

TANULMÁNYOK / ARTICLES

A magyarországi klímasérülékenység területi különbségei

Spatial differences in the climate vulnerability in Hungary

LENNERT JÓZSEF, KOÓS BÁLINT, VASÁRUS GÁBOR LÁSZLÓ

LENNERT József: tudományos főmunkatárs, HUN-REN Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont, Regionális Kutatások Intézete; 6001 Kecskemét, Pf. 261.; lennert.jozsef@krtk.hun-ren.hu; <https://orcid.org/0000-0002-2653-3791>

KOÓS Bálint: tudományos főmunkatárs, HUN-REN Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont, Regionális Kutatások Intézete; 1097 Budapest, Tóth Kálmán u. 4.; koos.balint@krtk.hun-ren.hu; <https://orcid.org/0000-0002-7075-2748>

VASÁRUS Gábor László: tudományos munkatárs, HUN-REN Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont, Regionális Kutatások Intézete; 6001 Kecskemét, Pf. 261.; vasarus.gabor@krtk.hun-ren.hu; <https://orcid.org/0000-0001-5375-9107>

KULCSSZAVAK: klímaváltozás; klímasérülékenység; kitettség; érzékenység; adaptációs képesség

ABSZTRAKT: E tanulmány célja a magyarországi klímasérülékenység területi különbségeinek feltárása. Ehhez három komponenst vizsgáltunk meg: a lakosság, mezőgazdaság és a tóparti turizmus klímasérülékenységét. Kutatásunkhoz a CIVAS modellt adaptáltuk, ami a sérülékenységet a klímaváltozás összetevőinek való kitettség, a változással szembeni környezeti, társadalmi és gazdasági érzékenység, valamint a változásokhoz való alkalmazkodási képesség összesített hatásaiként definiálja.

A tanulmány klímakitettséget ábrázoló indikátorai egybevágóak a közelmúlt trendjeivel. A felhasznált forgatókönyvek az ország egész területére további intenzív hőmérsékletnövekedést vetítenek előre. Ezzel szemben a csapadék változása a közelmúltban és a jövőben is jóval differenciáltabb mintázatot mutat: az ország keleti, északkeleti harmadában számottevő csökkenéssel, az ország nyugati, délnyugati részében akár növekedéssel is lehet számolni. A hőmérséklet- és csapadékváltozás trendjeinek megfelelően az aszálykitettség várható változása is jelentős térbeli differenciát mutat, az Alföld közepének kiemelkedő kitettséggel.

Az érzékenység és az adaptációs képesség indikátorai felhasználásával finomítottuk a klímasérülékenység egyes komponensek szerinti területi mintázatát. A három komponens vizsgált szerint erősen klímasérülékeny területek jelentős átfedést mutatnak. Kiemelendő a Dél- és Közép-Alföld sérülékenysége, valamint a nagyfokú érzékenység és a gyenge alkalmazkodóképesség miatt az Északi-középhegység egyes településcsoportjainak klímasérülékenysége. Külön kiemelendő a Balaton környezete, ahol a lakossági és mezőgazdasági klímasérülékenység mellett a tóparti turizmusból eredő klímasérülékenység is kockázatot jelent.

József LENNERT: senior research fellow, Institute for Regional Studies, HUN-REN Centre for Economic and Regional Studies; Pb. 261., H-6001 Kecskemét, Hungary; lennert.jozsef@krtk.hun-ren.hu; <https://orcid.org/0000-0002-2653-3791>



Bálint KOÓS: senior research fellow, Institute for Regional Studies, HUN-REN Centre for Economic and Regional Studies; Tóth Kálmán u.4., H-1097 Budapest, Hungary; koos.balint@krtk.hun-ren.hu; <https://orcid.org/0000-0002-7075-2748>

Gábor László VASÁRUS: research fellow, Institute for Regional Studies, HUN-REN Centre for Economic and Regional Studies; Pb. 261., H-6001 Kecskemét, Hungary; vasarus.gabor@krtk.hun-ren.hu; <https://orcid.org/0000-0001-5375-9107>

KEYWORDS: climate change; climate vulnerability; exposure; sensitivity; adaptation capability

ABSTRACT: The objective of this paper is to study spatial differences in climate vulnerability within Hungary. Three components were examined: the vulnerability of the general populace, the agricultural sector and lakeside tourism. The CIVAS methodology was employed, wherein vulnerability is defined as the composite outcome of exposure to the changes in the climatic parameters, the environmental, social and economic sensitivity to these changes, and the capability to adapt to these changes.

Exposure is interpreted as the character, magnitude and rate of climate change. To measure exposure, indicators such as the projected average yearly mean temperature for 2071-2100, the increase in the average yearly mean temperature as well the projected susceptibility to droughts were selected. Sensitivity includes a broad spectrum of environmental, social and economic aspects. Its selected indicators are the following: the projected share of elderly individual, imperviousness of the urban fabric, soil drought sensitivity, crop climate sensitivity, employment in agriculture and tourism. For describing adaptation capability, Human Potential Index and Standard Agricultural Output were selected.

The projected changes in exposure align with recent observations. Based on interpolated data of the weather stations, the mean yearly temperature of Hungary increased by 0.8 degrees from 2002-2011 to 2012-2021. The included scenarios indicate a further significant future increase in the mean temperature. In contrast to this, the observed and forecasted shifts in precipitation patterns exhibit a more pronounced spatial heterogeneity. The eastern-northeastern part of the country may have to deal with a significant decrease; while conversely, the western-southwestern part of the country might even experience a heightened level of rainfall. This leads to increasing spatial differences in drought susceptibility, with particular emphasis on the central parts of the Hungarian Plain, where more severe droughts are to be expected. The spatial differences in exposure were adjusted by the indicators of sensitivity and adaptive capacity which added more spatial heterogeneity and accentuated the distinctions.

The results indicate that vulnerability according to the three components shows a significant overlap. The most notable is the general and agricultural vulnerability of the South and Central Hungarian Plain. Less expected though that some areas of Northern Hungary are also found to be vulnerable. Although they will not suffer more than average exposure, they possess high sensitivity and low adaptation capability. A third key region with is the surroundings of the Balaton. In this area, besides general and agricultural vulnerability, the vulnerability of lakeside tourism is also present.

Bevezetés

1856. Jelenlegi tudásunk szerint ebben az évben jelent meg először tudományos közlemény, amely a légköri szén-dioxid és víz üvegházhatását mutatta be, kiemelve, hogy ezek mennyiségének változása kihat a Föld klímájára (Foote 1856). E felismerés széles körű tudományos elfogadásáig azonban hosszú út vezetett. Csupán az 1980-as évek közepére alakult ki egyfajta tudományos konszenzus,

hogy az üvegházhatású anyagok légköri mennyiségének növekedése a bolygó klímájának megváltozását eredményezi.

A Meteorológiai Világszervezet 1985-ös konferenciájának zárónyilatkozata (WMO 1985, 1.) volt az, amely egyértelműen összekapcsolta az üvegházhatású gázokat és a klímaváltozás kérdését, rámutatva a klímaváltozás jelentette kihívás jelentőségére. Mérföldkő volt ez, hiszen tudományos konszenzus eredményeként intézményesült a klímaváltozás fogalma (Jolánkai, Láng, Csete 2006), és ekkor mutatták be a globális klímamodellezés első eredményeit, amely a légköri széndioxid megduplázódásának esetére 1,5-4,5 fokos globális átlaghőmérséklet emelkedést prognosztizált (WMO 1985, 3.).

Ezt követően robbanásszerű fejlődésnek indult a klímamodellezés, az egyes kutatócsoportok sorra álltak elő újszerű éghajlati modelljeikkel, amelyek elméleti feltételezéseikben, figyelembe vett komponensekben (pl. topográfia, felhők szerepe) tértek el, illetve egy modellen belül eltérő jövőbeli üvegházhatású gázki-bocsátással számoló forgatókönyveket készítettek (Illy et al. 2015; Kovács 2015; Krüzselyi et al. 2011; Láng, Csete, Jolánkai 2007).

A mind kifinomultabbá váló globális klímamodellek és a mind részletesebb meteorológiai/klíma adatok elérhetővé válásával megindult a klímamodellek területi léptékének finomítása, a regionális éghajlati modellek kialakítása (Kovács et al. 2016a; Lakatos et al. 2013; Moss et al. 2010; Pongrácz et al. 2015).

A XXI. században várható klimatikus viszonyok előrejelzése érdekében Magyarországon az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) 2004-ben adaptálta a REMO regionális éghajlati modellt (Jacob, Podzun 1997), majd egy további regionális éghajlati modellt, az ALADIN-Climate modellt is, amely révén növelni lehetett az előrejelzések megbízhatóságát (Farda et al. 2010; Megyeri-Korotaj et al. 2023; Zsebeházi 2011).

Az ELTE Meteorológiai tanszéken a RegCM, illetve PRECIS modellek adaptációjára, újraparaméterezésére került sor (Piecicka 2012; Torma 2011, 2019). A Szegedi Tudományegyetem Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék munkatársai az EURO-CORDEX szimulációi alapján vizsgálták a Kárpát-medence és annak tágabb környezetének várható klimatikus viszonyait a XXI. században (Skarbit, Unger, Gál 2022). Az EURO-CORDEX sajátossága, hogy több regionális klímamodell (CCLM4, HIRHAM5 RACMO22E, REMO2009, RCA4) outputjára épít.

A fentiekén túl meg kell említeni egy rendkívül ambiciózus hazai kutatási projektet, amely a holland meteorológiai szolgálat regionális éghajlati modelljét (RACMO) használta fel, hogy a hazai kistérségek szintjén tegyen előrejelzéseket a csapadékmennyiség, az erdőtüzveszély és a hóhullámok tekintetében (Bartholy, Pongrácz 2017; Führer et al. 2022; Pálvölgyi et al. 2010).

A hazai regionális éghajlati modellezés eredményei alapvetően egy irányba mutatnak, az évszázad végére az átlaghőmérséklet egyöntetű, mintegy három fokos emelkedését jelzik előre, amelyet a mind enyhébb tél és mind melegebb nyár fémjeléz. A modellek egy része a keleti, délkeleti országrészben nagyobb, míg a

nyugati, északnyugati részen mérsékeltebb emelkedést jelez előre. A csapadék mennyiségének és időbeli eloszlásának tekintetében a különböző modellezések, futtatások eltérő következtetésekre jutnak, többnyire az éves csapadékmennyiség csökkenését jelzik előre, jellemzően (de nem egybehangzóan!) a tavaszi és nyári csapadékmennyiség mérséklődését, illetve a tél csapadékosabbá válását prognosztizálva. Területi szempontból az ország keleti, délkeleti régiójában valószínűsíthető leginkább a csapadékmennyiség csökkenése, az ország nyugati térségében akár még nőhet is az átlagos éves csapadékmennyiség (Bán et al. 2021; Fekete 2020; Fogarasi et al. 2016; Kovács, Jakab 2021; Kemény, Molnár, Fogarasi 2019; Megyeri-Korotaj et al. 2023).

