

A KLÍMAVÁLTOZÁS EXTRÉM LEFOLYÁSI KARAKTERISZTIKÁKRA GYAKOROLT HATÁSAINAK ELEMZÉSE A ZAGYVA VÍZGYŰJTŐN

Kis Anna¹, Szabó János Adolf², Pongrácz Rita¹, Bartholy Judit¹

1: ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

2: HYDROInform Bt., 1021 Budapest, Hűvösvölgyi út 54.

e-mail: kisanna@nimbus.elte.hu, janos.szabo@hydroinform.hu,

prita@nimbus.elte.hu, bartholy@caesar.elte.hu

Bevezetés

A viszonylag alacsony fekvésű, sík- és dombvidéki vízgyűjtők vízhálózatai mentén kialakult kis lélekszámú települések meglehetősen tipikusak az Európai Unió országaiban, így Magyarországon is. Ezen területeken elsősorban a mezőgazdaság, az állattenyésztés, valamint az ezekre épülő feldolgozóipar a jellemző, de napjainkra már számos helyen megjelent a vidéki turizmus is. A kialakult helyzet fenntarthatóságának egyik alapvető feltétele a víz, amely minden tevékenységet közvetlenül vagy közvetve képes befolyásolni. Ugyanakkor az ilyen típusú vízgyűjtők természetes vízkészlet-állapotaira jellemzőek a szélsőségek, vagyis gyakran képes kialakulni igen tartós vízhiány, s előfordul hirtelen keletkező árvíz is. E két szélsőséges vízkészlet-állapot között pedig általában viszonylag kisebb lefolyással kell számolniuk az ott élőknek. Ez a helyzet a becsült klímaváltozás várható eredményeként jelentősen megváltozhat mindkét szélsőség irányába. Ezért elkerülhetetlen – különösen a klímaváltozás várható hatásait is figyelembe véve – a vízkészlet-gazdálkodás korszerű, hatékony, tudományosan is megalapozott, a várható klimatikus trendeket is magában foglaló módszereinek alkalmazása a hosszú távra szóló fejlesztési stratégiák megalapozásában, a stratégiák fenntarthatóságának elemzésében.

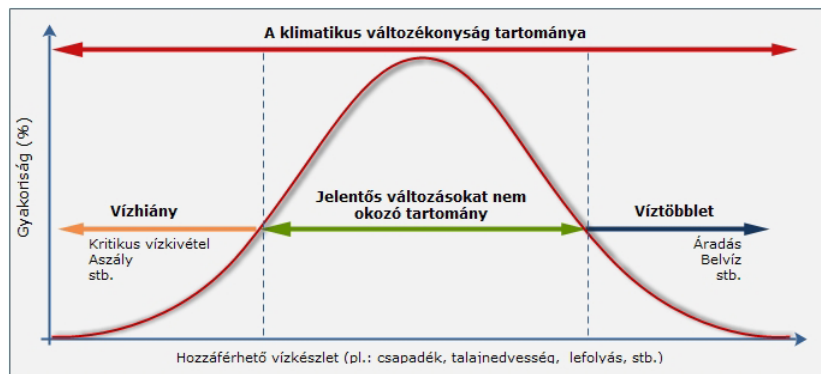
A kidolgozandó térségi stratégia alapja az adott vízkészletelem (pl.: lefolyás, talajvízszint, hóban tárolt vízkészlet, stb.) előfordulási és tartóssági gyakoriságának az éghajlati változékonyság függvényében való ismerete (*1. ábra*), amely megmutatja, hogy az egyes szélsőségek milyen gyakran fordulnak elő. Példaként tekinthetjük egy vízfolyás adott szelvényében átmenő napi víz mennyiségét mint vízkészletelemet. Ekkor a vízkészlet-gyakorisági diagram arról ad tájékoztatást, hogy a vizsgált vízfolyás adott szelvényében milyen gyakran fordul elő kritikus vízhiány vagy visszatartható víztöbblet, és milyen gyakori az, hogy semmilyen beavatkozásra nincs szükség.

Az éghajlati változékonyságok és a hozzáférhető vízkészlet-gyakoriságok összefüggése – a klimatikus jellemzők és egyéb földfelszíni karakterisztikák okán is – térben, valamint az adott térrészre nézve időben is erősen differenciáltak, hiszen módosulhatnak az éghajlati viszonyok és/vagy a felszíni struktúrák (pl.: területhasználat, tározók, mederveviszonyok) is. Ezért az átfogó elemzés csakis térben osztott, tehát GIS¹ alapú eszközöket igényel, amely jelentősen bonyolítja a kivitelezést.

