissítés. Az időlépcső itt is napi léptékű. Az adatbázis

homogenizációját és minőségellenőrzését a MASH²⁴ szoftver, míg az adatok interpolációját a MISH²⁵ nevű szoftverrel (Bihari és Szentimrey, 2013) végezték.

A teljes adatbázisból a felhasznált idősorokat a Duna és a Tisza vízgyűjtőire, részvízgyűjtőire elkészített maszkok segítségével választottuk le. A hibás adatok kiszűrése után először a kiválasztott dunai (Budapest, Mohács) és tiszai (Vásárosnamény, Szeged) szelvények vízállás-idősorainak kapcsolatát elemeztük. Mind a két folyó esetén az 1950 és 2017 közötti időszakot vizsgáltuk. Korrelációs együtthatók meghatározása során a folyók felsőbb szakaszán található szelvények idősorait 0–14 nappal eltoltuk az alsóbb szelvényekéhez képest. Ezután kiszámítottuk a vizsgált időszakokra – E-OBS adatbázis esetén az 1950–2017 időszakra, CarpatClim adatbázis esetén pedig az 1960–2010 időszakra – szintén 0–14 napos eltolással a vízgyűjtőkön, részvízgyűjtőkön hullott csapadék, és a vizsgált szelvényeken mért vízállások korrelációs együtthatóját. Majd mindkét esetben megvizsgáltuk, hogy a kapott korrelációs értékek szignifikánsak-e. A meghatározott próbastatisztikák felhasználásával a t-próba (Dévényi és Gulyás, 1988) segítségével eldönthető, hogy a lineáris korrelációs együttható szignifikánsnak tekinthető-e. A vízállás és csapadék-adatsorok kapcsolatának vizsgálatát a teljes idősorok mellett a május, június, július, illetve augusztus hónapra külön-külön is elvégeztük. Ezután a napi csapadékidősort 5 napos csapadékösszeg idősorra cseréltük, és így is elvégeztük a vízállás és a csapadék kapcsolatának vizsgálatát a már ismertetett módon 0-10 napos késleltetéssel, ám ezt a vizsgálatot a kiválasztott négy hónap közül csak júliusra hajtottuk végre. Az összegzés során az adott napi csapadék mennyiségéhez mindig az azt megelőző 4 napon lehullott csapadék mennyiségét adtuk hozzá.



6. ábra. A dolgozatban szereplő dunai és tiszai szelvényekre vonatkozó I., II. és III. fokú árvízkeszültségi szintek magassága

²⁴ Multiple Analysis of Series for Homogenization

²⁵ Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Database

Az elemzések során a két dunai és a két tiszai szelvényre vonatkozó vízállás-adatsorokból az árvizes időszakokra fókuszáltunk, mivel az árvízi védekezés kiemelkedően fontos része az átfogó vízgazdálkodásnak. Ezeket az árvízi időszakokat vizsgáltuk részletesebben, majd területi okokból a bővebb elemzést négy kiválasztott időszakra végeztük el. A választás a 2002. augusztus 4. és szeptember 4. közötti 32 napos időszakra, a 2006. március 22. és május 28. közötti 67 napos időszakra, a 2010. május 15. és július 25. közötti 72 napos időszakra, valamint a 2013. május 27. és június 27. közötti 32 napos időszakra esett. Ezek közül a 2002-es és a 2013-as dunai, a 2006-os és 2010-es árvizek pedig dunai és egyben tiszai árvizek is voltak. A dolgozatban részletesen bemutatjuk e négy eseményre vonatkozóan az árvizet kiváltó meteorológiai okokat, az események szinoptikus hátterét, valamint részletezzük az árvizek folyómenti levonulását.

Az árvizes esettanulmányok elkészítése során a bemutatott térképekhez szükséges adatokat az ECMWF²⁶ ERA-Interim adatbázisából töltöttük le. Az adatok az 1979. január 1. és 2019. augusztus 31. közötti időszakra érhetőek el jelenleg. A térbeli felbontás körülbelül 80 km (0,703125°) 60 vertikális szintre, ami a felszíntől a 0,1 hPa-os szintig tart. Az adatbázis minden napra a négy főszinoptikus időpontra tartalmaz analízis mezőket (00, 06, 12 és 18 UTC), illetve napi két tíznapos előrejelzést, melyek a 00 és a 12 UTC-s analízis mezők alapján készülnek. A 00 UTC-s analízis mezőkben a csapadékösszeg az előző nap 15 UTC és az adott nap 3 UTC közötti csapadékmegfigyeléseket foglalják magukban, a 12 UTC-s adatok pedig a 3 UTC és 15 UTC közötti időszakra vonatkozik. Az előrejelzések csak a felszínre és pár meghatározott magassági szintre érhetőek el 12 óránként (*Berrisford és munkatársai, 2009*). Az általunk kiválasztott árvizes időszakokra letöltöttük a 2 m magasságban mért hőmérséklet, a felszíni légnyomás, a 10 m magasságban mért szél u és v komponens, a csapadékösszeg, az 500 hPa-os geopotenciál, illetve az 500 hPa szint hőmérsékleti adatsorait, majd ezeket az adatokat a Panoply Data Viewer segítségével térképes formában jelenítettük meg. Ez a NASA által fejlesztett software [38 - <https://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/>] – többek között – netCDF, HDF és GRIB adatok megjelenítésére is alkalmas.

A dolgozat elkészítése során nem alkalmaztunk hidrológiai modelleket, ugyanis még a könnyen hozzáférhető, egyszerűen kezelhető hidrológiai modellek használatához is vízhozam-adatsorokra lett volna szükség, ami nem állt rendelkezésünkre.

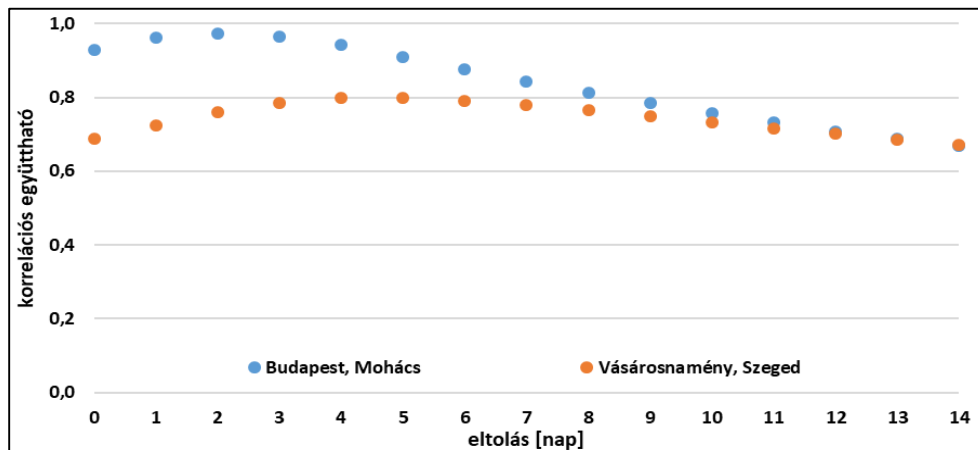
²⁶ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

4. Eredmények

A dolgozat elkészítése során elemeztük két dunai és két tiszai szelvényre vonatkozó vízállás-idősorok egymással, illetve a vízállás-idősorok és a vízgyűjtőkön lehullott csapadék-idősorainak kapcsolatát. A kiválasztott szelvényeken detektált vízállásadatok egymással vett korrelációjának elemzése alkalmával a Dunán a budapesti és a mohácsi, a Tiszán pedig a vásárosnaményi és a szegedi szelvények közötti kapcsolatot vizsgáltuk. Mindkét esetben 0–14 napos késleltetést alkalmaztunk a folyókon feljebb található szelvények idősorain, így számítottuk ki a korrelációs együtthatókat. A csapadék- és vízállás-idősorokra vonatkozóan mind az E-OBS, mind pedig a CarpatClim adatbázisból származó csapadékadatok felhasználásával meghatároztuk a teljes időszakokra vonatkozó, napi adatokból számított korrelációs együtthatókat a csapadéértékek 0–14 napos eltolásával. Ezt követően a csapadékosabb hónapokat – azaz májust, júniust, júliust és augusztust – külön elemeztük, s ezekre is kiszámítottuk a korrelációs együtthatókat. E számítások során 0–10 napig terjedő eltolást alkalmaztunk a csapadék-adatsorokon. A korrelációs számítást mindhárom esetben t-próba használatával szignifikanciavizsgálat (*Dévényi és Gulyás, 1998*) követte. Ha a kapott próbastatisztika értéke meghaladta a 2-t, akkor a korrelációs együtthatót 95%-os szinten szignifikánsnak tekinthetjük. Az elemzés második részében meghatároztuk a teljes 1950–2017 időszakban fellépő árvizeket, majd ezek közül kiválasztottunk négy közelmúltban, pontosabban 2000 után bekövetkezett áradást, amelyeket részletes esettanulmányként feldolgoztunk, kitérve ezek szinoptikus hátterére, a kiváltó okokra, továbbá ismertetjük levonulásuk folyamatát.

4.1. A vizsgált szelvények vízállás-idősorainak kapcsolata

A vízállás- és csapadék-idősorok kapcsolatának elemzése előtt megvizsgáltuk azt is, hogy az egyes folyókon lévő szelvények vízállás idősorai között milyen kapcsolat van. A számításokat az 1950 és 2017 közötti időszakra végeztük el mindkét folyón. A Duna esetében a budapesti és a mohácsi, a Tisza esetében pedig a vásárosnaményi és a mohácsi szelvényen mért értékeket vetettük össze. Számításaink során 0–14 napos késleltetést alkalmaztunk a budapesti, illetve a vásárosnaményi adatsorokon. A vizsgálati eredményt a 7. ábra összegzi. Az ábrát tekintve láthatjuk, hogy mindkét folyó esetén igen erős a kapcsolat a 2-2 vizsgált szelvény vízállás-adatsorai között. Budapest és Mohács esetében a legnagyobb korrelációs értéket a budapesti értékek 2 napos késleltetésével kaptuk, ebben az esetben a korrelációs együttható értéke 0,97 volt.



7. ábra. Az 1950–2017-es időszakra vonatkozó budapesti és mohácsi, valamint vásárosnaményi és szegedi szelvények vízállás-idősorainak korrelációs együtthatói a felső szelvények 0–14 napos eltolásával. A kapott együtthatók a t-próba alapján 95%-os szinten szignifikánsak. (adatok: KHA²⁷)

Mint azt már a korábbi fejezetekben említettük, a folyók sebességét nagyban befolyásolja a szakaszjelleg. A Budapest és Mohács közötti szakasz a Középső-Dunához tartozik. Itt a vizsgálatok szerint (például *Schiller és munkatársai*, 2010) a Duna átlagos sebessége kb. 4 km/óra. Budapest (1646,5 fkm) és Mohács (1446,9 fkm) távolsága mintegy 200 km. Ha ezt a távolságot a folyó vize 4 km/órás sebességgel teszi meg, akkor reális az általunk kapott eredmény, miszerint Budapestről 2 nap alatt ér a Duna vize Mohácsra. A tiszai szelvényeknél már nagyobb, 5 napos eltolás esetén kaptuk a legnagyobb korrelációs együtthatót. A vásárosnaményi és szegedi szelvények között már nem tapasztaltunk olyan szoros kapcsolatot, mint a dunai szelvények esetében, ami egyáltalán nem meglepő, ugyanis a tiszai szelvények között majdnem kétszer akkora a távolság, mint a Dunán vizsgált két szelvény esetében, illetve a Tisza vízgyűjtője sokkal nagyobb mértékben nő több folyó betorkollása miatt Vásárosnamény és Szeged között, mint a Dunáé Budapest és Mohács között. A tiszai szelvények idősorai közötti korrelációs együttható maximális értékére 0,79 adódott 5 napos késleltetést alkalmazva. A Tisza Vásárosnamény és Szeged között szintén középsőszakasz-jellegű. A két szelvény távolsága körülbelül 511 km. A Tisza sebessége általában 3,9 és 1,3 km/óra között mozog. Amennyiben ezekkel az értékekkel számolunk, a legnagyobb korrelációs együtthatót 5–16 napos eltolással kellene megkapnunk. Esetünkben ez az érték 5 nap volt, így a vizsgált időszakban a két szelvény között a Tisza átlagos sebessége 4km/óra körüli volt. A 0–14 napos eltolással a 2-2 szelvény esetén egyaránt szignifikáns korrelációs együtthatókat kaptunk. Ez jól mutatja a direkt kapcsolatot az ugyanazon folyón található szelvények vízállás-idősorai között.

²⁷ KHA- Központi Hidrológiai Adattár

4.2. A vízállás- és csapadék-idősorok kapcsolatának vizsgálata

A lefolyás a hidrológiai ciklus az eső, a beszivárgás, az evaporáció és további folyamatok összessége, ami periodikus lefolyási ciklushoz és hidrológiai anomáliákhoz vezet. A csapadék a lefolyás direkt forrása. *Miao és munkatársai* (2009) a Sárga-folyón az 1950 és 2007 közötti csapadék-adatsorokat vizsgálták. Számításaik során szignifikáns korrelációt találtak a csapadék és a természetes lefolyás között, ami azt mutatja, hogy a csapadék közvetlen hatással van a lefolyásra. A hőmérsékletnek is kritikus szerepe van a természetes lefolyásban, hiszen ha emelkedik a hőmérséklet, nő a potenciális és az aktuális párolgás, ami kedvezőtlenül hat a vízhozamra. A hó olvadása rövid ideig növeli a vízhozamot, ugyanis vízutánpótlást jelent a folyók számára. Ahogy azt már korábban említettük, a hőmérséklet változása megváltoztathatja a lehulló csapadék halmazállapotát, így a folyók vízjárását is, ugyanis ha a korábban hó formájában hulló csapadék eső formájában érkezik a folyók vízgyűjtőjére, akkor az késleltetés nélkül kerül a vízfolyásokba.

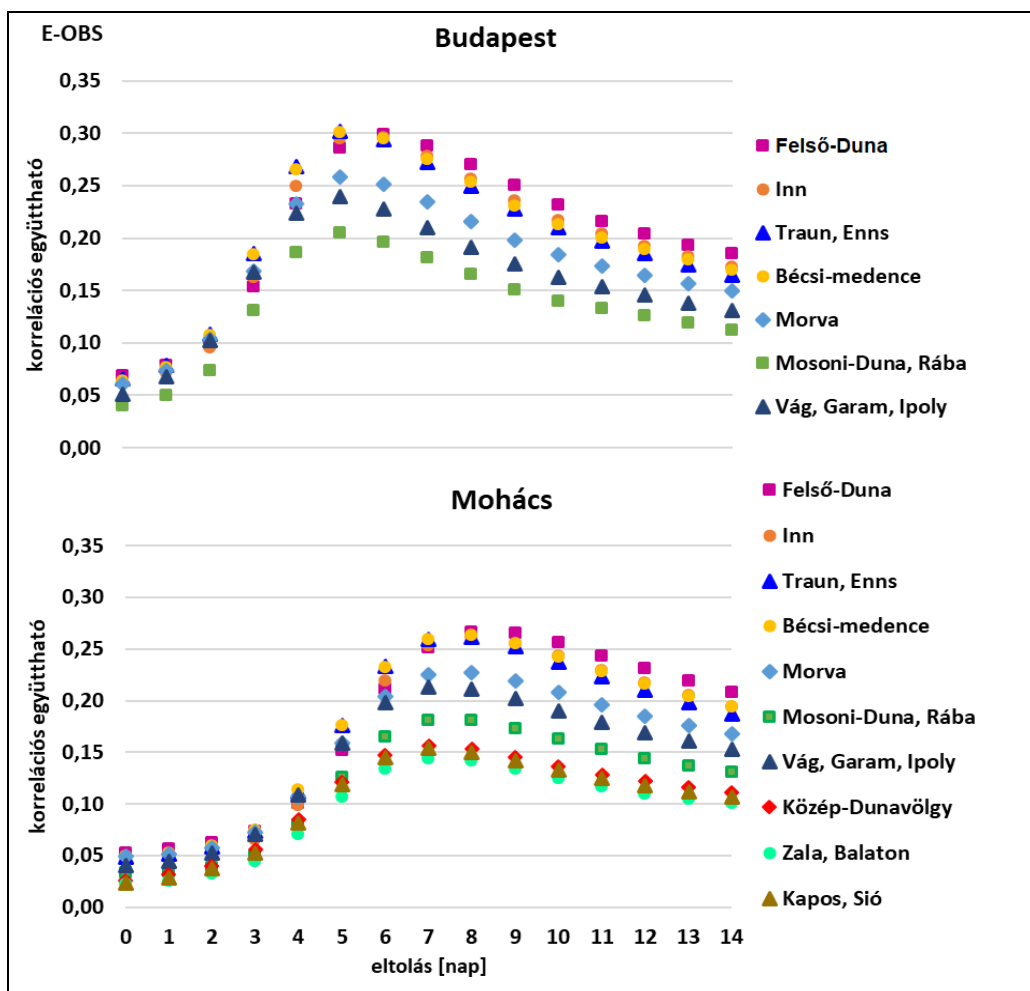
4.2.1. Vízállás és csapadék kapcsolata a teljes időszakra vonatkozóan

Az E-OBS, illetve a CarpatClim adatbázisban szereplő, a Duna és a Tisza részvízgyűjtőire vonatkozó napi csapadék-adatsorok rendre 68, illetve 50 évet ölelnek fel, ami összesen 24 837, illetve 18 262 napot jelent. A számításokhoz a vízállás-idősorokból is az 1950 és 2017 közötti, valamint az 1961–2010 közötti adatokat használtuk fel. A teljes időszakokra vonatkozó, napi adatokkal történő korrelációs számítás során a részvízgyűjtőkre vonatkozó csapadék-idősorokat (a napi csapadékösszegeket) 0–14 nappal toltuk el a vízállás-idősorokhoz képest.

A 8., a 9. és a 10. ábrán a vizsgált szelvényekre kapott korrelációs együtthatók láthatók. Mind a négy szelvény esetében elmondható, hogy a kapott eredmények legtöbbször statisztikailag szignifikáns, azonban ez a rendkívül nagy elemszámnak (is) köszönhető. Mivel ilyen kicsi korrelációs együtthatók mellett kaptuk eredményül azt, hogy a kapcsolat szignifikáns (ahogy azt majd később látjuk, a legnagyobb korreláció a teljes időszak esetén 0,35-nek, míg a külön hónapokra végzett vizsgálatoknál 0,45-nek adódott), a változók közötti kapcsolat valójában nem tekinthető meghatározónak. Az alacsony értékek főleg annak köszönhetőek, hogy a napi vízállás-adatsort a napi csapadék-összegekkel hasonlítottuk össze. Ennek ellenére azért ennek a megoldásnak a bemutatása kapott nagyobb szerepet, mert a különböző részvízgyűjtőkre az eltérő elhelyezkedésük és méretük miatt eltérő számú napi csapadékot összegezve kapnánk a legnagyobb korrelációs együtthatót, így pedig nem tudnánk összehasonlítani az eredményeket. Annak érdekében, hogy pontosabb képet alkothassunk a csapadék és a vízállás kapcsolatáról, az 5 napos csapadék-összeg idősorral is elvégeztük az elemzést a teljes időszakra, illetve

példaként július hónapra külön. Továbbá fontos kiemelni azt is, hogy rendkívül sok tényező befolyásolja, hogy az adott napon az adott részvízgyűjtőn lehullott csapadékból mennyi víz jut el a folyóig, hogy utánpótlást biztosítson. Ilyen folyamat például a párolgás és a beszivárgás. Nagyobb korreláció a közvetlenül érintkező víztestek között lenne. Ennél fogva az eredmények bemutatása során nem a korrelációs együtthatók nagyságát, hanem inkább a részvízgyűjtők közötti különbségeket emeljük ki.

Az első vizsgált szelvény – Budapest – esetében számításaink szerint az összes kapott korrelációs együttható szignifikánsnak tekinthető; ám ez, mint arra fentebb rámutattunk, főként a nagy elemszámnak tudható be. A 8. ábra felső diagramján jól látható, hogy a részvízgyűjtőkön hullott csapadék és a Budapesten mért vízállás között 5 napos eltolással a legszorosabb a kapcsolat.

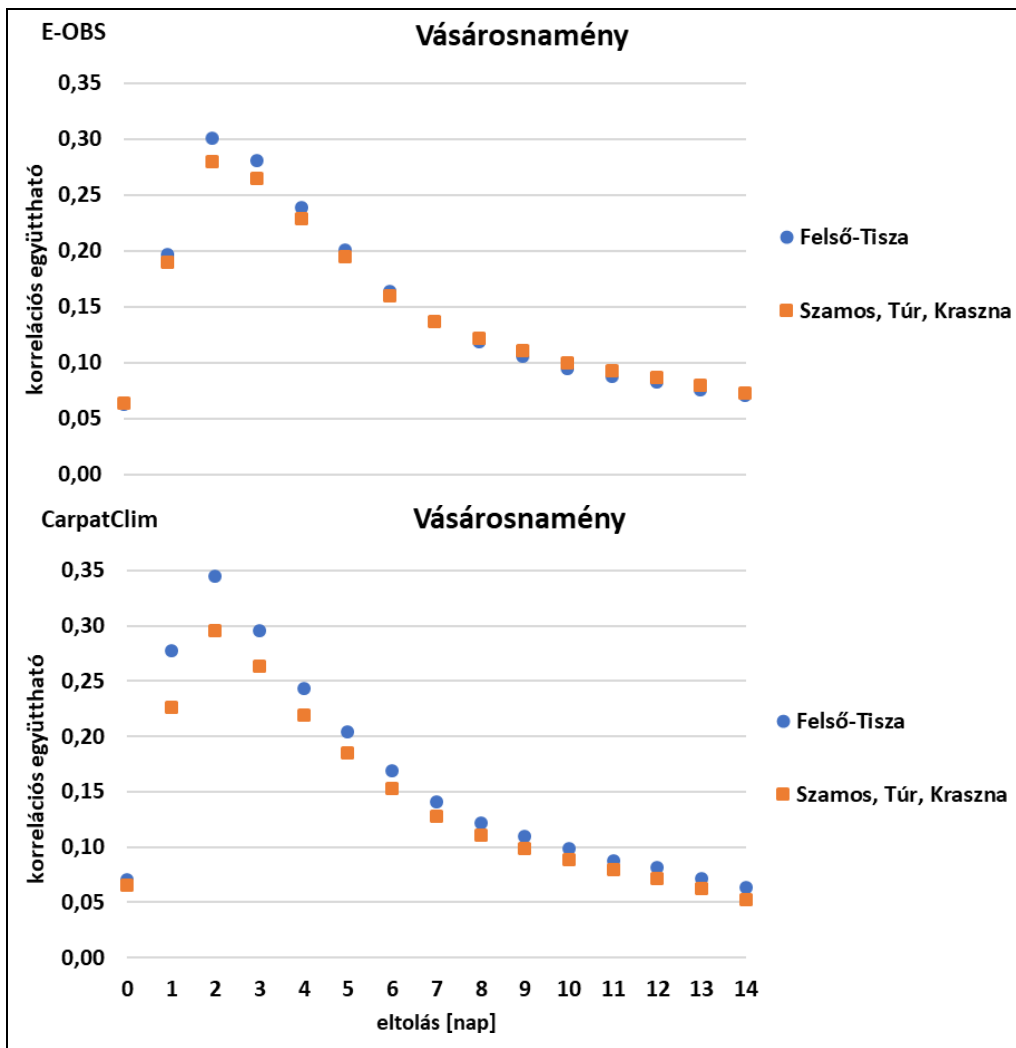


8. ábra. A budapesti és a mohácsi szelvényen 1950–2017 között mért vízállások és a Duna egyes felvizi részvízgyűjtőin detektált csapadék-idősorok közötti korrelációs együtthatók, a csapadékatatok 0–14 napos eltolásával. A kapott együtthatók a t-próba alapján 95%-os szinten szignifikánsak.
(adatok: KHA, E-OBS)

Az eltolást tovább növelve a korrelációs együtthatók értéke csökkenni kezd (amelynek üteme az eltolás kezdetéhez képest jóval lassabb), illetve egyre nagyobb szórást mutat. A budapesti szelvényen mért vízállásokkal a leggyengébb kapcsolatot a 6-os részvízgyűjtő (Mosoni-Duna, Rába), míg a legerősebbet 5 napnál nagyobb eltolás esetén az 1-es (Felső-Duna); a legnagyobb területű és az egyik legcsapadékosabb részvízgyűjtő mutatta. A szelvényen jelentkező legnagyobb korrelációs együtthatót 5 napos eltolással a 3-as részvízgyűjtőn (Traun, Enns) detektált csapadék-idősorral kaptuk, értéke pedig 0,3 volt.

Mohácsnál szintén az összes számított korrelációs együttható szignifikánsnak bizonyult. A 8. ábrán leolvashatjuk, hogy a legnagyobb korrelációs együtthatókat az első öt részvízgyűjtőn – amelyek rendre a Felső-Duna; az Inn; a Traun, Enns; a Bécsi-medence; a Morva – 8 napos eltolással, míg a Duna alsóbb szakaszán található részvízgyűjtők esetén – Mosoni-Duna, Rába; Vág, Garam, Ipoly; Közép-Dunavölgy; Zala, Balaton; Kapos, Sió – a legnagyobb értékeket 7 napos eltolással kaptuk. Ez nem meglepő, hiszen minél közelebb van a csapadékhullás helye a vizsgált szelvényhez, annál hamarabb figyelhető meg a vízállásértékek növekedése. A legtöbb esetben a 9-es részvízgyűjtőre (Zala, Balaton) kaptuk a legkisebb, az 1-es részvízgyűjtőre (Felső-Duna) a legnagyobb korrelációs együtthatókat. A legnagyobb érték 8 napos eltolással az 1-es részvízgyűjtő esetén jelentkezett.

A vásárosnaményi és a szegedi szelvényen mért vízállásértékeket két adatbázisból származó csapadékidősorral is összevetettük. A 9. ábrán a vásárosnaményi szelvényre számított korrelációs együtthatók szerepelnek. Látható, hogy a kapott értékek itt is minden esetben szignifikánsak voltak. Mindkét adatbázis esetén 2 napos eltolást alkalmazva kaptuk a legszorosabb kapcsolatot. Ez abból adódik, hogy a Tisza vízgyűjtője igen kicsi a vásárosnaményi szelvény felett, így a lehullott csapadék is gyorsabban eléri a vízmérce szelvényét. Jól látszik, hogy a két adatbázis közül a CarpatClim-ben szereplő csapadék-adatsorral mutat erősebb kapcsolatot a szelvényen mért vízállás-idősor. A szorosabb kapcsolat elsősorban a CarpatClim jobb felbontásának köszönhető. Az E-OBS adatbázis adatait felhasználva a legnagyobb korrelációs együttható 0,3 volt, a CarpatClim esetében pedig 0,34.