A klimatikus jellemzők változásának iránya, a változás intenzitása látható tehát, ám ezek az eredmények keveset árulnak el arról, hogy ezek a változások milyen hatást gyakorolnak a természeti és az épített környezetre, a gazdaság különböző ágazataira, s magukra az emberekre (Farkas, Rakonczai, Hoyk 2015; Földi et al. 2014; Kovács et al. 2016b). Az első globális, majd regionális éghajlati modellek eredményeire alapozva nagyon gyorsan megindult a várható éghajlatváltozás feltételezhető hatásainak feltérképezése (McG. Tegart, Sheldon, Griffiths 1990). Az eredmények riasztóak: az emelkedő tengerszint milliós nagyvárosokat fenyeget elöntéssel, az élelmiszerellátást egyre súlyosabb aszályok nehezítik, a kritikus infrastruktúra elemei (pl. energiaellátás, közlekedés, ivóvízellátás) még a legfejlettebb országokban is sérülékenynek tekinthetők (OECD 2015, 2018, 2021; IPCC jelentések 1-6).

A lehetséges következmények, hatások feltérképezésébe majd mindegyik tudományos diszciplína bekapcsolódott, saját terminológiáját, módszereit alkalmazva. Az elmúlt évtizedekben négy főbb megközelítés, elméleti keret formálódott a klímaváltozással összefüggő sérülékenység megragadására.

- A Risk-Hazard (RH) megközelítés alkalmazói a klímaváltozás hatásait a kitettség (*exposure*) és érzékenység (*sensitivity*) függvényeként értelmezik, hozzáátéve, hogy a szóhasználat korántsem tekinthető egységesnek (Cutter 1996).
- A kilencvenes években mindinkább előtérbe került a klímaváltozás egyenlőtlen társadalmi hatása, amelynek vizsgálatára a PAR (*Pressure-And-Release*) modell jelent meg, amely a társadalmi egyenlőtlenségek (pl. jövedelmi-képzettségi különbségek vagy éppen az energiaszolgáltatás elérhetősége) kitettséget befolyásoló hatására helyezte a hangsúlyt (Blaikie et al. 1994).
- A szintetizálás igényével jött létre azután a sérülékenységet (*vulnerability*) expliciten megjelenítő modell (Turner et al. 2003), amely épített az RH modell kitettség és érzékenység elemeire, ugyanakkor beépítette a kitettséget befolyásoló (társadalmi) tényezőket is a PAR modellből.
- Ezen az úton haladva tovább, a CIVAS modell ugyancsak szintetizálásra törekszik, a sérülékenységet a kitettség, érzékenység és adaptációs képes-

ség eredőjeként definiálja. Mivel ez a modell képezi kutatásunk alapját, a következő fejezetben részletesebben is bemutatjuk.

Ezek az elméleti keretek kiindulópontot jelentenek, így a hazai tudományos kutatások vagy egy-egy közpolitikai beavatkozás megalapozása érdekében folytatott vizsgálatok térben és időben jóval korlátozottabbak is lehetnek (Somodi et al. 2016); egy-egy terület vízellátásával (Kovács et al. 2016b; Rotárné, Selmeczi, Homolya 2016), árvízvédelmével (Turczy, Homolya, Mattányi 2016) kapcsolatosak, esetleg egy ágazat – turizmus (Csete, Pálvölgyi, Szendrő 2013; Sütő, Fejes 2019; Kovács, Király 2021), infrastruktúra (Pálvölgyi 2008a), energiatermelés – klímaváltozással kapcsolatos sérülékenységét vizsgálják.

Jelen tanulmányunkban arra teszünk kísérletet, hogy hazánk klímasérülékenységét nagy területi részletességgel tárjuk fel, fokozott figyelmet fordítva a klímaváltozással szembeni kitettségekben, érzékenységekben és adaptációs képességekben mutató területi, regionális különbségekre. A klímasérülékenység lehetséges összetevői közül a lakossági, mezőgazdasági és tóparti turizmus komponenseit vizsgáljuk meg, az alábbi kérdésekre keresve a választ:

- Melyek Magyarország klímaváltozásnak leginkább és legkevésbé kitett területei?
- Melyek a klímaváltozással szemben kevésbé és leginkább sérülékeny területek a lakosság, a mezőgazdaság és a tóparti turizmus szempontjából?
- A három vizsgált komponens szerinti sérülékenység területi mintázatai mennyire fedik át egymást, melyek az ország több vizsgált szempontból is sérülékeny területei?

Módszertan és felhasznált adatok

A modell felépítése

A kutatási céljaink eléréséhez, és kérdéseink megválaszolásához a CIVAS (Climate Impact and Vulnerability Assessment Scheme) modellt használtuk fel. E modell elemzési keretrendszerének kialakítása az IPCC 4. jelentéséig nyúlik vissza, kidolgozása pedig a 2006-2009 között futott CLAVIER projekthez kötődik (IPCC 2007; Pálvölgyi 2008b; Selmeczi, Pálvölgyi, Czira 2016).

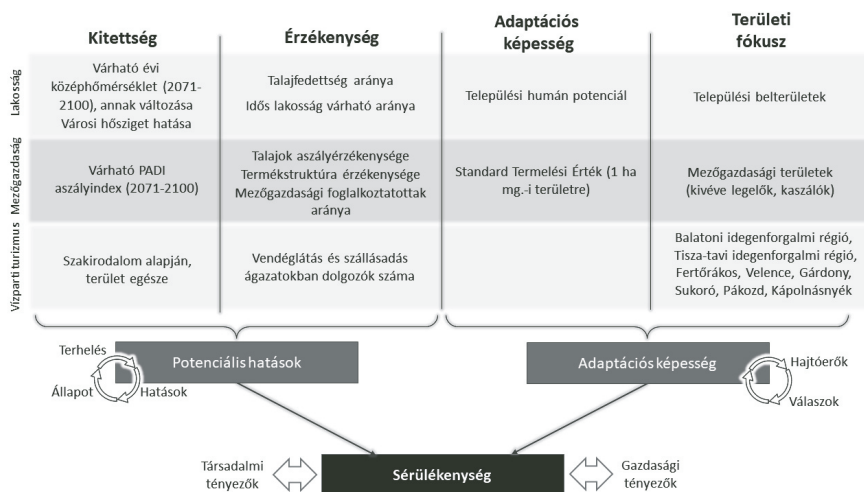
- A CIVAS modell az alábbi fogalmakat helyezi egységes elemzési keretrendszerbe:
- *kitettség*: az éghajlati tényezők és klímaváltozással összefüggő időjárási jelenségek változásának természete és foka;
 - *érzékenység*: a klímaváltozásnak a rendszerre gyakorolt közvetlen vagy közvetett hatásának mértéke, ami lehet kedvezőtlen vagy kedvező is;
 - *adaptációs képesség*: a rendszer képessége arra, hogy ellensúlyozza a klímaváltozás következményeit, az okozott károkat, kihasználja a változó klíma előnyeit;

- *potenciális hatás*: a klíma becsült változásának rendszerre gyakorolt hatása, az alkalmazkodás figyelembe vétele nélkül;
- *sérülékenység*: a rendszer éghajlatváltozással szembeni sebezhetősége, ami függ a változás természetétől, és mértékétől, a rendszer érzékenységetől és alkalmazkodóképességétől (IPCC 2007).

A CIVAS modell meglehetősen rugalmas, egyaránt lehetővé tesz komplex (Farkas, Hoyk, Rakonczai 2017), illetve egyes ágazatokra, társadalmi csoportokra, a földrajzi környezet bizonyos elemeire, éghajlati jelenségekre fókuszáló sérülékenységi vizsgálatokat (Bobvos et al. 2017; Uzzoli, Szilágyi, Bán 2019). A felhasználhatóság szempontjából további fontos szempont, hogy a modell az elméleti keretrendszer elemeit kvantifikáló indikátorok esetében is tág teret enged a kutatóknak.

A fentiek, és korábbi kutatások figyelembevételével úgy döntöttünk, hogy a klímásérülékenység ezen kutatás során vizsgálni kívánt komponenseire (lakossági, mezőgazdasági, tavi turizmus) önálló CIVAS modellt készítünk el, hogy a komponenseket külön-külön megvizsgálva alkothassunk képet a magyarországi települések komplex klímásérülékenységéről. Az egyes komponensekhez az 1. ábrán látható kitettséget, érzékenységet, adaptációs képességet leíró indikátorokat használtuk fel.

1. ábra: A CIVAS modell felépítése és a felhasznált indikátorok
The components of the CIVAS model and the utilized indicators



Forrás: a szerzők szerkesztése

Kitettség

A klímaváltozásnak kitettséget leíró indikátorok fő forrása a jelen és közelmúlt éghajlati adatai esetében az OMSZ Meteorológiai Adattára, míg a jövőre vonatkozó klimatikus kilátásokat illetően az OMSZ által működtetett Klimadat térinformatikai rendszer.

A Meteorológiai Adattárban mérőállomások adatai szerepelnek (földrajzi koordinátákkal, tengerszint feletti magassággal ellátva). A 181 mérőállomás elérhető adatai közül 55 volt az, amely a jelenlegi változások feltárására használt 2002-2011 és 2012-2021-es időszakokra folyamatos hőmérséklet- és csapadékadatokkal rendelkezett és feldolgozásra került. Annak érdekében, hogy a mérőállomások pontadataiból az egész országot lefedő mutatókat alakítsunk ki, a következő lépéseket hajtottuk végre:

- SPSS program használatával, lineáris regresszió segítségével számszerűsítettük a mérőállomások hőmérséklet- és csapadékadatainak kapcsolatát a tengerszint feletti magassággal (Goodale, Aber, Ollinger 1998). A hőmérsékleti és csapadékviszonyok erőteljesen függenek a tengerszint feletti magasságtól (Illy et al. 2015). A regresszióelemzés ezt az adatsorok esetén is visszaigazoltan kimagasló R^2 értékeket eredményezett (hőmérséklet esetén 0,6 fölött, csapadék esetén 0,4 fölött).
- A regressziós egyenletek β -koefficienseinek felhasználásával minden adatsort újraszámoltuk egy hipotetikus, egységesen 0 m-es tengerszint feletti magasságra.
- Ezt a hipotetikus tengerszinti adatsort használtuk fel arra, hogy ArcMap-ban IDW interpolációval az ország teljes területét lefedő GIS raszterréteget alakítsunk ki (Hadi, Tombul 2018).
- Végül az EU-DEM digitális domborzatmodelljét és a korábbi együtthatókat felhasználva a Raster Calculator eszköz segítségével újraszámoltuk a cellaadatokat, hogy a hőmérséklet- és csapadékadatok az ország egész területére tükrözzék a valós domborzati viszonyokat.

