

AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS ÉS A LEFOLYÁSI KARAKTERISZTIKÁK KAPCSOLATÁNAK VIZSGÁLATA A FELSŐ-TISZA VÍZGYŰJTŐ PÉLDÁJÁN

Kis Anna(1), Pongrácz Rita(1), Bartholy Judit(1), Szabó János Adolf(2)

(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, prita@nimbus.elte.hu, bartholy@caesar.elte.hu,
janos.szabo@hydroinform.hu

Bevezetés

Napjaink egyik legnagyobb kihívása a klímaváltozás lehetséges negatív hatásainak mérséklése, fenntartható alkalmazkodási stratégiák kialakítása. Ennek érdekében fontos, hogy az éghajlatot alakító tényezőket és azok változásainak közvetlen és közvetett válaszait minél jobban megismerjük. Tapasztalhatjuk ugyanis, hogy a klíma – összetettségéből adódóan – nem csak a környezeti, de a társadalmi-gazdasági rendszerünk számos területét is nagymértékben befolyásolja. Ezek közül mindenképpen kiemelendő például a mezőgazdaság, az egészségügy, a turizmus, a közlekedés és az általános infrastruktúra.

A hőmérséklet, a csapadék, valamint az extrém időjárási események intenzitásának és gyakoriságának megváltozásai jelentős hatást gyakorolnak a hidrológiai folyamatokra – többek között a lefolyási karakterisztikák nemkívánt megváltozásán keresztül – ami például az árvízvédelem, a hajózhatóság és az energetika szempontjából is rendkívüli fontossággal bír. Éppen ezért elengedhetetlen, hogy megfelelő ajánlásokat fogalmazzunk meg a fenntartható adaptációs stratégiák kidolgozásához.

A lefolyási folyamatok változásának elemzése egy rendkívül összetett problémának tekinthető, amelynek vizsgálatához különböző tudományterületek – a klimatológia, a hidrológia, a talaj- és növénytan, a távérzékelés, a térinformatika (GIS¹) és az információtechnológia – alkalmas összekapcsolása szükséges. A mi megközelítésünkben a lefolyási karakterisztikák klímaváltozással összefüggő megváltozását egy fizikai alapú, osztott (GIS alapú) hidrológiai modell segítségével vizsgáljuk, melyben az összehasonlításhoz meteorológiai meghajtott adatként a jelenlegi helyzet értékelésére a CARPATCLIM idősorai, a jövőre vonatkozóan pedig egy regionális klímamodell (RCM) szimulációi szolgálnak. Jelen tanulmány újszerűsége a korábban más éghajlati modellel (HYDROInform, 2012), más területre vonatkozó (Kis et al., 2015; Pongrácz et al., 2016) vizsgálatokhoz képest, hogy az RCM-szimuláció nyers kimeneti adataival és a hibakorrekció elvégzése után kapott éghajlati idősorokkal meghajtott hidrológiai modelleredmények elemzésére is kitér. Az integrált modell-konceptiónk tesztelésére a közel 9000 km² kiterjedésű Felső-Tisza vízgyűjtőt választottuk, amely kiemelt fontosságú a hazai árvízvédelem szempontjából. Dolgozatunkban a felhasznált adatok és a módszertan részletes leírása után eddigi eredményeinket mutatjuk be, majd összefoglaljuk tapasztalatainkat és ismertetjük jövőbeli terveinket.