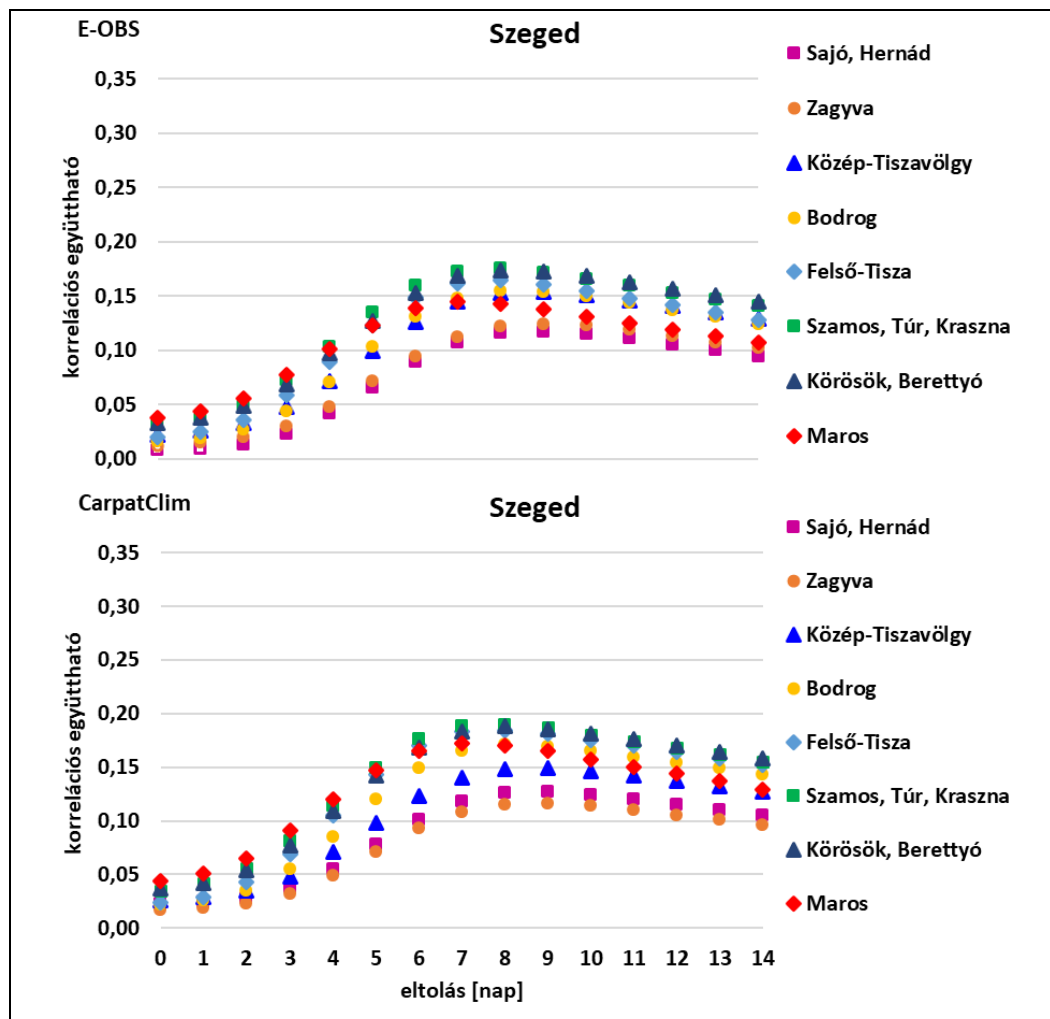


9. ábra. A vásárosnaményi szelvényen 1950–2017 között mért vízállások és a Tisza egyes felvizi részvízgyűjtőin detektált csapadék-idősorok korrelációs együtthatói, a csapadékadatok 0–14 napos eltolásával. A kapott együtthatók a t-próba alapján 95%-os szinten szignifikánsak. (adatok: KHA, E-OBS, CarpatClim)

A következő, 10. ábra a szegedi szelvény vízállásadatsorának és a Tisza Szeged feletti részvízgyűjtőin mért csapadékadatsorainak összefüggéseit foglalja össze. Összehasonlítva a 9. ábrával megállapítható, hogy a Szegedre kapott együtthatók értékei a Vásárosnaményre kapott korrelációs együtthatók értékeinél alacsonyabbak, illetve a magasabb értékek nagyobb eltolás esetén jelentkeznek, ami abból következik, hogy a szegedi szelvény a vásárosnaményihoz képest a Tisza alsóbb szakaszán található.

A Tisza délebbi szakaszán, így a Szegedhez közelebb fekvő részvízgyűjtőkön a legszorosabb kapcsolat 7–8 napos eltolásnál, míg az északibb szakaszon található részvízgyűjtők esetében 9 napos eltolásnál jelentkezik mindkét adatbázis esetén. Ugyan nem olyan szembetűnő mértékben, mint Vásárosnamény esetében, de ennél a szelvényenél is látszik, hogy a vízállás a CarpatClim-ben szereplő csapadékkal nagyobb korrelációt mutat a finomabb felbontás miatt.

A legerősebb korrelációt mindkét adatbázisnál a 16-os részvízgyűjtő (Szamos, Túr, Kraszna) esetén kaptuk.



10.ábra. A szegedi szelvényen 1950–2017 között mért vízállások, és a Tisza egyes felvizi részvízgyűjtőin detektált csapadék-idősorok korrelációs együtthatói, a csapadékadatok 0–14 napos eltolásával. A kapott együtthatók a t-próba alapján 95%-os szinten szignifikánsak. (adatok: KHA, E-OBS, CarpatClim)

Összességében elmondható, hogy a teljes időszakra számított korrelációs együtthatók esetében mind a négy vizsgált szelvényen hasonlóan alakulnak az egyes részvízgyűjtők görbéi, kisebb eltolással az adott szelvényhez közelebb elhelyezkedő szelvények esetén figyeltünk meg szorosabb kapcsolatot. Kiemeljük továbbá, hogy a vizsgált négy szelvényből háromnál (Budapest, Mohács, Szeged) a legerősebb korrelációt 7–9 napos eltolással kaptuk; illetve azt is, hogy a korrelációs értékek a maximumot elérve, a lecsengés során egyre nagyobb szórást mutatnak.

4.2.2. Májusi, júniusi, júliusi és augusztusi vízállás- és csapadék-idősorok korrelációja

A vízállás- és a csapadék-idősorok közötti kapcsolat szorosságát mérő korrelációs együtthatók számítását elvégeztük külön-külön négy kiválasztott hónapra is: májusra, júniusra, júliusra és augusztusra. Ezeket a számításokat is végrehajtottuk mind a két, már említett adatbázisban szereplő csapadék-adatsorokkal is. Mivel ezen vizsgálatok során már jóval kisebb volt az elemszám (3. táblázat), a kapott korrelációs együtthatók között is sokkal gyakrabban fordult elő olyan, ami nem bizonyult szignifikánsnak.

3. táblázat:

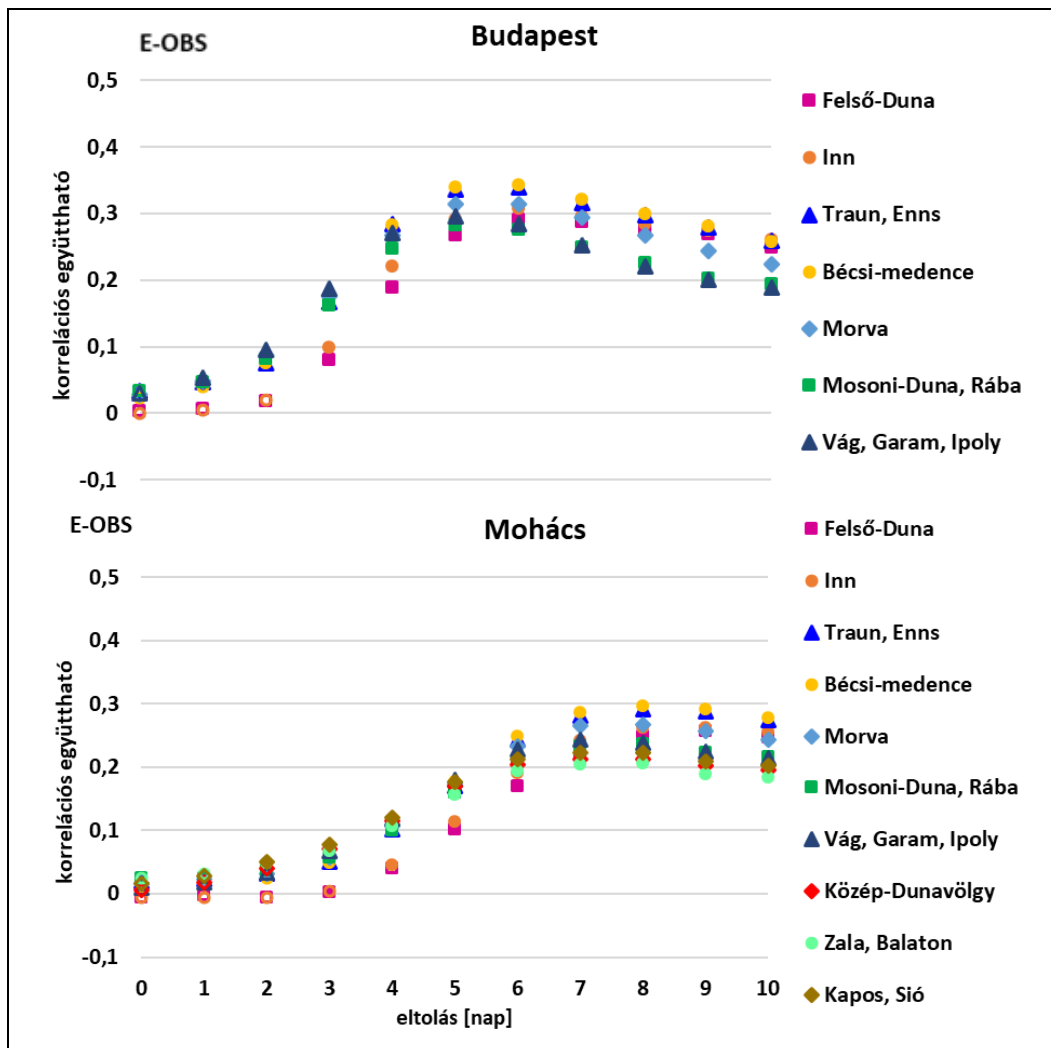
A teljes időszak napjainak száma a külön vizsgált hónapokra vonatkozóan
(E-OBS, CarpatClim adatbázisokban)

	Május	Június	Július	Augusztus
E-OBS	2108	2040	2108	2108
CarpatClim	1550	1500	1550	1550

Ebben a fejezetben bemutatjuk a vizsgált szelvényekre (Budapest, Mohács, Vásárosnamény, Szeged) július hónapra kapott korrelációs együtthatókat, illetve összehasonlítjuk a további három hónapra kapott értékekkel (ez utóbbiak összegző ábrái a Függelékben található).

A 11. ábráról kitűnik, hogy júliusban a budapesti szelvénynél a vízállás és a csapadék kapcsolata 6 napos eltolással a legerősebb. Ekkor a legnagyobb korrelációs együtthatót a Bécsi-medencére kaptuk, amelynek értéke 0,34. Összhangban a teljes idősorok vizsgálatával, itt is észrevehetjük, hogy az eltolás növelésével a kapott korrelációs együtthatók szórása is nő. Látható továbbá, hogy háromnapos eltolással már az összes részvízgyűjtőre kapott korreláció szignifikánsnak tekinthető. Augusztusban egyel kevesebb, 5 napos eltolással kaptuk a legnagyobb korrelációs együtthatót (lásd Függelék, F.3. ábra) és ekkor is a 4-es részvízgyűjtővel, a Bécsi-medencére. A korrelációs együttható értékére ebben az esetben is 0,34-et kaptunk. E két hónapban az eltolás növelésével az együtthatók értéke szinte azonos gyorsasággal csökken.

Május és június hónapban a legnagyobb együtthatókat rendre 6, illetve 5 napos eltolással kaptuk (lásd Függelék, F.1. és F.2. ábra), ám ekkor a kapott értékek szembetűnő módon kisebbek, rendre 0,23, illetve 0,27 lettek. A budapesti szelvény esetén mind a négy hónapról elmondható, hogy a vízállás és a csapadék között általában a leggyengébb kapcsolat az 5-6-7-es részvízgyűjtőkkel (Morva; Mosoni-Duna, Rába; Vág, Garam, Ipoly), míg a legerősebb a 3-as és 4-es részvízgyűjtővel (Traun, Enns; Bécsi-medence) jelentkezett.



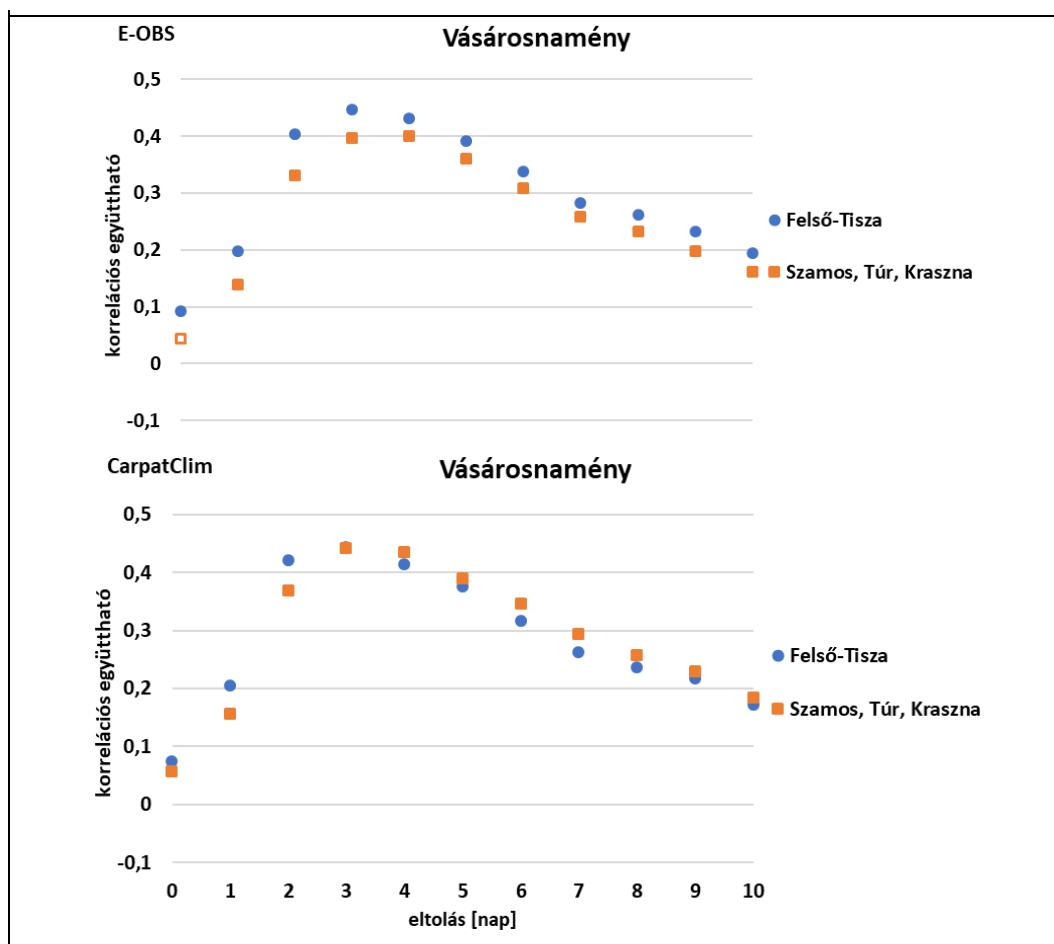
11. ábra. A budapesti és a mohácsi szelvényen, 1950–2017 között július hónapokban mért vízállás- és csapadék-idősorok korrelációja a csapadékadatok 0–10 napos eltolásával. Az üres szimbólumok a t-próba alapján 95%-os szinten nem szignifikáns együtthatókat jelölik. (adatok: KHA, E-OBS)

Mohácsnál júliusban Budapesthez képest 2 nappal több, azaz 8 napos késleltetés esetén jelentkezik a legszorosabb kapcsolat a vízállás és a részvízgyűjtőkön lehullott csapadék között (11. ábra). Mind a maximum elérésekor, mind kisebb eltolás esetén Budapestnél figyelhetünk meg nagyobb korrelációs együttható értéket. A legnagyobb érték elérése után a korrelációs együtthatók a mohácsi szelvény esetében csökkennek lassabban. Ennél a szelvénynél négynapos késleltetés esetén válik az összes korrelációs együttható szignifikánssá. Májusban egy nappal kevesebb, 7 napos eltolás során kaptuk a legnagyobb korrelációs együtthatót, ám ez csak 0,18 volt (lásd Függelék, F.1. ábra). Júliushoz hasonlóan augusztusban is 0,29 adódott legnagyobb korrelációs együtthatónak, azonban ehhez 1 nappal hosszabb, 9 napos késleltetésre volt szükség (lásd Függelék, F.3. ábra). A Függelékben szereplő F.2. ábra szerint júniusban 0,23 adódott legnagyobb együtthatónak, ezt 8 napos eltolás esetén kaptuk. A mohácsi szelvény

esetében általánosságban elmondható, hogy a legerősebb korreláció a vizsgált hónapokban a 3-as részvízgyűjtővel (Traun, Enns) állt fenn, kivéve augusztusban, a 6 napnál nagyobb késleltetés esetén, ugyanis ekkor a Bécsi-medencére kaptuk a legnagyobb értékeket. A leggyengébb kapcsolat fennállására már nehezebb ilyen kijelentést tenni, az azonban megállapítható, hogy májusban a Közép-Dunavölgy területi csapadék, míg júliusban a Zagyva részvízgyűjtőjének területi csapadék-idősora korrelál a leggyengébben a Mohácsnál regisztrált vízállással.

A tiszai szelvények esetében a kiválasztott hónapokra – a teljes időszak vizsgálatához hasonlóan – ismét mind a két adatbázis segítségével határoztuk meg a korrelációs együtthatókat.

Vásárosnamény esetében júliusban a két adatbázis felhasználásával közel azonos nagyságú együtthatókat kaptunk az egyes késleltetések esetén (12. ábra). Mindkét esetben 0,44 nagyságú együttható adódott a legnagyobbknak.

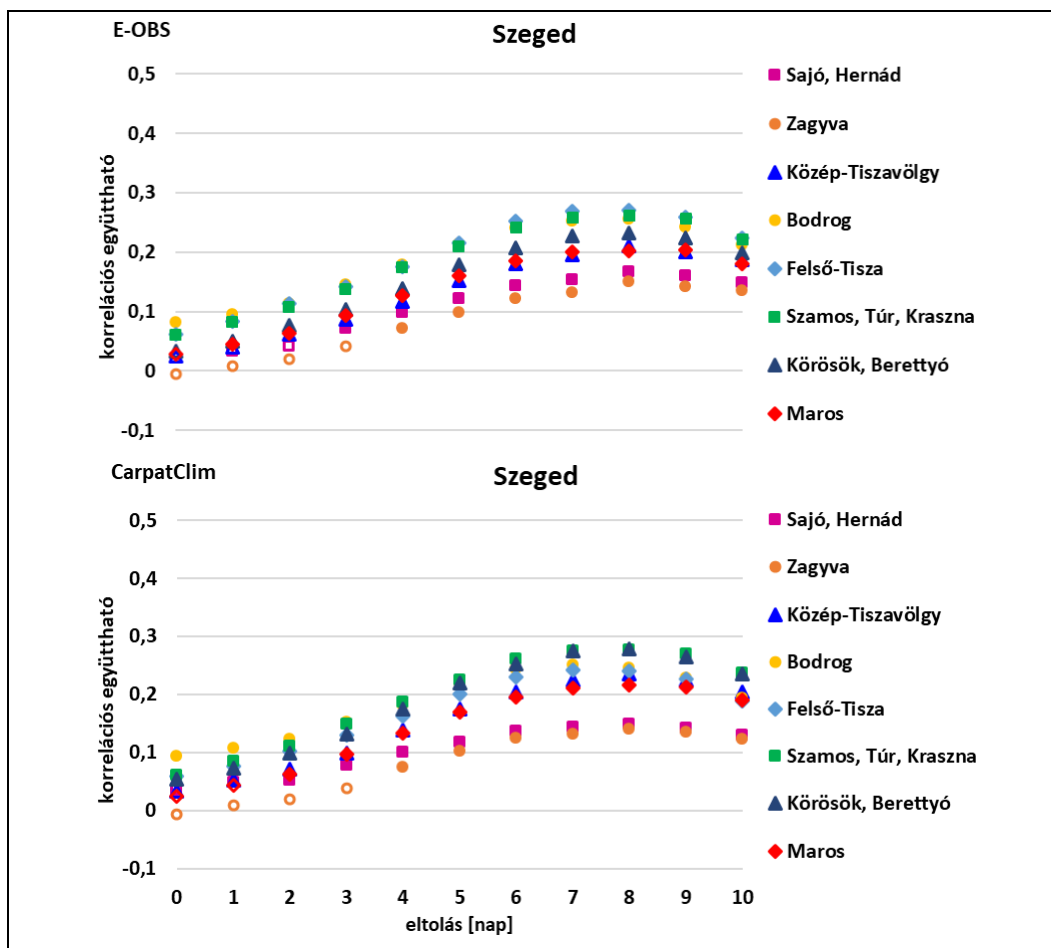


12. ábra. A vásárosnaményi szelvényen, 1950–2017 között július hónapokban mért vízállás- és csapadék-idősorok korrelációja a csapadékadatok 0–10 napos eltolásával. Az üres szimbólumok a t-próba alapján 95%-os szinten nem szignifikáns együtthatókat jelölik. (adatok: KHA, E-OBS, CarpatClim)

Május, június, július és augusztus mindegyikében 3 napos késleltetéssel kaptuk a vízállás és a csapadék közötti legszorosabb kapcsolatot, továbbá az is igaz az összes külön vizsgált hónapra, hogy a vízállásértékek a vásárosnaményi szelvény felett található két részvízgyűjtőn hullott csapadék közül a 15-ös részvízgyűjtő (Felső-Tisza) adatsorával korrelál erősebben.

Az E-OBS adatbázist felhasználva a legerősebb kapcsolat júliusban adódott a már említett 0,44 értékkel, a CarpatClim adatbázist használva viszont a legnagyobb együtthatót májusra kaptuk. Ez azért érdekes, mert az E-OBS adatbázist használva éppen erre a hónapra kaptuk a legkisebb együtthatót a kiemelt négy hónap közül.

Szegednél a 13. ábra szerint júliusban figyelhető meg a legrövidebb késleltetés a legnagyobb korrelációs együttható eléréséhez, ugyanis ekkor két nappal kisebb mértékben, 8 nappal kellett eltolnunk a csapadék-adatsort, míg a vizsgált másik három hónapnál az eltolás mértéke 10 nap volt.



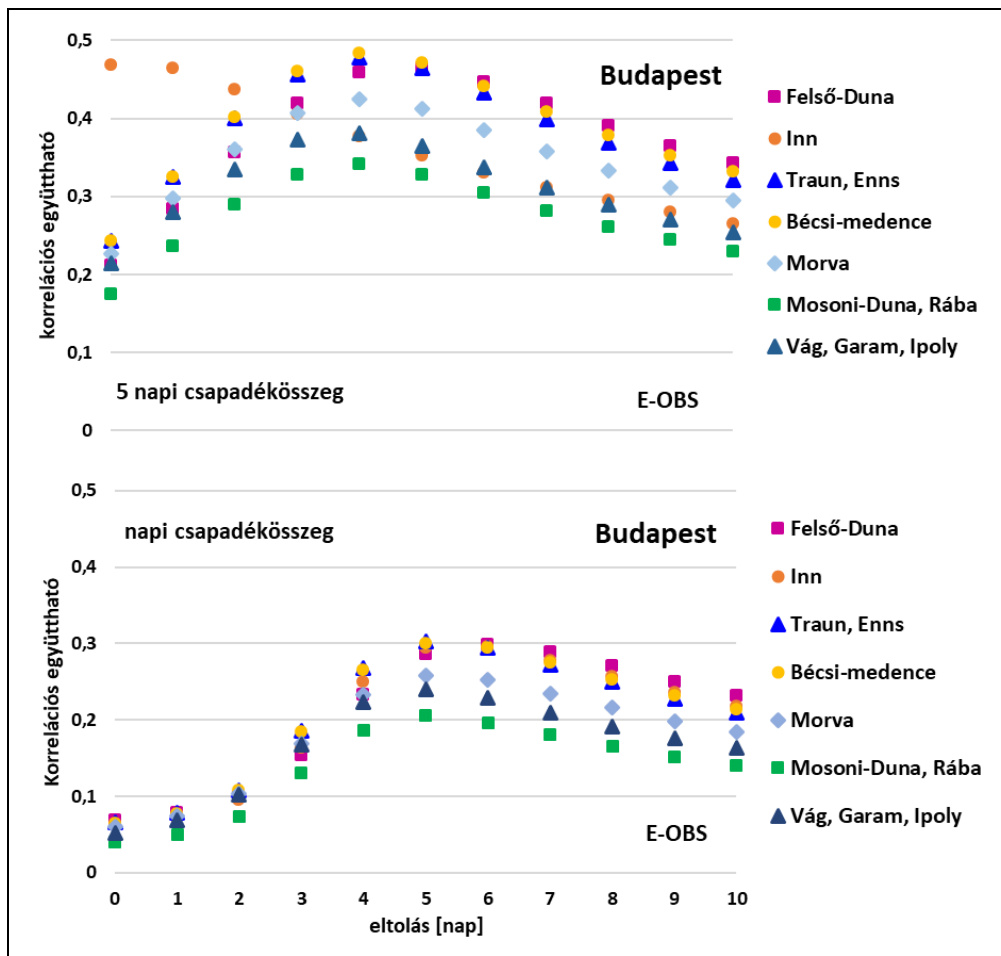
13. ábra. A szegedi szelvényen, 1950–2017 között július hónapokban mért vízállás- és csapadék-idősorok korrelációja a csapadékadatok 0–10 napos eltolásával. Az üres szimbólumok a t-próba alapján 95%-os szinten nem szignifikáns együtthatókat jelölik. (adatok: KHA, E-OBS, CarpatClim)

Júliusban a két adatbázis esetén kapott együtthatók között általánosságban nem volt nagy különbség, ám ha a részvízgyűjtők görbéit egyesével nézzük, akkor látható, hogy a CarpatClim adatbázis csapadékértékeit használva a 16-os és 17-es részvízgyűjtő (Szamos, Túr, Kraszna; Körösök, Berettyó) erősebb korrelációt mutat, mint az E-OBS adatbázis esetén. Ennél a szelvénynél az egyes hónapokban a két adatbázist alkalmazva nincs különbség a korrelációk erősségének sorrendjében, mindkét adatbázis szerint a májusi vízállás és csapadék kapcsolata a leggyengébb, míg júniusban a legerősebb. A szegedi vízállásértékek a 16-os részvízgyűjtőn (Szamos, Túr, Kraszna) lehullott csapadékkal korrelálnak a legerősebben. Júliusról általánosságban elmondható, hogy az egyes részvízgyűjtők csapadék-idősorai a folyók felsőbb szakaszán fekvő szelvény vízállásával korrelálnak erősebben. Ebben a hónapban a legerősebb korrelációs együttható a vásárosnaményi szelvényre adódott, míg a leggyengébbet Szegedre kaptuk. Mind a két dunai szelvénynél elmondható, hogy a vízállás és a csapadék között májusban és augusztusban erősebb a korreláció, mint júniusban és júliusban. Vásárosnamény és Szeged esetében ilyen határozott kijelentést már nem lehet tenni, ugyanis itt a felhasznált adatbázisok miatt is vannak különbségek. Az azonban egyértelműen látszik, hogy mindkét tiszai szelvény esetében a vízállás és a csapadék korrelációja a CarpatClim adatbázis használatánál erősebb. Vásárosnaménynál az E-OBS adatbázis esetén a júliusi, a CarpatClim adatbázis esetén a májusi, Szegednél pedig mindkét adatbázis esetén a júliusi korreláció volt a legerősebb.