A klímaprojekciók szerint a jövőben a csapadék tér- és időbeli eloszlásának globális megváltozása várható: a magasabb földrajzi szélességeken és az Egyenlítő környékén az éves csapadékösszeg növekedése, míg a mérsékelt öv nagy részén annak csökkenése valószínűsíthető (IPCC, 2014). Mivel a hidrológiai egyenlet bemenő adata – ezáltal alapvető tagja – a csapadék, valamint az olyan részfolyamatok, mint a hó felhalmozódása és olvadása, az evapotranspiráció, stb., meghatározó tényezője a léghőmérséklet, ezért az éghajlatváltozás a

¹ Geographical Information System: Térinformatikai rendszer

hidrológiai folyamatokra – így az 1. ábrán vázolt függvényre is – jelentős hatást gyakorol. Ennek következtében szinte minden lényeges vízkészletlem gyakorisága valószínűsíthetően meg fog változni, így a folyók lefolyásának karakterisztikái, az árvizek és villámárvizek gyakorisága és intenzitása, a belvizek előfordulása, valamint az aszályos időszakok hossza és súlyossága is. Ezek a jelenségek komoly társadalmi-gazdasági problémákat okozhatnak a térségben élők és gazdálkodók életvitelében, például a hosszabb-rövidebb ideig tartó súlyos vízhiányok révén, az élelmiszerbiztonságra gyakorolt közvetlen és közvetett hatások által, a közlekedési útvonalak és vízi utakat érintő környezeti hatások révén, vagy akár az ingatlanok elhelyezkedése, kitétsége miatt. Mondhatjuk tehát, hogy valamely adaptív, fenntartható kármegelőzési, illetve -mérséklési vízgazdálkodási stratégia érdekében elengedhetetlen a jövőre vonatkozó éghajlati trendek és az arra adott hidrológiai válaszok adekvát becslése.



1. ábra: A vízkészlet előfordulási és tartóssági gyakorisága a klimatikus változékonyság függvényében

Végző célunk egyfajta módszertani útmutatás kidolgozása, rögzítése, ám jelenlegi vizsgálatunk a 179,4 m hosszúságú Zagyva folyó vízgyűjtőjére fókuszál, amelynek a teljes 5676,6 km² kiterjedésű vízgyűjtőterülete Magyarországon található. Itt a hegyvidéki területeken a relatíve nagy lefolyási tényező okán az árhullámok levonulása gyors és tömegében jelentős, míg a sík- és alacsonyabb dombvidéki mellékvízfolyások, patakok gyakran kiszáradnak. Nagy csapadéokra adott válasza heves vízjárást mutat, ugyanakkor átlagos vízszállítása alacsony (Szegedi et al., 2015). Az elmúlt években több, jelentős árvíz volt a területen, a legutóbbi 2010-ben, amikor május-júniusban 30 nap alatt közel 300 mm csapadék hullott a vízgyűjtőn (Papanek, 2013).

Felhasznált adatok és módszertan

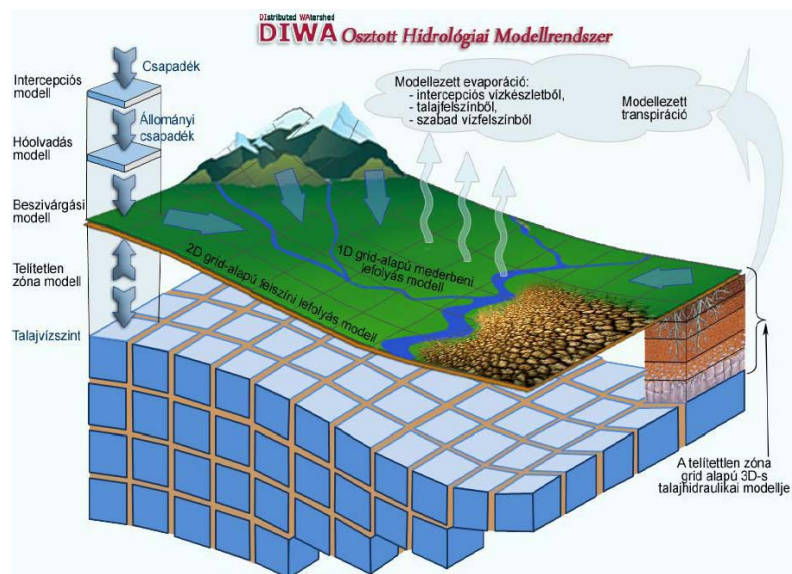
Kutatásaink során meteorológiai mérések, illetve regionális klímaszimulációk (RCM) napi közép- és minimumhőmérséklet, valamint csapadék idősorait használtuk bemeneti adatként a fizikai alapú, osztott hidrológiai modell (DIWA²; Szabó et al., 2010) futtatásakor. Eredményül vízhozam adatokat kaptunk a múltira és a jövőre vonatkozóan, így lehetőségünk adódik a vizsgált klímascenárió esetén valószínűsíthető hidrológiai válaszok statisztikai elemzésére.

