

## A XXI. századra becsült klimatikus tendenciák várható hatása a lefolyás szélsőségeire a Felső-Tisza vízgyűjtőjén

Kis Anna<sup>(1,2)</sup> – Szabó János Adolf<sup>(3)</sup> – Prof. Dr. Bartholy Judit<sup>(1,2)</sup> – Dr. Pongrácz Rita<sup>(1,2)</sup>

- 1) Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék
- 2) ELTE TTK Kiválósági Tudásközpont
- 3) HYDROInform, Hidroinformatikai Kutató, Rendszerfejlesztő és Tanácsadó BT.

### 1. Bevezetés

A klimatikus tendenciáknak vízrendszerekre – és ezáltal a vízgazdálkodás egészére – vonatkozó várható hatásainak elemzése napjaink alkalmazott földtudományának egyik kiemelten fontos kutatási területe. Ez nem véletlen, hiszen mára már nem vitatható, hogy a fokozódó negatív hatású emberi tevékenységek következményeként globális felmelegedésnek lehetünk tanúi, amely hatással lesz/van Földünk vízforgalmára (alapvetően a hidrológiai ciklusra), és ezáltal a hozzáférhető vízkészletekre, azok szélsőértékeire valamint ezek gyakoriságaira is. Tehát egy adott vízgyűjtőn a lefolyást és azok szélsőségeit nem csupán a vízgyűjtőn bekövetkező (ember és/vagy a természet által okozott) változások, hanem a klimatikus variabilitások megváltozásai is alakítják. Mindazonáltal napjainkra már az is tény, hogy a Földön a klímaváltozás aránya és mértéke regionálisan és szezonálisan eltérő lehet. Például a jövőben a Föld legtöbb térségében a csapadékmennyiség növekedése valószínűsíthető, azonban a déli félteke közepes szélességein szárazodás várható, akárcsak az északi féltekén Közép-Amerikában, az Atlanti-óceán közepes szélességein és a Földközi-tenger térségében (IPCC, 2013). Ezért érthető és természetes, hogy a világ szinte minden régiójában kutatják, elemzik az adott területre jellemző klimatikus trendeket és azok különböző szektorokra vonatkozó, reálisan is alátámasztható hatásait (pl.: vízgazdálkodás, ipar, mezőgazdaság, hajózhatóság, energiatermelés, stb.).

Dolgozatunkban a jelentős antropogén hatás esetén valószínűsíthető klímaváltozási scenáriókra várható hidrológiai válaszait elemeztük a lefolyás, és annak szélsőségeit jellemző paramétereire vonatkozóan a Felső-Tisza Tiszabecs mérceszelvényéhez tartozó vízgyűjtőjére (1. ábra), amely hazánkban árvízvédekezési szempontból (is) egy kiemelten fontos terület.



1. ábra: A vizsgálatban szereplő célterület: a Felső-Tisza vízgyűjtő.

## 2. Felhasznált adatok, alkalmazott módszerek

A lefolyás elemzéséhez a DIWA, térben és fizikailag is osztott, komplex, 3D-s hidrológiai modellel (Szabó, 2007) végeztünk futtatásokat, amelyhez különböző meteorológiai idősorok szolgáltatták a bemenő peremfeltételeket. A múltra és a jövőre vonatkozóan egyaránt elvégeztük numerikus vizsgálatainkat. A referencia időszak az 1972–2001-es periódus volt, mivel szerettük volna a 2001-es extrém tiszai árvizet is figyelembe venni. A jövőre vonatkozó becsléseket pedig a 2021–2050-es időszakra, valamint a XXI. század végére, 2069–2098-ra végeztük el.