4.2.3. A vízállás és az 5 napos csapadékösszeg kapcsolata

A dolgozat elkészítése során felmerülő kérdések miatt a csapadék és a vízállás kapcsolatának vizsgálata kapcsán elkészítettük a 4.2.1. és 4.2.2. fejezetben már említett vizsgálatokat 5 napos csapadékösszegeket alkalmazva napi összegek helyett. Mind a teljes időszakra, mind júliusra 0-10 napos késleltetést alkalmaztunk. Összehasonlítva a csapadék idősorok napi és 5 napos összegeinek felhasználásával kapott eredményeket, láthatjuk, hogy a korrelációs együtthatók nagysága egyértelműen nőtt az 5 napos csapadékösszeg alkalmazásának köszönhetően, ami azt jelenti, hogy az adott részvízgyűjtőn 5 nap alatt lehullott csapadék szorosabb kapcsolatban van a folyók vízállásával, mint az 1 nap alatt hullott.

Budapest esetében a korrelációs együtthatók minden egyes részvízgyűjtő esetén nőttek 5 napos csapadékösszegek esetén, az 14. ábrán azonban az is látszik, hogy mindkét módszert alkalmazva nagyon hasonló maradt a részvízgyűjtők sorrendje, ami az együtthatók nagyságát illeti. A diagramokat összehasonlítva jól látszik, hogy az 5 napos csapadékösszeg idősort használva kisebb késleltetés szükséges a legnagyobb együttható eléréséhez.

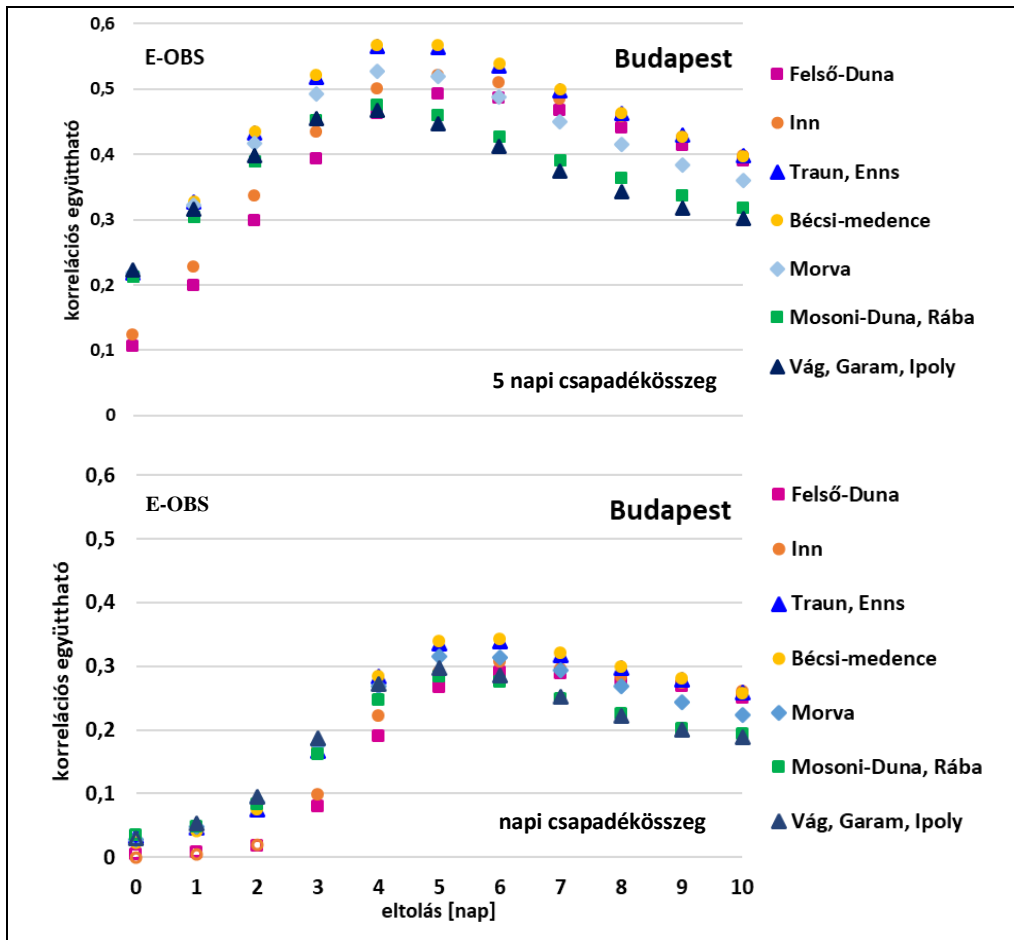


14. ábra budapesti szelvényen, 1950 és 2017 között mért vízállás- és 5 napos csapadékösszeg idősorok korrelációja a csapadékadatok 0-10 napos eltolásával. Az üres szimbólumok a t-próba alapján 95%-os szinten nem szignifikáns együtthatókat jelölik. (adatok: KHA, E-OBS)

Míg a napi csapadékösszegek esetén jobbra 6-7, addig az 5 napos csapadékösszegeket használva jellemzően 4-5 napos eltolás kellett ahhoz, hogy a legszorosabb kapcsolatot kapjuk eredményül.

A budapesti szelvényhez hasonlóan a többi vizsgált szelvényen is hasonló változások következtek be a korrelációs együtthatók értékeit illetően az eltérő módszer alkalmazásának köszönhetően, így terjedelmi okok miatt az ezekre a szelvényekre vonatkozó F.4. ábra a függelékbe került.

Ami a júliusra kapott eredményeket illeti, szintén a korrelációs értékek növekedésével járt az 5 napos csapadékösszeg alkalmazása. Ahogyan a teljes időszakra vonatkozó vizsgálatok esetén is láthattuk, a vízállás és a csapadék közötti kapcsolatot kifejező korrelációs együtthatók e vizsgálat esetén is hasonlóan változtak az egyes részvízgyűjtőkön, így általában mindkét csapadékidősört alkalmazva ugyanazok a részvízgyűjtők mutatták a legszorosabb és a leggyengébb kapcsolatot. A budapesti szelvényre kapott eredményeket az 15. ábra szemlélteti.



15. ábra A budapesti szelvényen, 1950 és 2017 közötti időszakban, júliusban mért vízállás- és 5 napos csapadékösszeg idősorok korrelációja a csapadékadatok 0-10 napos eltolásával. Az üres szimbólumok a t-próba alapján 95%-os szinten nem szignifikáns együtthatókat jelölik. (adatok: KHA, E-OBS)

Ennél a szelvénynél hosszabb időszakok csapadékösszegeit alkalmazva a korrelációs együtthatók, már rögtön, 0 napos eltolással is szignifikánsnak mutatkoztak. Az együtthatók értékének növekedésén kívül az is hasonlóságot mutat a teljes időszakon végzett vizsgálattal, hogy ebben az esetben is kisebb késleltetésre volt szükség a legnagyobb együttható eléréséhez, mint a napi csapadékösszegek esetében. Az eltolás mértékének csökkenése itt is 1-2 nap volt. Továbbá az is látszik, hogy az egyes részvízgyűjtőkre kapott korrelációs együtthatók értékei nagyobb szórást mutatnak a napi csapadékösszegek alkalmazása esetén. Hasonló változásokat figyeltünk meg a mohácsi szelvény esetén is, itt is hamarabb lettek szignifikánsak a korrelációs együtthatók, mint ahogy azt Budapest esetén is láthattuk. Eltérően a napi csapadékösszegeket alkalmazó vizsgálattól, az 5 napos csapadékösszegek esetén mind a teljes időszakra, mind július hónapra igaz, hogy jobban elválik az 1. és a 2. részvízgyűjtő a többitől. Ez a két részvízgyűjtő kisebb késleltetés esetén jóval kisebb együtthatókat produkál, mint a többi részvízgyűjtő, aminek a szelvénytől vett nagyobb távolság az oka. Vásárosnamény és Szeged esetében is

ezekhez hasonló eltéréseket figyeltünk meg a kapott eredmények között, ám a szegedi eredmények annyi eltérést mutattak, hogy itt 5 napos csapadékösszegekkel számolva nem 1-2 nappal kisebb késleltetésre volt szükség, hanem ennél jóval kevesebbre, ugyanis így 10 nap helyett már 6 nap is elegendőnek bizonyult. Terjedelmi okokból a júliusra, a többi szelvényre kapott eredményeket bemutató F.5. ábra szintén a függelékbe került.

Összességében tehát arra a következtetésre jutottunk, hogy a vízállás és a csapadék közötti kapcsolat vizsgálata során nagyobb korrelációs együtthatókat, tehát szorosabb kapcsolatot találunk abban az esetben, ha a napi csapadékösszegek helyett az 5 napra összegzett csapadékkal végezzük a számításainkat. Mindemellett az is igaz, hogy az így előállított adatsor felhasználásával a szelvényeken a legtöbb részvízgyűjtőn átlagosan 1-2 nappal kisebb késleltetésre volt szükség a legjobb kapcsolat elérése érdekében. Azt is megfigyeltük továbbá, hogy 5 napos csapadékösszegekkel számolva a korrelációs együtthatók szórása nő, tehát nagyobb lesz a különbség közöttük, azonban az is igaz, hogy a változás mértéke hasonló, így abban nem történt változás, hogy mely részvízgyűjtők korrelálnak legerősebben, illetve leggyengébben az adott szelvény vízállásával. A teljes időszak vizsgálatánál még azt is elmondhatjuk, hogy a napi csapadékadatokkal számolva nem különül el annyira a két legészakibb részvízgyűjtő a többitől, mint az 5 napos csapadékösszegek esetén.

4.3. A kiválasztott árvizek bemutatása

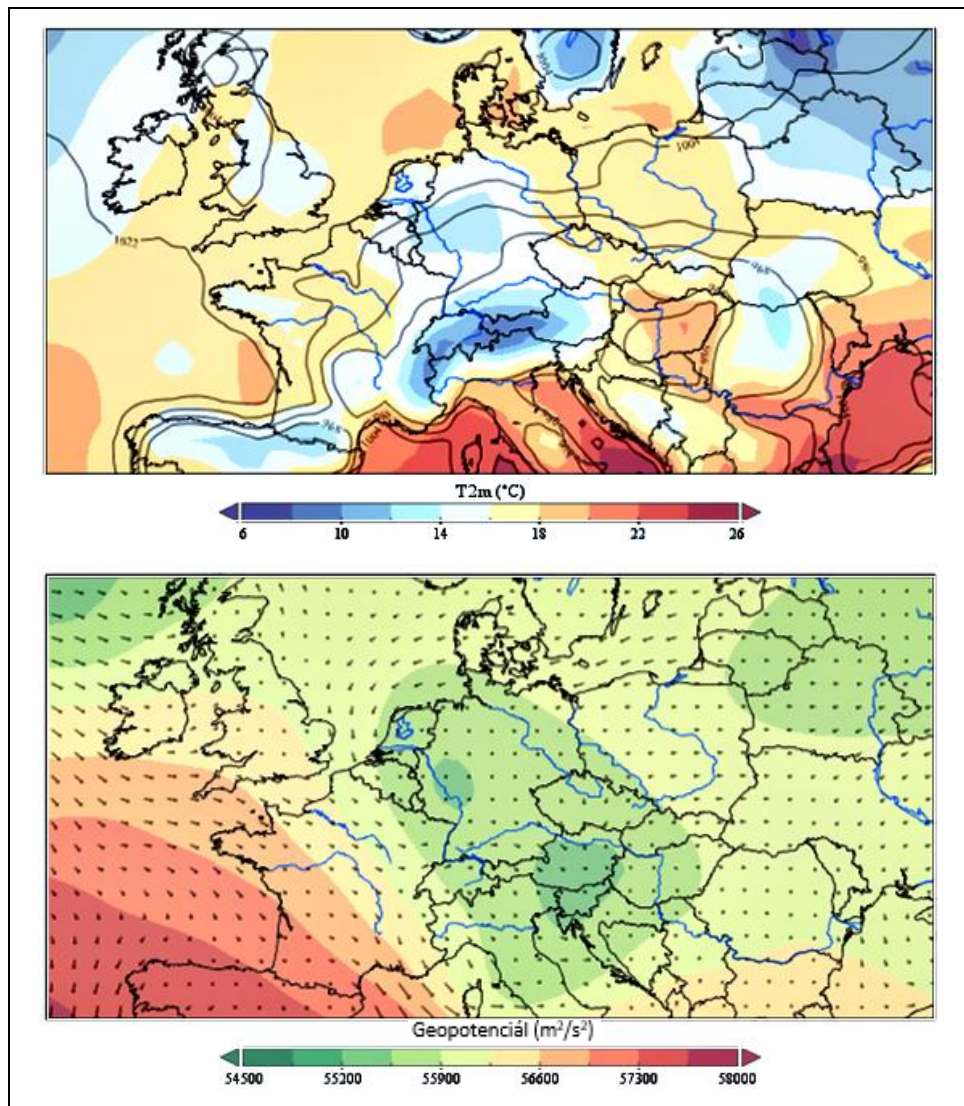
A folyók vízjárását az árhullámok alakítják. A vízjárás jellegét főként a vízgyűjtő domborzata, nagysága, a lefolyást befolyásoló más felszíni tulajdonságok, illetve a csapadékviszonyok határozzák meg. A vízjárásnak több típusa lehet (Gombos, 2011). Ilyen a heves vízjárás, ekkor a csapadékhullást követően a vízállás hirtelen emelkedik, majd a tetőzést követően az apadás is nagyon gyorsan megy végbe. Nyugodt vízjárás esetén az emelkedés és az árhullám levonulása is hosszabb ideig tart. Ebbe a típusba inkább a nagyobb vízgyűjtőjű folyók tartoznak. A harmadik típus a vegyes vízjárás: a heves és a nyugodt vízjárás kombinálódik. A forrásvidékhez közeli, valamint az olyan vízmércéknél, amelyek a vízgyűjtő magasabban fekvő területein fekszenek, a csapadékhullás után hamar megindul a folyók vízszintjének gyors emelkedése, majd a tetőpont elérése után csökkenni kezd. Ebből következik, hogy az említett területeken a vízszintek magasságát nagymértékben meghatározza a lehullott csapadék mennyisége, időbeli eloszlása [29 – www.hydroinfo.hu]. A kialakuló árhullám nagyságát és időtartamát nagymértékben meghatározza a lehulló csapadék térbeli eloszlása, illetve térfogata (Lucza és munkatársai, 2014).

A dolgozat elkészítése során mind a négy vizsgált szelvényre leválogattuk a vízállás-idősorokból az árvizes időszakokat. Ennek eredményeként azt kaptuk, hogy 1950 és 2017 között a budapesti szelvényen 35, a mohácsin 57, a vásárosnaményin 38, a szegedin pedig 41 árvíz vonult le. Közöttük hét olyan árvizet találtunk, ami mind a két vizsgált folyón egyszerre jelentkezett, ezekből kettő is elemzésre kerül a dolgozatban.

Az árvizes időszakok közül kiválasztottunk négy, 2000 után jelentkező árvizet. Ebben a fejezetben bemutatjuk ezeknek az árvizeknek az időjárás-előzményét, valamint az árvizek levonulásának folyamatát. A bemutatásra kerülő árvizes időszakok időrendi sorrendben a következők: 2002. augusztus 4. – szeptember 4., 2006. március 22 – május 28., 2010. május 15. – július 25., illetve 2013. május 27. – június 27. Ezek közül a 2006-ban és a 2010-ben fellépő árvizek mind a Dunán, mind a Tiszán jelentkeztek. A kiválasztott árvizek között van olyan is, amit rövid idő alatt a vízgyűjtőn lehullott intenzív csapadék okozott (2002, 2010, 2013), illetve olyan is, ami a Duna vízgyűjtőin kialakult enyhe időjárásnak, így a hegyvidéki területeken felhalmozódott hó olvadásának következtében alakult ki (2006). Annak érdekében, hogy jobban tudjuk szemléltetni az árvizek folyószakasszal való változását, azoknál az árvizeknél, amelyek a vizsgált folyók közül csak az egyikén jelentkeztek, az eredetileg vizsgált szelvényeknél több szelvény vízállás-idősorát is ábrázoljuk.

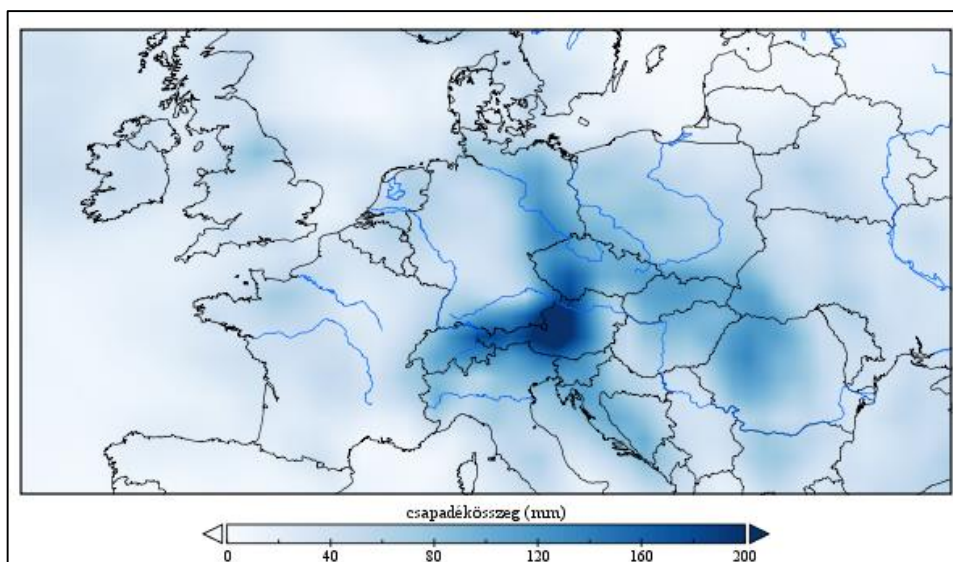
4.3.1. A 2002 augusztusában jelentkező árhullám időjárási feltételei, levonulása

A 2002 augusztusát megelőző hónapokban a Duna felső szakaszán nem voltak gyakoriak a heves és hosszan tartó csapadéktevékenységek; az árhullámot nem előzte meg hosszan tartó csapadéktevékenység. A Dunán ekkor még alacsony vízállásokat mértek, Budapestnél például nem érte el a 2 m-t. Augusztus első felében a Duna bajor, valamint az osztrák vízgyűjtőjén kétszer is nagy mennyiségű csapadék hullott. Ennek következtében a lehullott csapadék mennyisége Németországtól Ausztriáig meghaladta a havi átlagot, Németországban új 24 órás rekord is született (*Ulbrich és munkatársai, 2002*). Az egyik ilyen esemény augusztus 6. és 8. (16. ábra), a másik pedig 11. és 13. között (lásd Függelék, F.6. ábra) jelentkezett.



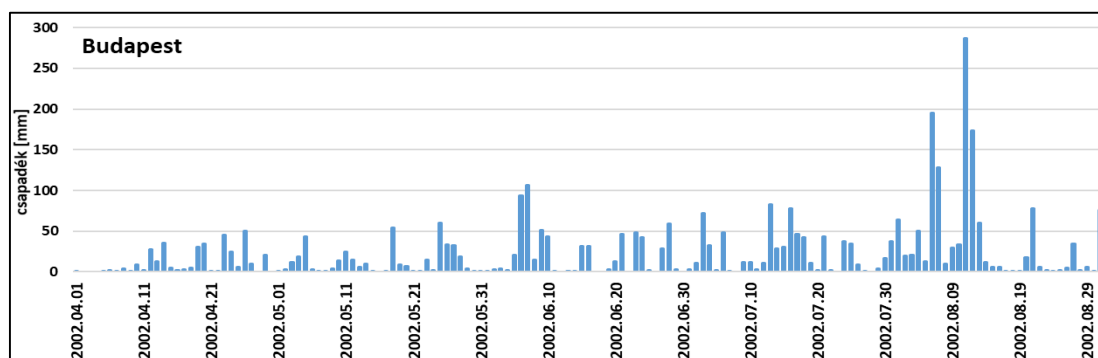
16. ábra. A 2 m magasságban mért hőmérséklet ($^{\circ}C$) és a tengerszintre átszámított felszíni légnyomás (hPa) izovonalai (fent), valamint az 500 hPa-os geopotenciál (m^2/s^2), illetve a 10 m magasságban mért u és v szélkomponensekből számított rácsponti eredő szél vektorai (lent) 2002. augusztus 7. 00 UTC időpontban (adatok: ECMWF ERA-Interim, térkép-készítés: Panoply Data Viewer)

Augusztus 6-án napközben Észak-Olaszország térségében alakult ki egy sekély peremhullám, ami kelet felé helyeződött. A 14. ábra az áthelyeződés utáni állapotot mutatja. Jól jelzi a légtömeg nagy nedvességtartalmát, hogy a kihullható vízmennyiség értéke fővárosunknál 35 mm körüli volt, 8-án délig az Alpok keleti részén pedig meghaladta a 30 mm-t, Bajorországban több állomáson is 100 mm-nél nagyobb értékeket mértek (*Ulbrich és munkatársai, 2002*). 8-án hajnalban a frontrendszer már a Duna-Tisza közén húzódott, ekkor a Duna felsőbb szakaszain már nem a fronthoz kapcsolódott a csapadékhullás, hanem azt több nem frontális hatás váltotta ki. A frontrendszer augusztus 7. és 8. között Borsod-Abaúj-Zemplén megyében okozott nagy esőzéseket, ez pedig az itteni kisebb vízfolyások hirtelen áradását idézte elő (*Homokiné Újváry, 2002*). A lehullott csapadék nagy mennyiségének szemléltetése érdekében készítettük el a 17. ábrán látható csapadékösszeg-térképet. A térképről leolvasható, hogy a legtöbb csapadék a Duna vízgyűjtőjének ausztriai szakaszán hullott, de jól látszik a Borsod-Abaúj-Zemplén megyében hullott nagyobb csapadék is.



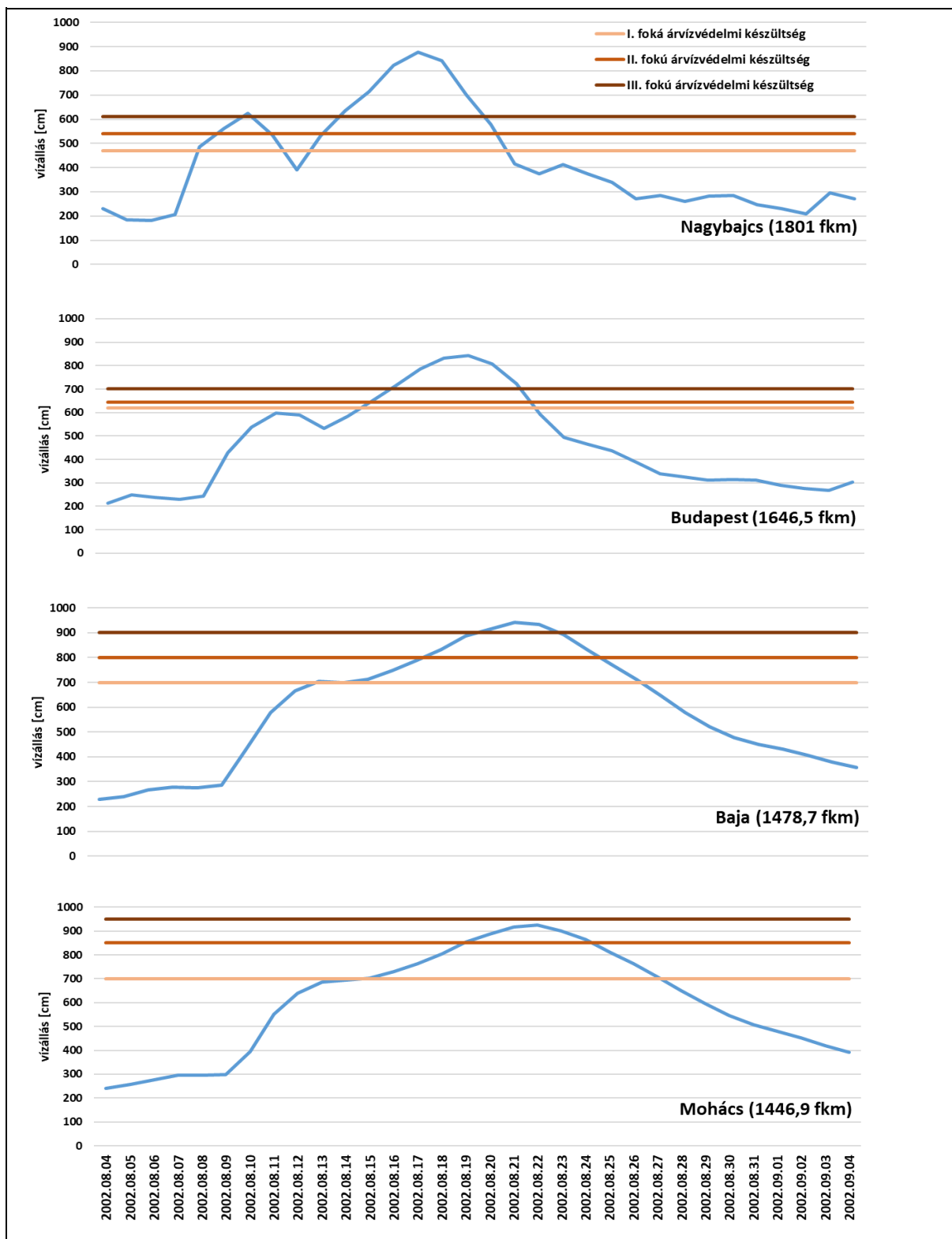
17. ábra. 14 napos csapadékösszeg a 2002. augusztus 1. és 14. közötti időszakban (adatok: ECMWF ERA-Interim, térkép-készítés: Panoply Data Viewer)

A másik ilyen jelenség egy délről északra tartó ciklon volt (lásd Függetlenség, F.6. ábra). Az Alpokat augusztus 11-én érte el a ciklon csapadéksávja, ami csak 13-án hagyta el a térséget. 12-én a német, lengyel területek feletti légtömeg kihullható vízmennyisége meghaladta a 40 mm-t. Összességében elmondható (18. ábra), hogy augusztus 11. és 13. között több csapadék hullott, mint 6. és 8. között (*Homokiné Újváry, 2002*).