A klímaszimulációkat a RegCM4 regionális klímamodell (Elguindi et al., 2011) szolgáltatja, amelyet az ELTE Meteorológiai Tanszéke adaptált a MedCORDEX projekt (Somot et al., 2012) és az RCMTÉR (Szépszó et al., 2015) keretében. Az 1970–2099 időszakra napi léptékben állnak rendelkezésre a különböző meteorológiai változók idősorai a Kárpát-medence térségére, 10 km-es felbontásban (Pieczka et al., 2015). A futtatáshoz szükséges kezdeti- és peremfeltételeket a horizontálisan 50 km-es rácsávolságú kísérlet biztosította

² Distributed Watershed Model: Osztott hidrológiai modell

(Bartholy et al., 2015), amelynek meghajtó globális modellje a HadGEM2³ (Collins et al., 2011) volt. A regionális klímamodell 2005-ig az üvegházhatású gázok mért koncentrációját veszi figyelembe, a jövőre vonatkozóan pedig a meglehetősen optimista RCP4.5 éghajlati forgatókönyvet (Thomson et al., 2011) tekinti. Ennek alapján az ipari forradalom előtti időszakhoz viszonyítva 2100-ra 4,5 W/m²-en stabilizálódik a jellemzően antropogén eredetű üvegházhatásból származó sugárzási kényszer, amely kb. 650 ppm CO₂-egyenértékben kifejezett légköri koncentrációnak felel meg. Ezen éghajlati forgatókönyv szerint az üvegházhatású gázok kibocsátása 2040 körül éri el csúcspontját, majd csökkenni fog. További lényeges változások feltételezhetők az energiaellátás és az erdős területek kiterjedésére vonatkozóan.

A különböző éghajlati scénáriókra adott hidrológiai válaszokat a DIWA modell (2. ábra) segítségével modelleztük. A fizikai alapú, osztott hidrológiai modell minden olyan tényezőt figyelembe vesz, amely a lefolyást és a hidrológiai elemek állapotjellemzőit lényegesen befolyásolja. Ilyen például a domborzat és azok derivátumai (a felszín meredeksége és a lokális lefolyási irány), a folyómeder karakterisztikái (érdesség, és meredekség), a földhasználat és az abból származtatható vízgazdálkodási jellemzők (intercepció, transpiráció, stb.), a talajtípus és azok hidraulikai jellemzői tetszőleges számú talajrétegződés figyelembevételével, az O-horizon (azaz a talaj legfelső, organikus rétege), a felszín növényborítottságának típusai és azok szezonálisan alakuló sűrűsége, a talajfagy okozta beszivárgási, párolgató korlátozások, vagy a szinte napi léptékben – a Föld és a Nap egymáshoz viszonyított helyzetétől függően – változó szoláris energia eloszlása is (Szabó, 2007). Az intercepciót és a növények potenciális vízfelvételi képességét a LAI⁴ térbeli eloszlásain keresztül becsli a modell, amelynek lényeges bemenő adata a területhasználat, valamint a szezonális (havi) átlagos NDVI⁵, amit műholdas adatokból nyertünk.