A 2012–2021 évre képzett évi középhőmérsékletet használtuk fel kiinduló értéknek a várható évi középhőmérséklet-változás kiszámításához, míg a többi előállt adatsort a jelenben és közelmúltban zajló klímaváltozás alaposabb megismeréséhez használtuk fel.

A Klimadat térinformatikai rendszer az EURO-CORDEX-hez hasonlóan több modell outputjára épül. Az OMSZ az általa adaptált két regionális klímamodell két-két eltérő jövőbeli szén-dioxid kibocsátási pályával számoló forgatókönyvet használja fel. A jövőre vonatkozóan nem az egyes forgatókönyvek szerinti állapotok kérdezhetők le, hanem a 4 scenárió alapján számított minimum, medián és maximumértékek, harminc éves klímaablakokra vonatkozó mozgóátlagok. Az adatok 0,1*0,1 földrajzi fokos (megközelítőleg 10*10 km-es) cellák formájában érhetőek el (Zsebeházi et al. 2022).

Annak érdekében, hogy a Klimadat állományai a Meteorológiai Adattárral kompatibilisek legyenek, ismételten felhasználtuk a megfelelő éghajlati paraméterek és a tengerszint feletti magasság kapcsolatát leíró regressziós egyenleteket. Az EU-DEM digitális domborzatmodellből készített, a Klimadat felbontásával megfelelő raszterállományt és a megfelelő együtthatók alapján hipotetikus tengerszinti állományokat képeztünk, majd az eredeti EU-DEM digitális domborzatmodell felhasználásával újra hozzáadtuk a domborzat hatását a klímaállományhoz.

A Klimadat forgatókönyveit összevetve a közelmúltbeli 2012–2021-es évtized mért adataival, úgy döntöttünk, hogy a távolabbi, 2071–2100-as klímaablak prognózisait fogjuk használni, abból is a legkedvezőtlenebbet (hőmérséklet esetén a Klimadat 4 klímaszcenáriójának a maximuma, csapadék esetén a minimuma). Ennek oka, hogy a közeljövőre szóló előrejelzések, illetve az alacsonyabb kibocsátási pályát feltételező forgatókönyvek eredményei nem mutattak elegendő elemzésben felhasználható eltérést a közelmúlt trendjeihez képest. Ennek valószínűsíthető oka a hazai klímaváltozás vártnál erőteljesebb érvényesülése a 2010-es évekre: az évi középhőmérséklet a Klimadat legkedvezőbb forgatókönyve szerint csak a XXI. század második felében, míg a forgatókönyvek mediánja szerint a század derekára haladta volna meg a 2012–2021-es évek átlagát. Eltekintettünk továbbá több olyan összetettebb klímaparaméter használatától, amelyek szintén szóba jöhettek, vagy akár még optimálisabbak is lettek volna a kutatási célkitűzések teljesítéséhez. Ide tartozik például a hőségnapok változó száma, azonban ezen összetett mutatók esetében a Klimadat előrejelzéseit kevésbé megbízhatónak ítéltük.

A lakosság klímaklímakitettségeinek megállapításához a 2071–2100 klímaablakra várható évi középhőmérsékletet (4 klímaszcenárió maximumértéke) és az évi középhőmérséklet várható változását választottuk ki (a 2071–2100-as időszak átlaga a 2012–2021-es évtized mért adataihoz viszonyítva). Hogy figyelembe vegyünk a városi hősziget hatását is (Buzási, Csizovszky 2021; Bobvos et al. 2017; Iungman et al. 2023; Páldy et al. 2004), a várható változás kiszámítása után a várható évi középhőmérsékletet korrigáltuk a városi hősziget hatásával. Hat város esetében (Budapest, Debrecen, Szeged, Pécs, Miskolc, Győr) a Barcelona Institute for Global Health adatait használtuk fel. Mivel a városi hősziget hatását további nagyobb városainkban is észlelték (Dezső, Bartholy, Pongrácz 2010), a hat város adataihoz igazodva a 100 000 fő fölötti Kecskemét és Nyíregyháza esetében 1 fokos, az 50 000 fő feletti városok esetében pedig fél fokos hőszigettel számoltunk.

A két mutatót (a hőszigetességgel korrigált 2071–2100 klímaablakra várható évi középhőmérséklet és a várható évi középhőmérséklet-változás) ezután min-max normalizálást hajtottunk végre, összeadtuk őket, majd a kapott értéket kétszer osztottuk. Összegük (ami ennek megfelelően 0 és 1 közötti értéket vehet fel) adja a lakosság klímaváltozásnak való kitettségét. A modellben alkalmazott valamennyi változóval így jártunk el, azokat e szerint normalizáltuk és egy irányba rendeztük, hogy minden esetben 1 jelentse a legkedvezőtlenebb, sérülékenységgel

hez leginkább hozzájáruló értéket, majd az ezek felhasználásával létrejött 0 és 1 közötti mutatót alkalmaztuk a modellben.

A lakossági klímakitettséget települési (járási stb.) aggregálásakor csak a települési belterületekre eső értékeket vettük figyelembe (a 2021-es ArcMagyarországban rögzített állapot szerint).

A mezőgazdasági klímakitettséget indikátoraként a PaDI aszályindex alapértékét használtuk fel (PaDI₀). Ez a Pálfi-féle aszályindex (PAI) módosított változata, az alapérték számítási módja hasonló az aszályindexhez (Bihari 2012):

$$\text{PaDI}_0 = \frac{\sum_{i=\text{apr}}^{\text{aug}} T_i}{c + \sum_{i=\text{okt}}^{\text{szept}} (P_i * w_i)}$$

PaDI₀: az aszályindex alapértéke, °C/100 mm

T_i: havi középhőmérséklet áprilistól augusztusig, °C

P_i: havi csapadékösszeg októbertől szeptemberig, mm

w_i: havi súlyozó tényező (szept.-okt. havi 0,1-től a július havi 1,6-ig terjedő érték)

c: állandó érték (10 mm).

A PaDI aszályindex alapértékét (PaDI₀) három korrekciós tényezővel lehet módosítani, ez azonban a harminc év mozgátlagait tartalmazó Klimadat prognózisok esetében kivitelezhetetlen volt, így az alapérték használatánál maradtunk. Ebből képeztük a mezőgazdaság klímakitettségi indikátorát, amit a Corine Land Cover 2018 szerinti mezőgazdasági területekre számoltunk ki (kivéve a 231 legelő kategóriát, ahol nem folyik szántóföldi növénytermesztés).

A tóparti turizmus klímaváltozásnak való kitettségét a szakirodalom alapján fogadtuk el (lásd Eredmények), a kitettség jellege miatt a vizsgálati területen belül nem differenciáltunk (Balatoni idegenforgalmi régió, Tisza-tavi idegenforgalmi régió, Velence, Gárdony, Sukoró, Pákoz, Kápolnásnyék, Fertőrákos).

Érzékenység

A lakossági klímasérülékenység komponenshez két érzékenységi szempontot vettünk figyelembe: az időskorú népesség jövőben várható arányát és a talajfedettség belterületi arányát.

A vonatkozó kutatások alapján az időskorú népesség fokozottan érzékeny a klímaváltozással járó hosszan tartó hőhullámokra (Páldy, Bobvos, Málnási 2018). Az országban zajló korszelektív belső vándormozgalmi folyamatoknak is köszönhető az időskorú lakosság arányának igen nagy területi különbségei, amelyek a jövőben várhatóan fokozódnak. A mutató kialakításához a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszerbe (NATÉR) is bekerült demográfiai előreszámítás településszintű eredményeit vettük alapul, azt a foratókönyvet felhasználva, ami a termékenység és várható élettartam változása szempontjából az alappályát tartalmazza, az atipikus munkavállalás és a jóléti migráció fokozott kiterjedésével

számol, és a klímaváltozás hatásait is figyelembe veszi (Lennert 2019). A 2051-ben 65 éves és afeletti lakosság arányát a teljes lakónépességhez viszonyítottuk.

Az egyes településeken az épületekkel és az infrastrukturális elemekkel fedett területek nagysága alapvetően befolyásolja, hogy az ott lakók mennyire érzékenyek a hőhullámokra és az időjárási szélsőségekre, s hogy milyen lehetőségek vannak egy-egy városban a hatásokat mérséklő zöld- és kék infrastruktúra kialakítására (Farkas et al. 2023). A talaj érzékenységi indikátor kialakításához az Európai Környezetvédelmi Ügynökség által működtetett Copernicus Land Monitoring Service Imperviousness Density 2018 adatbázisát használtuk fel. A raszterállomány 10*10 méteres nagyságú cellákat tartalmaz. Ezek települési szintű aggregációját csak a belterületre eső cellaértékek figyelembevételével végeztük el.

A mezőgazdasági klímásérülékenység komponenshez három érzékenységi szempontot vettünk figyelembe: a talajok aszályérzékenységét, a területre jellemző termékstruktúra klímaérzékenységét, és a helyi lakosság mezőgazdasági szektortól való függőségét.

A talajok aszályérzékenységének forrása az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézetben kialakított Agrotopográfiai Adatbázis (Várallyay 1985), ami a talajok vízgazdálkodási tulajdonságaira vonatkozóan is tartalmaz információkat. Ennek alapján elkülönítettünk gyengén aszályérzékeny (3, 4, 5, 8 kategóriák), közepesen aszályérzékeny (2, 6, 7) és erősen aszályérzékeny talajokat (1 és 9 kategóriák). A gyengén aszályérzékenyhez 0, a közepesen aszályérzékenyhez 0,5 és az erősen aszályérzékenyhez 1-es értéket rendeltünk. Csak a Corine Land Cover (CLC) 2018 szerinti mezőgazdasági területeket (a 231 legelők kategóriát kivéve) vettük figyelembe.