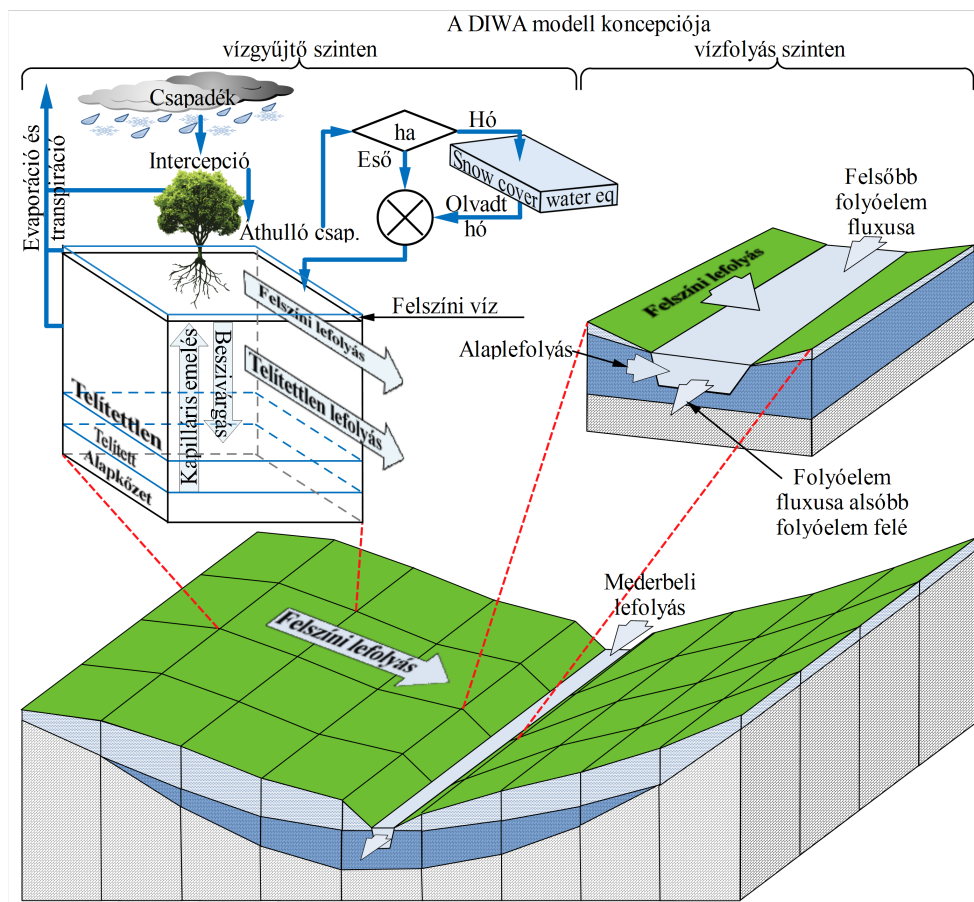
A vizsgálat lépései, felhasznált adatok

Az éghajlat lefolyási karakterisztikákra gyakorolt hatásának elemzéséhez egy több lépésből álló módszertant követünk. Elsőként elvégezzük a hidrológiai modell kalibrációját, és ezzel párhuzamosan lefuttatunk egy regionális klímamodell, valamint kiválasztunk egy (méréseken

¹ Geographic Information System (térinformatikai, geoinformációs rendszer)

alapuló) referencia adatbázist. Tanulmányunkban a fizikai alapú ún. DIWA² hidrológiai modellt (Szabó, 2007) használtuk, amelynek kalibrációját az észlelt és szimulált lefolyás adatok kétéves időszakra vonatkozó összevetésével végeztük el a Tisza tiszabecsi mérce-szelvényre.

Elemzéseink egyik kulcseleme a DIWA hidrológiai modell, amely térben is és paramétereiben is osztott (1. ábra), azaz a vízgyűjtőt elemi cellákra (1 km × 1 km) bontja (s ezekre külön-külön megadhatók a szükséges paraméterek, fizikai tulajdonságok), amelyek a domborzatból (USGS DEM³; 1993) származtatott lefolyási hierarchia alapján kapcsolódnak egymáshoz. Az egyes rácscellákban három alapvető réteg különíthető el: a légkör, a vegetáció és a talaj. A bemenő csapadékot az adott naphoz tartozó hőmérsékleti érték alapján esőnek vagy hónak tekinti a modell. Amennyiben hó van jelen, akkor a felhalmozódást, illetve egy kritikus hőmérséklet meghaladása esetén, a hó olvadását is számításba veszi Martinec (1960) módszere alapján.