18. ábra. A Duna Budapest feletti vízgyűjtőjén hullott csapadék napi összege 2002.04.01. és 2002.08.31. között (adatok: E-OBS)

A lehullott csapadék hatására a Duna vízszintje gyors emelkedésbe kezdett. A Medve településen található szelvényen például augusztus 6-án még 157 cm-es vízállást mértek, a két nappal későbbi mérés szerint a folyó vízállása már 494 cm volt. Ahogy az a 19. ábrán is látszik, a budapesti szelvényen ez a hirtelen emelkedés egy nappal később, 9-én következett be. Ekkor az előző napi vízálláshoz képest 186 cm-t emelkedett a Duna vízállása. Nagybajcsnál szintén 8-án következett be a hirtelen vízszintemelkedés, ami elég is volt ahhoz, hogy a folyó vízszintje meghaladja az I. fokú árvízvédelmi készültséget (ami ezen a szelvényen 470 cm), ugyanis a Duna vízállása augusztus 8-án Nagybajcsnál 487 cm volt. Mindeközben Budapestnél is folytatódott a Duna vízszintjének emelkedése, és augusztus 12-én következett be a tetőzés 589 cm-es vízállással, ami még nem haladta meg az I. fokú árvízvédelmi készültség szintjét. Baján a vízszint gyors emelkedése 10-én jelentkezett, az első tetőzést pedig 13-án észlelték, amikor a vízállás 3 cm-rel haladta meg a szelvényen kijelölt I. fokú riasztás magasságát. Mohácsnál a felsőbb szakaszon elhelyezkedő szelvényekhez képest lassúbb vízszintemelkedés következett be. Ezen a szelvényen a 11-ei héten nem is volt tetőzés. Eközben Nagybajcsnál az augusztus 11. és 13. között lehullott csapadék miatt újra emelkedni kezdett a Duna vízszintje. A vízállás 13-án már át is lépte az I. fokú árvízvédelmi készültség küszöbértékét, 14-én pedig már a III. fokút is meghaladta. Budapesten ekkor folytatódott a vízszint emelkedése, rögtön el is érte az I. fokú árvízvédelmi készültség küszöbértékét, 15-én pedig már 714 cm volt. Ezzel a vízállás meghaladta a II. fokú árvízvédelmi készültség szintjét is, valamint 70 cm-rel volt magasabb az alsó rakpartnál.



19. ábra. A Duna vízálása a négy kiválasztott szelvényen 2002.08.04. és 2002.09.04. között; az egyes szelvényekre vonatkozó I., II. és III. fokú árvízvédelmi készültség magassága külön bejelölve (adatok: KHA)

Baján 15-én folytatódott a vízszint emelkedése, az I. fokú készültségi szintet rögtön meg is haladta, a II. fokút viszont már lassabban, három nappal később lépte túl. Mohácson szintén 15-én érte el a vízállás az I. fokú árvízkezülség szintjét, a II. fokút viszont még Bajához képest is lassabban, 19-én haladta meg. Eközben 17-én Nagybajcsnál 876 cm-es magassággal már tetőzött a vízállás. Budapestnél 18-án haladta meg a vízállás a III. fokú riasztási szintet, 19-én pedig már tetőzött is. Bajánál 20-án érte el a Duna vízállása a III. fokú árvízvédelmi készültség értékét. Mohácsnál a vízállás ezt a magasságot már nem érte el. A bajai és a mohácsi szelvénynél egy nap eltéréssel, 21-én és 22-én rendre 942 cm-es, illetve 924 cm-es vízállással tetőzött a folyó.

A 19. ábrán az is jól látszik, hogy a folyamkilométerek csökkenésével a vízállásgörbék egyre szélesebbé és laposabbá válnak, ugyanis az alsóbb szakaszokon már elnyújtottabban jelentkeznek az árhullámok. Ebből következik, hogy az apadás folyamata is a folyón lefelé haladva lassul.

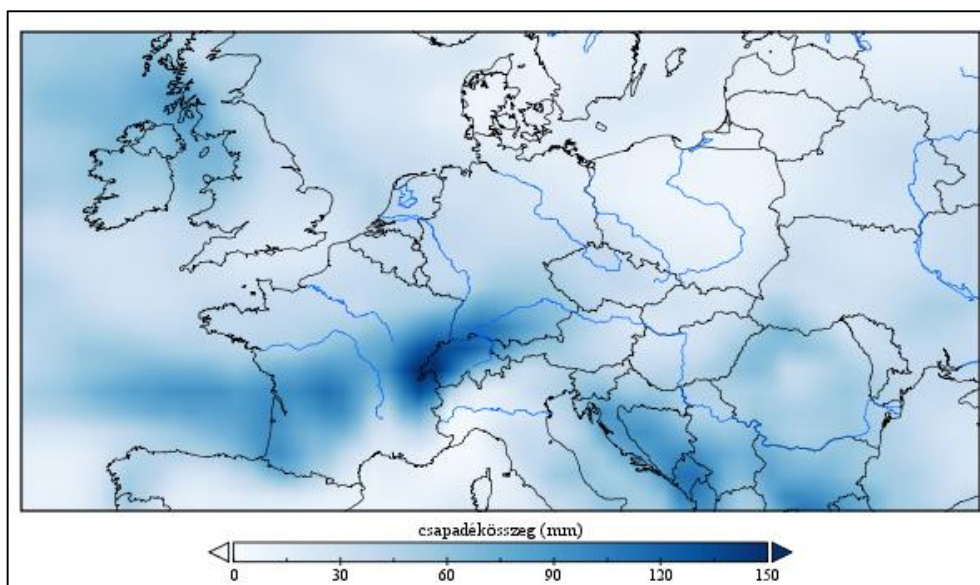
A 2002-es árvíz az érintett területek közül Németországban okozta a legkisebb károkat a megfelelő árvízvédelmi rendszernek köszönhetően. Ausztria már nem volt ilyen szerencsés. Itt több mint 10 000 lakóépület megsérült, sok helyen megsemmisült az infrastruktúra. Az árvíz Csehországban mintegy 20 községet érintett, súlyos károkat okozva a mezőgazdaságban, a városi infrastruktúrában. Szlovákiában az árvíz főként Közép-Szlovákiát és a Pozsony körüli területeket sújtotta. 144 települést és 8 678 hektárnyi földterületet árasztott el a folyó. Magyarországon Visegrád környékén több települést is érintett az árvíz: 2 000 embert kellett kitelepíteni otthonából, 4 370 lakóépületben keletkezett kár. Romániában is nagy pusztítást okozott az árvíz. Suceava megyében a hirtelen árvíz 11 halálos áldozatot követelt, 1 624 házat árasztott el, megsemmisített 1 000 km úthálózatot és 567 hidat rombolt le. A gáz- és az elektromos hálózat szintén súlyosan megsérült [30 – <https://www.icpdr.org/>].

4.3.2. A 2006-os árvízet kiváltó események, az árvíz levonulása

2005 decemberében a csapadék nagymennyiségű hófelhalmozódást okozott a környező hegyekben, a december végi esőzések pedig hazánkban az Alföldön kiterjedt belvizeket okoztak. Január 2-án a hóban tárolt vízkészlet mennyisége a Dunán a Nagymaros feletti vízgyűjtő területen már meghaladta a korábban mért legmagasabb értéket, a Tiszán a Szeged feletti vízgyűjtőn pedig már megközelítette azt [31– <http://owww.met.hu>]. A január 1–2. között megfigyelt mediterrán ciklonból szintén nagy mennyiségű csapadék hullott, a hónap végére a már említett vízgyűjtőkön a hóban tárolt vízkészlet mennyisége tovább növekedett, jelentősen meghaladva az elmúlt öt évben ilyenkor mért mennyiségeket (Szlávik, 2006). Februárban

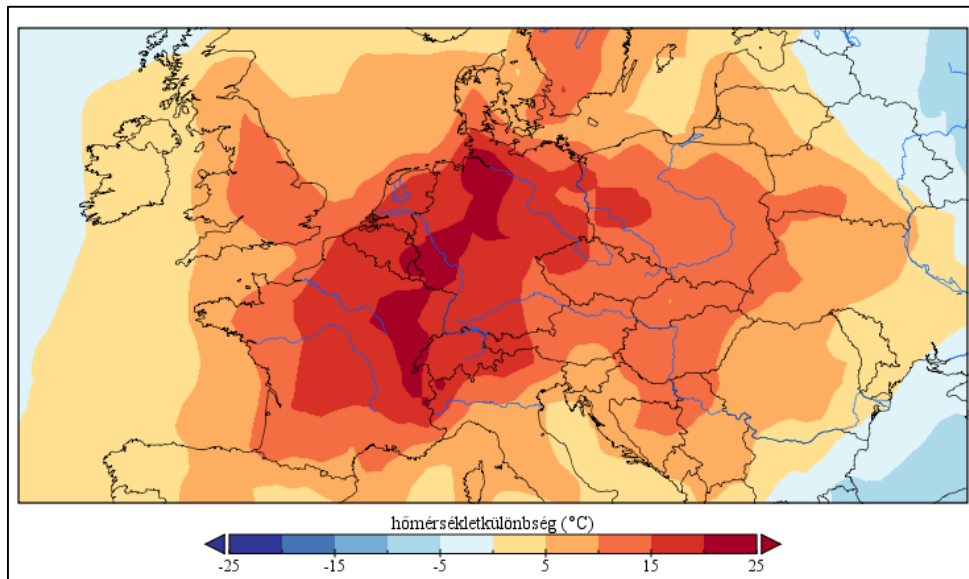
házámban a megszokottnál több csapadék hullott, de a vízgyűjtőkön is többször csapadékos volt az időjárás. A hónap második felében a Nyugat-Európa fölött lévő többközpontú ciklon hatására létrejött nyugati, délnyugati irányú áramlással több hullámban enyhébb nedves levegő érkezett, ennek hatására a hókészlet csökkent.

Márciusban az Alpokban és a Kárpátokban tizenkét olyan csapadékos nap volt, amikor a csapadék területi átlagban meghaladta a 10 mm-t. Például március 4-én és 5-én a Tisza felső szakaszán területi átlagban 37 mm, valamint 22 mm csapadékot detektáltak, míg március 8. és 11. között a Duna felső szakaszán területi átlagban 10–20 mm csapadék hullott. Az ebben az időszakban lehullott csapadékösszeget a 20. ábra szemlélteti, amely a 2006. március 1. és 14. közötti időszakban hullott csapadék összértékét mutatja.



20. ábra. 14 napos csapadékösszeg 2006. március 1. és 14. közötti időszakban (adatok: ECMWF ERA-Interim, térkép-készítés: Panoply Data Viewer)

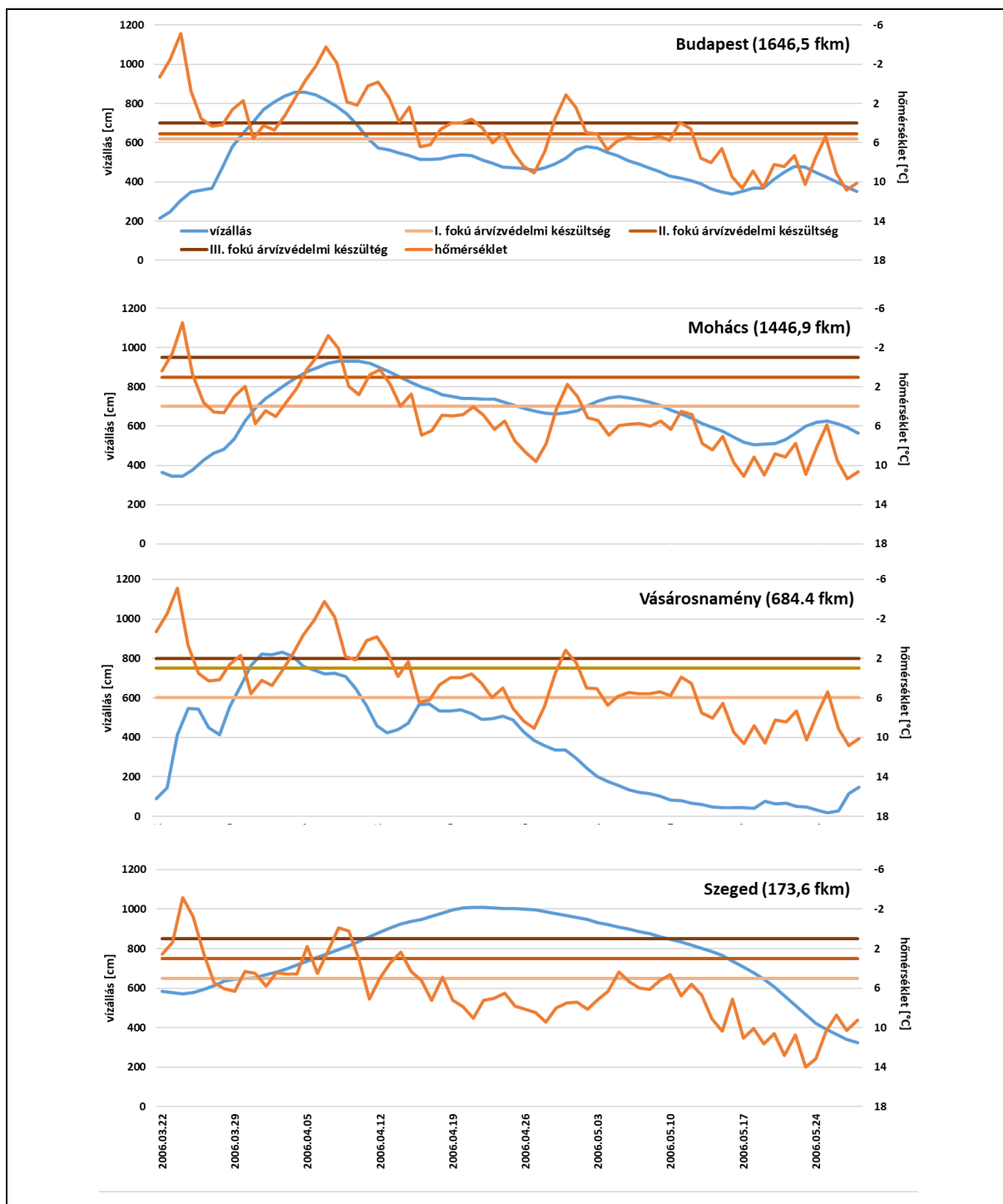
A 21. ábra azt mutatja, hogy a hónap utolsó harmadában ismét emelkedett a hőmérséklet, így a 0 °C izoterma magassága 1500 m, időnként 2500 m fölé emelkedett. Ennek következtében nagymértékben csökkent a magasabb területek hókészlete (Szlávik, 2006).



21. ábra. A március végi melegedés mértéke: 2 m-es hőmérsékletmezők különbsége 2006. március 13. 00 UTC és március 27. 00 UTC között. (adatok: ECMWF ERA-Interim, térkép-készítés: Panoply Data Viewer)

Mivel a február közepén jelentkező melegedés és csapadék, valamint a március eleji esőzések miatt már eleve magasabb volt a Duna és a Tisza vízállása, a március végi nagy mennyiségű csapadék és a hőmérséklet intenzív emelkedése gyors vízszintemelkedést okozott [31 – <http://owww.met.hu>].

Május végén bekövetkezett a Duna és a Tisza áradása. Igen ritka, hogy e két folyón az áradások ilyen tartósan egyszerre jelentkezzenek. Mindkét vizsgált folyón a felsőbb szelvényeken emelkedett gyorsabban a vízállás (22. ábra). Budapestnél és Vásárosnaménynál is március 30-án lépte át a vízállás az I. fokú, 31-én a II. fokú árvízvédelmi készülség szintjét. Eközben az alsóbb szakaszokon is folytatódott az emelkedés. 31-én Szegeden, 1-jén Mohácson haladta meg az I. fokú készülségi szintet a Tisza, illetve a Duna. Ekkor Vásárosnaménynál, másnap pedig már Budapestnél is meghaladta a vízállás a III. fokú készülségi szintet. A 22. ábrán bemutatott alsóbb szakaszon elhelyezkedő szelvényeken a Dunán 5-én, a Tiszán pedig 6-án haladta meg a vízszint a II. fokú árvízvédelmi készülség szintjét. Budapestnél éppen ekkor tetőzött a Duna vízállása 856 cm-rel, Vásárosnaménynál a Tisza pedig 2 nappal korábban, 3-án 833 cm-es magassággal.



22. ábra. A Duna vízállása (kékkel) a négy kiválasztott szelvényen és a területi átlagos minimum hőmérséklet (pirossal) a szelvényhez tartozó vízgyűjtőn 2006.03.22. és 2006.05.28 között; az egyes szelvényekre vonatkozó I., II. és III. fokú árvízvédelmi készütség magassága külön jelölve (adatok: KHA)

Ezen a két vizsgált szelvényeken az apadás is gyors volt. Április 11-ére a vízállás már egyiken sem haladta meg a készütségi szinteket. Lejjebb, Szegednél viszont ekkor érte el a III. fokú árvízvédelmi készütség szintjét. A Dunán Mohácsnál a tetőzési szint csak a II. fokú készütségi szintet haladta meg, a III. fokút nem érte el. Vásárosnaménynál a vízállás április 14. után ismét

emelkedni kezdett, 17-én újabb tetőzés következett be 570 cm-es magassággal – ami 30 cm-rel alacsonyabb, mint az I. fokú árvízvédelmi készültség szintje.

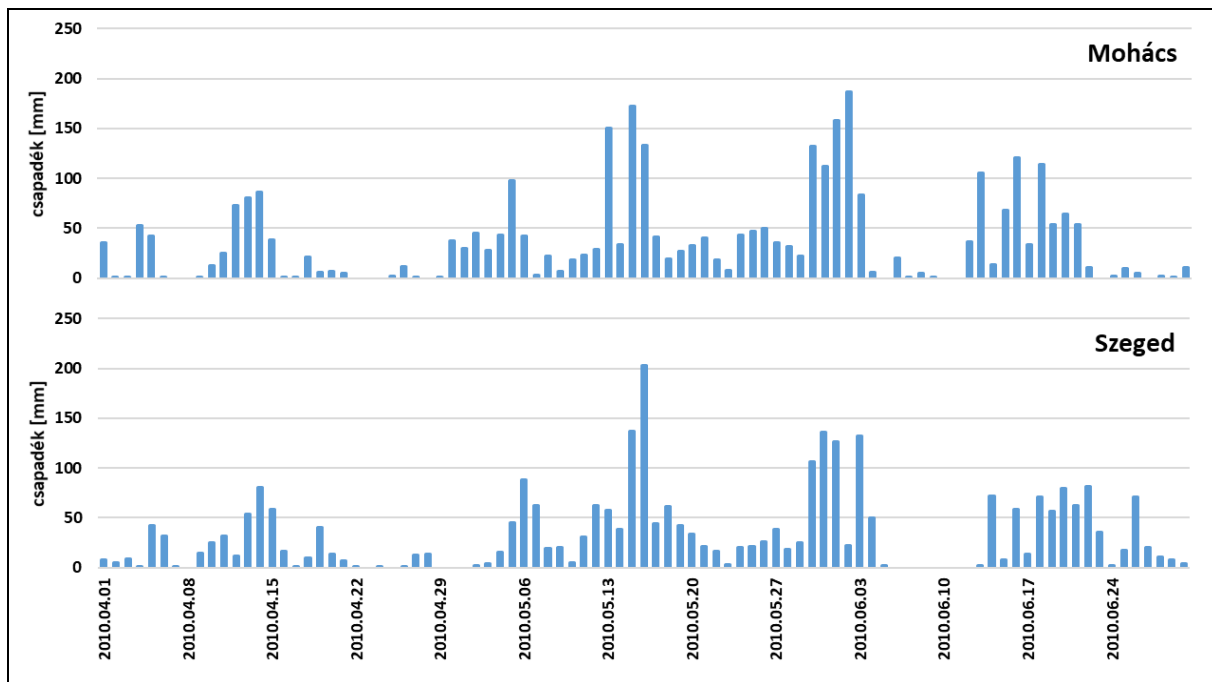
A Tisza a szegedi szelvényénél 1009 cm-rel április 21-én tetőzött, majd lassan apadni kezdett. A Dunán az apadás egyik bemutatott szelvényen sem volt folyamatos. Mindkét szelvényen vízszintemelkedést figyeltek meg április végén, június elején, ám ekkor már csak Mohácsnál érte el a Duna vízállása az I. fokú készültségi szintet. Különleges jelenség, hogy a Dunán a nagymarosi és a mohácsi szelvényen mért maximális vízhozamok értéke csupán 8%-os eltérést mutatott, ami azt jelenti, hogy az árhullám ellapulása minimális volt (*Vágás*, 2006).

A Duna Németországban főként Kelheim és Regensburg környékén lépett ki a medréből. A kiválóan működő árvízvédelmi rendszernek köszönhetően nem volt jelentős árvíz, így nagyobb károk sem keletkeztek, kitelepítésre sem volt szükség. Ausztriában az árvíz miatt 3 gát szakadt át, az országban több útszakasz megsérült, megsemmisült, 460 lakóház rongálódott meg súlyosan. Csehországban a Duna egyik nagy mellékfolyójának (Morva) áradása során 3 ember vesztette életét. Hazánkban az árvíz 267 települést, 200 890 lakost fenyegetett, végül csak az alacsonyabban fekvő területekről – Pest megyéből 268, Budapestről 67, a Tisza vízgyűjtőjéről pedig 2 365 embert – kellett kitelepíteni. Az árvíz során 385 ingatlanban keletkezett kár, ezek mindegyike árterületen fekszik. Romániában igen jelentős károk keletkeztek. Az árvíz következtében 618 lakóépület megsemmisült, 2 598 megsérült, 487 híd pedig megrongálódott [32 – <https://www.icpdr.org/>].

4.3.3. A 2010-es árvizet kiváltó szinoptikus skálájú ciklonok, az árvíz levonulása

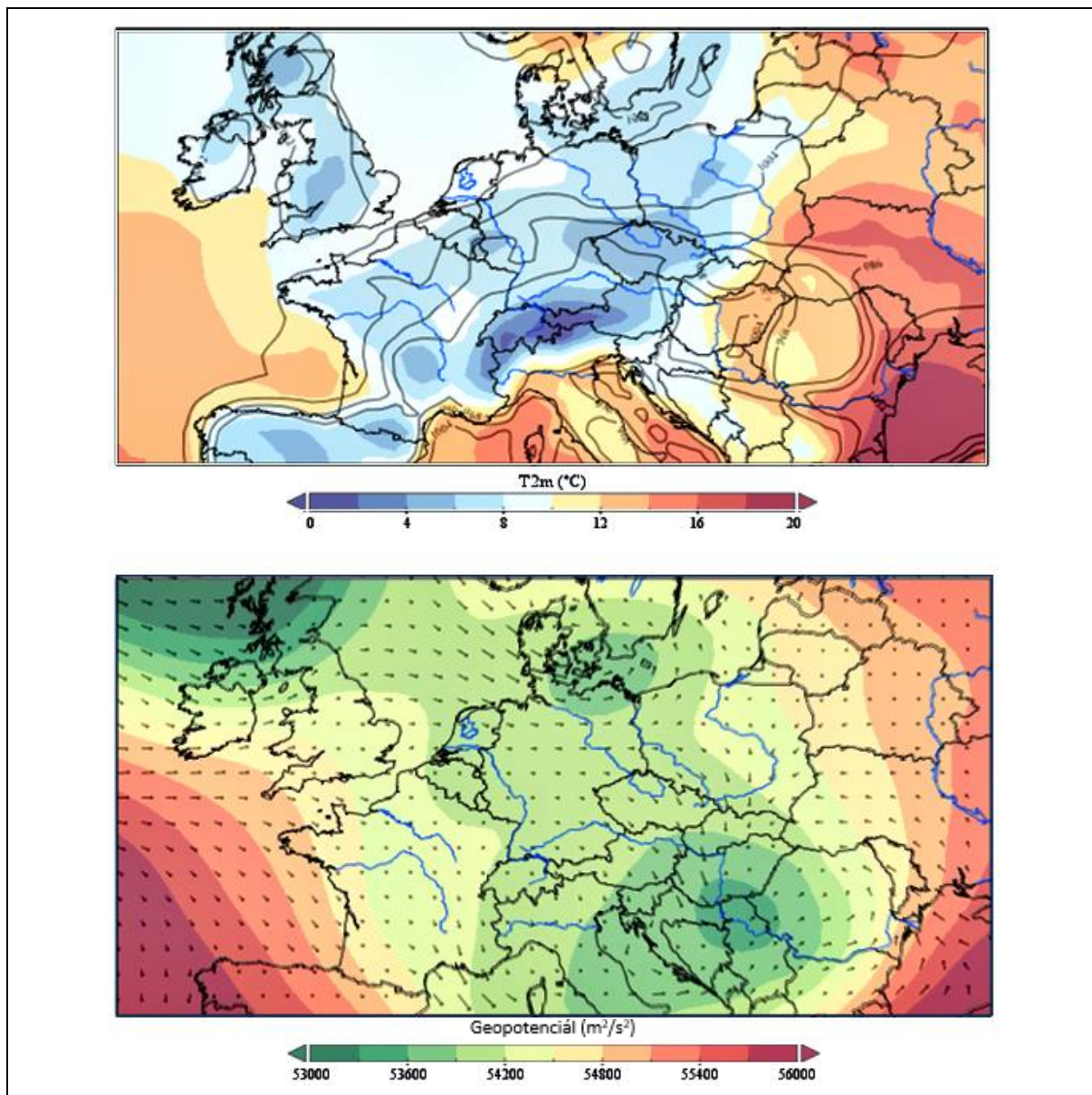
2010 májusában és júniusában országos átlagban több csapadék hullott, mint a mérések kezdete óta bármikor. A csapadékos időszakok a 23. ábrán is jól látszanak.

2010. május 15-18. időszakban egy lassan mozgó mediterrán ciklon alakította Magyarországot, illetve a Kárpát-medence időjárását. A „Zsófia” nevű ciklont nagy mennyiségű csapadék, valamint viharos szél kísérte. A rendkívül gyorsan kialakuló mediterrán ciklon középpontja 14-én éjjélkor Olaszország felett húzódott, 12 órával később pedig már az Adriai-tenger felett volt [33 – <http://owwww.met.hu>].



23. ábra. A Duna Mohács feletti, illetve a Tisza Szeged feletti vízgyűjtőjén hullott csapadék napi összege 2010.04.01. és 2010.06.30. között (adatok: E-OBS)

Május 15. éjjelre a ciklon középpontja Magyarország fölé került, tovább mélyült, ám az áthelyeződése lelassult. A ciklon nagy mennyiségű nedvességet hozott a Földközi-tenger medencéjéből. A középpontban a potenciális kihullható vízmennyiség értéke a 25 mm-t is meghaladta, ami a májusi átlagnál több (Újváry, 2010). 15-én zivatar ugyan alig fordult elő az országban, a csapadék intenzitása azonban nagyon erős volt. Május 16-án a ciklon középpontja továbbra is hazánk felett, a Duna-Tisza köze felett helyezkedett el, ez jól látható a 24. ábrán is. Az Északi-középhegységben, a Dunántúli-középhegységben és a Mecsekben az országos átlagot jóval meghaladó csapadékmennyiségeket detektáltak, ugyanis itt a szinoptikus léptékű folyamatok mellett az orográfia hatása is érvényesült [33 – <http://owwww.met.hu>]. Az északkeleti országrészben, a Hernád és a Sajó vízgyűjtőjén a ciklon megérkezése előtti időszakban – május 5-én és 6-án egy, a Kárpát-medence fölött örvénylő ciklonból – is voltak már heves esőzések, így a mediterrán ciklonból lehulló 100 mm-nél is nagyobb mennyiségű csapadék áradásokat okozott a két vízfolyáson. Az ezt követő napok esői a folyók vízszintjét magasan tartották, a Bodrog esetében folyamatos lassú áradáshoz vezettek. A Zsófia ciklonból hulló csapadék előbb hazai területen, majd a határon túli vízgyűjtőkön is újra árhullámokat okozott, ennek következtében intenzív áradás következett be például a Bódván is (Farkas, 2013).