2. ábra: A DIWA (Distributed Watershed) hidrológiai modell sematikus ábrája

A hidrológiai modell célterületre történt adaptálása után, elsőként a kalibrációt végeztük el a Zagyva Tiszába való torkolatához közel eső keresztmetszelyére (Jásztelek, é.sz. 47,5°; k.h. 20,0°) két általunk választott hidrológiai évre (1999. október 1. – 2001. szeptember 30.) vonatkozóan. Ezután az 1983–2009 időszak során mért napi vízhozam adatok segítségével validáltuk eredményeinket, majd a RegCM4 szimulációinak felhasználásával is lefuttattuk a

³ Hadley Centre Global Environment Model version 2: Hadley Központ globális környezeti modellje, 2. verzió

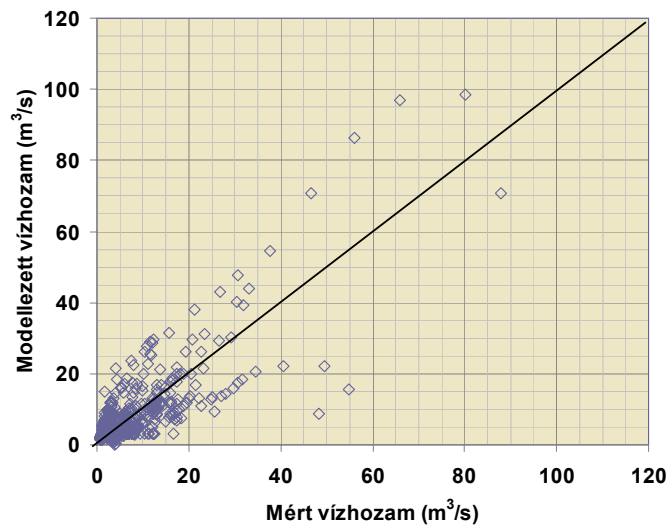
⁴ Leaf Area Index: Levélfelületi index

⁵ Normalized Difference Vegetation Index: Normalizált különbségként képzett vegetációs index

hidrológiai modellt egy múltbeli (1976–2005) és egy jövőbeli (2070–2099) 30 éves periódusra. Végül az így kapott három idősor (mért és modellezett múlt, modellezett jövő) statisztikai értékelését és összehasonlítását végeztük el.

Előzetes eredmények

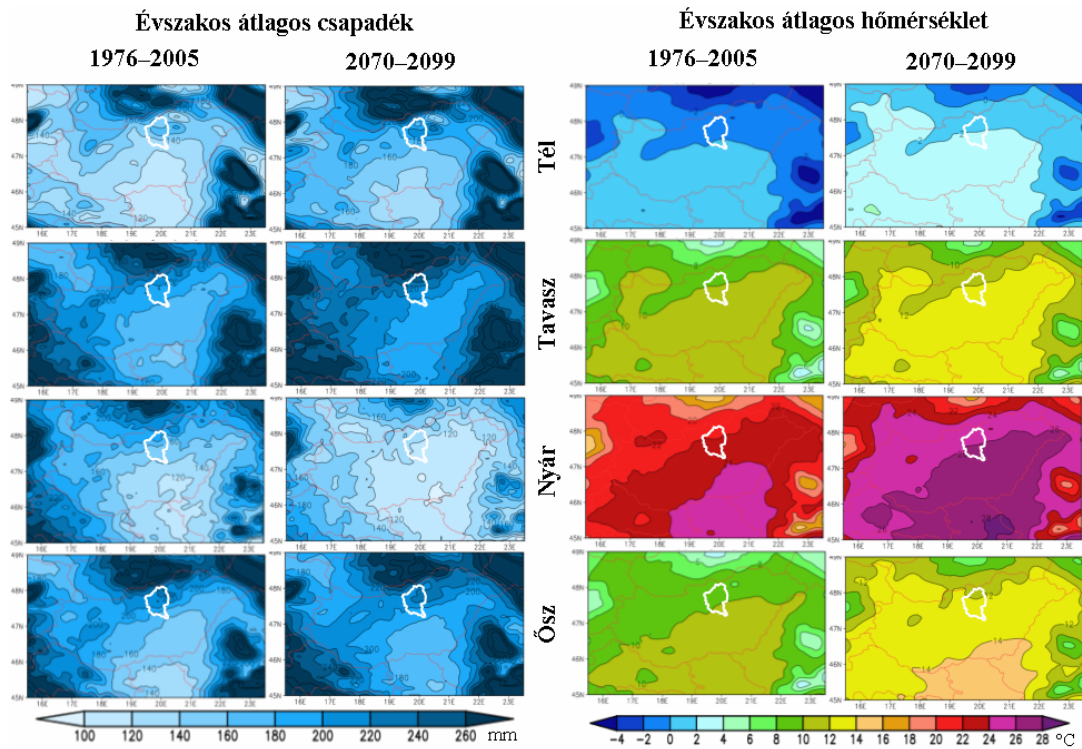
A kalibráció eredményét pontdiagram formájában a 3. ábrán tüntettük fel. A horizontális tengelyen a mért, a vertikális tengelyen a modellezett vízhozam értékek láthatók. A modellezés eredményét elfogadhatónak tekinthetjük, hiszen nem jelentkezik szisztematikus hiba: az egyes pontok viszonylag közel helyezkednek el a tökéletes illeszkedést reprezentáló $y = x$ (fekete) egyeneshez.