A területre jellemző termékstruktúra megállapításához a KSH Területi interaktív atlaszában található 2020-as Agrárcenzus adatait használtuk fel. Ez 5*5 km-es cellafelbontásban tartalmazza a főbb szántóföldi terménykategóriák (búza, kukorica, egyéb gabonafélék, ipari növények, takarmánynövények) vetésterületét. Az egyes terménykategóriák aszályérzékenységére az Agrárgazdasági Kutatóintézet által publikált, a főbb szántóföldi kultúrák 2018–2021 közötti kárhányadai nyújtottak kiindulópontot (Lámfalusi, Péter 2021; Péter, Lámfalusi 2022). A 2018-as CLC szerinti szántóföldi kultúrák (211, 213, 243) területére kifejeztük a kárhányadok helyi termékstruktúra alapján súlyozott átlagát. Minél inkább megközelíti a kapott érték a maximumot, annál inkább olyan szántóföldi növények vannak jelen a helyi termékpalettán, amelyeknek magas a kárhányada.

A 2018-as CLC szerinti szőlő-, gyümölcs- és a komplex területek területét (221, 222, 242) az állandó mezőgazdasági kultúrák jellemző kárhányadai alapján – és mivel sokkal többféle klímaváltozással egybefüggő időjárási szélsőség veszélyezteti őket –, e szempont szerint a legmagasabb klímaérzékenységűnek tekintettük.

A helyi lakosság mezőgazdasági szektortól való függőségét a KSH 2011-es népszámlálás adatai alapján, a növénytermesztés és állattenyésztés ágazatban foglalkoztatottak összes foglalkoztatotthoz viszonyított arányában fejeztük ki. A

tóparti turizmus klímasérülékenység komponens érzékenységi indikátorához ugyancsak a KSH 2011-es népszámlálás adatait használtuk fel, a szálláshely szolgáltatás és vendéglátás ágazatokban foglalkoztatottak összes foglalkoztatotthoz viszonyított arányában fejeztük ki.

Adaptációs képesség

A lakossági klímasérülékenység komponens adaptációs képességének jellemzéséhez egy összetett indikátort használtunk fel, a települési humán potenciált. A Lipták Katalin (2017) által javasolt mutató a Human Development Index (HDI) helyettesítésére szolgál azon területi szinteken, ahol az adathiány miatt nem képezhető. Részindexei a 100 fő 60 év felettire lakosra jutó 0-14 évesek száma (2011 népszámlálás), a 7 évesnél idősebb népesség által elvégzett osztályok száma átlagosan (2011 népszámlálás), valamint az egy főre jutó SZJA alapot képező jövedelem (2011 népszámlálás). A települési humán potenciál számítási módja a HDI-hez hasonló (a három részindex min-max normalizálása, majd mértani közepe). A kapott értékeket (hogy összhangban legyen a többi index jelentéstartalmával) úgy normalizáltuk, hogy a legmagasabb (1-es) érték jelentse az adaptációs képesség minimumát, míg a 0-ás a maximumát.

A mezőgazdasági klímasérülékenység komponens adaptációs képességének jellemzéséhez az 1 ha mezőgazdasági területre (Corine Land Cover 2018 alapján) eső Standard Termelési Értéket használtuk fel (KSH Területi interaktív atlaszában található Argárcenzus 5*5 km-es celladatai). Hasonlóan a települési humán potenciálhoz, a normalizálást itt is úgy hajtottuk végre, hogy a legmagasabb (1-es) érték jelentse az adaptációs képesség minimumát, míg a 0-ás a maximumát. Mivel az adatsor igen kiugró szélsőértékeket is tartalmazott, az értékek eloszlásnak tanulmányozása után a medián kétszeresét választottuk ki annak a küszöbértéknek, ami felett már minden érték a maximális adaptációs értéket kapta.

Sérülékenység

A lakossági, mezőgazdasági és tóparti turizmus klímasérülékenység komponenseinek kiszámítása a következőképpen történt:

$$\text{Lakossági sérülékenység} = K_L * (\dot{E}_{L1} + \dot{E}_{L2} + A_L)$$

$$\text{Mezőgazdasági sérülékenység} = K_M * (\dot{E}_{M1} + \dot{E}_{M2} + \dot{E}_{M3} + A_M)$$

$$\text{Tóparti turizmus klímasérülékenysége} = K_{TP} * \dot{E}_{TP}$$

K=kitettség

É=érzékenység

A=adaptációs képesség

E számítási mód mögött az a megfontolás állt, hogy míg az érzékenység és az adaptációs képesség befolyásolják a sérülékenységet, a kitettség megléte vagy hiánya alapvetően meghatározza azt. Amennyiben az összes tényezőt additívan kap-

csolnánk egymáshoz, az érzékenység és az adaptációs képesség adott esetben felülírhatná az alacsony kitettséget, és magas sérülékenységet mutatna alacsony kitettségű helyeken is. A két tag szorzatként való összekapcsolásával ez a probléma elkerülhető, a sérülékenység megállapításakor a kitettség kulcsszerepe megmarad.

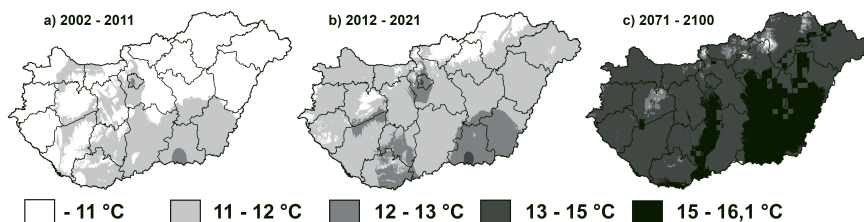
Mivel az összes felhasznált részindex normalizálva van, a kapott eredmények dimenziótlanok, és csak az adott települések értékeit egymáshoz viszonyítva értelmezhetők. Ezért a klímásérülékenységi komponenseket a településállományt a felvett értékek szerint kvantilisokba (ötödökbe) osztva tanulmányoztuk, a felső két ötödöt (legrosszabb értékek) leginkább sérülékenynek, és az alsó két ötödöt legkevésbé sérülékenynek tekintve. Ezeket a kvantilisokat használtuk fel a hazai települési komplex klímásérülékenység kiértékelésénél is.

Eredmények

A klímakitettség indikátorainak értékei és területi különbségei

A hazai középhőmérséklet emelkedése az utóbbi évtizedekben számottevően felgyorsult; a Meteorológiai Adattár mérőállomás adatainak az előző fejezetben leírt feldolgozási módszere alapján az évi középhőmérséklet átlaga a 2002–2011 időszakról a 2012–2021 évtizedre közel 0,8 fokot emelkedett (2. ábra). Ez az emelkedési ütem különösen kirívó a globális hőmérsékletemelkedést a Párizsi Egyezményrel összhangban 1,5 illetve 2 fok alatt tartani kívánó célkitűzésekkel összevetve. A legalacsonyabb átlagos évi középhőmérsékletet mindkét évtizedben a Kékestető mérőállomása (6,35, illetve 7,03 °C), míg a legmagasabb értéket a szegei mérőállomás rögzítette (12,5, illetve 13,21 °C). Az emelkedés az ország területén kiegyenlítetten következett be. Ezzel párhuzamosan az évi átlagos hőségnapok száma is (amikor a napi maximális hőmérséklet meghaladja a 30 fokot) drasztikusan emelkedett (28-ról 36-ra). Egyes alföldi mérőállomásokon (Baja, Kecskemét, Pitvaros) már meghaladta az 50-et.

2. ábra: Az évi középhőmérséklet a 2002–2011 (a) és 2012–2021 (b) időszakban, prognózis a 2071–2100-as klímaablakra (c)
Yearly mean temperature 2002–2011 (a), 2012–2021 (b) and forecast for 2071–2100 (c)



Forrás: az OMSZ Meteorológiai Adattár, OMSZ Klimadat adatbázis adatai alapján saját szerkesztés

Összevetve az elmúlt két évtizedben a mérőállomások által rögzített hőmérsékletemelkedést a Klimadat adatbázis jövőre vonatkozó minimum, medián és maximum prognózaival (3. ábra), első ránézésre meglepő eredményeket kapunk: a közeljövőre vonatkozó prognosztizált átlaghőmérsékletek a mért értékek alatt maradnak. Ennek egyik lehetséges oka, hogy a hazai klímaváltozás folyamata a várakozásokhoz képest is gyorsabb. Míg a prognosztizált minimumértékek az évszázad második felében se haladják meg számottevően a most mért értékeket, a medián és különösen a maximum prognosztizált értékek már jelentős további emelkedéssel számolnak.

3. ábra: A hazai évi csapadékmennyiség (mm) és középhőmérséklet (°C) megfigyelt és eltérő forgatókönyvek alapján prognosztizált alakulása
Observed and projected change of yearly precipitation and mean temperature



Forrás: az OMSZ Meteorológiai Adattár, OMSZ Klimadat adatbázis adatai alapján saját szerkesztés

A fent elmondottak alapján azonban a 2071–2100-as klímaablakra vonatkozó emelkedés akár hamarabb is bekövetkezhet. A várható legintenzívebb emelkedéssel az Alföld közepén és északkeleti részén, valamint a hegyközi medencékben és hegyvidékek előterében kell számolni. Ezzel szemben a Nyugat-Dunántúlon és különösen a hegyvidéki területeinken az átlagosnál alacsonyabb emelkedés várható. A települési belterületek értékeit figyelembe véve, míg a hegyvidéki falvakban (pl. Mátraszentimre, Szilvásvár) 10–12 °C között marad az évi középhőmérséklet, addig ez az érték a Közép- és Dél-Alföldön, valamint a Dél-Dunántúlon a 15 fokot is meghaladhatja.

A lakossági klímakitettséget a városi hőszigetthatással korrigált várható évi középhőmérsékletből és a várható hőmérsékletváltozásból képeztük, a módszertani fejezetben bemutatott módon. Ennek megfelelően a legkevésbé kitett településeket a hegyvidéki falvaink között találjuk (pl. Szilvásvár). Összességében a Dunántúl dombvidéki területei is kevésbé kitettek a klímaváltozásnak, míg a Dunamenti síkság, a Dráva-mente, a Közép- és Felső-Tisza-vidék, valamint az Alföld keleti része tekinthető a leginkább kitettnek.