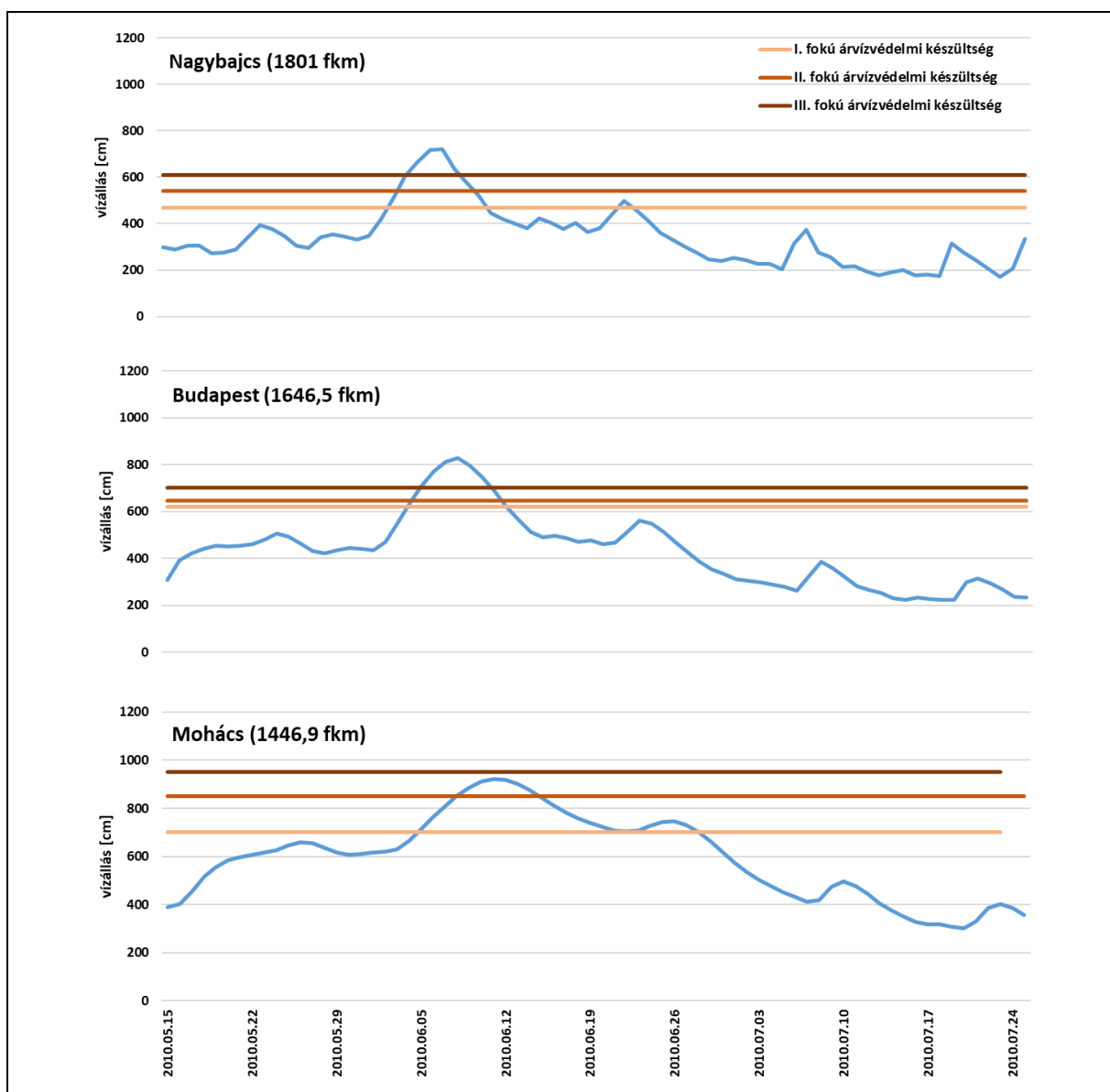


24. ábra. A 2 m magasságban mért hőmérséklet (°C) és a tengerszintre átszámított felszíni légnyomás (hPa) izovonalai (fent), valamint az 500 hPa-os geopotenciál (m^2/s^2), illetve a 10 m magasságban mért u és v szélkomponensekből számított rácsponti eredő szél vektorai (lent) 2010. május 16. 00 UTC időpontban (adatok: ECMWF ERA-Interim, térkép-készítés: Panoply Data Viewer)

Május 18. és 29. közötti időszakban hazánk időjárását sekély ciklonális mezőben magas nedvességtartalmú, labilis légtömeg alakította. A konvergens zónák mentén intenzív esőzések alakultak ki, amelyek villámárvizeket okoztak. 2010. május 31. és június 4. között egy újabb ciklon érkezett hazánk fölé, ami szintén nagy mennyiségű csapadékot hozott. Ezt a ciklont a Függlékben lévő F.10. ábra mutatja be. Kialakulása a klasszikus módon történt. Május 30-án a ciklon frontrendszerén egy peremhullám alakult ki, amely hazánk fölött tovább mélyült, önálló ciklonná fejlődött. Május 31-ről június 1-re virradóan a Dél-Dunántúlon, illetve a Sajó, Hernád, Zagyva és a Tisza-völgy vízgyűjtőkön területi átlagban 20–24 mm csapadék is hullott.

Június 1-jén területi átlagban 20 mm csapadék hullott, azonban ez az érték a Vág, Garam, Sajó és Hernád vízgyűjtőin meghaladta a 36–45 mm-t is. Másnap a Duna bajor, illetve osztrák vízgyűjtőin hullott nagyobb mennyiségű csapadék (Újváry, 2010). Június 3-án a ciklon újból megerősödött, folyamatos esők kíséretében végighaladt hazánkon. A legtöbb csapadék ismét Borsodban esett. A ciklon 4-én, az esti órákban hagyta el Magyarországot [34 – <http://owww.met.hu>].

A május második felében érkező nagymennyiségű csapadék (23. ábra) eltérő mértékben ugyan, de mind a Duna, mind a Tisza vízállását megnövelte. A 25. és a 26. ábra grafikonjait összehasonlítva látható, hogy a Dunán enyhébb vízszintemelkedés következett be, mint a Tiszán.

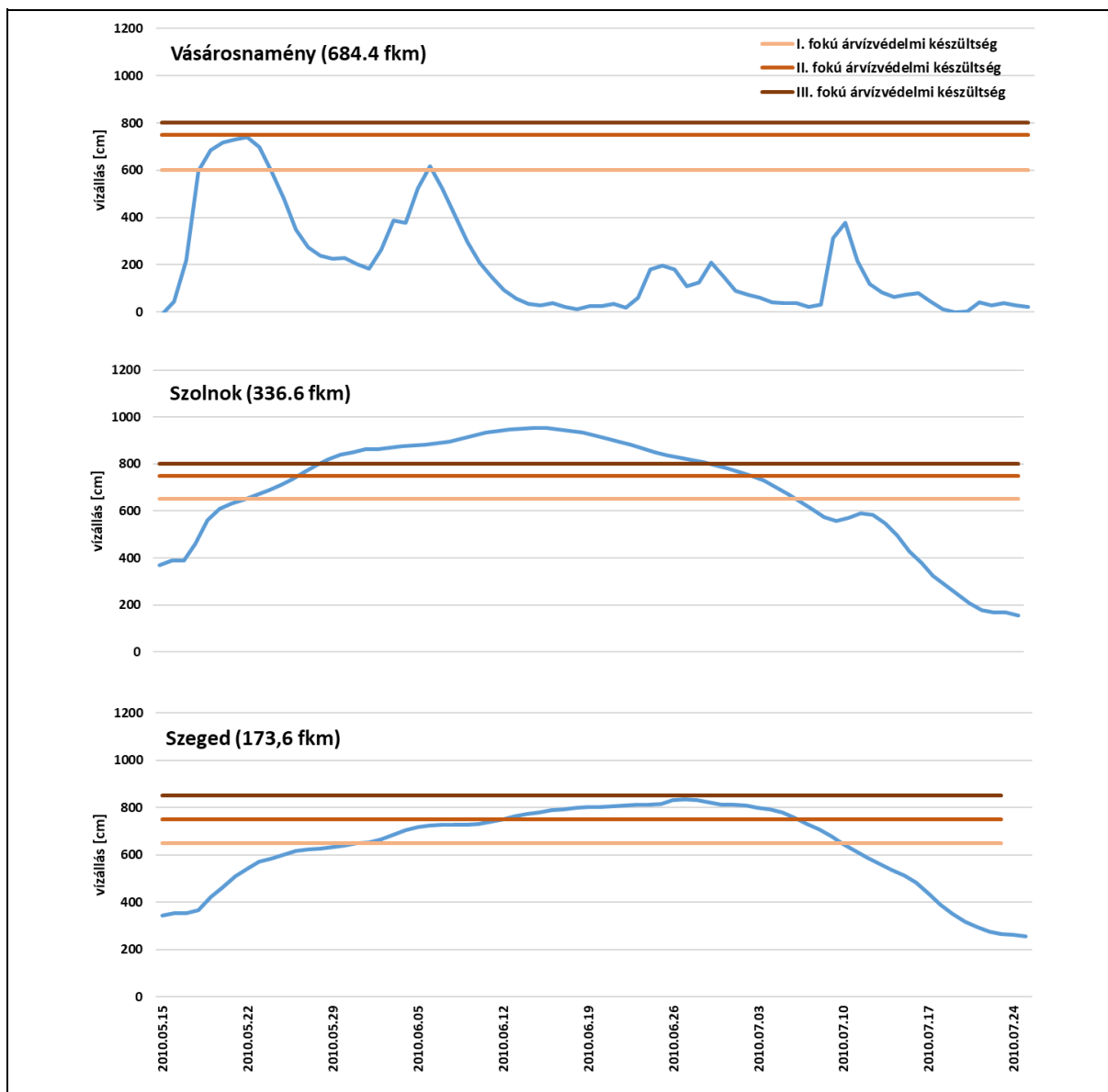


25. ábra. A Duna vízállása a három kiválasztott szelvényen 2010.05.15. és 2010.07.25 között; az egyes szelvényekre vonatkozó I., II. és III. fokú árvízvédelmi készültség magassága külön-külön jelölve (adatok: KHA)

A május 15–18. között hullott csapadékhoz kapcsolódó emelkedés Nagybajcsnál 23-án, Budapestnél 24-én, Mohácsnál pedig 26-án tetőzött. A vízszint ekkor még csak Mohácsnál közelítette meg az I. fokú árvízvédelmi szintet, ám itt is 41 cm-rel alatta maradt, ezután a dunai szelvényeken apadás következett be. A Tiszán a vízállás emelkedése intenzívebb volt. Vásárosnaménynál már 15-én megkezdődött a gyors növekedése, ekkor ugyanis még csak – 12 cm volt a vízszint, majd három nappal később már elérte az I. fokú árvízvédelmi készülség szintjét (600 cm). Szolnoknál ezen a napon kezdődött meg a Tisza vízszintjének felgyorsult emelkedése, ám itt nem olyan hirtelen történt az emelkedés, mint Vásárosnamény esetében. A vízállás Szolnoknál 22-én érte el az I. fokú készülségi szintet, 27-én a II. fokút, és 29-én a III. fokút. A tiszai szelvények közül Szegednél emelkedett a leglassabban a vízszint, itt nem is volt elég a felvízi vízgyűjtőn május 15. és 18. között lehullott csapadék ahhoz, hogy a vízállás meghaladja a készülségi szintet. Eközben a Duna vízállása a folyón lefelé haladva egyre lassabban ugyan, de csökkent.

A második, május 31. és június 4. között hazánk fölé érő ciklonból származó csapadék hatására ismét emelkedni kezdett a Duna vízállása is. Nagybajcsnál és Budapesten ez a folyamat június 1-én vette kezdetét, 3-án a nagybajcsi, 4-én a budapesti, 5-én pedig már a mohácsi szelvényen is elérte a vízállás az I. fokú árvízvédelmi készülség szintjét. Ezalatt a Tisza vízszintje Vásárosnaménynál újra növekedni kezdett, Szolnoknál és Szegednél pedig folyamatos volt az emelkedés. Június 1-jén a vízállás a szegedi szelvényen is elérte az I. fokú árvízvédelmi készülség értékét. A Dunán a nagybajcsi, budapesti és mohácsi szelvényeken rendre 4-én, 5-én és 8-án haladta meg a vízállás a II. fokú, majd mindenhol a rákövetkező napokon a III. fokú árvízvédelmi készülség értékét. 7-én megtörtént Nagybajcsnál, 8-án Budapestnél, 11-én pedig Mohácsnál a Duna tetőzése, majd másnap minden szelvényen megkezdődött az apadás. A folyón lefelé haladva az apadás egyre inkább lelassult, ezt mutatja a 25. ábrán a vízállásgörbék szélesedése is.

A Tiszán Vásárosnaménynál a második árhullám kisebb volt, mint az első. A vízállás június 6-án tetőzött 618 cm-re, ami 18 cm-rel magasabb, mint az I. fokú árvízvédelmi készülségi szint. A másik két tiszai szelvényen a tetőzés jóval később, Szolnoknál 15-én, Szegednél pedig 21-én következett be. Vásárosnaménynál gyorsan, míg a szolnoki és a szegedi szelvényen sokkal lassabban ment végbe a folyamat, Szolnoknál július 6-án, Szegednél július 9-én csökkent a Tisza vízállása az I. fokú készülségi szint alá.



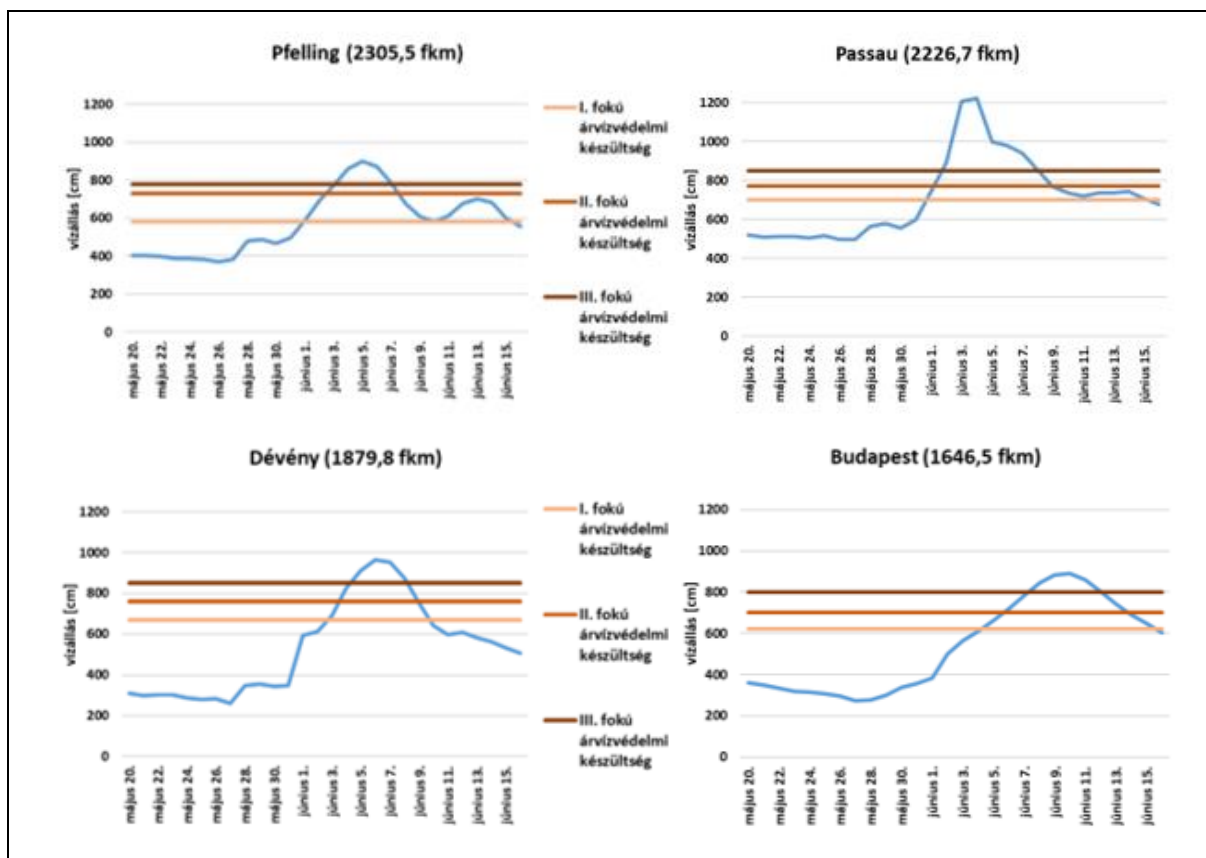
26. ábra. A Tisza vízállása a kiválasztott három szelvényen 2010.05.15. és 2010.07.25 között; az egyes szelvényekre vonatkozó I., II. és III. fokú árvízvédelmi készütség magassága külön-külön is jelölve (adatok: KHA)

Csehországban az árvíz következtében 164 embert kellett kimenteni, 472-t evakuálni, 3 fő pedig sajnos életét vesztette. Szlovákiában jóval többeket érintett az árvíz: 7 729 embernek kellett elhagynia otthonát. A halálos áldozatok száma 2 fő volt. Összesen 34 221 épület (ebből 27 521 lakóépület) semmisült meg az árvíz következtében. Az árvíz súlyosságát jól mutatja az elöntött területek kiterjedése is. Szlovákiában 3 240 hektár erdő, 6 680 hektár városi terület és 87 370 hektár mezőgazdasági terület került víz alá. Ez összesen több mint 97 000 hektár. Ezenfelül megsemmisült 733 híd és 600 km útszakasz is. Június elején hazánkban 18 669 fő segítette az árvízi védekezést, ebből 9 985 szakember, 2 960 katona és 5 724 civil. A védekezés ellenére, az árvíz következtében közel 1000 lakóház rongálódott meg súlyosan, vagy semmisült

meg teljesen. Az árvíz nálunk sem kímélte az utakat és a vasútvonalakat. Az M1-es autópályát pár napra el is öntötte, a Bécs-Budapest vasútvonalat szerencsére csak veszélyeztette az árvíz. Romániában az áradás következtében több mint 3 936 lakóépület sérült meg, ebből 863 meg is semmisült. A pusztítás mértékét jelzi, hogy az árvíz 110 000 hektár termőföldet öntött el, megrongált 87 iskolát, 33 templomot, három iskolát és több mint 5 200 km utat [35 – <https://www.icpdr.org/>].

4.3.4. A 2013-as árhullám – a megelőző időszak időjárása és az azt kiváltó időjárási helyzetek

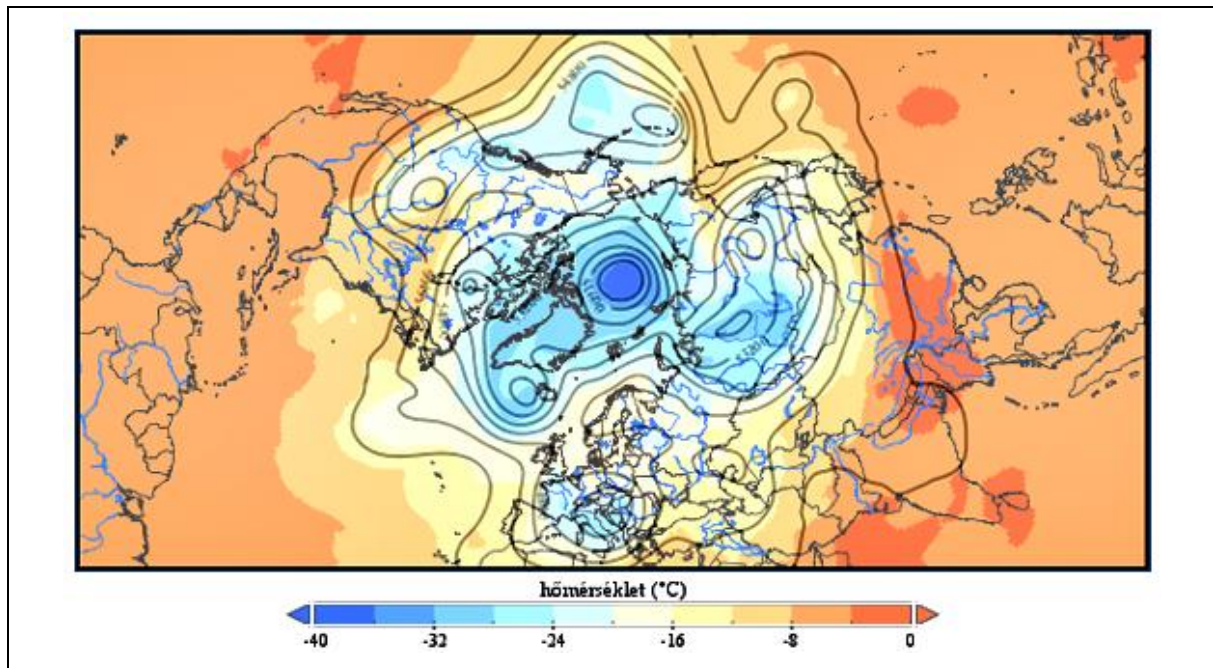
Ugyan a márciusi, áprilisi és májusi időjárás a meteorológusok várakozásánál változatosabban alakult, mindazonáltal a 2013-as árvizet a május 30. és június 3. közötti időszakban lehullott jelentős mennyiségű csapadék okozta. Ezt támasztja alá, hogy május 20. és 29. között a vízállásértékek egyik mércénél sem mutattak jelentős vízszintemelkedést. Ez, illetve a nagy csapadék hatása jól látható a 27. ábrán is.



27. ábra. A 2013.05.20. és 2013.06.16. között detektált vízállások; a bemutatott szelvényekre vonatkozó I., II. és III. fokú árvízvédelmi készültségi szintek külön jelölve (adatok: KHA)

A vizsgált időszakot megelőzően Közép- és Nyugat-Európa felett több hete egy alacsony nyomású, hideg léghullám helyezkedett el. Ebben alakult ki az árvizet okozó ciklon, amelynek

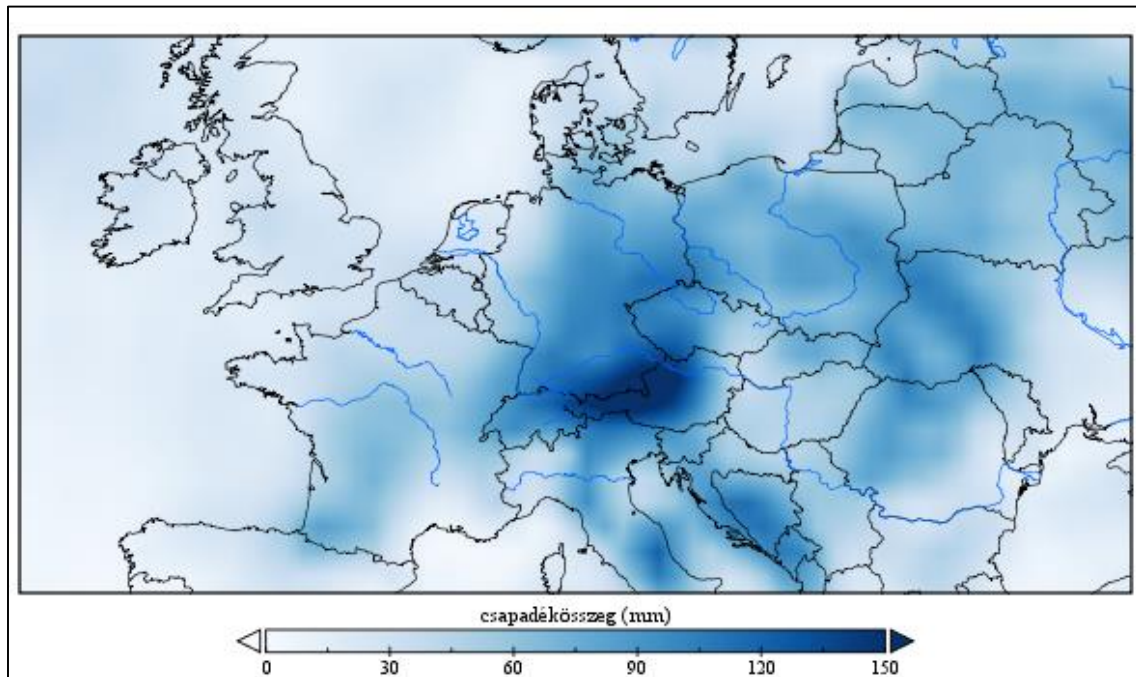
középpontja – ahogyan az a 28. ábrán is látszik – Csehország fölött helyezkedett el. Keleti oldalán – Skandináviában, Oroszországban és a Balti-térségben – a megszokottnál melegebb, nyári, míg a ciklon hátoldalán – francia, német és alpi területeken – szokatlanul hideg időt okozott. A planetáris hullám teknőjében nagy mennyiségű nedvesség halmozódott fel, itt egymást követően több légörvény is kialakult, amelyek nem tudtak elmozdulni. Ennek következtében a hideg- és melegfronti szerkezet helyett nedves szállítószalagokban koncentrált a nedvesség (Horváth és munkatársai, 2013).



28. ábra. Az 500 hPa-os geopotenciálmező (m^2/s^2) izovonalai, valamint az 500 hPa-os hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$) a 2013. május 31. 00 UTC időpontban az északi féltekén (adatok: ECMWF ERA-Interim, térkép-készítés: Panoply Data Viewer)

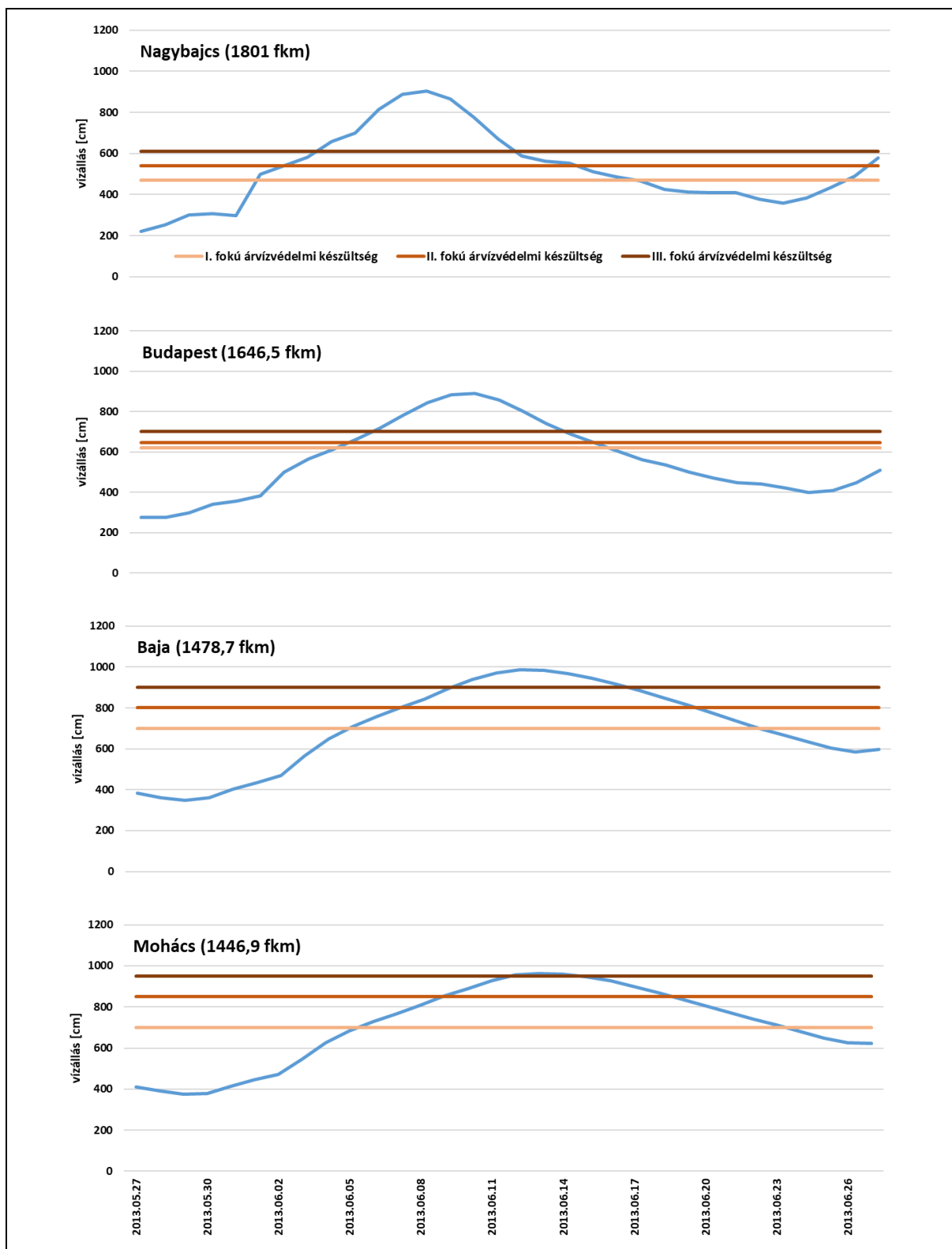
Mikor az Atlanti-óceán felől megerősödő anticiklon deformálta a ciklon nyugati oldalát, valamint a szállítószalagok összetorlódtak a ciklon északnyugati oldalán, és déli irányba fordultak, az Alpok orografikus hatása miatt rendkívül intenzív csapadékhullás következett be, ami május 30-án kezdődött. Ekkor elsősorban Linz és Győr között estig átlagosan 15–20 mm, 30-áról 31-ére az éjszaka folyamán átlagosan 20–25 mm eső hullott, ám ekkor már a csapadék főleg a felső szakaszra koncentrált. A következő 24 órában szintén inkább csak a felső szakaszon hullott nagyobb mennyiségű csapadék. Az árhullám nagy intenzitását az idézte elő, hogy június 1-jéről 2-ára virradóan még hevesebben kezdett esni az eső. Főként Passau és Linz között a területi átlagot tekintve, széles sávban 70 mm fölötti csapadék is hullott, ezt követően 2-án délelőtt tovább folytatódott a csapadéktevékenység az Inn, Isar és Traun vízgyűjtőin (átlagosan 40 mm). Az intenzív csapadékhullás 2-án este ért véget (Horváth és munkatársai, 2013).