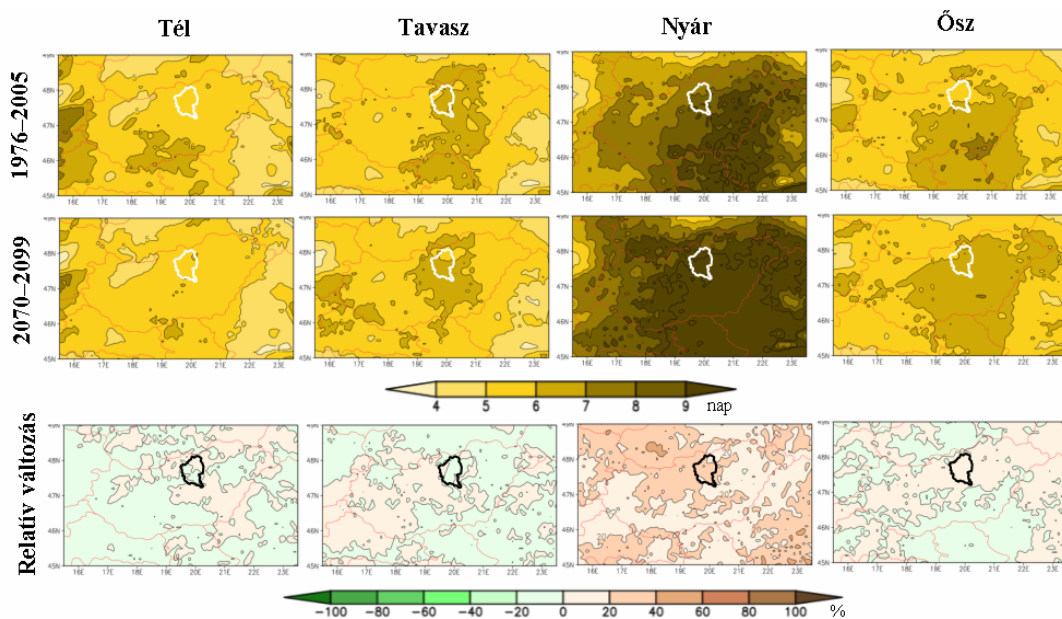
3. ábra: A mért (x-tengely) és modellezett (y-tengely) vízhozam értékek Jásztelekre, 1999.10.01–2001.09.30.

A RegCM4 regionális klímamodell szimulációi szerint az 1976–2005 referencia időszakhoz képest a XXI. század végére Magyarország teljes területén az átlagos középhőmérséklet legalább 2 °C-os emelkedése várható mind a négy évszakban (4. ábra jobbra lévő térképei). A Zagyva vízgyűjtő területén a legnagyobb mértékű melegedés nyáron valószínűsíthető. A regionális klímaprojekciók alapján a jövőben, hazánkban az évszakai csapadékösszeg télen több, nyáron pedig jelentősen kevesebb lesz (4. ábra balra lévő térképei), míg az átmeneti évszakokra kismértékű növekedés becsülhető.