Vizsgálatainkhoz tehát adatok tekintetében szükségünk volt hidrológiai és meteorológiai idősorokra, amelyeket referenciaként használhattunk a historikus időszakra vonatkozóan, továbbá éghajlati szimulációkra a jövőbeli klimatikus viszonyok megadása végett. Hidrológiai idősorként a célterület záró szelvényében (Tiszabecs) észlelt vízhozam idősort használtuk fel. Ezt a napi – reggeli 6 óras – vízhozam-idősort az 1997–2005. időszakra vonatkozóan a FETIVIZIG Vízirajzi Osztályától kaptuk, amelyet az Országos Vízirajzi Adattárból nyertek ki. A referenciaként tekintett meteorológiai változókat a nemzeti meteorológiai szolgálatok állomási mérései alapján összeállított CARPATCLIM adatbázis (Spinoni et al., 2015) biztosította. A jövőre vonatkozó szimulációkat pedig a RegCM4 (Elguindi et al., 2011) regionális klímamodell szolgáltatta, amely az RCP8.5 forgatókönyvet (van Vuuren et al., 2011) vette figyelembe futása során.

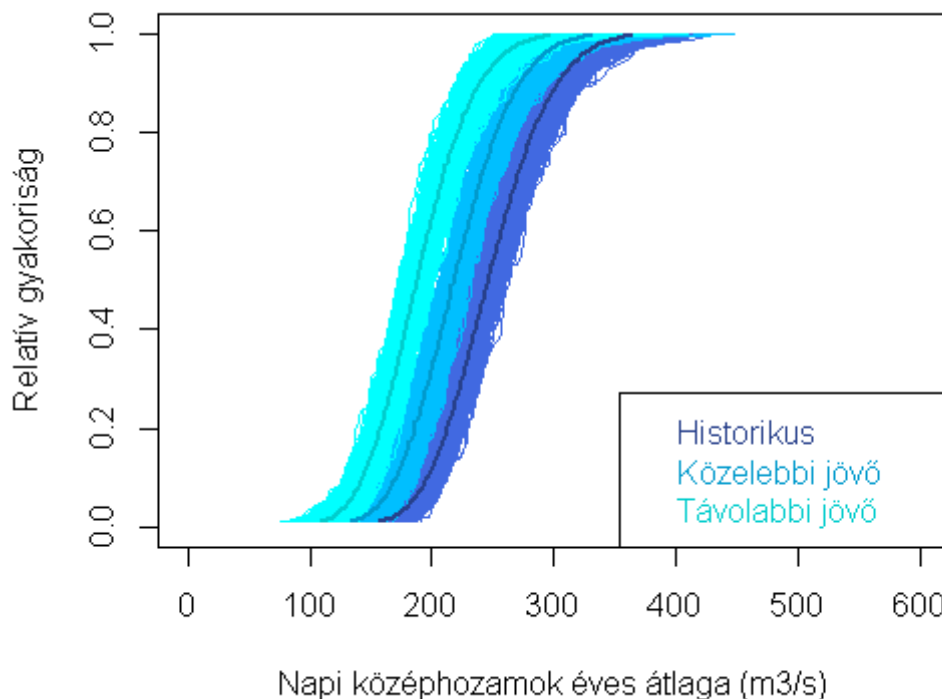
A meteorológiai peremfeltételek hidrológiai válaszait a fizikai alapú, térben és paramétereiben is osztott DIWA modellel állítottuk elő. Kutatásunkhoz a gyakoriságok (előfordulási arányok) reális becslése és a becslési bizonytalanságok számszerűsítésének érdekében Monte-Carlo (MC) ciklusba ágyazott sztochasztikus időjárás-generátorral, a DIWA-SWG-vel (HYDROInform, 2012) előállított több száz, azonosan valószínű, egyenként 100 év hosszúságú szintetikus idősorral jellemzett scenáriót vizsgáltunk a XXI. század közepére és végére vonatkozóan. A RegCM4 által szolgáltatott bemeneti meteorológiai adatokról (napi csapadék és hőmérsékleti idősorok) validációs vizsgálatokkal megállapítottuk, hogy szisztematikus hibával terheltek. Ezért egy, a DIWA-SWG sztochasztikus időjárás-generátor paramétereinek illesztésén alapuló hibakorrektív eljárással kiküszöböltük ezeket az eltéréseket, és a további elemzéseket már csak a korrigált idősorok alapján végeztük el.