Az elmúlt évtizedek csapadéktrendjei a hőmérséklet-emelkedéshez képest kevésbé egyirányúak. A vizsgált két évtized között az országos csapadékmennyiség csak minimálisan csökkent (595-ről 586 mm-re), ami viszont nagy területi különbségeket fed el. Az évi átlagos csapadékmennyiségben nagymértékű csökkenés két területen körvonalazódik – Északkelet-Alföldön (Záhony: -88 mm, Újfehértó: -63 mm), valamint Baranya és Tolna egyes részein (Tevel: -101 mm, Pécs: -90 mm).

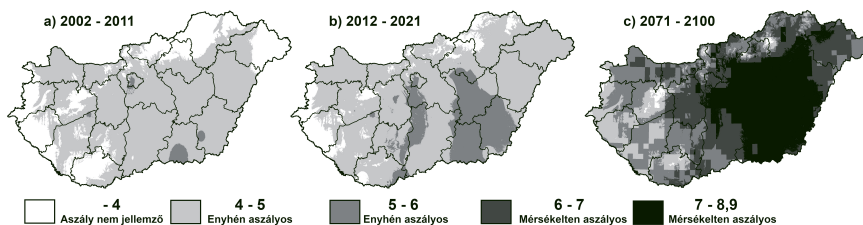
A csapadék esetében a minimum és maximum prognózisok jelentős eltérést mutatnak. A középtávú jövőre vonatkozóan az összes modell csapadéknövekedést jelez előre, a távolabbi klímaablakokat illetően azonban eltérő trendeket jeleznek előre a modellek: míg a minimumértékeket tartalmazónál a csapadékváltozás trendje már negatívba fordul, a maximumértékeket tartalmazó prognózis további növekedést vetít előre. A területi trendek hasonlóan növekvő különbségeket mutatnak, a csökkenés elsősorban az alföldi és északkeleti területeken jelentkezik. Ezek a tapasztalatok összhangban vannak azokkal az európai prognózisokkal (pl. PRUDENCE) és azokkal a hazai regionális klímamodellekkel is, amelyek szerint Magyarország az eltérő csapadéktrendekkel rendelkező makrorégiók határán fekszik: míg a nyugati része akár enyhe csapadéknövekedésre is számíthat, addig a keleti fele már Európa csapadékvesztéssel sújtott makrorégiójába esik (Christensen, Christensen 2007; Kovács 2015).

Ahogy a módszertani fejezetben részletesen bemutattuk, a mezőgazdasági klímakitetség indikátoraként a PaDI aszályindex alapértékét választottuk, amit az áprilisi-augusztusi havi középhőmérsékletadatok és a mezőgazdasági igény szempontjából súlyozott csapadékadatok segítségével tudunk kiszámolni (4. ábra). Ehhez a Klimadat 2071–2100-as klímaablak maximális hőmérsékletemelkedést és minimális csapadékmennyiséget tartalmazó adatait használtuk fel, ami a prognózisok alapján a legrosszabb várható forgatókönyvnek tekinthető.

A PaDI értékeihez rendelt aszályossági minősítés alapján az ország síksági, dombvidéki területei enyhe aszályhajlamot mutattak – ez a terület 2002–2011 és 2012–2021 között már számottevően kiterjedt az aszályal nem jellemezhető területek rovására. A 2071–2100-as klímaablakra pedig az Alföld jó része általánosságban mérsékelt aszályhajlammal rendelkező területté válik, míg az aszályal egyáltalán nem jellemezhető területek a hegycsúcsainkra szorulnak vissza. A Nyugat-Dunántúl aszálykitettsége továbbra is kedvezőbb marad az ország egészénél. Ez a mérsékelt aszályhajlam egy hosszabb (30 éves) időablakra vonatkozik.

4. ábra: A PaDI aszályindex alapértéke a 2002–2011 és 2012–2021 időszakban, prognózis a 2071–2100-as klímaablakra

PaDI drought susceptibility index 2002–2011 (a), 2012–2021 (b) and forecast for 2071–2100 (c)



Forrás: az OMSZ Meteorológiai Adattár, OMSZ Klimadat adatbázis adatai alapján saját szerkesztés

Ahogy a PaDI alapértékét az előző év(ek) időjárási körülményeit leíró korrekciós tényezőkkel módosítva lehet kiszámolni az adott év tényleges aszályhajlamát, úgy az aszályhajlam átlagos emelkedése ezen a 30 éves időablakon belül is a közepesen súlyos és súlyos aszályal jellemezhető évek, évszakok számának erőteljes növekedését fogja jelenteni. Ahogy a hőmérséklet- és csapadékváltozási trendek áttekintéséből láthattuk, az aszálykitettség erősödésének elsődleges mozgatórugója az általánosan és jelentősen emelkedő középhőmérséklet (és az ezzel együtt járó, növekvő párolgási veszteség), míg a csapadékváltozásban várható nagyobb területi különbségek az országon belüli aszálykitettségben megmutakozó nagyobb különbségekért felelnek.

A nagyobb tavaink (Balaton, Velencei-tó, Tisza-tó, Fertő-tó) tóparti turizmusának klímakitettségét a kapcsolódó szakirodalom áttekintése alapján állapítottuk meg. A különböző kutatások eltérő eredményekre jutottak a tóparti turizmus kilátásait illetően. Egyes vizsgálatok a klímaváltozás turisztikai szezonra gyakorolt pozitív hatásaira helyezik a hangsúlyt, a sérülékenységet összességében mérsékeltnek ítélve (Csete, Pálvölgyi, Szendrő 2013; Sütő, Fejes 2019).

Más prognózisok kevésbé derűlátóak. A Balaton teljes vízgyűjtőjének vízháztartását érintő elemzés arra jutott (Nováky et al. 2016), hogy míg most és a közeljövőben (2021–2050-es klímaablak) a Balaton természetes vízkészletváltozása összességében pozitív marad, addig elkészített számításai a 2070–2100-as klímaablakra már negatívba forduló természetes vízkészletváltozást és évi átlagos 300 tömimillimétert meghaladó vízkészletvesztést jósol. Ennek fő oka a vízgyűjtőterületről történő hozzáfolyás drasztikus visszaesése, aminek turisztikai kockázatára mások is felhívták a figyelmet (Németh et al. 2020). Ez a prognózis azt vetíti előre, hogy a század végére emberi beavatkozás (pl. mesterséges vízpótlás) nélkül a Balaton lefolyástalan tóvá változhat, ami vízkészletvesztéssel egy eltérő (korábban alacsonyabb) vízszinten beálló egyensúlyi állapot elérése felé tart. A Balatoni Limnológiai Intézet által 2023-ban megtartott Őszintén a Balatonról című konferencia előadói, mint Láng István, Varga György, Honti Márk, azt hangsúlyozták, hogy a tó szélsőségesebbé váló vízháztartása, rendszeresebben visszatérő alacsonyabb vízszintjei nem elsősorban ökológiai szempontból jelentenek

kockázatot, hanem a mai, viszonylag állandó vízszintet preferáló turisztikai igények és infrastruktúra szempontjából. A fentiek alapján mi is arra az álláspontra helyezkedtünk, hogy nagy tavaink vízparti turizmusa a jövőben kitett lesz a klímaváltozásnak.

Az érzékenység, az adaptációs értékei és területi különbségei

A lakossági klímaérzékenység megállapításához két tényezőt vettünk figyelembe – az időskori népesség jövőben várható lakosságon belüli arányát és a talajfedettség belterületi arányát. E két mutató egymáshoz képest némileg komplementer mintázatot mutat. Az egyetemisták és a fiatal munkaerő számára továbbra is vonzó nagyvárosi központok korszerkezete kedvező marad, azonban ezek a sűrűn beépült települések egyúttal kimagasló talajfedettséggel is rendelkeznek. A kisebb, különösen hegy- és dombvidéki falvak zöldfelületi aránya kedvezőbb, azonban a természetes népmozgalmi és korszelektív vándormozgalmi folyamatok miatt (fiatalok elvándorlása, idősebb lakosok jóléti migráció keretében történő bevándorlása) az idősek aránya a félreeső, ám vonzó természeti környezetben fekvő falvak esetében kimagasló lesz (Gerőházi et al. 2011; Lennert 2019). Az alföldi települések jelentős részét mind az elöregedés, mind a zöldfelületek relatíve kedvezőtlen aránya érzékennyé teszi a klímaváltozásra.

A módszertani fejezetben bemutatott települési humán potenciált használtuk a lakosság klímaváltozáshoz való adaptációs képességének indikátoraként. A fiatalos korszerkezet, képzettség és jövedelem alapján képzett települési humán potenciál a fővárosi agglomerációban a legkedvezőbb, igen kedvező a közép- és nyugat-dunántúli régióban, illetve a nagyvárosokban és vonzáskörzetükben, legkedvezőtlenebb a határszéli külső perifériák (pl. Cserehát, Bereg, Kis-Sárrét, Ormánság) kistelepülésein, illetve az olyan belső perifériákon, mint Külső-Somogy, illetve a Közép-Tisza vidék.

A mezőgazdasági klímaérzékenység feltérképezéséhez három tényezőt vettünk figyelembe: a talajok aszályérzékenységét, a termesztett növények terménystruktúrájából adódó érzékenységet és a mezőgazdasági foglalkoztatottak számából adódó érzékenységet.

A talaj aszályérzékenységének forrása az Agrotopográfiai Adatbázis. Erősen aszályérzékenynek tekintettük a nagy víznyelésű és vízvezető képességű, de gyenge vízraktározó képességű talajokat, így a Kiskunság és a Nyírség homoktalajait. Ide tartoznak továbbá a hegyvidékek sekély termőrétegű, szélsőséges vízgazdálkodású talajai is. Vízvezető és víztartó képességeik alapján átlagosan aszályérzékenynek tekintettük az Alföld jelentős részét borító szolonyeceket és réti talajokat, illetve a barna erdőtalajok bizonyos fajtáit. A csernozjomok (pl. Dél-Békés, Hajdúság, Mezőföld) és öntéstalajok (folyók mente), valamint a hegy- és dombvidékek barna erdőtalajainak jó része a gyengén aszályérzékeny kategóriába került.

A talajok aszályérzékenységét a további számításokhoz csak a Corine Land Cover 2018 szerint mezőgazdasági művelés alatt álló területeken (kivéve a 231-legelők kategóriát) vettük figyelembe. Ezzel igyekeztünk elkerülni, hogy a változatos talajviszonyú területen azok a rosszabb adottságú területek határozzák meg az érzékenységet, amelyek – esetleg éppen ezért – nem is állnak mezőgazdasági művelés alatt. Ezt megerősíti, hogy a CLC 2018 szerint a gyengén aszályérzékenként kategorizált talajok 64%-a, míg az erősen aszályérzékenyek csak 34%-a állt mezőgazdasági művelés alatt.