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

Tudjuk, hogy a csapadék egy része nem éri el közvetlenül a felszínt; egy részét felfogja a vegetáció (ahonnan aztán idővel elpárolog). Ez az intercepció jelensége, amelynek számításához a műholdas adatokból nyert NDVI⁴ értékeken keresztül a LAI⁵ havi értékeit is figyelembe veszi a modell. A szabad vízfelszíni evaporációt (E_0) Varga-Haszonits (1969) módszere alapján számítja a DIWA, az evapotranspiráció meghatározása során pedig az adott felszín

² Distributed Watershed

³ U.S. Geological Survey Digital Elevation Model

⁴ Normalized Difference Vegetation Index (normált különbségből álló vegetációs index)

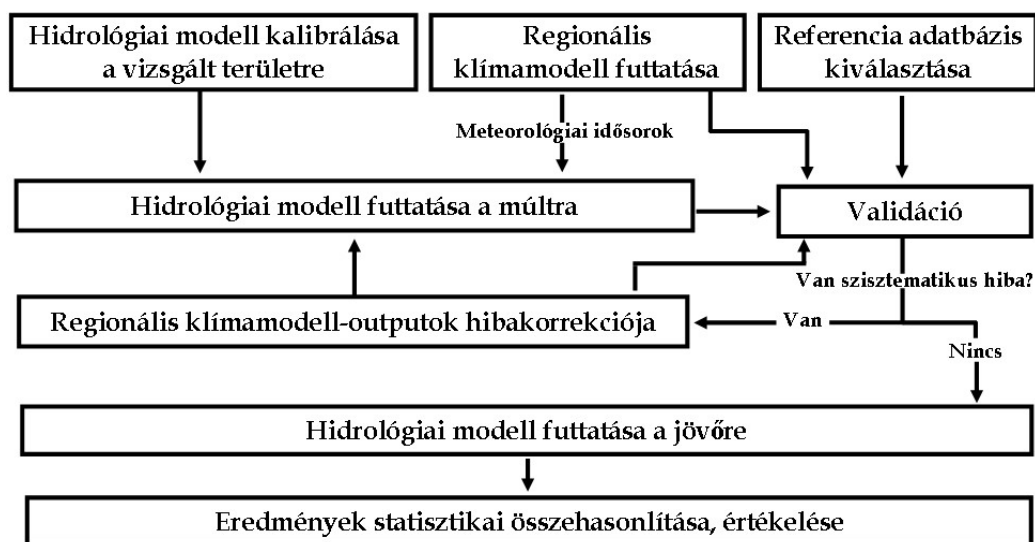
⁵ Leaf Area Index (levéfelületi index)

(45 különböző típus) biológiai tulajdonságai mellett a talaj víztározásának korlátozó hatására is tekintettel van. A talaj – amely rácscellánként további rétegekre osztható: O-horizont⁶, telítetlen, telített – víztartó képességének becslésére a Van Genuchten-féle (1999), méréseken alapuló ún. pF-görbék⁷ használja a modell. A DIWA továbbá figyelembe veszi az alapkőzet permeabilitását is, és megkülönbözteti a mederbeli és a felszíni (O-horizontban történő) lefolyást. A DIWA tehát a hidrológiai ciklus minden lényeges részfolyamatát tartalmazza: a csapadékhullást, az intercepciót, a hófelhalmozódást, a hóolvadást, az evaporációt, a transpirációt, a beszivárgást, a kapilláris emelést, valamint a felszíni és a mederbeli lefolyást is.