Az MC-szimulációk eredményeként tehát több száz, azonos valószínűséggel lehetséges, 100 év hosszúságú napi lefolyás idősor állt rendelkezésünkre, amelyeknek vizsgáltuk a kumulált relatív gyakoriságait, várható értéküket (valamint ezek alakulását a jövőbeli időszakokban). Továbbá a lefolyás szélsőségeire vonatkozóan is készítettünk becsléseket, annak bizonytalanságának megadásával. Az eredményül kapott napi léptékű vízhozam idősorokból meghatároztuk a napi közepes vízhozamokat, azok éves átlagát, valamint havi skálán is megvizsgáltuk eloszlásfüggvényeiket. Kiemelt fontosságot kapott vizsgálataink során még a harmadfokú árvízvédelmi készülségi szint meghaladása, illetve a kritikusan alacsony szint alatti esetek számának meghatározása a referencia- és a két jövőbeli időszakra vonatkozóan, hogy bemutathassuk egy-egy példa által módszertanunk vízgazdálkodási alkalmazhatóságát.

## 3. Eredmények

A következőkben a DIWA hidrológiai modell futtatásának eredményeit ismertetjük. Elsőként a napi középvízhozamok éves átlagának eloszlását mutatjuk be a három vizsgált időszakra (historikus, közelebbi és távolabbi jövő) vonatkozóan a MC ciklusba ágyazott DIWA szimulációk alapján (2. ábra; a vékony vonalak az egyes alternatív futásokat jelölik, a

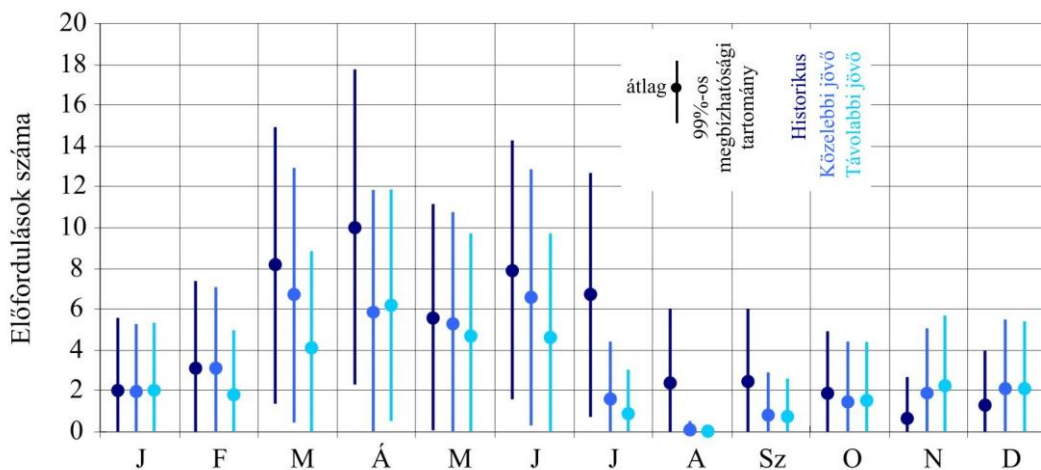
vastagabb vonalak azok átlagát). Eredményeink szerint szignifikánsan csökkenő éves lefolyás valószínűsíthető a jövőben a tiszabecsi szelvényben. A becsült változás a XXI. század végére markánsabb; a közelebbi jövőre vonatkozóan egyes szimulációk még növekedést mutatnak. Az 50. percentilishez (azaz a mediánhoz) tartozó érték relatív változása rendre 12%, illetve 24% a közelebbi, illetve távolabbi jövőben. Megfigyelhető, hogy a kisebb percentilis értékekhez tartozó változás nagyobb mértékű, mint a nagyobb percentilisek esetén. Az MC-szimulációk átlagát tekintve például az átlagos relatív változás 14–30% az alacsony középvízhozamoknál, míg 9–18% a magasabb értékeknél. Megjegyezzük, hogy havi skálán vizsgálódva az éves lefolyás becsült változási irányától eltérő eredményeket is kaphatunk. Április és október között kifejezett csökkenés valószínűsíthető, amely az évszázad végére szignifikánsnak bizonyul a Kolmogorov-Szmirnov próba (Dévényi & Gulyás, 1988) alapján. A közelebbi jövőre vonatkozóan csak a júliustól szeptemberig tartó időszakra becsült csökkenés volt szignifikáns. Az általános csökkenő tendenciával ellentétben, januárban és februárban növekedést jeleznek a szimulációk a jövőre.