Az éghajlati viszonyok elemzése keretében kiszámítottuk az átlagos száraz időszakok hosszát (MDS: Mean Dry Spell) is a RegCM4 szimulációk csapadék-idősorainak felhasználásával. Ezen csapadékindexet azért emeltük ki az általános éghajlati leírásból, mivel értéke jelentősen befolyásolja a lefolyási értékeket: ha hosszabb időszakon keresztül nincsen csapadék, akkor a folyómederben alacsony lesz a vízállás, tehát ezt követően egy nagyobb csapadékmennyiséget áradás nélkül el tud vezetni. Az 5. ábrán az MDS évszakai átlagértékeinek térbeli szerkezetét láthatjuk az 1976–2005 és a 2070–2099 időszakokra vonatkozóan, valamint az alsó sorban az index relatív változását a XX. és a XXI. század vége között. A legjelentősebb növekedés (20%) nyáron valószínűsíthető az egész Kárpát-régióban. A Zagyva vízgyűjtőjén (fehér kontúrvonallal jelölt terület) a múltban 7–8 nap volt átlagosan a száraz időszakok becsült hossza, a jövőben ez az érték akár a 10–12 napot is elérheti. A többi évszakban hazánk területén belül eltérő irányú változásokat becsül a modell; télen a délnyugati, tavasszal az északkeleti-keleti, ősszel a déli régiók nagy részén az átlagos száraz időszakok hosszának csökkenő tendenciája várható.



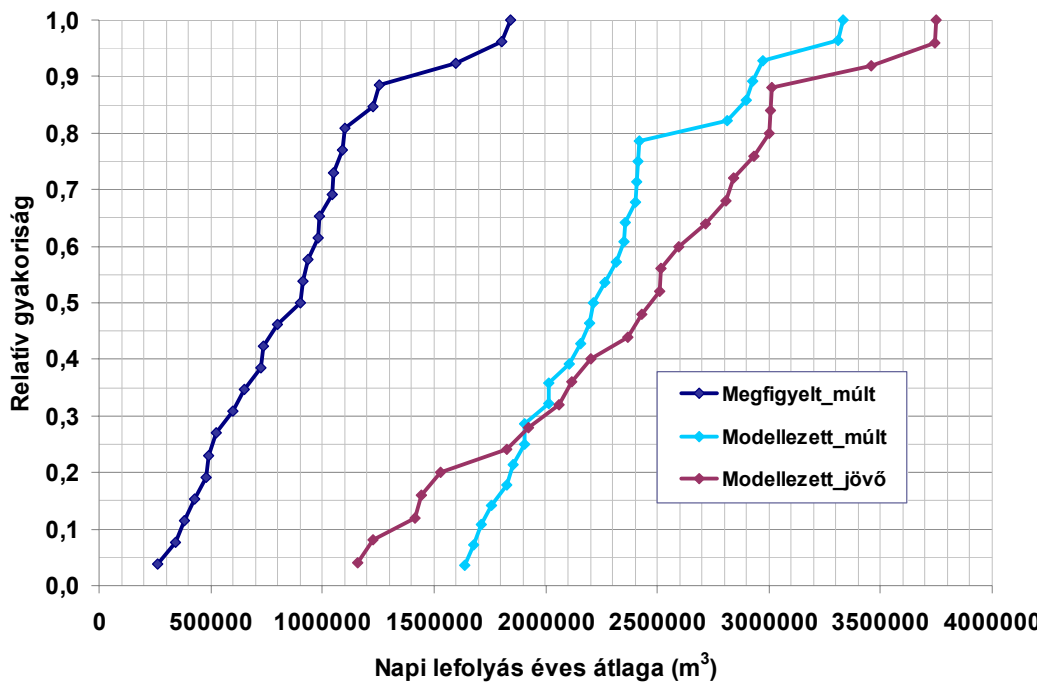
4. ábra: Átlagos évszakos csapadék és hőmérsékleti értékek az 1976–2005 és a 2070–2099 éghajlati normálidőszakban a RegCM4 szimulációi alapján, Magyarországon (a fehér kontúrral kiemelt terület a Zagyva vízgyűjtőjét jelzi)



5. ábra: A száraz időszakok átlagos hossza évszakonként az 1976–2005 és a 2070–2099 időszakban, valamint a becsült átlagos relatív változás a RegCM4 regionális klímamodell szimulációi alapján (a fehér/fekete kontúrral kiemelt terület a Zagyva vízgyűjtőjét jelzi)