A május 30. és június 3. között a Duna vízgyűjtőjén lehullott nagymennyiségű csapadék miatt a Duna vízszintje megemelkedett. A csapadék mennyiségének szemléltetésére szolgál a 29. ábra, amelyik a május 20. és június 3. közötti időszak csapadékösszegét mutatja.



29. ábra. 14 napos csapadékösszeg 2013. május 20. és június 3. közötti időszakban (adatok: ECMWF ERA-Interim, térkép-készítés: Panoply Data Viewer)

A 30. ábra diagramjain követhetők a detektált vízszintváltozások. Az emelkedés Nagybajcsnál július legelejétől megfigyelhető volt. Május 30-ról június 1-re több mint 200 cm-t emelkedett a folyó vízszintje, 1-jén meg is haladta az I. fokú árvízvédelmi készültség küszöbértékét, 2-án már a II. fokút, 4-én pedig már a III. fokút is. A budapesti szelvényénél ez az emelkedés lassabb volt, itt június 5-én haladta meg a vízállás az I. fokú, 6-án a II. fokú, 8-án a III. fokú készültségi szintet. Nagybajcsnál 8-án 903 cm-es vízállással tetőzött a Duna. Eközben a folyó alsóbb szakaszain is emelkedett a vízszint. Baján 5-én, Mohácsnál 6-án haladta meg a vízállás az I. fokú árvízvédelmi küszöbértékét. A II. fokút rendre 7-én, illetve 9-én, a III. fokút pedig 10-én, illetve 12-én. A budapesti szelvényénél 10-én tetőzött a Duna 889 cm-es rekord magasságú vízállással. Baján és Mohácson kicsit később, 12-én és 13-án detektálták a legmagasabb vízállásokat. A Duna ekkor már hazánkban mindenhol apadt. Ez az apadás a folyón lefelé haladva egyre lassabban ment végbe. Június 24-ére pedig már egyik bemutatott szelvényen sem volt árvízvédelmi küszöbérték feletti a vízállás.



30. ábra. A Duna vízálása 2013.05.27. és 2013.06.27. között; az egyes kiválasztott szelvényekre vonatkozó I., II. és III. fokú árvízvédelmi készültség magassága külön-külön is jelölve (adatok: KHA)

A 2013-as árvíz következtében az érintett területeken összesen mintegy 45 000 ember kitelepítése vált szükségessé. A halálesetek száma 25 volt [36 – www.air-worldwide.com]. Először a Duna északi mellékfolyóin jelentkezett árvíz. A leginkább árvíz-sújtotta területek Németországban voltak. Közép-Európában a folyók vízgyűjtőjén hullott nagy mennyiségű csapadék következtében Németország középső és déli részét veszélyeztette leginkább az árvíz. Bajorországban a Duna mentén fekvő települések súlyos károkat szenvedtek. A Berlin, Köln, Frankfurt és Amszterdam közötti vasútvonalakat napokig elárasztotta a Duna. Szlovákiában 150 lakost kellett kitelepíteni. Öten veszítették életüket, 245 fő (ebből 171 gyermek) vesztette el otthonát. Az árvíz közel 2 000 épületet árasztott el, melynek nagyrésze lakóház volt. A 2013-as árvíz előtt a valaha mért legnagyobb vízállást hazánkban a Duna felső szakaszán 2002-ben, a középső szakaszán 2006-ban, az alsó szakaszán pedig 1965-ben mérték. Ezek a „rekordok” – a mohácsi szelvény kivételével – a 2013-as árvíz alkalmával minden szelvényen megdőltek, így a mai napig ehhez az árvízhez köthetők a szelvényeken mért LNV²⁸-értékek. Az árvíz által veszélyeztetett terület nagysága több mint 4 000 km² volt, ami 199 települést és mintegy 2,2 millió lakost érintett. Romániában az árvíz során 336 lakóépület, 822 híd és 2 225 km útszakasz sérült meg, továbbá több mint 16 000 hektár mezőgazdasági területet öntött el az ár [37 – www.icpdr.org].

A dolgozatban bemutatott árvízi események jól szemléltetik, hogy az egyes árvizek mekkora károkat, pusztítást képesek okozni. Emiatt nagyon fontos, hogy az árvizekről elemzések, esettanulmányok készüljenek, amelyek segítik a hidrológiai modellek pontosabbá tételét. Nem meglepő ugyanis, hogy a nagyvizek elleni védekezésben kulcsszerepük van ezeknek a modelleknek, hiszen minél korábban és pontosabban jelezhető előre a közelgő árvíz, annál hatékonyabban készülhetnek fel rá a veszélyeztetett országok.

²⁸ Legnagyobb vízszint

5. Összefoglalás, következtetések

A Duna és a Tisza hazánk két legnagyobb, és így a legfontosabb folyója. Mindkét folyónak rendkívül nagy szerepe van a lakosság ivóvíz-ellátásában, a nagy hajóforgalom lebonyolításában, illetve a gyors sodrású szakaszain – telepített erőművek segítségével – az áramellátásban is. Ennélfogva nagyon fontos, hogy megvizsgáljuk a folyók vízgyűjtőin, részvízgyűjtőin lehullott csapadék, valamint az egyes szelvényeken mért vízállás-változások kapcsolatát, hiszen általuk hatékonyabban tudnánk felkészülni, reagálni az esetlegesen fellépő – a klímaváltozás következtében esetlegesen egyre gyakoribbá váló – extrém vízállásokra. Ilyen például a szélsőségesen alacsony vízállás, illetve az árvíz is, ami nemcsak a lakosság ivóvíz- és áramellátását veszélyeztetheti, hanem lakhelyét, a mezőgazdaság működését is.

A dolgozat elkészítése során három adatbázisból származó idősorokat használtunk fel. A vízállásadatsort az Országos Vízügyi Szolgálat honlapjáról töltöttük le az 1950 és 2017 közötti időszakra két dunai, és két tiszai szelvényre, melyek rendre Budapest és Mohács, illetve Vásárosnamény és Szeged. A csapadék és a hőmérséklet adatsorai pedig két másik adatbázisból származnak. Az egyik adatbázis az E-OBS, amelyiknek a felhasznált változatában $0,25^\circ$ -os felbontással állnak rendelkezésre az adatok az 1950–2017-ig tartó időszakra vonatkozóan. A másik adatbázis, amelyből a számításokhoz szükséges adatok származnak, a CarpatClim; ez az 1961 és 2010 közötti időszakot fedi le $0,1^\circ$ felbontású rácsponti adatsorokkal.

A hőmérséklet- és csapadék-adatsorok letöltése után az általunk készített maszkok segítségével leválasztottuk a számunkra hasznos adatokat az elérhető teljes adatbázisokból. A hibás adatok kiszűrése után szignifikancia-vizsgálatokat hajtottunk végre. Először a Dunán és a Tiszán kiválasztott két-két szelvényen mért vízállás-idősorok egymással való kapcsolatát, majd pedig a vízállás- és csapadék-adatsorok lineáris kapcsolatának szorosságát elemeztük. Az utóbbi esetén a teljes időszakra vonatkozó vizsgálatok alkalmával 0–14 napos késleltetést alkalmaztunk a csapadék-idősoron, illetve ezt a vizsgálatot négy kiemelt hónapon – május, június, július, augusztus – is végrehajtottuk 0–10 napos késleltetést használva. Ezután a vízállás és a csapadék vizsgálatát a napi csapadékösszeg idősorok helyett 5 napos csapadékösszegeket alkalmazva is megvizsgáltuk, ám ezeket a számításokat már csak a teljes időszakra, illetve július hónapra készítettük el. A teljes vízállás-idősorokból leválogattuk az árvizes időszakokat, majd ezek közül kiválasztottunk négyet a közelmúltból, amelyek kapcsán ismertettük az árvizeket kiváltó szinoptikus hátteret, illetve a levonulás menetét.

A dolgozat elkészítése során végzett vizsgálatok alapján a következő megállapításokat tettük:

1. A dunai és a tiszai szelvényeken detektált vízállás-idősorok kapcsolatának vizsgálata során megállapítottuk, hogy a budapesti és a mohácsi szelvény pár adatsorai között szorosabb kapcsolat áll fenn, mint a vásárosnaményi és a szegedi szelvény pár esetében. Budapest–Mohács összefüggésében a szelvények vízállásai között a legnagyobb korrelációs együtthatót a budapesti adatok 2 napos késleltetése esetén kaptuk. Ez a kapcsolat nagyon erősnek bizonyult, ugyanis az együttható értéke 0,97 volt. A tiszai szelvényeknél már gyengébb kapcsolatot találtunk ám ez főleg annak a hatása, hogy több mint kétszer akkora távolságban van egymástól a két vizsgált tiszai szelvény, mint a dunaiak, illetve a Tisza vízgyűjtője sokkal nagyobb mértékben nő a két állomás között, mint a Dunáé az ottani szelvények között. Továbbá fontos kiemelni, hogy e vizsgálat során kapott korrelációs együtthatók szignifikánsnak bizonyultak, ami nem csupán a nagy elemszámnak, hanem az egyes szelvényeken jelentkező vízállások közvetlen kapcsolatának is következménye.

2. A teljes időszakra vonatkozó vízállás- és csapadékadatsorok kapcsolatát vizsgálva ismét minden korrelációs együttható statisztikailag szignifikáns, ám ebben már komolyabb szerepe van a nagy elemszámnak. A kapott korrelációs együtthatók értékei jóval kisebbek, mint a vízállások közöttiek, ám ez – mint már korábban is jeleztük –, nem meglepő, hiszen itt sokkal összetettebb a kapcsolat, mint a víztestek között, ugyanis nagyon sok befolyásoló tényező játszik közre. Ilyen például a beszivárgás és a párolgás is, melyek hatását külön nem vizsgáltuk a dolgozat keretében. A budapesti szelvénynél a csapadék és a vízállás kapcsolata 5 napos késleltetés esetén volt a legerősebb. A legnagyobb korrelációs együtthatót a Traun és Enns folyót felölelő részvízgyűjtőre kaptuk. Mohácsnál a szelvényhez közeli részvízgyűjtők esetén 7, a távolabbiak esetén 8 napos késleltetésre volt szükség a legszorosabb kapcsolat eléréséhez. Ez egybevág a korábbi vizsgálatunkkal, miszerint a Duna vize kb. 2 nap alatt ér Budapesttől Mohácsig. Ezen a szelvényen az 1-es részvízgyűjtőre, a Felső-Dunára kaptuk a legerősebb korrelációt. A tiszai szelvények vízállás-idősorait két adatbázisból származó csapadékidősorral is összevetettük. A vásárosnaményi szelvényen mindkét adatbázisra 2 napos eltolással kaptuk a legnagyobb korrelációs együtthatókat. Nem véletlen, hogy ilyen kicsi késleltetésre van szükség az erős kapcsolat eléréséhez, hiszen a Tisza Vásárosnamény feletti vízgyűjtője csupán 29 057 km². A vízállás a CarpatClim adatbázisból származó csapadékadatokkal mutatott erősebb korrelációt, ami az adatbázis finomabb felbontásának köszönhető. Szegedre is ennél az adatbázisnál kaptunk nagyobb korrelációs együtthatókat, ám ezek a vásárosnaményi értékekhez képest kisebbek voltak. Az északabbra fekvő részvízgyűjtők esetén 9, a délebbiek esetén 7–8 napos késleltetéssel adódott a legszorosabb kapcsolat. Mindkét adatbázis esetén a 16-os részvízgyűjtőre, ami a Szamost, a Krasznát és a Túrta öleli fel, kaptuk a legnagyobb

együtthatókat. Összességében tehát megállapíthatjuk, hogy mind a négy szelvény esetében hasonlóan alakultak a korrelációs együtthatók értékei. A maximális érték elérése után, a lecsengés során pedig egyre nagyobb szórást mutattak. A legtöbb szelvény esetében – Vásárosnamény kivételével – 7–9 napos eltolásra volt szükség a legközvetlenebb kapcsolat eléréséhez.

3. A csapadékosabb hónapok vizsgálata során (május, június, július augusztus) már nem minden korrelációs együttható bizonyult szignifikánsnak. Ebben valószínűleg közrejátszott, hogy jóval kisebb volt az elemszám. Július hónapban a budapesti szelvényen a legnagyobb korrelációs együttható eléréséhez 1 nappal hosszabb eltolásra – tehát 6 napra – volt szükség, mint a teljes időszak esetében. A vízállásértékek a 4-es részvízgyűjtőn, a Bécsi-medencében hullott csapadékkal mutatták a legszorosabb kapcsolatot. Májusban szintén 6, míg júniusban és augusztusban 5 napos késleltetéssel kaptuk a legnagyobb együtthatókat. Azt is megállapítottuk, hogy a korrelációs együtthatók értéke májusban és júniusban jóval kisebb volt, mint júliusban és augusztusban. Mohácsnál – a teljes időszakhoz hasonlóan – júliusban is 2 nappal hosszabb (8 napos) késleltetésre volt szükség, mint Budapestnél. Ezen a szelvényen a vízállás a 3-as részvízgyűjtő (Traun, Enns) csapadék-idősorával korrelált a legerősebben. Júliushoz hasonlóan júniusban is 8 napos eltolás volt szükséges. Ez az érték májusban 7, augusztusban pedig 9 nap volt. A legnagyobb korrelációs együtthatót júliusra és augusztusra kaptuk. A tiszai szelvényekre a teljes időszakhoz hasonlóan a kiválasztott hónapokban is mindkét adatbázisban szereplő csapadék-idősorral elvégeztük a vizsgálatokat. A vásárosnaményi szelvényen a két adatbázisra kapott korrelációs együtthatók értékei között nem volt nagy eltérés. Mind a négy kiválasztott hónapban 3 napos késleltetés esetén kaptuk a legszorosabb kapcsolatot. Mindegyikben a 15-ös részvízgyűjtőre, a Felső-Tiszára adódott a legnagyobb korrelációs együttható. Az E-OBS adatbázis csapadékadatai júliusban, a CarpatClim-ben szereplő csapadék pedig májusban korrelált a legerősebben a vásárosnaményi vízállás-értékekkel. Szeged esetében júliusban volt szükség a legkisebb késleltetésre, ami 8 napnak adódott. A másik három hónapban 10 napra volt szükség. A két adatbázis között ezen a szelvényen sem volt számottevő különbség. Mindkét adatbázis szerint a májusi vízállás és csapadék kapcsolata a leggyengébb, míg júniusban a legerősebb. A szegedi vízállásértékek a 16-os részvízgyűjtőn (Szamos, Túr, Kraszna) lehullott csapadékkal korrelálnak a legerősebben. Ebben a hónapban a legerősebb korrelációs együttható a vásárosnaményi szelvényre adódott, míg a leggyengébbet Szegedre kaptuk.

Összegzésként elmondható, hogy a korreláció a két dunai szelvényenél a vízállás- és a csapadék-idősorok között májusban és augusztusban erősebb, míg júniusban és júliusban gyengébb. Mindkét tiszai szelvény esetében a vízállás és a csapadék korrelációja a CarpatClim adatbázis

esetén erősebb. Vásárosnaménynál az E-OBS adatbázis alkalmazásával a júliusi, a CarpatClim adatbázis esetén a májusi, Szegednél pedig mindkét adatbázist használva a júliusi korreláció volt a legerősebb.

4. Az 5 napos csapadékösszeg idősorral a teljes időszakra, illetve júliusra végzett vizsgálatok során szorosabb kapcsolatot találtunk a vízállás- és csapadék-idősorok között, ami azt jelenti, hogy szorosabb összefüggés áll fenn a vízállás és az 5 napos csapadékösszegek között. Fontos kiemelni továbbá, hogy ekkor a szelvényeken a legtöbb részvízgyűjtőn átlagosan 1-2 nappal kisebb késleltetés adódott a legszorosabb kapcsolatra (ennek oka az időbeli összegzés alkalmazása). Arra is felfigyeltünk, hogy 5 napos csapadékösszegeket használva a korrelációs együtthatók szórása nagyobb lett, tehát nagyobb az eltérés közöttük, ám az is igaz, hogy a változás mértéke hasonló, így abban nem történik változás, hogy mely részvízgyűjtők korrelálnak erősebben, illetve gyengébben az adott szelvényen megfigyelt vízállással.

5. A 2002. év augusztusát megelőző hónapokban a Duna vízgyűjtőjén nem voltak gyakoriak a heves és hosszan tartó csapadéktevékenységek. Augusztus első felében viszont a Duna bajor, illetve osztrák vízgyűjtőjén kétszer is nagy mennyiségű csapadék hullott. Az egyik ilyen esemény augusztus 6. és 8. között volt, a második pedig 11. és 13. között. Augusztus 6-án napközben Észak-Olaszország térségében alakult ki egy sekély peremhullám, ami kelet felé helyeződött. Nemcsak a Duna felső szakaszain hullott sok csapadék; a frontrendszer augusztus 7. és 8. között Borsod-Abaúj-Zemplén megyében is nagy esőzéseket okozott. A második jelenség egy délről északra tartó ciklon volt, amelyik 11-én érte el az Alpokat és 13-áig okozott jelentős esőzéseket. Az ezen események során lehullott csapadék következtében a Duna vize gyorsan emelkedni kezdett. Az árvíz az általunk vizsgált szelvények közül Nagybajcsnál jelentkezett először, augusztus 8-án. Ez egy kisebb árhullám volt. Ezután a második csapadékesemény hatására újabb vízszintemelkedés kezdődött a Dunán. Ekkor a vízállás már a többi szelvényen is jócskán meghaladta az I. és II. fokú készültségi szinteket, csupán a mohácsi szelvényen nem. Nagybajcsnál augusztus 17-én, Budapestnél 19-én, Bajánál 21-én, Mohácsnál pedig 22-én következett be a tetőzés. Ezután minden szelvényen apadás vette kezdetét. Fontos kiemelni, hogy a folyón északról délre haladva egyre szélesednek, laposodnak és kisimultabbak a szelvények vízállásgörbéi, a nagyobb átfolyó víztömeg miatt lassabban mennek végbe a változások. Az árvíz igen nagy károkat okozott az érintett országokban. Ausztriában például több mint 10 000 lakóépület rongálódott meg, Szlovákiában közel 10 hektárnyi mezőgazdasági területet öntött el a víz, Magyarországon 2 000 lakost kellett kitelepíteni, és 4 370 lakóépületben keletkezett kár.

6. A 2006 tavaszán jelentkező árvíz mind a két vizsgált folyónkon megfigyelhető volt. Az árvizet megelőző téli időszakban nagy mennyiségű hó halmozódott fel a környező hegyekben. Március végén a 0 °C izoterma magassága 1500 m, időnként 2500 m fölé emelkedett, a magasabb területeken tárolt hó olvadásnak indult. Május végén bekövetkezett a Duna és a Tisza áradása. Mind a két vizsgált folyón a felsőbb szelvényeken emelkedett gyorsabban a vízállás. Budapestnél és Vásárosnaménynál is március 30-án lépte át a vízállás az I. fokú készültségi szintet. Az általunk vizsgált szelvények közül 2006-ban is csak Mohácsnál nem érte el a vízállás a III. fokú készültségi szintet. Budapestnél április 4-én, Mohácsnál 8-án, Vásárosnaménynál 3-án, Szegednél 21-én tetőzött a folyók vízállása. Ezt követően a szegedi szelvény kivételével gyors apadást láttunk a vízállásgörbéken. Az árvíz által okozott károk ismét igen jelentősek voltak. Csehországban a Morva áradása 3 halálos áldozatot is követelt. Hazánkban – főleg az alacsonyabban fekvő területekről – mintegy 2 700 lakost kellett kitelepíteni, 385 ingatlan rongálódott meg. Romániában nagyobb volt a pusztítás: 618 lakóépület megsemmisült, 2 598 pedig megrongálódott.

7. 2010 májusában és júniusában országos átlagban több csapadék hullott, mint a mérések kezdete óta bármikor. Ezt a rekord mennyiségű csapadékot a Zsófia és Angéla névre keresztelt ciklonok okozták. Mivel az ország északkeleti területein már az első ciklont megelőző időszakban is jelentősebb esőzések voltak, ezen a területen a mediterrán ciklonból érkező csapadék is elegendő volt ahhoz, hogy áradásokat okozzon a térség vízfolyásain. A 2010-es árvíz – a 2006-oshoz hasonlóan – a Dunán és a Tiszán is megfigyelhető volt, ám a Dunán enyhébb vízszintemelkedést dokumentáltak, mint a Tiszán. Az első ciklonból hullott csapadékhöz kapcsolódó emelkedés Nagybajcsnál 23-án, Budapestnél 24-én, Mohácsnál pedig 26-án tetőzött. A Tiszán Vásárosnaménynál ennél korábban, már 15-én megkezdődött a vízállás intenzív növekedése. Az alsóbb tiszai szelvényeken ez csak később következett be. A második ciklonból érkező csapadék hatására ismét emelkedni kezdett a Duna vízállása is. 7-én Nagybajcsnál, 8-án Budapestnél, 11-én pedig Mohácsnál tetőzött a vízállás. Vásárosnaménynál a második árhullám kisebb volt, mint az első. A vízállás június 6-án tetőzött. A másik két tiszai szelvényen ez jóval később, Szolnoknál 15-én, Szegednél pedig 21-én következett csak be. Az árvíz Csehországban három halálos áldozatot követelt, az evakuáltak létszáma 472 fő volt. Szlovákiában ez a szám 7 729 fő, a halálos áldozatoké pedig kettő. Összesen 34 221 épület semmisült meg az árvíz következtében. Az elöntött földterületek nagysága majdnem 100 000 hektár volt. Hazánkban közel 20 000 fő vett részt az árvízi védekezésben, ám ennek ellenére is közel 1000 lakóház sérült meg súlyosan, vagy semmisült meg teljesen.

8. A 2013-as árvíz a május 30. és június 3. közötti időszakban lehullott jelentős mennyiségű csapadék okozta. Ennek következtében a Duna vízszintje megemelkedett. Az emelkedés Nagybajcsnál június legelejétől volt megfigyelhető: a vízállás 1-jén meg is haladta az I. fokú készültségi szintet. Az alsóbb szakaszokon lassabban emelkedett a vízszint. Nagybajcsnál 8-án, budapesti szelvényénél 10-én tetőzött a Duna, Baján és Mohácson kicsit később, rendre 12-én, illetve 13-án. Az árvízet követő apadás a folyón lefelé haladva egyre lassabban ment végbe a nagyobb tehetetlenség miatt. A 2013-as árvíz következtében az érintett területeken összesen mintegy 45 000 ember kitelepítése vált szükségessé. A halálesetek száma 25 volt. Az árvíz által leginkább sújtott területek Németországban voltak. Szlovákiában az árvíz közel 2 000 épületet (nagy része lakóház) árasztott el. A 2013-as árvíz előtt a valaha mért legnagyobb vízállást hazánkban a Duna felső szakaszán 2002-ben, a középső szakaszán 2006-ban, az alsó szakaszán pedig 1965-ben mérték. Ezek – a mohácsi szelvény kivételével – a 2013-as árvíz alkalmával minden szelvényen megdőltek, így a mai napig ehhez az árvízhez köthetők a szelvényeken mért LNV²⁹-értékek. Romániában az árvíz során 336 lakóépület, 822 híd és 2 225 km útszakasz sérült meg, és több mint 16 000 hektár mezőgazdasági területet öntött el az árvíz.

Napjainkra számos kutatás jelzi, hogy a globális klímaváltozás következtében egyre gyakrabban fognak bekövetkezni extrém időjárási események, így az extrém hidrológiai események is (pl.: *Bartholy és munkatársai*, 2016). Gondolhatunk itt hosszantartó csapadékmentes időszakokra, vagy hirtelen lehulló nagymennyiségű csapadéokra is, mindkettő komoly veszélyt hordoz magával. Ezek az események rendkívüli módon megnehezíthetik a hétköznapi életet, hiszen súlyos aszályokhoz vagy éppen árvizekhez vezethetnek. Mindkét esetben nehéz lehet hirtelen reagálni, ebből kifolyólag nagyon fontos a vízállás- és csapadék-idősorok kapcsolatának, összefüggéseinek további vizsgálata, hiszen ennek segítségével fejleszthetők a hidrológiai modellek, amik egyre pontosabb előrejelzést adhatnak számunkra. Az elemzések nem csak rövidtávon nyújthatnak fontos információkat, hanem abban is hasznunkra válhat, hogy az egyes országok, régiók a jövőbeni adottságaiknak megfelelő vízstratégiát tudjanak kialakítani, ami elősegíti a fenntartható vízgazdálkodásukat.

²⁹ LNV – Legnagyobb víz

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni témavezetőmnek, dr. Pongrácz Ritának a dolgozat elkészítése során felhasznált adatok eléréséhez nyújtott segítségét, a lelkiismeretes, türelmes, segítőkész és nem utolsósorban szakértő témavezetését, a kérdéseimre adott haladéktalan válaszadását, építő hozzászólásait, ötleteit és lelkesítését.

Egyúttal köszönöm családomnak és páromnak, hogy a dolgozat megírása alatt végig lelkesítettek, támogattak, és segítettek a munkám végzésében.