A DIWA futtatásához szükséges meteorológiai idősorokat (napi átlag- és minimum-hőmérséklet, napi csapadékösszeg) a RegCM4 (Elguindi et al., 2011) regionális klímamodell szimulációi biztosítják, amelynek Kárpát-medencére fókuszáló adaptálása az ELTE Meteorológiai Tanszékén történt (Bartholy et al., 2015). A jövőre (2006–2009) vonatkozóan két futtatás áll rendelkezésünkre, az optimistább RCP4.5⁸ és a pesszimista RCP8.5⁹ forgatókönyv (van Vuuren et al., 2011) alapján. Referenciaként a mérési adatokból szabályos (0,1° felbontású) rácshálózatra interpolált CARPATCLIM (Spinoni et al., 2015) adatbázist választottuk, amely számos meteorológiai változó 50 év (1961–2010) hosszúságú idősorát tartalmazza napi léptékben.

A vizsgálat következő lépéseként, a hidrológiai és az éghajlati szimulációk validációját végezzük el, azaz a múltira vonatkozó szimulációkat összehasonlítjuk a referencia adatbázissal. Amennyiben azt tapasztaljuk, hogy eredményünk szisztematikus hibával terhelt, hibakorrekciót hajtunk végre a klímamodell-outputokon. Ha ennek eredményeként, a múltbeli időszakot már sikeresen szimulálja a korrigált RCM-idősorokkal meghajtott hidrológiai modell, akkor elvégezzük a jövőre vonatkozó futtatást is.

Végezetül, az eredményül kapott vízhozam-idősorok felhasználásával statisztikai vizsgálatokat, összehasonlításokat, értékeléseket készítünk, amelyekkel lehetőségünk nyílik a múltbeli és a jövőben várható lefolyási karakterisztikák megismerésére (2. ábra).



2. ábra: A vizsgálat lépései.

⁶ Organic horizon: a talaj legfelső, néhány cm vastagságú rétege, amely friss, vagy bomlásban lévő nagy mennyiségű szerves anyagot tartalmaz

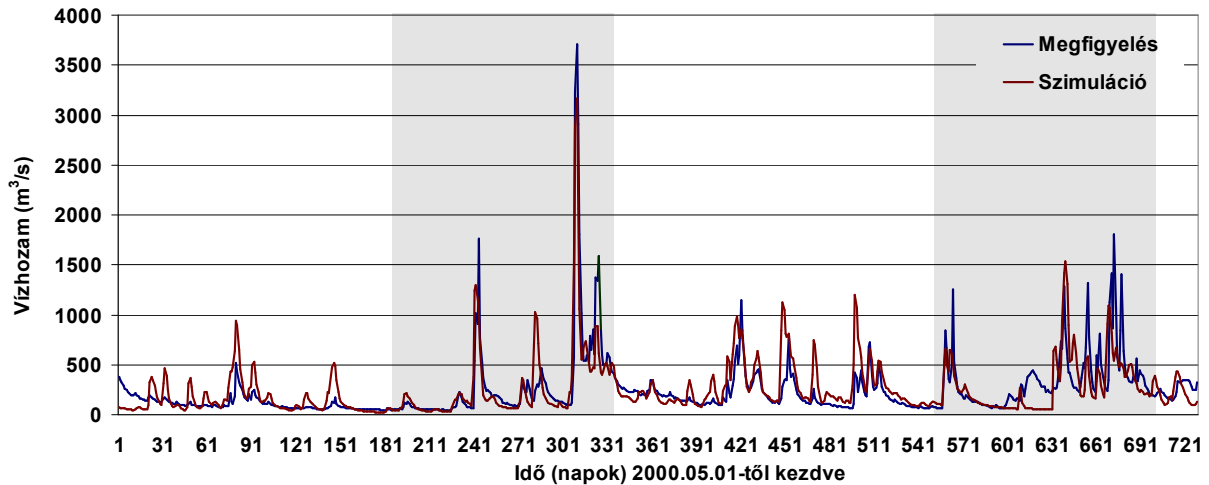
⁷ A talaj víztartó képességének függvénye

⁸ Representative Concentration Pathway 4.5 W/m² (koncentrációváltozás reprezentatív pályája az ipari forradalomtól 2100-ig 4,5 W/m² sugárzási kényszer változás esetén)