A DIWA modell futtatása során kapott napi lefolyás-adatokból meghatároztuk az éves átlagos lefolyásokat (6. ábra). A grafikonon az extrém értékek szemmel láthatóan jól elkülöníthetők. A mért és a modellezett múlt eloszlásgörbéje jellegében nagyon hasonló, ám egy jelentősebb eltolódás figyelhető meg, ami a nyers RegCM4 szimulációk számottevő csapadékhibájának (Bartholy et al., 2015) a következménye. A szimulált napi csapadék-összegek eloszlásfüggvényeinek mérésekhez illesztésével, az így származtatható multiplikatív

korrekciós faktorok alkalmazásával tervezett hibakorrekció után a múltra vonatkozó hidrológiai eredmények javíthatók. A jövőre kapott éves átlagos lefolyás eloszlásfüggvénye jelentősen eltér a múltra kapott eloszlástól. Egyrészt jóval kisebb értékek is megjelennek, másrészt a szélsőségesen nagy vízmennyiségek gyakoribbak és intenzívebbek lesznek a modellbecslések szerint. Előzetes eredményeink egyértelműen összhangban vannak a korábbi vizsgálatainkból (Pongrácz et al., 2013, 2014) kapott eredményekkel: nyáron szárazabb éghajlati viszonyok valószínűsíthetők és a száraz időszakok átlagos hossza is növekedni fog – mindkét becsült változás kedvez a jelenleginél kisebb lefolyási értékek megjelenésének.



6. ábra: Az éves átlagos lefolyás eloszlása a mért és a modellezett múltban, valamint a modellezett jövőben

Összefoglalás

Tanulmányunkban a klímaváltozás Zagyva vízgyűjtő lefolyására gyakorolt hatását elemeztük. A vizsgálat során a mért meteorológiai adatok mellett a RegCM4 regionális klímamodell szimulációit is felhasználtuk a DIWA fizikai alapú, osztott hidrológiai modell bemenő paramétereként. Az előzetes eredményül kapott három idősor (mért és modellezett múlt, modellezett jövő) statisztikai összehasonlítása során az alábbi következtetésekre jutottunk:

- (1) a mért és a modellezett múltra vonatkozó éves átlagos lefolyás eloszlásgörbéinek alakja hasonló, ám jelentős eltolódás tapasztalható;
- (2) az éves átlagos lefolyások eloszlásait tekintve az extrém értékek jól elkülöníthetők;
- (3) a jövőben megjelennek a jelenlegihez viszonyítva kisebb értékek is, ugyanakkor gyakoribb és intenzívebb szélsőséges értékek valószínűsíthetők.

További terveink között szerepel a RegCM4 szimuláció nyers hőmérsékleti és csapadékadatainak hibakorrekciója a CarpatClim rácsponti adatbázis (Spinoni et al., 2015) felhasználásával, valamint az 1. ábrán is szemléltetett vízkészlet előfordulási és tartóssági gyakoriság klimatikus változékonyság függvényében való előállítás a hidrológiai modell és a regionális klímaadatok időjárásgenerátorral meghajtott összekapcsolása révén, amelyet beágyaznánk egy Monte-Carló algoritmusba. Ennek a modellkeretnek a hatékonysága egy

korábbi projekt keretében már igazolásra került (HYDROInform, 2012; Pongrácz et al., 2013).

Köszönetnyilvánítás

Kutatásainkat támogatta az OTKA K-109109 számú projektje, az AGRÁRKLIMA2 projekt (VKSZ_12-1-2013-0034) és az Európai Gazdasági Térség (EGT) Támogatási Alap „Alkalmazkodás az Éghajlatváltozáshoz” Program (EEA-C13-10).