A termesztett növények terménystruktúrájából adódó érzékenységéhez a kárhányadokat használtuk. Összeegyeztetve az Agrárgazdasági Kutatóintézet által közreadott 2018–2021-es adatokat az Agrárcenzus terménykategóriával, azt találtuk, hogy négy év átlagában a búza és egyéb gabonafélék esetében a befizetések és kártérítések aránya közel hasonló (a kárhányad 100% körüli). Ezzel szemben a kukorica és ipari növények esetében ez az érték 200% körüli, míg a takarmánynövények esetében 300% feletti. A Corine Land Cover szerinti szőlő- és gyümölcsültetvényeket automatikusan maximális érzékenységűnek tekintettük klimatikus tényezőknek való fokozott kitettségük miatt, amit a kárhányadok is visszaigazoltak.

Az agrárcenzus 25 km²-es cellái szintjén kiszámított érzékenység eltérő érzékenységhez vezet: a nagytáblás gabonatermesztő területek (pl. Dél-Békés, Bácska, Jászság) érzékenysége viszonylag alacsony, ezzel szemben a kukoricát és ipari növényeket előnyben részesítő területek (pl. Hajdúság) átlagos érzékenységgel jellemezhetők, míg a döntően szőlő- és gyümölcsstermesztéssel foglalkozó Duna-Tisza közti, illetve hegylábi területek fokozottan érzékenyek a klímaváltozásra. A hegylábi területek érzékenységét tovább növeli, hogy szántóterületeik jelentős részén takarmánynövényeket termesztenek.

A harmadik mezőgazdasági klímaérzékenységet meghatározó tényezőnek a mezőgazdasági foglalkoztatottak arányát választottuk, ennek forrása a 2011-es népszámlálás volt. Az összes foglalkoztatotton belül a mezőgazdasági foglalkoztatottak a legnagyobb arányt a Duna–Tisza közti intenzív mezőgazdasági kultúrájú településeken (pl. Csengele, Balástya, Zákányszék), illetve gyakran periferikus aprófalvakban (Letke, Felsőszenterzsébet, Büttös) érik el. Ezzel szemben a nagyobb városokban, a fővárosi agglomerációban és a hegyvidéki települések jó részében alacsony a mezőgazdasági foglalkoztatottak aránya.

A mezőgazdaság adaptációs képességének mérőszámául az 1 művelés alatt álló hektárra eső Standard Termelési Értéket használtuk fel. Magas Standard Termelési Érték esetén nagyobb az esélye az alkalmazkodást szolgáló beruházások megtérülésének, így a klímaváltozáshoz történő alkalmazkodásnak is. Ez az érték számos tényezőtől függ (talaj- és birtokviszonyok, piacok közelsége). Magas értékeket tapasztalunk jó talajadottságú (csernozjom) nagytáblás művelésű szántóterületeken (Hajdúság, Körös-Maros köze), illetve a homokhátsági, hegylábi szőlő- és gyümölcssterületek esetén is. Ezzel szemben az egy hektárra eső Standard Ter-

melési Érték kifejezetten alacsony az Északi-középhegység kedvezőtlen termelési viszonyokkal rendelkező, rossz elérhetőségű területein.

A tóparti turizmus klimatikus érzékenységet a szálláshely szolgáltatás és vendéglátás ágazatokban foglalkoztatottak összes foglalkoztatotthoz viszonyított arányában fejeztük ki, leszűkítve a vizsgálatot a Módszertani fejezetben leírt érintett településekre. 2011-ben a szálláshely szolgáltatás és vendéglátás ágazatokban foglalkoztatottak aránya a Balatoni Üdülőkörzet 13 balatoni településén haladta meg a 20%-ot (az országos érték 4,5% volt). Árnyalja a képet, hogy a legmagasabb aránnyal rendelkező települések (Hévíz, Zalacsány, Alsópáhok) kimagasló pozíciójukat nem pusztán a Balatonnak, hanem a Hévízi-tó vonzerejének is köszönhetik. Az érintett ágazatokban foglalkoztatottak aránya a Balatoni Üdülőkörzet nyugati és középső (Tihanyi-félsziget környezete) részén a legmagasabb. A Velencei-tó üdülőtelepüléseinek érzékenysége közepesnek mondható: Velence, Gárdony, Kápolnásnyék esetében az ágazatban foglalkoztatottak aránya 6-7%. A Tisza-tavi régió esetében csak két településen jelentősebb az országos átlagnál az idegenforgalomhoz kapcsolódó ágazatok szerepe: az önálló vonzerővel rendelkező Berekfürdőn és Tiszafüreden.

A klímásérülékenység komponenseinek területi mintázata

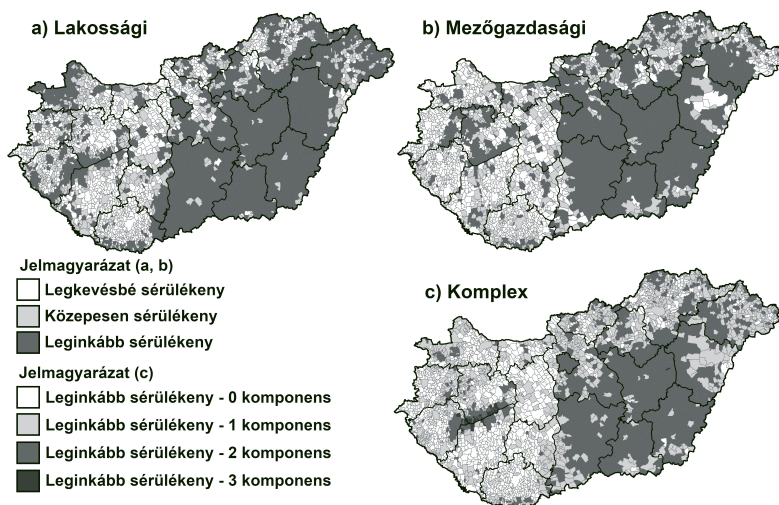
A kitettséget, érzékenységet és adaptációs képességet leíró, fentebb bemutatott indikátorok módszertani fejezetben leírt módon való felhasználásával a lakossági, mezőgazdasági és tóparti turizmusi szegmensre is klímásérülékenységi indexeket alkottunk. Fontos ismételt hangsúlyozni, hogy a kapott értékek normalizáltak és dimenziótlanok, így csak a magyarországi településállományon belüli összehasonlításra alkalmasak. A településállományt a felvett sérülékenységtérképek alapján öt részre bontva, az adott komponens tekintetében leginkább sérülékenynek a településállományon belül a legmagasabb értékkel rendelkező két kvantilist (ötödöt, ami a településállomány 40%-a) tekintjük.

A lakossági és mezőgazdasági klímásérülékenység (5a-b. ábra) térbeli mintázatát összevetve erőteljes hasonlóságot találunk a leginkább sérülékeny települések között: az Alföld településeinek zöme mindkét komponens esetében ebbe a kategóriába tartozik. A három komponens felhasználásával előállított komplex klímásérülékenység térképe megerősíti ezt a tapasztalatot, egyúttal felhívja a figyelmet a klímafenyegetettség térben egyenlőtlen megoszlására. Az általunk alkalmazott módszertannal 1 299 olyan települést kaptunk, amelyik egyik komponens szerint se volt kiemelkedően sérülékeny, ezek döntő többsége a Dunántúlon található (5c. ábra). Ezzel szemben 722 olyan települést azonosítottunk, amely legalább két komponens szerint a leginkább sérülékeny. Ezen települések jóformán lefedik a Dél- és Közép-Alföldet, de további gócpontokat találunk az Északi-középhegység bizonyos területein (pl. Cserehát), illetve a Balaton mentén. További 24 olyan települést azonosítottunk, amelyek mindhárom komponens esetében

a legsérülékenyebb települések közé tartoznak. Ezen települések egy (outlier) település kivételével a Balaton környezetében találhatóak.

5. ábra: A lakossági (a), mezőgazdasági (b) és magyarországi komplex klímasérülékenység (c) területi különbségei

Spatial patterns of the climate vulnerability of the general populace (a), agriculture (b) and the complex climate vulnerability of Hungary (c)



Forrás: a szerzők saját szerkesztése

Következtetések

Az eredmények taglalásánál láttuk, hogy a kialakított módszertan alapján a klímaváltozással szemben több szempont szerint is leginkább sérülékeny területek jelentős térbeli koncentrációt mutatnak. Egyik ilyen terület a Dél- és a Közép-Alföld térsége. Más kutatásokkal összhangban e terület klímakitettsége minden szempontból kiemelkedő: a Dél-Alföld, ahogy most, úgy a jövőben is az ország legmelegebb területei közé fog tartozni, míg a Közép-Alföldön az átlagosnál gyorsabb ütemű melegedés várható. Az Alföld, különösen középső részének aszálykiettsége most is jelentős, ami a jövőben csak erősödni fog. A kitettséggel szemben a térség érzékenysége és adaptációs képessége változatosabb képet mutat. Az elöregedő társadalom, a jelentős belterületi talajfedettség és az alacsony jövedelem növeli az alföldi lakosság érzékenységét és csökkenti alkalmazkodóképességét. A mezőgazdaság foglalkoztatásban betöltött szerepe jelentős, a talajviszonyok és a termékstruktúra érzékenyebb és kevésbé érzékeny területeket rajzol ki, az alkalmazkodóképesség is változó.

Némileg meglepő módon, az Északi-középhegység területén is találunk több szempontból sérülékeny településcsoportokat. Bár kitettségük alapján jelenleg az ország kevésbé sérülékeny területei közé tartoznak, a változások intenzitása, különösen a hegyközi völgyekben és medencékben, várhatóan nagyobb lesz az átlagosnál. A települések egy része az előrecedés és a kedvezőtlen talajviszonyok miatt a klímaváltozás hatásaira fokozottan érzékeny, míg az alacsony jövedelmű, kevésbé képzett lakosság és a mezőgazdaság csekélyebb jövedelmezősége gyenge alkalmazkodóképességet eredményez.