⁹ Representative Concentration Pathway 8.5 W/m² (koncentrációváltozás reprezentatív pályája az ipari forradalomtól 2100-ig 8,5 W/m² sugárzási kényszer változás esetén)

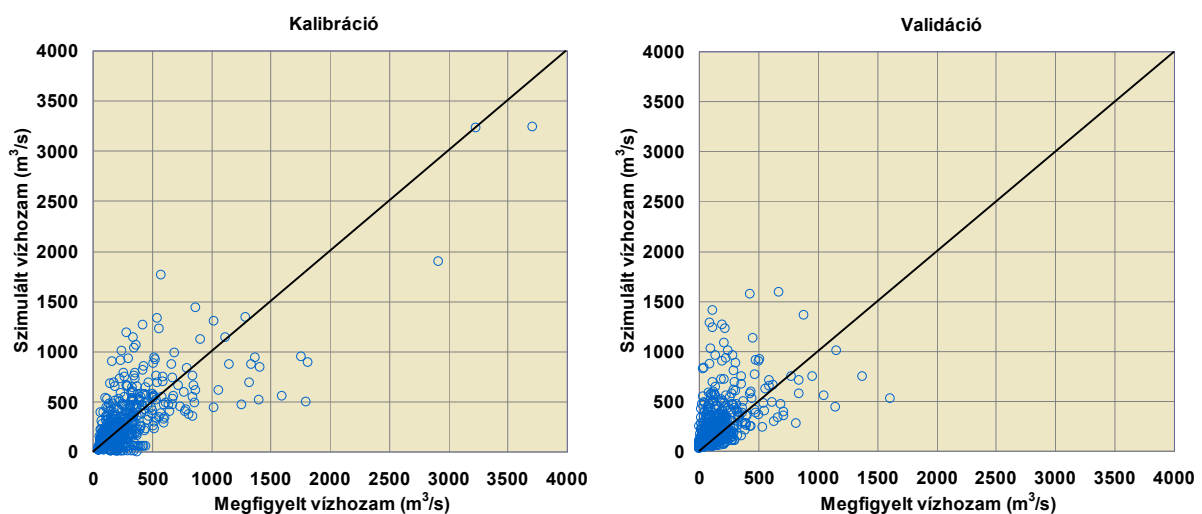
Előzetes eredmények

Eddigi eredményeinkből elsőként a hidrológiai modell kalibrációját (3–4. ábra) és validációját (4. ábra) mutatjuk be Tiszabecstre (é. sz. 48,1°; k. h. 22,8°) vonatkozóan.



3. ábra: Megfigyelt és szimulált vízhozam értékek időszora Tiszabecsen (2000. május 1–2002. április 30.). A szürke háttér a téli időszakot (novembertől márciusig) jelzi.