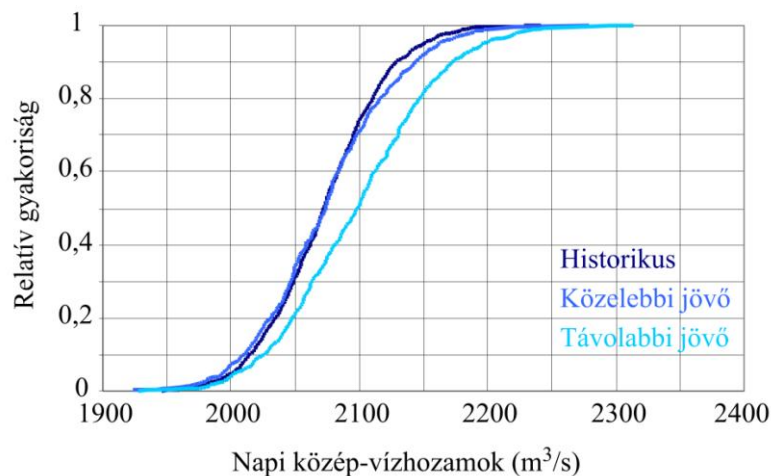
2. ábra: A napi középvízhozamok éves átlagának eloszlásfüggvényei a három vizsgált időszakban a MC ciklusba ágyazott hibakorrigált paraméterekkel futtatott DIWA-SWG időjárás-generátor szimulációival meghajtott DIWA-outputok alapján a tiszabecsi szelvényre vonatkozóan. Az egyes futásokat a vékony vonalak, azok átlagát a vastagabb, sötétebb színűek jelzik.

A felső extrémek tekintetében az integrált modell-szimulációk azt jelzik, hogy kevesebb lesz a harmadfokú árvízvédelmi készültségi szintet meghaladó események száma (ld. 3. ábra), hiszen a téli hőmérsékletnövekedés következtében a hóban kihulló csapadék arányaiban csökkenni fog, így a hó felhalmozódása, illetve a tavaszi időszakhoz tartozó hóban tárolt vízkészlet mennyisége is jelentéktelenebb lesz, amely a tavaszi áradások mértékének akár jelentős csökkenését hozhatja magával. Ugyanakkor a nyári áradások is szignifikánsan kisebb valószínűséggel fordulnak majd elő, hiszen az általános csapadékcsökkenés, illetve a hosszabb csapadékmentes időszakok következtében alacsonyabb mederteltségű vízhalózat fog

kialakulni, amely aztán az esetleges jelentősebb csapadékesemények okozta nagyobb árhullámokat könnyedén el tudja majd vezetni, főleg egy olyan nagyobb befogadó vízfolyás, mint a Tisza. Modellkísérlet alapú becsléseink szerint a harmadfokú árvízvédelmi készütségi szintet meghaladó esetek számában éves szinten szignifikáns csökkenés várható: a közelebbi jövőre  $-30\%$ , a távolabbi jövőre  $-40\%$  körüli a becsült változás. Azaz, míg a historikus időszakban 100 éven belül átlagosan 52-szer fordult elő harmadfokú árvízvédelmi készütségi szintet meghaladó árhullám, addig a XXI. század közepére ez már csak 37, a XXI. század végére pedig 31 esetet jelent majd szimulációink szerint. Másként fogalmazva, míg a historikus időszakban a vízállás átlagosan minden második évben meghaladta a harmadfokú árvízvédelmi készütségi szintet, addig a távolabbi jövőben ez átlagosan már csak háromévente fog előfordulni.