Külön kiemelendő a Balaton térsége, ahol a jelenleg zajló jóléti migrációnak köszönhetően a Balaton-felvidék vonzó kistelepülései a jövőben fokozottan előregednek, és a talajviszonyok, a termékstruktúra alapján a mezőgazdaság is fokozottan érzékeny a klímaváltozásra. Ezt tetézi a tóparti turizmus klímakitettsége, ezért a Balaton környezetét fokozottan klímásérülékenynek tekinthetjük.

A településállomány több mint 40%-a (1 299 település) az alkalmazott módszertan szerint egy szempontból sem kiemelkedően sérülékeny, míg 722 település (a településállomány több mint 20%-a) minimum két szempontból a leginkább sérülékeny. Az előbbi csoportban felülreprezentáltak a dunántúli aprófalvak, míg a másik oldalon találjuk a széles településhatárú alföldi települések többségét. Így nem meglepő, hogy a területet vizsgálva megfordulnak az arányok: az egy vizsgált szempontból sem kiemelkedően sérülékeny települések az ország területének 28%-át alkotják, míg a több szempontból is legerősebben sérülékeny települések 39%-ot tesznek ki. A népességszámot vizsgálva még inkább átfordulnak az arányok – az egy vizsgált szempontból sem kiemelkedően sérülékeny települések az ország népességének 19%-át érintik, míg a több szempontból is legerősebben sérülékeny települések 44%-ot tesznek ki. Ez nem a kistelepülések és aprófalvak méretéből adódó védettségére utal, hanem elsősorban a településhálózat regionális eltéréseiből adódik.

Az egyenlőtlenségek más módon is megmutatkoznak. Az egy főre eső jövedelem alapján a legjobb ötödbe tartozó települések mintegy harmada egyúttal a lakossági klímásérülékenységi alapján is a legkedvezőbb ötödben található, és csak egytizedük esik a legrosszabb ötödbe. Ezt az egyenlőtlenséget nemcsak a módszertan determinálja (a személyi jövedelemadót és az azzal szorosan összefüggő képzettséget használtuk az alkalmazkodóképességet leíró települési humán potenciál kialakításához), hanem a kitettségbeli különbségek is (Dunántúl kedvezőbb helyzete az Alfölddel szemben). A klimatikus tényezők a lakóhelyválasztás során is (gyakran indirekt módon, de) szerepet kapnak: a fővárosi agglomeráció elsősorban jobb módú kiköltözők számára elérhető budai oldala klímakitettség szempontjából is kedvezőbb helyzetű. Az éghajlatváltozás hatásainak erősödésével a klimatikus adottságok szerepe a lakóhelyválasztásban várhatóan erősödni fog, több lehetőséget biztosítva a nagyobb jövedelemmel rendelkezők számára. A klímásérülékenységre kötődő társadalmi egyenlőtlenség a környezeti igazságosság hiányának egyik fokmérője, amely a jövőben vélhetően hazánkban is erősödni fog (Baranyai, Varjú 2017; Nagy 2021).

A klímaadaptáció egyik lehetséges útja a klímatudatos terület- és település-fejlesztés, amelynek az egyes fejlesztési dokumentumok, különösen a klímastratégiák adnak keretet és szolgálnak iránymutatásul (Buzási, Czizovszki 2021). Sajnálatos módon a települési és megyei szintű dokumentumok nem egyszer csupán a feladat “kipipálását” és a fejlesztési források lehívását szolgálják. Jó példaként emelhető ki például Szeged Klímastratégiája, mely kiterjedten foglalkozik a városi hősziget és az extrém klimatikus események hatásainak mitigálásával, ideértve az olyan externáliákat is, mint a szálló por (Kiss, Balla 2022; Szeged MJV 443/2021. (V.25) hat.). A szegedi példa a helyi önkormányzat forrásainak, felkészültségének jelentősége mellett rámutat a helyi tudásbázis fontosságára is (és pozitív visszacsatolást ad adaptációs indexválasztásunkhoz): a Szegedi Tudományegyetem kutatói évtizedek óta foglalkoznak a városi hősziget települési kiterjedtségével, és ezzel hozzájárultak ahhoz, hogy a jelenség bekerüljön a köztudatba, beépüljön a tervezésbe, döntésekbe.

Vizsgálatunk során számos korláttal szembesültünk és több továbbfejlesztési lehetőséget azonosítottunk. A módszertani fejezetben kifejtettük, hogy a jövőre vonatkozó klimatikus információk felhasználásakor több kompromisszumra kényszerültünk (távolabbi klímaablakra vonatkozó adatok használata, bizonyos származtatott mutatók mellőzése). A bevezetőben is említettük azonban, hogy mind a klímamodellezés, mind a forgatókönyvek regionális leskálázása dinamikusan fejlődő terület, így a jövőben joggal számolhatunk az egyre részletesebb, pontosabb projekciók megjelenésével.

Az érzékenység és az adaptációs képesség indikátorait csak eltérő területi szintekre (pl. településszint, 25 km²-es cellák) és időpontokra vonatkozó információk felhasználásával és összehangolásával volt lehetőségünk elkészíteni. A 2022-es népszámlálásnak a tanulmány leadásakor még nem elérhető, de azóta publikálásra került adatai lehetőséget adnak majd bizonyos indikátorok (pl. foglalkoztatottak száma) jövőbeni frissítésére. Továbblépési lehetőséget jelent a kitétttség, érzékenység és alkalmazkodóképesség szerepének pontosítása, az egyes összetevők súlyozása, a sérülékenység következményeinek kvantifikálása (potenciális egészségügyi kockázatok, kieső termésmennyiség), ami az eredmények nemzetközi összehasonlíthatóságát is elősegítené.

A vizsgálatba vont három komponens mellett az elemzést a klímasérülékenység további összetevőire is ki lehet terjeszteni (erdőtűzveszély, villámárvizeknek való kitétttség, vegetáció sérülékenysége, ipar és közlekedési infrastruktúra klímasérülékenysége), különösen, hogy e tényezők vizsgálata jogszabály szerint is kiemelt feladat (2017. évi LVI. tv, 2020.; 18/2013. (III. 28.) OGY hat.; 23/2018. (X. 31.) OGY hat.). Egyes újabb komponensek vizsgálata várhatóan a most kiemelt régiók sérülékenységének újabb dimenzióját tárná fel (ipar klímasérülékenysége). Más komponensek bevonása viszont akár árnyalhatja is a jelen tanulmányban felvázolt területi mintázatot. A jövőben gyakoribbá váló villámárvizek éppen azon hegy- és dombvidéki települések egy része számára jelentenek kockázatot (Turczi, Homolya,

Mattányi 2016), amelyek lakossági, illetve mezőgazdasági sérülékenysége nem ki-magasló. Mivel az erdei élőhelyek klímasérülékenysége jellemzően magasabb a fát-lan társulásoknál (a vizes élőhelyeket leszámítva), a természetes vegetáció sérü-lékenysége magasabb a Dunántúlon, mint az Alföldön (Somodi et al. 2016). A klímaváltozás lehetséges komponenseinek átfogó vizsgálata, az egyes komponen-sek jelentőségének súlyozása azonban már egy következő kutatás részét képezi.

Összefoglalás

Kutatásunkban a magyarországi klímasérülékenység területi különbségeinek fel-tárására tettünk kísérletet. Három komponenszt vizsgáltunk meg: a lakosság, mez-őgazdaság és a tóparti turizmus klímasérülékenységét. Kutatásunkhoz a CIVAS modellt adaptáltuk, és a három komponensre kitettséget, érzékenységet és adap-tációs képességet leíró indikátorokat alakítottunk ki.

A feldolgozott adatok alapján hazánk évi középhőmérséklete 2002-2011 és 2012-2021 között közel 0,8 fokot emelkedett, és a felhasznált forgatókönyvek az ország egész területére további intenzív növekedést vetítenek előre. Ezzel szem-ben a csapadék változása a közelmúltban és a jövőben is jóval differenciáltabb mintázatot mutat: az ország keleti, északkeleti harmadában számottevő csökke-néssel, az ország nyugati, délnyugati részében akár növekedéssel is lehet számol-ni. A hőmérséklet- és csapadékváltozás trendjeinek megfelelően az aszály-kitettség várható változása is jelentős térbeli differenciát mutat, az Alföld köze-pének kiemelkedő kitettségével.

Az érzékenység (időskorúak várható aránya, belterületi talajfedettség ará-nya, talajok aszályérzékenysége, termesztett növények klímaérzékenysége, mez-őgazdasági foglalkoztatottak aránya, szállásadás, vendéglátás ágazatban foglalkoztatottak aránya) és az adaptációs képesség (települési humán po-tenciál, 1 hektár mezőgazdasági területre jutó Standard Termelési Érték) indiká-torainak felhasználásával finomítottuk a klímasérülékenység egyes komponensek szerinti területi mintázatát. A három komponens vizsgálata szerint leginkább klí-masérülékeny területek jelentős átfedést mutatnak. Kiemelendő a Dél- és Közép-Alföld sérülékenysége, valamint a nagyfokú érzékenység és a gyenge alkalmazko-dóképesség miatt az Északi-középhegység egyes településcsoportjainak klíma-sérülékenysége. Külön kiemelendő a Balaton környezete, ahol a lakossági és mezőgazdasági klímasérülékenység mellett a tóparti turizmusból eredő klímasé-rülékenység is kockázatot jelent. A települések eltérő kitettsége miatt települési szinten is nagy hangsúly lesz a mitigációs célok, stratégiák kialakításán és azok végrehajtásán. Az eredmények arra is rámutattak, hogy a klímasérülékenységben megmutatkozó területi egyenlőtlenségek az országon belüli környezeti igazságtal-anság erősödéséhez vezethetnek, amelyek vizsgálatát és modellezését a jogalkotó is (2020. évi XLIV. tv.) szorgalmazza.

Köszönetnyilvánítás

Az „Üzemtípusok, kihívások, adaptációs irányok és ezek hatása a magyar vidékre” K 132975 számú projektet a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alap támogatta.

A tanulmányban ELKH támogatásával megvalósult „A hazai klímaadaptáció lehetőségei”, valamint a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával megvalósult BO/00583/22/10 számú „Új távlatok a magyarországi térfolyamatok ágens alapú modellezésében” című kutatások eredményeit hasznosítottuk.