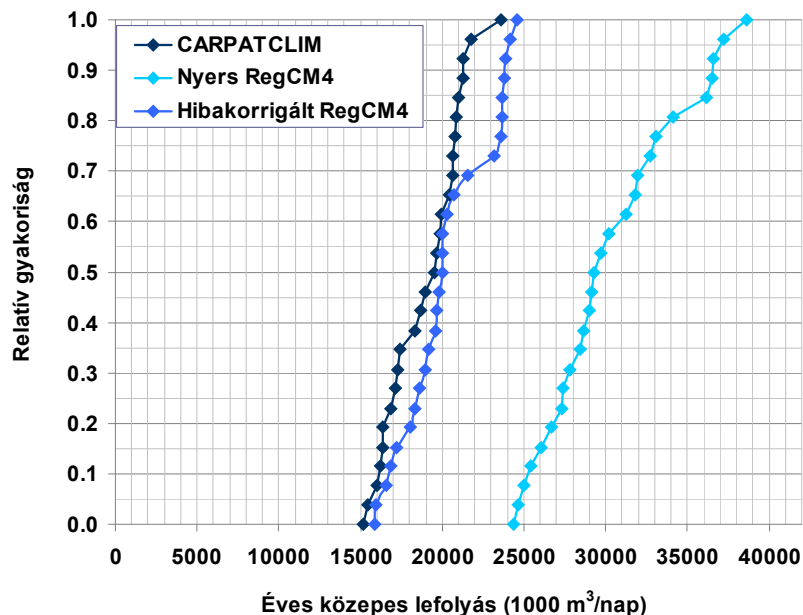
A kalibrációt egy kétéves időszakra végeztük el (2000. május 1–2002. április 30.), amely során egy jelentős árhullám és egy hosszabb, kisvízű időszak egyaránt megfigyelhető volt. A CARPATCLIM csapadék, minimum- és átlaghőmérséklet idősoraival meghajtott DIWA modell vízhozam-szimulációit a megfigyelt vízhozam adatokhoz igazítottuk a modell különböző paramétereinek (például a hóolvadás kritikus hőmérséklete, az O-horizont és a felszín maximális tározókapacitása) finomhangolásával. A DIWA által modellezett vízhozam idősor jól közelíti a megfigyeléseket: a 2001 márciusában (310. nap) jelentkező nagyobb árhullámot és a 2000 októberében fellépő, hosszabb ideig tartó kisvízű időszakot (159–191. nap) egyaránt visszaadja a szimuláció.



4. ábra: Megfigyelt és szimulált vízhozam értékek Tiszabecstre (kalibráció: 2000. május 1–2002. április 30.; validáció: 2002. május 1–2004. április 30.).

A kalibráció és a validáció sikerességét egy pontdiagram segítségével is értékeljük (4. ábra). Megállapíthatjuk, hogy a megfigyelt és a szimulált értékek között nincs szisztematikus eltérés, hiszen alul- és felülbecslések hasonló mértékben fordulnak elő. Továbbá láthatjuk, hogy az egyes pontok viszonylag közel helyezkednek el a tökéletes egyezést reprezentáló fekete egyeneshez ($y = x$). Így a hidrológiai modell szimulációja alkalmas az éghajlatváltozás lefolyásra gyakorolt hatásának elemzésére.

A RegCM4 által szimulált éghajlat validációs vizsgálata alapján elmondható, hogy nyáron a hőmérsékletet felül-, a csapadékot alulbecsli a modell; míg a többi évszakban a hőmérséklet esetén a szimuláció kismértékű hibája és a csapadék felülbecslése jellemző (Bartholy et al., 2015). Ezért a szisztematikus hibák kiküszöbölésére percentilis-alapú hibakorrekciót (Pongrácz et al., 2014) hajtottunk végre a nyers klímamodell-outputokon, amelyhez a CARPATCLIM adatbázis szolgált referenciaként (1971–2000). A hibakorrigált idősorokból számított átlagos havi csapadékösszegek szinte teljes mértékben megegyeznek a referenciával, azonban a hidrológiai modell futtatása során azt tapasztalhattuk, hogy egy ilyen jellegű hatás-vizsgálathoz ez a korrekciós módszer még nem tökéletesen megfelelő, további finomítás szükséges.



5. ábra: Az éves átlagos lefolyás gyakorisággörbéje a CARPATCLIM, valamint a nyers és a hibakorrigált RegCM4 idősorokkal meghajtott DIWA-szimulációk alapján (1971–2000).

Az 5. ábrán jól látható, hogy a nyers RegCM4 outputokkal meghajtott DIWA-szimuláció alapján számított éves közepes lefolyás gyakorisággörbe alakja hasonló a referenciáéhoz, de jelentősen felülbecsli azt. A hibakorrigált éghajlati idősorokkal vezérelt hidrológiai szimuláció az éves közepes lefolyás-értékeket jól visszaadja, azonban a gyakorisággörbe alakja módosult az eredetihez képest. Ezen eredmények alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy az RCM-outputok hibakorrekciója feltétlenül szükséges. A jelen tanulmány során alkalmazott percentilis-alapú korrekció azonban még nem teljesen megfelelő a célunknak, ezért további vizsgálatok szükségesek a lehető legjobb módszer megtalálásához.