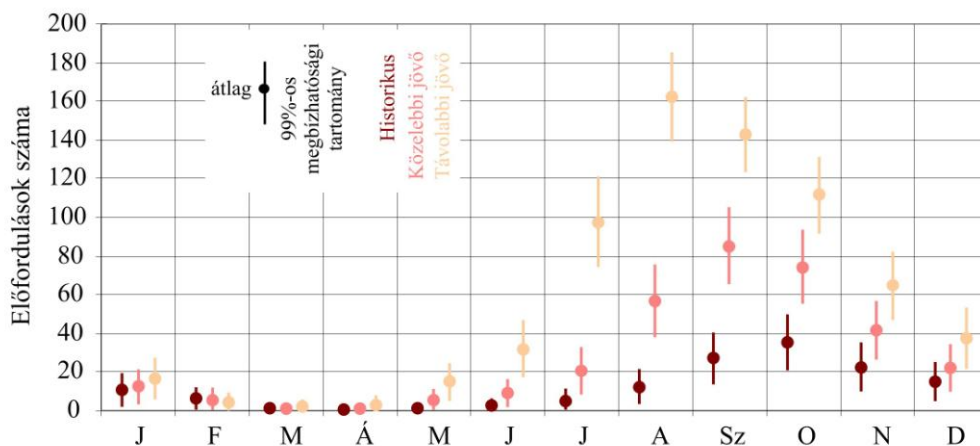
3. ábra: Harmadfokú árvízvédelmi készütségi szintet meghaladó esetek előfordulása 100 éven belül a MC ciklusba ágyazott hibakorrigált paraméterekkel futtatott DIWA-SWG időjárás-generátor szimulációival meghajtott DIWA-outputok alapján a három vizsgált időszakban a tiszabecsi szelvényre vonatkozóan.



4. ábra: A harmadfokú árvízvédelmi készütségi szint feletti napi középvízhozamok 100 éves átlagainak relatív gyakorisága a hibakorrigált paraméterekkel futtatott DIWA-SWG időjárás-generátor szimulációival meghajtott DIWA-outputok átlaga alapján a három vizsgált időszakban a tiszabecsi szelvényre vonatkozóan.

A gyakoriságok mellett meghatároztuk a három vizsgált időszakra, és azon belül minden 100 évre az adott szint feletti napi középvízhozamok átlagát, és összehasonlítottuk ezek eloszlásait (4. ábra). Eredményeink azt mutatják, hogy a XXI. század végén nagyobb lesz a harmadfokú árvízvédelmi készütségi szintet meghaladó víztömeg egy napra eső átlagértéke. Tehát a kapcsolt éghajlati-hidrológiai modellszimulációkon alapuló elemzéseink szerint ugyan kevesebb lesz az árvizes esetek száma, de azok között előfordulhatnak súlyosabbak is a historikus időszakban megszokottaknál.

Az extremitás másik végét, azaz a kritikusan alacsony szintek alakulását is vizsgáltuk szimulációink felhasználásával. Ennek érdekében elsőként kiszámítottuk a tiszabecsi szelvény elmúlt 100 év historikus vízhozam adataiból az éves minimumok sokévi átlagát, melyet tekinthetünk a referencia időszakra jellemző alsó korlátként, ami  $110 \text{ m}^3/\text{s}$ -nak adódott. Mindhárom időszakra meghatároztuk, hogy hány alkalommal volt ekkora, vagy ennél kisebb a vízhozam havi bontásban, majd átlagoltuk őket (5. ábra). Az éven belül nagyrészt a kritikus alsó szint alatti esetek számának növekedése valószínűsíthető, amely a XXI. század végére késő nyáron-kora ősszel lesz jelentősebb. A legnagyobb gyakoriság a historikus időszakban a szimulációk szerint októberben; a minimális előfordulási gyakoriság tavasszal jellemző. A jövőre vonatkozó becslések alapján megállapíthatjuk, hogy a XXI. század közepére várhatóan szeptemberre tolódik a maximum az átlagok alapján (bár a teljes bizonytalansági tartományt figyelembe véve nincs jelentős különbség a 9. és a 10. hónap között). A távolabbi jövőben pedig augusztus lesz a legtöbb kritikus alsó szint alatti esetszámmal rendelkező hónap az átlagokat tekintve.