Hivatkozások

- Bartholy, J., Pongrácz, R., Pieczka, I., Kelemen, F.D., Kis, A., André, K., 2015: Regional climate model experiment using RegCM subgridding options in the framework of Med-CORDEX. 95th Annual Meeting of the American Meteorological Society. <https://ams.confex.com/ams/95Annual/webprogram/Manuscript/Paper262821/BJ-et-al-AMS2015.pdf> Phoenix, AZ. Paper 591, 6p.
- Collins, W.J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Halloran, P., Hinton, T., Hughes, J., Jones, C.D., Joshi, M., Liddicoat, S., Martin, G., O'Connor, F., Rae, J., Senior, C., Sitch, S., Totterdell, I., Wiltshire, A., Woodward, S., 2011: Development and evaluation of an Earth-system model – HadGEM2, *Geosci. Model Dev. Discuss.*, 4: 997–1062, doi:10.5194/gmdd-4-997-2011
- Elguindi, N., Bi, X., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F., Rauscher, S., Zakey, A., Giuliani, G., 2011: Regional climatic model RegCM – User manual. Version 4.3. ICTP, Trieste, Italy. 32p.
- HYDROInform, 2012: Az árvízi lefolyás elemzése a Felső-Tiszán, különös tekintettel a klímaváltozás és az erdősültség várható megváltozásainak tekintetében. Megbízó: FETIVIZIG. Projektforrás: SH/2/1 (Svájci fejlesztési alap). Kutatási témajelentést záró jelentés. Budapest, 130p.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151p.
- Papaneek, L., 2013: A Zagyva folyó árvízvédelme, megoldott és megoldásra váró feladatok. A Magyar Hidrológiai Társaság XXXI. Országos Vándorgyűlés konferenciája. Gödöllő, 2013. július 3–5. 6p.
- Pieczka, I., Bartholy, J., Pongrácz, R., André, K., Kis, A., Kelemen, F.D., 2015: Regional climate modeling study for the Carpathian region using RegCM4 experiments. In: Air and Water Components of the Environment. (Eds.: Serban G., et al.) Casa Cartii de Stiinta, Cluj-Napoca, Romania. pp. 96–101. http://aerapa.conference.ubbcluj.ro/2015/PDF/13_PIECZKA_etal_96_101.pdf
- Pongrácz, R., Bartholy, J., Kis, A., 2014: Estimation of future precipitation conditions for Hungary with special focus on dry periods. *Időjárás*, 118: 305–321.
- Pongrácz, R., Bartholy, J., Szabó, J.A., 2013: Distributed hydrological modelling- and stochastic weather generator-based combined estimation technique for future flood frequency using regional climate model simulation. 93rd Annual Meeting of the American Meteorological Society. <https://ams.confex.com/ams/93Annual/webprogram/Manuscript/Paper218149/PR-BJ-SZJA-AMS-2013-paper-final.pdf> Austin, TX. Paper J6.1, 9p.
- Somot, S., Ruti, P., and the MedCORDEX modelling Team, 2012: The Med-CORDEX initiative: towards fully coupled Regional Climate System Models to study the Mediterranean climate variability, change and impact. *Geophysical Research Abstracts*, 14, EGU2012-6080.
- Spinoni, J., Szalai, S., Szentimrey, T., Lakatos, M., Bihari, Z., Nagy, A., Németh, Á., Kovács, T., Mihic, D., Dacic, M., Petrovic, P., Kržič, A., Hiebl, J., Auer, I., Milkovic, J., Štěpánek, P., Zahradníček, P., Kilar, P., Limanowka, D., Pyrc, R., Cheval, S., Birsan M.-V., Dumitrescu, A., Deak, G., Matei, M., Antolovic, I., Nejedlik, P., Štastný, P., Kajaba, P., Bochníček, O., Galo, D., Mikulová, K., Nabyvanets, Y., Skrynyk, O., Krakovska, S., Gnatiuk, N., Tolasz, R., Antofie, T., Vogt J., 2015: Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: Climatologies and trends of 10 variables. *Int. J. Climatol.*, 35: 1322–1341.

- Szabó, J.A., 2007: Decision Supporting Hydrological Model for River Basin Flood Control. In: Digital Terrain Modelling: Development and Applications in a Policy Support Environment (Eds.: Peckham R.J. and Jordan Gy.). Springer-Verlag, Berlin. pp. 145–182.*
- Szabó, J.A., Kuti, L., Bakacsi, Zs., Pásztor, L., Tahy, Á., 2010: Spatial Patterns of Drought Frequency and Duration in the Great Hungarian Plain, based on Coupled-Model Simulations. In: Proceedings of the 4th IAHR International Groundwater Symposium. Valencia, Spain. pp. 289–291.*
- Szegedi, J., Király, T., Katona, P.G., 2015: Jelentős vízgazdálkodási kérdések 2-10 Zagyva tervezési alegység. 14p.*
- Szépszó, G., Bartholy, J., Bihari, Z., Kovács, A., Németh, Á., Pongrácz, R., 2015: Information system for adaptation to climate change in Hungary. EMS Annual Meeting Abstracts, 12, EMS2015-438-1.*
- Thomson, A.M., Calvin, K.V., Smith, S.J., Kyle, G.P., Volke, A., Patel, P., Delgado-Arias, S., Bond-Lamberty, B., Wise, M.A., Clarke, L.E., Edmonds, J.A., 2011: RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic Change*, 109: 77–94.*