Összefoglalás

Tanulmányunkban egy, a lefolyási karakterisztikák és az éghajlat kapcsolatának vizsgálatára alkalmas módszert mutattunk be. Példaként a CARPATCLIM adatbázis, a RegCM4 klíma-

modell és a DIWA hidrológiai modell felhasználásával kapott eddigi eredményeinket ismertettük a Felső-Tisza vízgyűjtőterületére. A DIWA sikeres kalibrációja után, az 1971–2000 időszakra végeztünk futtatásokat, amelyekhez a referencia adatbázis, a nyers és a hibakorrigált RCM-outputok szolgáltatták a szükséges meteorológiai idősorokat. Eddigi eredményeink alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a lefolyás mennyiségét tekintve, a nyers regionális klímamodell-outputokkal meghajtott DIWA a valóságtól jelentősen eltérő eredményeket ad. A szisztematikus hibák kiküszöbölésére alkalmazott percentilis-alapú korrekció azonban további finomításra szorul, hiszen – habár a mennyiségeket már nagyon jól közelíti a szimuláció – az éves közepes lefolyás gyakorisággörbéje megváltozott, eltér a referenciáétól.

Fontos még megjegyezni, hogy az éghajlat belső változékonyságából, a választott scenáriótól és a modellek közelítéseiből adódóan a szimulációk bizonytalansága nagy, továbbá eredményünk a választott modellektől, az esetlegesen alkalmazott hibakorrekciótól és a referenciaként tekintett adatbázistól is nagymértékben függ. A bizonytalanság számszerűsítése érdekében célszerű lehet több modellt és scenáriót együttesen vizsgálni, illetve az adatsorokban rejlő statisztikus jellemzők becslésére időjárás-generátorral meghajtott éghajlati szimulációkat alkalmazni az elemzések során. Ezért további terveink között szerepel a vizsgálat ilyen jellegű kiterjesztése, a bizonytalanság megadása, valamint a legmegfelelőbb hibakorrekciós eljárás alkalmazása mellett a jövőre vonatkozó futtatások elemzése, értékelése is.

Köszönetnyilvánítás

Kutatásainkat támogatta 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.
- 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.
- 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.* (Pongrácz R., Mészáros R., Kis A. szerk.) *Egyetemi Meteorológiai Füzetek* 26., 41–48. ISBN 978-963-284-358-2 (online) <http://nimbus.elte.hu/oktatas/metfuzet/EMF026/PDF/06-Kis-et-al.pdf>
- Martinec, J., 1960: The degree-day factor for snowmelt runoff forecasting. In: *IUGG General Assembly of Helsinki, IAHS Commission of Surface Waters*, 51: 468–477.
- 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., Kis, A., Szabó, J.A., 2016: Projected changes of extreme runoff characteristics under climate change conditions – case study for a Central/Eastern European catchment. 96th Annual Meeting of the American Meteorological Society. https://ams.confex.com/ams/96Annual/webprogram/Manuscript/Paper285436/Extended-paper-PR-BJ-KA-SZJA_2016_AMS.pdf New Orleans, LA. Paper 587, 6p.
- 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., Zahradnicek,

- 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., Bochnicek, 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. 145–182.
- U.S. Geological Survey, 1993: Digital Elevation Models: U.S. Geological Survey Data User's Guide 5. Reston, Virginia, 60p.
- Van Genuchten, M.Th., Leij, F.J., Wu, L. (eds.) 1999: Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media. Parts 1 and 2, University of California, Riverside, CA.
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J.A., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A.M., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S., 2011: The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109: 5–31.
- Varga-Haszonits, Z., 1969: Determination of the water content and of the evaporation of bare soil. *Időjárás*, 73: 328–334.