5. ábra: Kritikusan alsó szint alatti esetek számának 100 éven belüli előfordulása a MC ciklusba ágyazott hibakorrigált paraméterekkel futtatott DIWA-SWG időjárás-generátor szimulációival meghajtott DIWA-outputok alapján a három vizsgált időszakban a tiszabecsi szelvényre vonatkozóan.

#### 4. Összefoglalás

Kutatásunk folyamán adekvát módon kapcsolt klimatológiai és hidrológiai szimulációkon alapuló elemzéseket végeztünk a RegCM4 regionális klímamodell és a DIWA fizikai alapú hidrológiai modell integrálása révén. A bizonytalanság érzékeltetésének érdekében Monte-Carlo ciklusba ágyazott DIWA-SWG sztochasztikus időjárás-generátorral állítottuk elő az elemzés kulcsidősorait. A szükséges meteorológiai adatokat a CARPATCLIM adatbázis, illetve a RegCM4 regionális klímamodell biztosította. A szisztematikus hibák kiküszöbölése végett egy, az időjárás-generátor paramétereinek illesztésén alapuló korrekciós eljárást hajtottunk végre a nyers klímamodell-outputokon.

Eredményeink összességében azt mutatják, hogy az évi lefolyás szignifikáns csökkenése valószínűsíthető a jövőben, különösen a nyári időszakban. Másfelől, a harmadfokú árvízvédelmi készültségi szint feletti esetek száma várhatóan kevesebb lesz a XXI. század során, ám azok esetenként súlyosabbak lesznek a napjainkban megszokottaknál. Ugyanakkor a jelenleg ismert sokéves átlagos évi legkisebb vízhozam alatti esetek gyakrabban fognak előfordulni becsléseink szerint.

Eredményeink egyértelműen annak szükségességét vizionálják, hogy alapvetően szükséges egy, a jövőre becsült éghajlati tendenciák figyelembevételével kidolgozott, regionálisan specifikált vízkészlet-gazdálkodási stratégia kidolgozása annak érdekében, hogy a XXI. századra becsült jelentős lefolyás-csökkenés (azaz a felhasználható vízkészletek csökkenése) ne okozzon komoly problémát a jövő társadalmának a felmerülő vízigények biztosításában.

**Köszönetnyilvánítás.** Kutatásainkat az AGRÁRKLIMA2 projekt (VKSZ\_12-1-2013-0034), valamint a Széchenyi 2020 program keretében az AgroMo kutatási projekt (GINOP-2.3.2-15-2016-00028) és az Európai Gazdasági Térség (EGT) Támogatási Alap „Alkalmazkodás az Éghajlatváltozáshoz” Program (EEA-C13-10) támogatta. Köszönet az adatokért: CARPATCLIM Database © European Commission – JRC, 2013. Köszönet a hidrológiai idősorokért a FETIVIZIG-nek.

## **Irodalomjegyzék**

Dévényi, D., Gulyás, O., 1988: Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában. – Tankönyvkiadó, Budapest. 443p.

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 árvízvédelmi információs rendszer fejlesztése a Felső-Tisza vízgyűjtőjén" című, SH/2/1 reg. sz. projekt keretében "Az árvízi lefolyás elemzése" résztéma kapcsán készített összefoglaló tanulmány. A tanulmány megrendelője: Felső-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság (FETIVIZIG), Nyíregyháza. A project támogatója: Swiss Hungarian Cooperation Programme. 36p.

IPCC, 2013: Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichefet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver and M. Wehner, 2013: Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Spinoni, J. and the CARPATCLIM project team (39 authors), 2015: Climate of the Carpathian Region in 1961–2010: Climatologies and Trends of Ten Variables. *Int J Climatol*, 35: 1322–1341. doi: 10.1002/joc.4059

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.

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. *Clim Change*, 109: 5–31.