Irodalomjegyzék

- Aiguo, D., Taotao, Q., Kevin, E. T., 2009: Changes in Continental Freshwater Discharge from 1948 to 2004. *Journal of Climate*, 22 (10), pp. 2773–2792.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., 2011: A klímaváltozás természetes és antropogén okai. In: Bartholy, J., Bozó, L., Haszpra, L. (szerk.): Klímaváltozás – 2011: Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. Magyar Tudományos Akadémia, Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszéke, Budapest, pp. 13–37.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., 2017: A közelmúlt és a jövő országos éghajlati trendjei. *Erdészeti Lapok*, 152 (5), pp. 134–136.
- Bartholy, J., Barcza, Z., Matyasovszky, I., Mészáros, R., Pongrácz, R., 2011: Regionális modellbecslésekkel előállított éghajlatváltozási forgatókönyvek a Kárpát-medence térségére. Munkabeszámoló. OTKA. (<http://real.mtak.hu/11648/>; utoljára megnyitva: 2019.11.30.)
- Bartholy, J., Pongracz, R., Pieczka, I., Andre, K., 2016: Projection of extreme temperature and precipitation conditions using RegCM experiments. In: International Conference on Regional Climate (ICRC) CORDEX 2016 Conference. Stockholm, Sweden, 2016.05.17 – 2016.05.20.
- Berrisford, P., Dee, D., Fielding, K., Fuentes, M., Kallberg, P., Kobayashi, S. and Uppala, S., 2009: The ERA-Interim Archive. ERA Report Series. 1. Technical Report. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Shinfield Park, Reading. 16p.
- Beven, K., Calver, A., Morris E. M., 1987: The Institute of Hydrology Disturbed Model. 33p. (http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/5977/1/IH_098.pdf, utoljára megnyitva: 2019.11.27.)
- Bihari, Z., Szentimrey, T., 2013: Annex 3 – Description of MASH and MISH algorithms. (<http://www.carpatclim-eu.org/docs/mashmish/mashmish.pdf>, utoljára megnyitva: 2019.11.27.)
- Biondi, D., Luca, D. L., 2013: Performance assessment of a Bayesian Forecasting System (BFS) for real-time flood forecasting. *Journal of Hydrology*, 479, pp. 51–63.
- Bódis, K., 2008: Digitális domborzatmodellek és alkalmazási lehetőségeik az árvízi kockázatkezelésben. Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei. Témavezető: Prof. Dr. Mezősi Gábor. Szegedi Tudományegyetem Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék (http://doktori.bibl.u-szeged.hu/1348/2/bodiskatalin_phd_tezisek.pdf, utoljára megnyitva: 2019.11.17.)
- Bokodi, E., 2017: A Duna és a Tisza hidroklimatológiai jellemzése napi vízállásadatok felhasználásával. BSc szakdolgozat. Témavezető: Pongrácz Rita. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, .67 p.
- Breuer, L., Eckhardt, K., Frede, H-G., 2003: Plant parameter values for models in temperate climates. *Ecological Modelling*, 169, pp. 237–293.
- Chong-Yu, X., 2002: Wasmod – The water and snow balance modeling system. In: Singh, V. P., Frevert, D. K. (Eds.): *Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications*. Uppsala, pp.555-590.
- Cooper, V. A., Nguyen, V. T. V., Nicell, J. A., 2007: Calibration of conceptual rainfall-runoff models using global optimisation methods with hydrologic process-based parameter constraints. *Journal of Hydrology*, 334, pp. 455–466.
- Dévényi, D., Gulyás, D., 1988: Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában. Tankönyvkiadó, Budapest, 443p.
- EEA, 2012: Water resources in Europe in the context of vulnerability. State of water assessment. European Environment Agency, Copenhagen (<https://www.eea.europa.eu/publications/water-resources-and-vulnerability>, utoljára megnyitva: 2019.11.25)
- Farkas, P., 2013: Bódva árvízi vízjárásának hidrológiai elemzése. *Hadmérnök*, 8 (4), pp. 63–83.
- Földi, L., Halász L., 2014: Környezetmérnökök katasztrófavédelmi feladatai. Pannon Egyetem, Veszprém, 89 p. (https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0089_09_katasztrofavedelmifeladatok/ch02s02.html, utoljára megnyitva: 2019.11.22.)
- Gan, T. Y., Dlamini, E. M., Biftu, G. F., 1997: Effects of model complexity and structure, data quality, and objective functions on hydrologic modeling. *Journal of Hydrology*, 192, pp. 81–103.

- Garner, G., Loon, A. F. V., Prudhomme, C., Hannah, D. M., 2015: Hydroclimatology of extreme river flows. *Freshwater Biology*, 60 (12), pp. 2461–2476. (<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/fwb.12667>, utoljára megnyitva: 2019.11.02.)
- Ghorbani, K., Sohrabian, E., Salarijazi, M., Abdolhoseini, M., 2016: Prediction of climate change impact on monthly river discharge trend using IHACRES hydrological model (case study: Galikesh watershed). *Journal of soil and water resources conservation*, 5, pp. 19–34.
- Gombos, B., 2011: Hidrológia – hidraulika. Elektronikus egyetemi jegyzet. Szent István Egyetem, Gödöllő, 181p. (https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019_hidrologia-hidraulika/ch09s02.html, utoljára megnyitva: 2019.11.30.)
- Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G.m Klok, E. J., New, M., 2008: A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *J. Geophys. Res.*, pp. 113, D20119. doi:10.1029/2008JD010201.
- Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H and Kanae, S., 2013: Global flood risk under climate change. *Nature Clim Change* 3, pp. 816–821 (<https://www.natureasia.com/en/nindia/article/10.1038/nindia.2013.79>, utoljára megnyitva: 2019.11.30.)
- Hodgkins, G. A., Dudley, R. W., 2006: Changes in the timing of winter–spring streamflows in eastern North America, 1913–2002. *Geophysical Research Letters*, 33, pp. 1–5. (<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2005GL025593>, utoljára megnyitva: 2019.10.26.)
- Homokiné Újváry, K., 2002: A 2002. évi augusztusi dunai árvíz. *Léggör*, 67 (4), pp. 2–5.
- Homokiné Újvári, K., 2013: Történelmi árvíz a Dunán – 2013 június. OMSZ, Ismerettár (https://www.met.hu/ismerettar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=747&hir=Tortenelmi_arviz_a_Dunan_-_2013._junius, utoljára megnyitva: 2019.11.28.)
- Horváth Á., Nagy A., Simon A., 2013: A 2013-as dunai árvíz időjárásai háttere. OMSZ, Ismerettár (https://www.met.hu/ismerettar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=709&hir=A_2013._juniusi_dunai_arviz_idojarasi_hattere, utoljára megnyitva: 2019.11.28.)
- ICPDR, 2015: The 2015 Droughts in the Danube River Basin. (Eds.: Major Z., Krstajic J., Fürt R., Majerovic T.) 20p. (https://www.icpdr.org/flowpaper/app/services/view.php?doc=icpdr_report_on_2015_droughts_in_the_danube_river_final.pdf&format=pdf&page={page}&subfolder=default/files/nodes/documents/, utoljára megnyitva: 2019.11.30.)
- IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds.: Field, C. B., Barros, V., Stocker T. F., Qin, D., Dokken, D. J., Ebi, K. L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G.-K., Allen, S. K., Tignor, M., Midgley, P. M.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. A report of Working Group of the IPCC. Technical Summary. A report accepted by Working Group of the IPCC but not approved in detail and Frequently Asked Questions, Intergovernmental Panel on Climate Change. (https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL.pdf, utoljára megnyitva: 2019.11.10.)
- Jacob D., Petersen J., Eggert B., Alias A., Christensen O.B., L.M. Bouwer., Braun A., Colette A., De´que M., Georgievski G., Georgopoulou E., Gobiet A., Menut L., Nikulin G., Haensler A., Hempelmann N, Jones C., Keuler K., Kovats S., Kröner N., Kotlarski S., Kriegsman A., Martin E., van Meijgaard E., Moseley C., Pfeifer S., Preuschmann S., Radermacher C., Radtke K., Rechid D., Rounsevell M., Samuelsson P., Somot S., Soussana J.F., Teichmann C., Valentini R., Vautard R., Weber B., Yiou P., 2014: EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14, pp. 563–578
- Kaluzsa, A. 2016: Az árvízi védekezések munkálatai, valamint az árvíz hatása az ivóvízellátásra, különös tekintettel a parti szűrésű kutakra. *Műszaki Katonai Közlöny*, 26 (2), pp. 53–55.
- Kavrán, V., 2009: Duna hajózhatóságának javítását célzó beruházások várható ökológiai hatásai. Szekció-tech, Budapest, 24p. (http://wwf.hu/media/file/1271767751_Dunahajo_Okologia_iHatasok.pdf, utoljára megnyitva: 2019.11.19.)

- Kis, A., Szabó, J. A., Pongrácz, R., Bartholy, J., 2015: A klímaváltozás extrém lefolyási karakterisztikákra gyakorolt hatásainak elemzése a Zagyva vízgyűjtőn. In: Aktuális kutatások az ELTE Meteorológiai Tanszékén: Jubileumi kötet – 70 éves az ELTE Meteorológiai Tanszéke. (Egyetemi Meteorológiai Füzetek; 26.) ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest, pp. 41–48.
- Koutsoyiannis, D., Makropoulos, C., Langousis, A., Baki, S., Efstratiadis, A., Christofides, A., Karavokiros, G., and Mamassis, N; 2009: Climate, hydrology, energy, water: recognizing uncertainty and seeking sustainability. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13 (2), pp. 247–257.
- Krzysztofowicz, R., 1999: Bayesian theory of probabilistic forecasting via deterministic hydrologic model. *Water Resources Research*, 35 (9), pp. 2739–2750.
- Lendér, H. B., 2016: A klímaváltozás várható hatásai a vízgazdálkodás területén. A Magyar Hidrológiai Társaság által rendezett 34. Országos Vándorgyűlés dolgozatai, 20p. (http://www.hidrologia.hu/vandorgyules/34/dolgozatok/word/0320_lender_henrik.pdf, utoljára megnyitva: 2019.11.02.)
- Li Z., Xu Z., Li Z., 2011: Performance of WASMOD and SWAT on hydrological simulation in Yingluoxia watershed in northwest China. *Hydrological Processes* 25(13), 25, pp. 2001–2008.
- Lin, C. A., Wen, L., Béland, M., Chaumont, D., 2002: A coupled atmospheric-hydrological modeling study of the 1996 Ha! Ha! River basin flash flood in Québec, Canada. *Geophysical Research Letters*, 29, pp. 1026–1028.
- Liptay, Z. Á., 2018: Numerikus hidrológiai modellezés és folyami jégviszonyok előrejelzése. Doktori értekezés. Témavezetők: Dr. Czigány Szabolcs, Dr. Pirkhoffer Ervin, Pécsi Tudományegyetem, Pécs, 108 p.
- Liptay, Z. Á., Czigány, Sz., 2014: Kis és közepes vízgyűjtők hidrológiai modellezése a MIKE 11 NAM moduljával a Mondsee vízgyűjtőjének példáján. A Magyar Hidrológiai Társaság által rendezett 32. Országos Vándorgyűlés dolgozatai, pp. 1–16.
- Littlewood, I. G., Down, K., Parker, J., R., Post D., A., 1997: IHACRES – Catchment-scale rainfall-streamflow modelling (PC version) Version 1.0 – April 1997. The Australian National University, Institute of Hydrology and Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, Oxon, UK,
- Lucza, Z., Szabó, J. A., Réti, G., 2014: Integrált árvízvédelmi előrejelző rendszer létrehozása térinformatikai alapú modellrendszer alkalmazásával. Lucza, Z. előadása a Magyar Hidrológiai Társaság XXXII. Országos Vándorgyűlésén, konferenciakiadvány
- McCabe, G. J., Wolock, D. M., 2002: A step increase in streamflow in the conterminous United States. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, 29 (24) pp. 38-1–38-4. (<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2002GL015999>; utoljára megnyitva: 2019.11.30)
- Miao, C-Y., Ni, J-R., 2009: Variation of Natural Streamflow since 1470 in the Middle Yellow River, China, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6, pp. 2849–2864.
- Mika, J., Bálint, G., Albert, K., Imecs, Z., Kósa, E. R., 2001: A csapadék változása az Alpok és a Kárpátok térségében az éghajlat melegedésével párhuzamosan. Földrajzi Konferencia, Szeged. (<http://docplayer.hu/23477702-A-csapadek-valtozasa-az-alpok-es-a-karpatok-tersegeben-az-eghajlat-melegedesevel-parhuzamosan-osszefoglalas.html>, utoljára megnyitva: 2019.11.23.)
- Nagy, J. A., Bartholy, J., Pongrácz, R., Pieczka, I., Breuer, H., Hufnagel L., 2017: Analysis of the impacts of global warming on European bat species's range area in the 21st century using regional climate model simulation. *Időjárás – Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 121 (3), pp. 285–301.
- Nováky, B., 2000a: A lefolyás és az éghajlat összefüggései. *Légekör*, XLV (1), pp. 2–7.
- Nováky, B., 2000b: Az éghajlatváltozás vízgazdálkodási hatásai. *Vízügyi Közlemények*, LXXXII (3-4), pp. 419–448.
- Ostojski, M., 2013: Application of hydrological and hydraulic models for hydrological data transfer. *Acta Geophysica*, 61, pp. 690–705.
- Pekarova, P., Halmová, D., Miklanek, P., Onderka, M., Pekar, J., Skoda, P., 2008a: Is the Water Temperature of the Danube River at Bratislava, Slovakia, Rising? *Journal of Hydrometeorology*, 9, pp. 1115–1122.
- Pekarova, P., Skoda, P., Miklanek, P., Halmova, D., Pekar, J., 2008b: Detection of changes in flow variability of the upper Danube between 1876–2006. In: XXIVth Conference of the Danubian Countries, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 4. Paper 012028, doi:10.1088/1755-1307/4/1/012028, 10p.

- Radochay, I., 2010: Egy éghajlati forgatókönyv hidrológiai hatásának vizsgálata a Dunán, különös tekintettel a kisvízi időszakokra. Diplomamunka. Témavezető: Bálint Gábor, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Meteorológiai Tanszék, Budapest, 73 p.
- Refsgaard, J. C., Storm, B., Clausen, T., 2010: Systeme Hydrologique Européen (SHE): Review and perspectives after 30 years development in distributed physical-based hydrological modelling. *Hydrology Research*, 41 (5), pp. 945–947.
- Rodriguez-Iturbe, I., Valdés, J. B., 1979: The Geomorphologic Structures of Hydrologic Response, *Water Resour*, 15, pp. 1409–1420.
- Schiller, H.; Miklós, D.; Sass, J., 2010: The Danube River and its Basin Physical Characteristics, Water Regime and Water Balance. In *Hydrological Processes of the Danube River Basin*; Brilly, M. (Ed.); Springer Netherlands: Dordrecht, Netherland, 2010; pp. 25–78.
- Somlyódy, L., Nováky, B., Simonffy, Z., 2010: Éghajlatváltozás, szélsőségek és vízgazdálkodás. „Klíma-21” Füzetek, 61., pp.15–32.
- Sommerwerk, N.; Hein, T.; Schneider-Jacoby, M.; Baumgartner, C.; Ostojic, A.; Siber, R.; Bloesch, J.; Paunovic, M.; Tockner, K., 2009: The Danube River Basin. In: Tockner, K., Robinson, C., Uehlinger, U. (Eds.): *Rivers of Europe*. Elsevier, London, pp. 59–112.
- Spinoni, J., Naumann, G., Carrao, H., Barbosa, P., Vogt, J., 2014a: World drought frequency, duration, and severity for 1951–2010, *International Journal of Climatology* 34 (8), pp. 2792–2804.
- Spinoni, J., and the CARPATCLIM project team (39 authors) 2014b: Climate of the Carpathian Region in 1961–2010: Climatologies and Trends of Ten Variables, *International Journal of Climatology*, 35(7), pp. 1322–1341
- Stagl, J. C., Hattermann, F. F., 2015: Impacts of Climate Change on the Hydrological Regime of the Danube River and Its Tributaries Using an Ensemble of Climate Scenarios. *Water*, 7, pp. 6139–6172.
- Stahl, K., Hisdal, H., Hannaford, J., Tallaksen, L., van Lanen, H., Sauquet, E., Demuth, S., Fendekova, M., Jordar, J., 2010: Streamflow trends in Europe: evidence from a dataset of near-natural catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, pp. 2367–2382.
- Steuer, M., Strobl, M., 2012: Natural catastrophes 2012 Analyses, assessments, positions. Munich Re Topics Geo 2012, 24p. (http://www.biztositasiszemle.hu/files/201303/302-07742_en.pdf; utoljára megnyitva: 2019.11.30.)
- Szatmári, J., 2013: Modellek a geoinformatikában. Digitális tananyag a TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0025 számú, „Interdiszciplináris és komplex megközelítésű digitális tananyagfejlesztés a természettudományi képzési terület mesterszakjaihoz” című projekt részeként, pp. 47–73. (http://eta.bibl.u-szeged.hu/1320/1/modellek_a_geoinformatikaban.pdf, utoljára megnyitva: 2019.11.30.)
- Szlávik L., 2006: A Duna és a Tisza szorításában. A 2006. évi árvizek és belvizek krónikája. https://library.hungaricana.hu/hu/view/VizugyiKonyvek_217a/?pg=5&layout=s, /, utoljára megnyitva: 2019.11.21.)
- Turczy, G., Homolya, E., Mattányi, Zs., 2015: A klímaváltozás hatása a villámárvíz kockázatra. D4.10 NATÉR kutatási jelentés. Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest.
- Újváry, K., 2010: A „Zsófia” és az „Angéla” ciklonok csapadékszínoptikai közelítése és előrejelezhetősége. *Léggör*, 55 (4), pp. 137–146.
- Ulbrich, U., Brücher, T., Fink, A. H., Leckebusch, G. C., Krüger, A., Pinto, J. G., 2003: The central European floods of August 2002: Part 1. Rainfall periods and flood development. *Weather*, 58, pp. 371–377.
- Vágás, I., 2006: Tavasz vízek – a Duna és a Tisza rendkívüli árhullámairól. *Mérnök újság*, 13. 5p.
- Wood, A. W., Maurer, E. P., 2002: Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States. *Journal of Geophysical Research*, 107, pp. 1–15.

Internetes hivatkozások

- [1 – www.vizugy.hu] <https://www.vizugy.hu/print.php?webdokumentumid=33>
- [2 – <https://www.danubecommission.org/>] <https://www.danubecommission.org/dc/en/publishing-activities/maps-of-the-danube/>
- [3 – www.icpdr.org] <https://www.icpdr.org/main/danube-basin/river-basin;>
<https://www.icpdr.org/flowpaper/app/#page=5>
- [4 – <http://produna.hu>] http://produna.hu/downloads/ProDuna_Nemzeti_Strat%C3%A9gia_03.pdf
- [5 – vizmuvek.hu] <https://www.vizmuvek.hu/hu/fovarosi-vizmuvek/tarsasagi-informaciok/vizellatas/vizellatas>
- [6 – <http://www.vcsml.hu>] <http://www.vcsml.hu/szolgalatas.php#ivoviz>
- [7 – www.vizugy.hu] <https://www.vizugy.hu/index.php?module=content&programelemid=1&id=1488>
- [8 – <http://www.kormany.hu>]
<http://www.kormany.hu/download/6/55/01000/Nemzeti%20V%C3%ADzstrat%C3%A9gia.pdf>
- [9 – <http://wwf.hu>] <http://wwf.hu/archivum/2010ev/1/kevesebb-viz-lesz-a-dunaban-50-ev-mulva>
- [10 – <http://www.kvvm.hu>] <http://www.kvvm.hu/index.php?pid=10&sid=56>
- [11 – <https://www.mikepoweredbydhi.com/>] <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-11>
- [12 – <https://csdms.colorado.edu/>] <https://csdms.colorado.edu/wiki/Model:ThawLake1D>
- [13 – <https://pubs.usgs.gov>] <https://pubs.usgs.gov/tm/06b06/pdf/TM6ChB6.pdf>
- [14 – <https://anuga.anu.edu.au/>] <https://anuga.anu.edu.au/>
- [15 – <https://csdms.colorado.edu/>] <https://csdms.colorado.edu/wiki/Model:IceFlow>
- [16 – <https://github.com/>] https://github.com/landlab/landlab/tree/master/landlab/components/overland_flow
- [17 – <https://oss.deltares.nl/>] <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/>
- [18 – <http://www.opentelemac.org/>] <http://www.opentelemac.org/>
- [19 – <http://www.swap.alterra.nl/>] <http://www.swap.alterra.nl/>
- [20 – <https://swat.tamu.edu/>] <https://swat.tamu.edu/>
- [21 – <https://www.smhi.se/>] <https://www.smhi.se/en/research/research-departments/hydrology/hbv-1.90007>
- [22 – <https://www.mikepoweredbydhi.com/>] <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-hydro-river/hydrology>
- [23 – <http://hydro.ou.edu/>] <http://hydro.ou.edu/research/crest/>
- [24 – <https://dhsvm.pnnl.gov/>] <https://dhsvm.pnnl.gov/documentation.stm>
- [25 – <http://geotopmodel.github.io/>] <http://geotopmodel.github.io/geotop/>
- [26 – <http://www.hydroinfo.hu>] <http://www.hydroinfo.hu/archivum.html>
- [27 – <http://www.eumet.hu/>] <http://www.eumet.hu/hirek/hoolvadas2019-duna-vizszint/>
- [28 – <https://www.icpdr.org/>] <https://www.icpdr.org/flowpaper/app/#page=1>
- [29 – <http://ns.geo.info.hu/~hm/>] <http://ns.geo.info.hu/~hm/>
- [30 – <https://www.icpdr.org/>] <https://www.icpdr.org/flowpaper/app/services/view.php?doc=report-2002-floods.pdf&format=pdf&page={page}&subfolder=default/files/nodes/documents/>
- [31 – <http://owww.met.hu>] <http://owww.met.hu/pages/arviz20060614.php>
- [32 – <https://www.icpdr.org/>]
<https://www.icpdr.org/main/sites/default/files/The%20Analysis%20of%20the%20Danube%20Floods%202006%20FINAL.pdf>
- [33 – <http://owww.met.hu>] http://owww.met.hu/pages/Zsofia_ciklon_20100515-18.php
- [34 – <http://owww.met.hu>] http://owww.met.hu/pages/Angela_ciklon_20100531-0604.php

[35 – <https://www.icpdr.org/>]

https://www.icpdr.org/main/sites/default/files/nodes/documents/icpdr_flood_report_2010.pdf

[36 – <https://www.air-worldwide.com/>] <https://www.air-worldwide.com/Blog/Why-the-Central-European-Floods-of-2013-Were-So-Devastating/>

[37 – <https://www.icpdr.org/>] https://www.icpdr.org/main/sites/default/files/nodes/documents/icpdr_floods-report-web_0.pdf

[38 - <https://www.giss.nasa.gov/>] <https://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/>

Függelék

A függelékben található ábrák jegyzéke

F.1. ábra: A vizsgált szelvényeken az 1950 és 2017 között májusban mért vízállások, az E-OBS, illetve CarpatClim adatbázisban szereplő májusi csapadékidősor korrelációs együtthatói, a csapadékadatok 0-14 napos eltolásával. Az üres szimbólumok a t-próba alapján 95%-os szinten nem szignifikáns együtthatókat jelölik.

F.2. ábra: A vizsgált szelvényeken az 1950 és 2017 között júniusban mért vízállások, az E-OBS, illetve CarpatClim adatbázisban szereplő júniusi csapadékidősor korrelációs együtthatói, a csapadékadatok 0-14 napos eltolásával. Az üres szimbólumok a t-próba alapján 95%-os szinten nem szignifikáns együtthatókat jelölik.

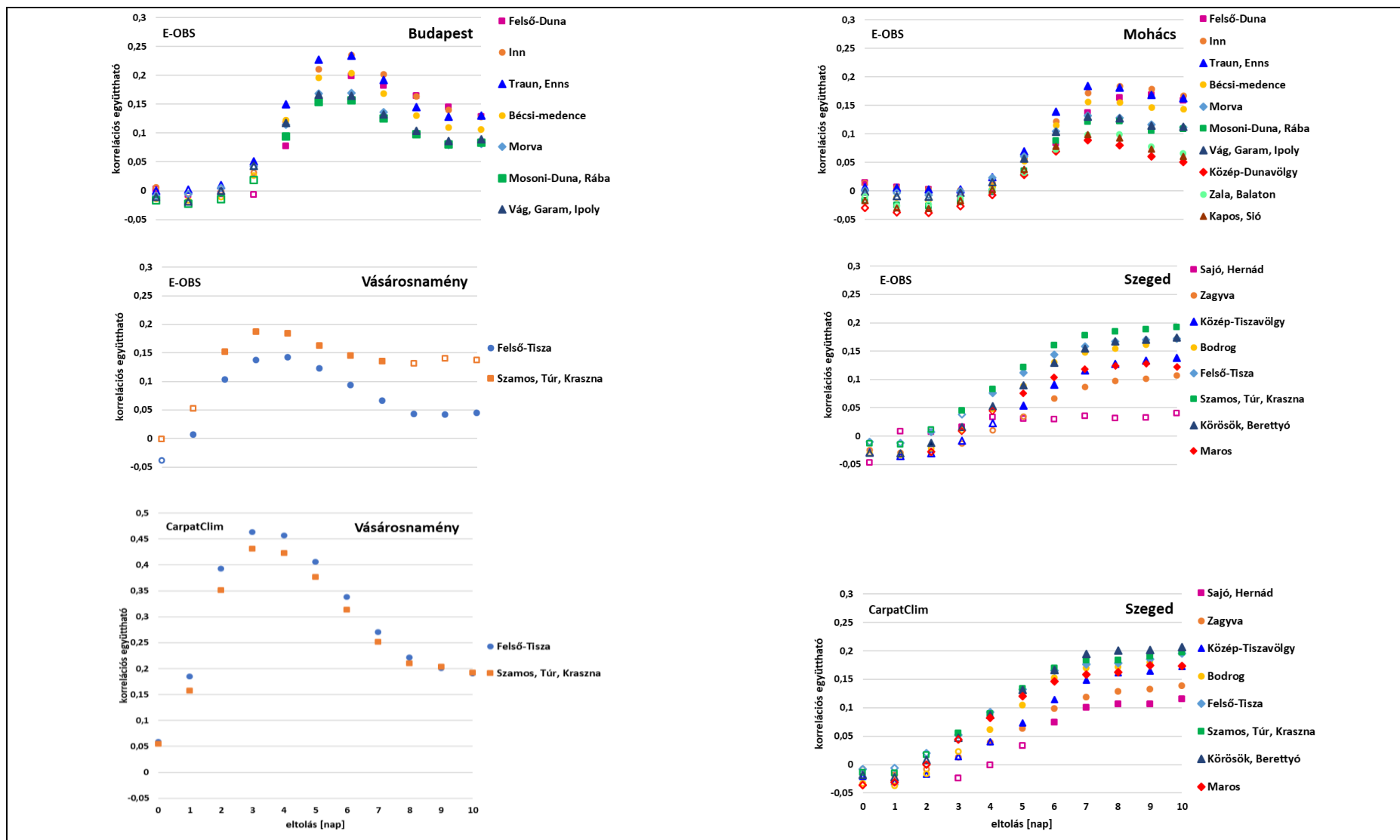
F.3. ábra: A vizsgált szelvényeken az 1950 és 2017 között augusztusban mért vízállások, az E-OBS, illetve CarpatClim adatbázisban szereplő augusztusi csapadékidősor korrelációs együtthatói, a csapadékadatok 0-14 napos eltolásával. Az üres szimbólumok a t-próba alapján 95%-os szinten nem szignifikáns együtthatókat jelölik.

F.4. ábra A mohácsi, vásárosnaményi és szegedi szelvényen, 1950 és 2017 között mért vízállás- és 5 napos csapadékösszeg idősorok korrelációja a csapadékadatok 0-10 napos eltolásával. Az üres szimbólumok a t-próba alapján 95%-os szinten nem szignifikáns együtthatókat jelölik.

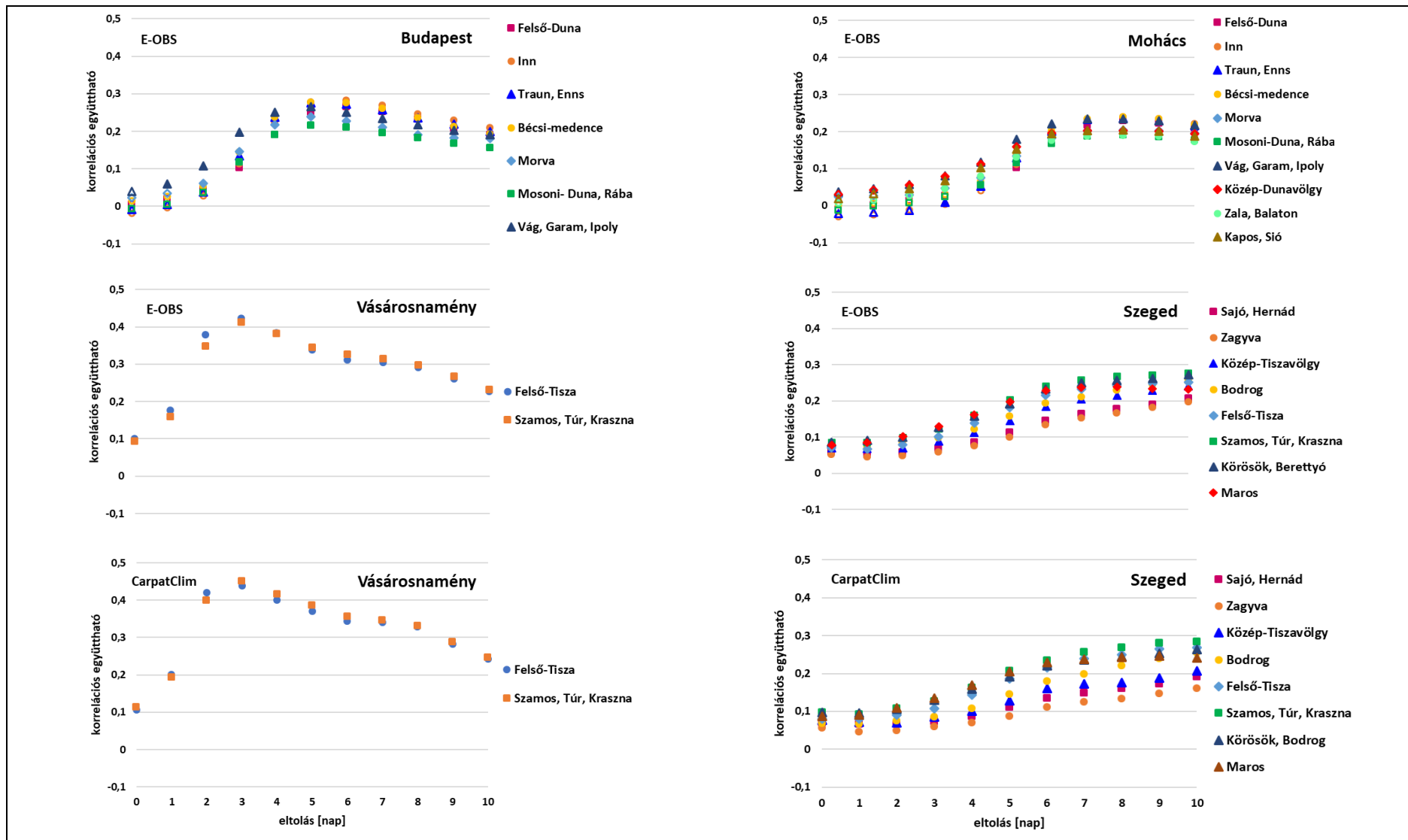
F.5. ábra A mohácsi, vásárosnaményi és szegedi szelvényen, 1950 és 2017 között júliusban mért vízállás- és 5 napos csapadékösszeg idősorok korrelációja a csapadékadatok 0-10 napos eltolásával. Az üres szimbólumok a t-próba alapján 95%-os szinten nem szignifikáns együtthatókat jelölik.

F.6. ábra: ECMWF adatbázisból származó 2 m magasságban mért hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$) és a tengerszintre átszámított felszíni légnyomás (hPa) izovonalai, valamint az 500 hPa-os geopotenciál (m^2/s^2), illetve a 10 m magasságban mért u és v szélkomponensekből számított rácsponti eredő szél vektorai 2002. augusztus 12. 00 UTC időpontban

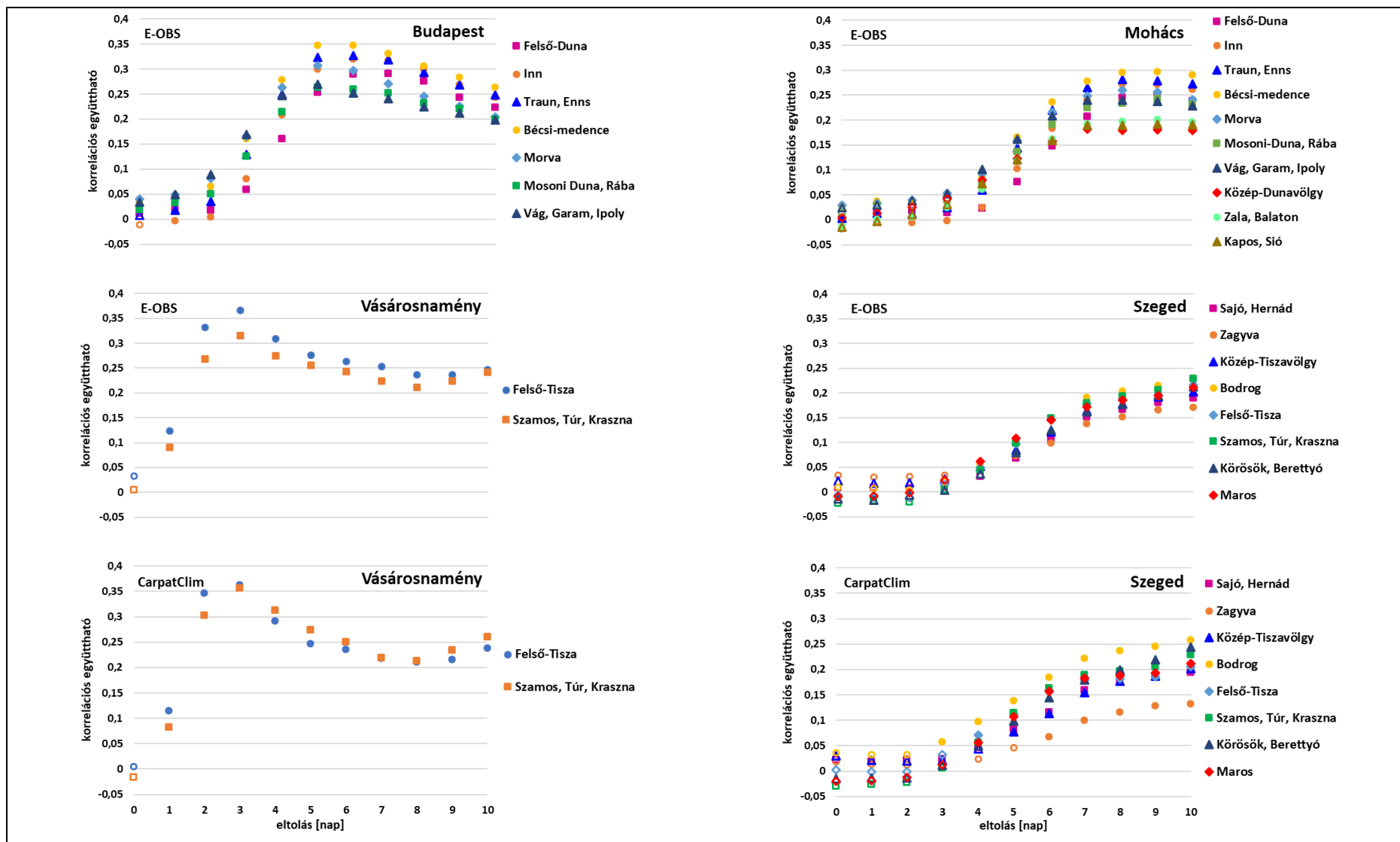
F.7. ábra: ECMWF adatbázisból származó A 2 m magasságban mért hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$) és a tengerszintre átszámított felszíni légnyomás (hPa) izovonalai, valamint az 500 hPa-os geopotenciál (m^2/s^2), illetve a 10 m magasságban mért u és v szélkomponensekből számított rácsponti eredő szél vektorai 2010. június 2. 00 UTC időpontban



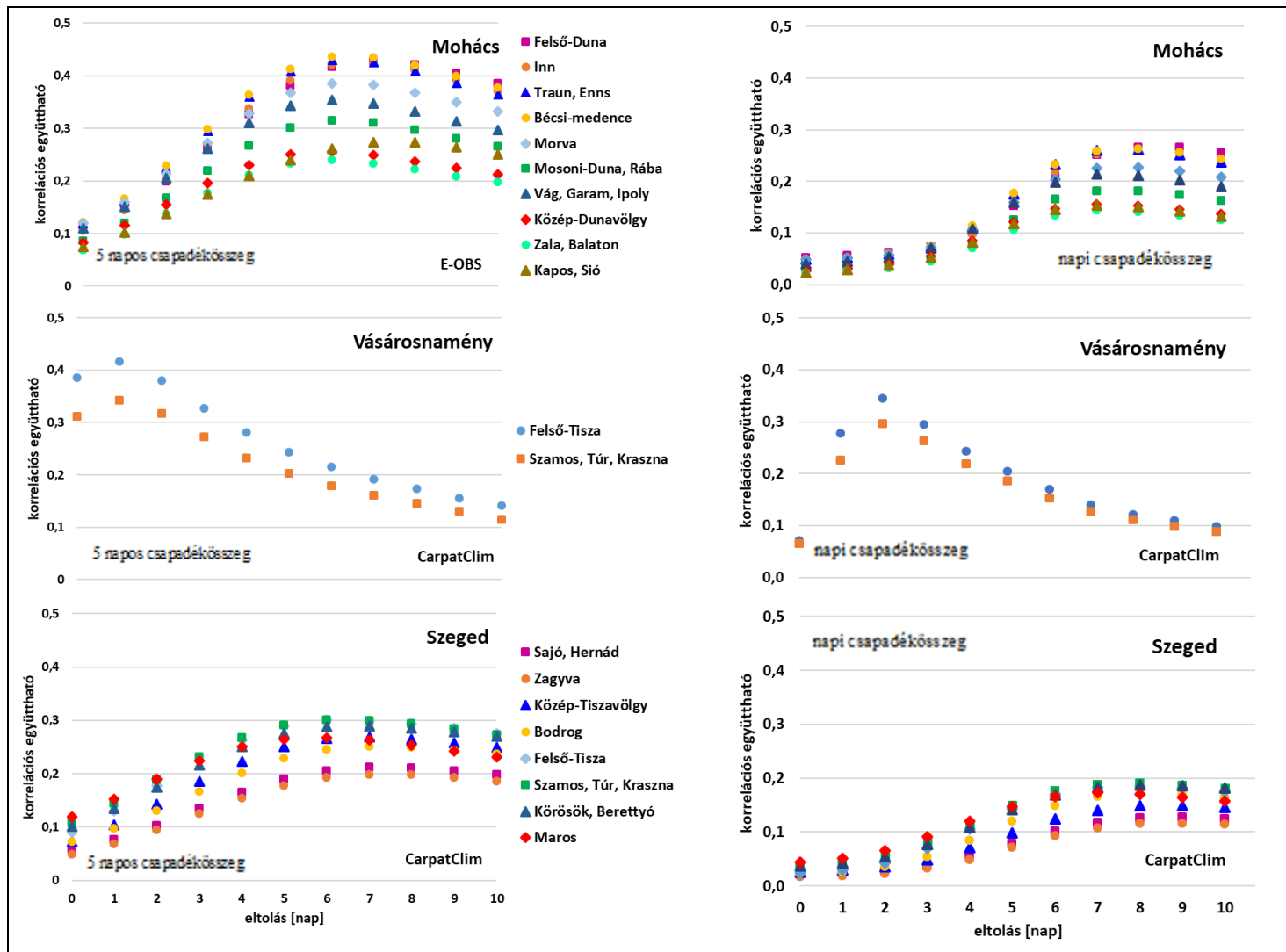
F.1. ábra. A vizsgált szelvényeken az 1950 és 2017 között májusban mért vízállások, az E-OBS, illetve CarpatClim adatbázisban szereplő májusi csapadékidőszak korrelációs együtthatói, a csapadékkadatok 0-14 napos eltolásával. Az üres szimbólumok a t-próba alapján 95%-os szinten nem szignifikáns együtthatókat jelölik. (adatok: KHA, E-OBS, CarpatClim)



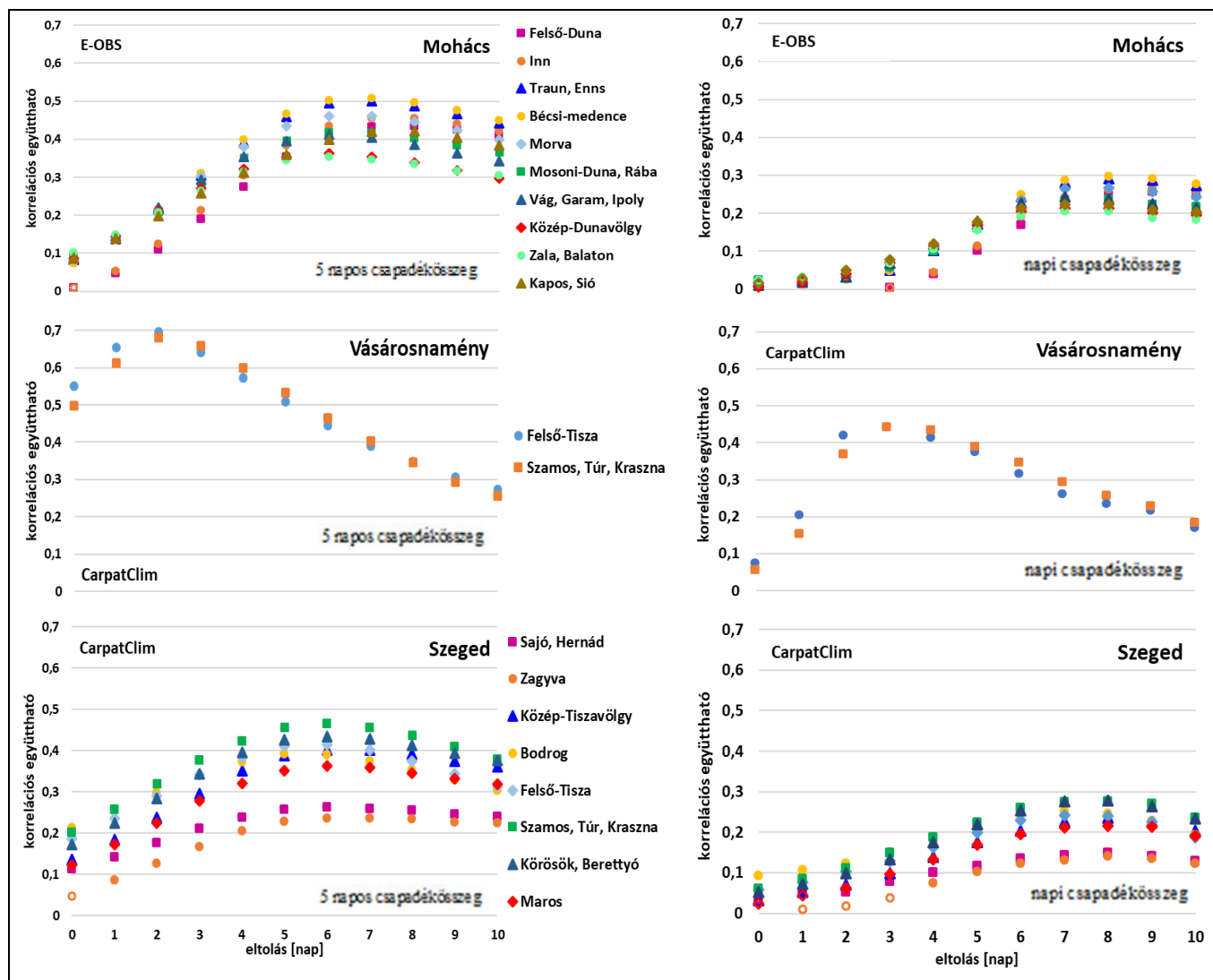
F.2. ábra. A vizsgált szelvényeken az 1950 és 2017 között júniusban mért vízállások, az E-OBS, illetve CarpatClim adatbázisban szereplő júniusi csapadékidőszak korrelációs együtthatói, a csapadékadatok 0-14 napos eltolásával. A kapott együtthatók a t-próba szerint 95%-on szignifikánsak. (adatok: KHA, E-OBS, CarpatClim)



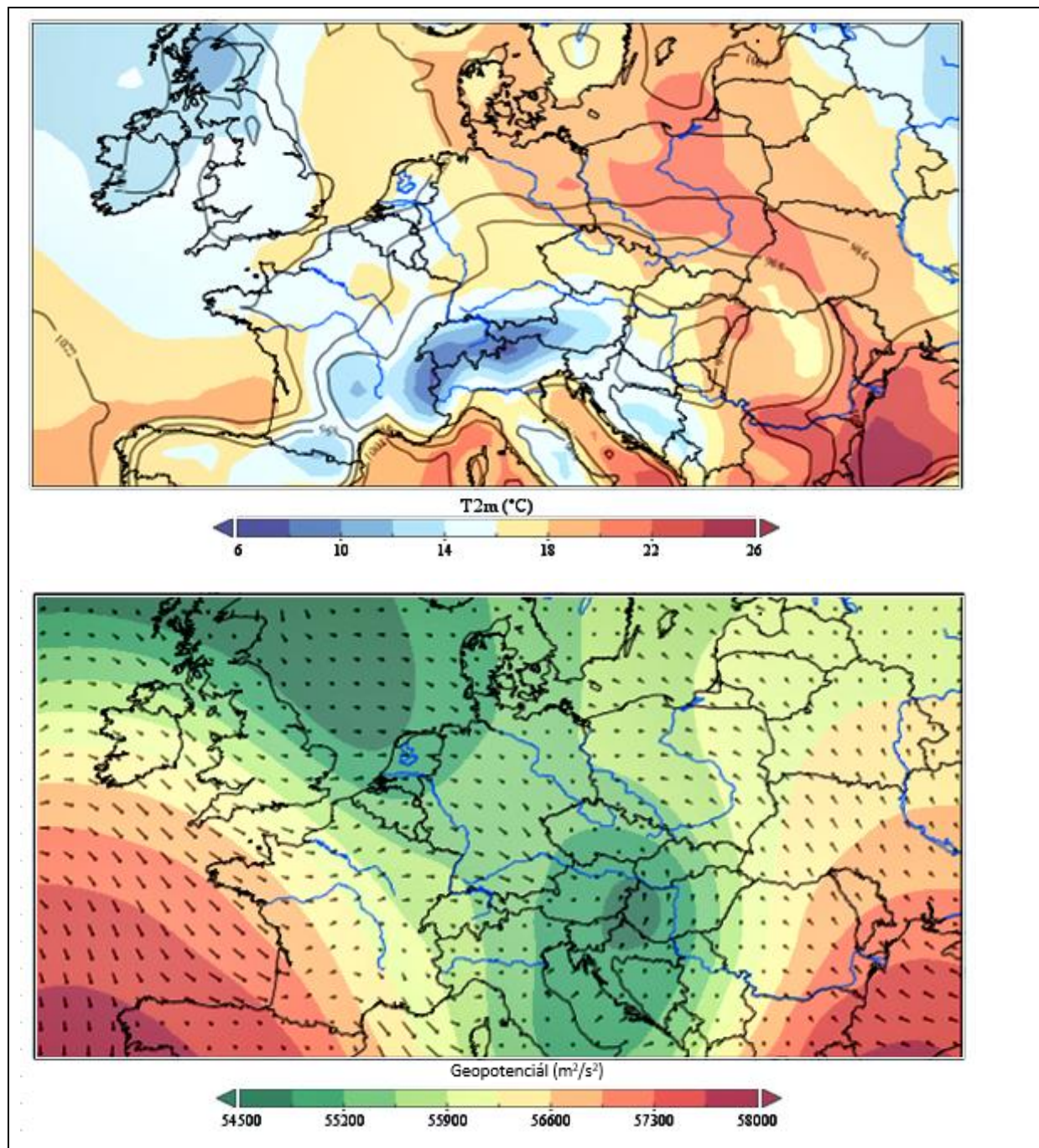
F.3. ábra. A vizgált szelvényeken az 1950 és 2017 között augusztusban mért vízállások, az E-OBS, illetve CarpatClim adatbázisban szereplő augusztusi csapadékidősr korrelációs együtthatói, a csapadékatatok 0-14 napos eltolásával. Az üres szimbólumok a t-próba alapján 95%-os szinten nem szignifikáns együtthatókat jelölik. (adatok: KHA, E-OBS, CarpatClim)



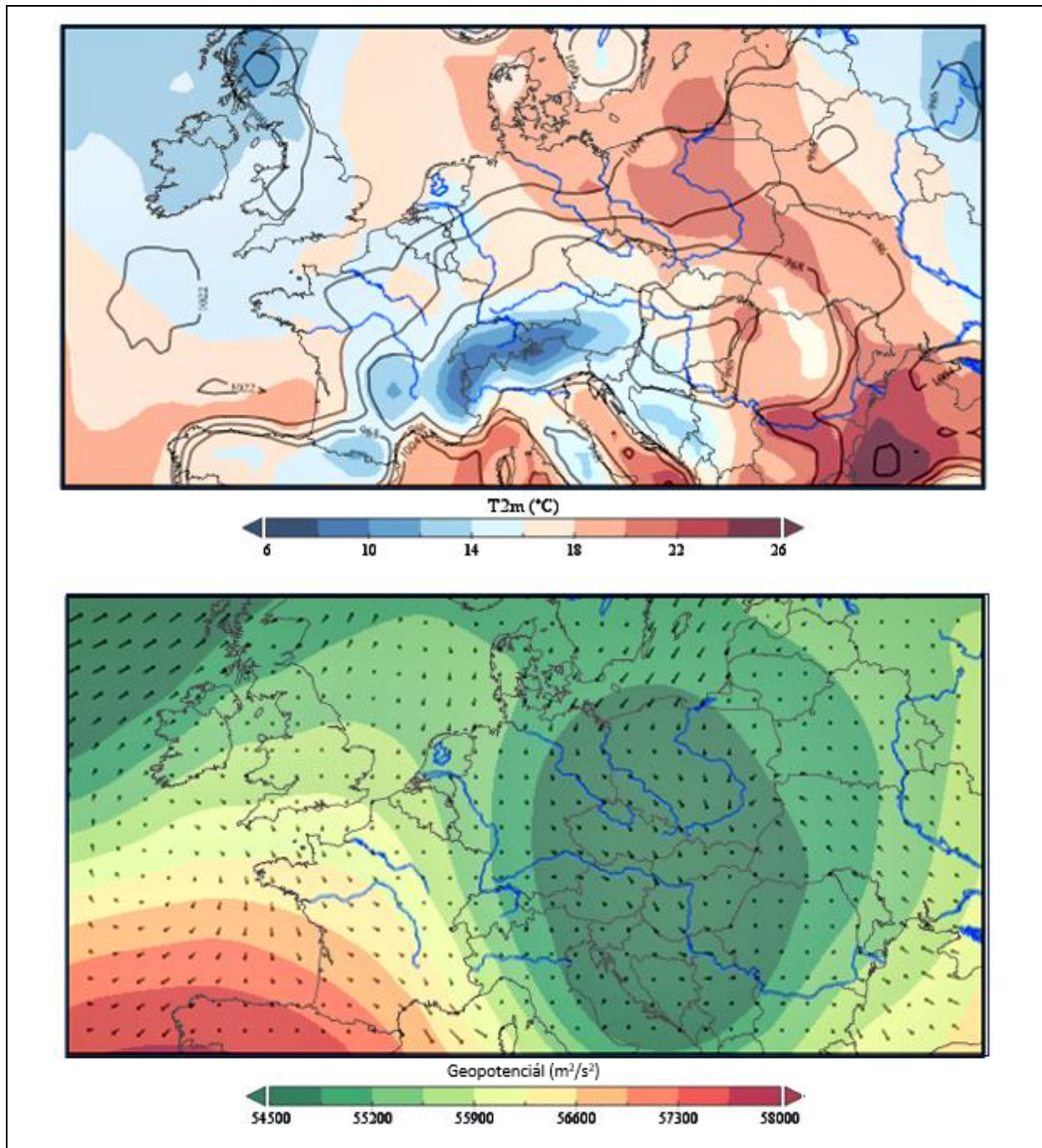
F.4. ábra. A mohácsi, vásárosnaményi és szegedi szelvényen, 1950 és 2017 között mért vízállás- és 5 napos csapadékösszeg idősorok korrelációja a csapadékatatok 0-10 napos eltolásával. Az üres szimbólumok a t-próba alapján 95%-os szinten nem szignifikáns együtthatókat jelölik. (adatok: KHA, E-OBS, CarpatClim)



F.5. ábra. A mohácsi, vásárosnaményi és szegedi szelvényen, 1950 és 2017 között júliusban mért vízállás- és 5 napos csapadékösszeg idősorok korrelációja a csapadékadatok 0-10 napos eltolásával. Az üres szimbólumok a t-próba alapján 95%-os szinten nem szignifikáns együtthatókat jelölik. (adatok: KHA, E-OBS, CarpatClim)



F.6. ábra. A 2 m magasságban mért hőmérséklet ($^{\circ}C$) és a tengerszintre átszámított felszíni légnyomás (hPa) izovonalai (fent), valamint az 500 hPa-os geopotenciál (m^2/s^2), illetve a 10 m magasságban mért u és v szélkomponensekből számított rácsponti eredő szél vektorai (lent) 2002. augusztus 12. 00 UTC időpontban (adatok: ECMWF ERA-Interim, térkép-készítés: Panoply Data Viewer)



F.7. ábra. A 2 m magasságban mért hőmérséklet ($^{\circ}C$) és a tengerszintre átszámított felszíni légnyomás (hPa) izovonalai (fent), valamint az 500 hPa-os geopotenciál (m^2/s^2), illetve a 10 m magasságban mért u és v szélkomponensekből számított rácsponti eredő szél vektorai (lent) 2010. június 2. 00 UTC időpontban (adatok: ECMWF ERA-Interim, térkép-készítés: Panoply Data Viewer)