Irodalom

- Bán, B., Szépszó, G., Allaga-Zsebeházi, G., Somot, S. (2021): ALADIN-Climate at the Hungarian Meteorological Service: from the beginnings to the present day's results. *Időjárás*, 4., 647–673. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.4.6>
- Baranyai N., Varjú V. (2017): A klímaváltozással kapcsolatos attitűdök területi sajátosságai. *Területi Statisztika*, 2., 160–182. <https://doi.org/10.15196/TS570203>
- Bartholy J., Pongrácz R. (2017): A közelmúlt és a jövő országos éghajlati trendjei. A klímaváltozáshoz alkalmazkodó erdőgazdálkodás kihívásai II. *Erdészeti Lapok*, 5., 134–136.
- Bihari Z. (2012): *Délkelet-Európai Aszálykezelési Központ – DMCSEE. Összefoglaló a projekt eredményeiről.* Országos Meteorológiai Szolgálat
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., Wisner, B. (1994): *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters.* Routledge, London
- Bobvos, J., Malnasi, T., Rudnai, T., Cserbik, D., Paldy, A. (2017): The effect of climate change on heat-related excess mortality in Hungary at different area levels. *Időjárás*, 1., 43–62.
- Buzási A., Csizovszky A. (2021): Fenntarthatóság és klímaadaptáció a városfejlesztésben – lock-in elemzés Budapest XVII. kerületének példáján keresztül. *Tér és Társadalom*, 1., 72–91. <https://doi.org/10.17649/TET.35.1.3291>.
- Christensen, J.H., Christensen, O.B. (2007): A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change*, 81(S1), 7–30. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9210-7>
- Csete, M., Pálvölgyi, T., Szendrő, G. (2013): Assessment of climate change vulnerability of tourism in Hungary. *Regional Environmental Change*, 13., 1043–1057. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0417-7>
- Cutter, S. L. (1996): Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, 4., 529–539. <https://doi.org/10.1177/030913259602000407>
- Dezső Zs., Bartholy J., Pongrácz R. (2010): A városi hősziget műholdas vizsgálata Magyarország nagyvárosaiban. *Természet Világa*, 6., 254–258.
- Farda, A., Déqué, M., Somot, S., Horányi, A., Spiridonov, V., Tóth, H. (2010): Model ALADIN as regional climate model for central and eastern Europe. *Studia Geophys. Geod.*, 54., 313–332. <https://doi.org/10.1007/s11200-010-0017-7>
- Farkas J. Z., Rakonczai J., Hoyk, E. (2015): Környezeti, gazdasági és társadalmi éghajlati sérülékenység: esettanulmány a Dél-Alföldről. *Tér és Társadalom*, 1., 149–174. <https://doi.org/10.17649/TET.29.1.2675>.
- Farkas, J. Z., Hoyk, E., Rakonczai, J. (2017): Geographical analysis of climate vulnerability at a regional scale: the case of the Southern Great Plain in Hungary. *Hungarian Geographical Bulletin*, 2., 129–144. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.66.2.3>
- Farkas, J. Zs., Hoyk, E., Batista de Moraes, M., Csomós, Gy. (2023): A systematic review of urban green space research over the last 30 years: A bibliometric analysis. *Heliyon*, 2., e13406. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13406>

- Fekete Á. (2020): A klímaváltozás helyi hatásainak vizsgálata matematikai modellekkel. In: Bíró T. (szerk.): *Környezeti biztonság*. Ludovika Kiadó, Budapest, 71–104.
- Fogarasi, J., Kemény, G., Molnár, A., Keményné, H.Zs., Zubor-Nemes, A., Kiss, A. (2016): Modelling climate effects on Hungarian winter wheat and maize yields. *Studies in Agricultural Economics*, 2., 85–90. <https://doi.org/10.7896/j.1614>
- Földi Zs., Uzzoli A., Sik A., Perge K., Horváth A., Czikoráné Balázs E., László P. (2014): Klímaváltozáshoz kapcsolódó természeti kockázatok helyi léptékű elemzése és a társadalmi felkészültség vizsgálata Közép- és Délkelet-Európában – Egy transznacionális projekt eredményei. *Tér és Társadalom*, 4., 40–62. <https://doi.org/10.17649/TET.28.4.2648>.
- Führer E., Gálos B., Jagodics A., Mátyás Cs. (2022): Erdészeti klímaosztályok és meteorológiai jellemzésük. In: Bartha D., Csóka Gy., Mátyás Cs. (szerk.): *Az erdészeti tudományok története Magyarországon*. Soproni Egyetemi Kiadó, Sopron, 26–31.
- Footo, E. (1856): Circumstances affecting the heat of the Sun's rays. *American Journal of Science and Arts*, 22., 382–383.
- Gerőházi, É., Hegedüs, J., Szemző, H., Tomay, K., Tosics, I., Gere, L. (2011): The impact of European demographic trends on regional and urban development. *Regional Statistics*, 1., 80–98.
- Goodale, C.L., Aber, J.D., Ollinger, S.V. (1998): Mapping Monthly Precipitation, Temperature and Solar Radiation for Ireland with Polynomial Regression and a Digital Elevation Model. *Climate Research*, 10., 35–49. <http://dx.doi.org/10.3354/cr010035>
- Hadi, S.J., Tombul, M. (2018): Comparison of Spatial Interpolation Methods of Precipitation and Temperature Using Multiple Integration Periods. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46., 1187–1199. <https://doi.org/10.1007/s12524-018-0783-1>
- Illy T., Sábítz J., Szabó, P., Szépszó G., Zsebeházi G. (2015): *A klímamodellekből levezethető indikátorok alkalmazási lehetőségei*. OMSZ, Budapest
- IPCC (2007): *Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Iungman, T., Cirach, M., Marando, F., Pereira Barboza, E., Khomenko, S., Masselot, P., Quijal-Zamorano, M., Mueller, N., Gasparrini, A., Urquiza, J., Heris, M., Thondoo, M., Nieuwenhuijsen, M. (2023): Cooling cities through urban green infrastructure: a health impact assessment of European cities. *Lancet* 18, 10376., 577–589. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(22\)02585-5](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(22)02585-5)
- Jacob, D., Podzun, R. (1997): Sensitivity studies with the regional climate model REMO. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 63., 119–129.
- Jolánkai M., Láng I., Csete L. (2006): *A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok*. KVVM - MTA "VAHAVA" Projekt összefoglalása/A magyarországi klímapolitika alapjai, KVVM-MTA, Budapest
- Kemény G., Molnár A., Fogarasi J. (2019): *A klímaváltozás hatásának modellezése a főbb hazai gabonafélék esetében*. Agrárgazdasági Kutató Intézet, Budapest
- Kiss, E., Balla, D. (2022): Analysing national climate change-related documents: Spatial and temporal. *Regional Statistics*, 3., 131–158. <https://doi.org/10.15196/RS120306>
- Kovács A. D. (2015): A klímamodellezés nemzetközi eredményei. In: Czirfusz M., Hoyk E., Suvák A. (szerk.): *Klímaváltozás - társadalom - gazdaság: Hosszú távú területi folyamatok és trendek Magyarországon*. Publikon Kiadó, Pécs, 67–89.
- Kovács A., Marton A., Tóth Gy., Szócs T. (2016a): A klímaváltozás hatása a sekély felszín alatti vizekre Magyarországon. In: Pálvölgyi T., Selmecei P. (szerk.): *Tudásmegosztás, alkalmazkodás és éghajlatváltozás. A Magyar Földtani és Geofizikai Intézet kutatási-fejlesztési eredményei a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer létrehozására*. Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest, 33–40.
- Kovács A., Marton A., Tóth G., Szócs T. (2016b): A sekély felszín alatti vizek klímaérzékenységének országos léptékű vizsgálata. *Hidrológiai Közöny*, 9., 21–32.
- Kovács, A., Jakab, A. (2021): Modelling the Impacts of Climate Change on Shallow Groundwater Conditions in Hungary. *Water* 13, 5., 668. <https://doi.org/10.3390/w13050668>
- Kovács, A., Király, A. (2021): Assessment of climate change exposure of tourism in Hungary using observations and regional climate model data. *Hungarian Geographical Bulletin*, 3., 215–231. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.70.3.2>

- Krüzselyi, I., Bartholy, J., Horányi, A., Pieczka, I., Pongrácz, R., Szabó, P., Szépszó, G., Torma, Cs. (2011): The future climate characteristics of the Carpathian Basin based on a regional climate model mini-ensemble. *Advances in Science and Research*, 6., 69–73.
- Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z., Szalai, S. (2013): Creation of a homogenized climate database for the Carpathian region by applying the MASH procedure and the preliminary analysis of the data. *Időjárás*, 117., 143–158.
- Lámfalusi I., Péter K. (2021): *A mezőgazdasági kockázatkezelési rendszer működésének értékelése 2019*. NAIK Agrárgazdasági Kutatóintézet, Budapest <https://doi.org/10.7896/ai2101>
- Láng I., Csete L., Jólánkai M. (2007): *A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok*. A VAHAVA jelentés. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest
- Lennert J. (2019): A magyar vidék demográfiai jövőképe 2051-ig, különös tekintettel a klímaváltozás szerepére a belső vándormozgalom alakításában. *Területi Statisztika*, 5., 498–525. <https://doi.org/10.15196/TS590503>
- Lipták K. (2017): Települési humán potenciál vizsgálata Magyarországon. *Észak-magyarországi Stratégiai Füzetek*, 2., 55–65.
- McG. Tegart, W.J., Sheldon, G.W., Griffiths, D.C. (eds.) (1990): *Climate Change, The IPCC Impacts Assessment*. Australian Government Publishing Service, Canberra
- Megyeri-Korotaj, O., Bán, B., Suga, R., Allaga-Zsebeházi, G., Szépszó, G. (2023): Assessment of Climate Indices over the Carpathian Basin Based on ALADIN5.2 and REMO2015 Regional Climate Model Simulations. *Atmosphere*, 14 (3), nr:448. <https://doi.org/10.3390/atmos14030448>
- Moss, R. H. et al. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463., 747–756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- Nagy, Gy. (2021): Environmental justice and its geographical aspects in Hungary. *Tér és Társadalom*, 4., 76–103. <https://doi.org/10.17649/TET.35.4.3373>.
- Németh K., Czira T., Sütő A., Domjáné Nyizsalovszki R., Péter E. (2020): Melegszik a helyzet? A klímaváltozás hatásai három hazai turisztikai desztináció példáján. *Turizmus Bulletin*, 4., 28–36. <https://doi.org/10.14267/TURBULL.2020v20n5.3>
- Nováky B., Varga Gy., Homolya E., Szépszó G., Csorvási A. (2016): *A Balaton vízforgalmának a klímaváltozás hatására becsült változása. Kutatási jelentés*. Nemzeti Alkalmazkodási Központ, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest
- OECD (2015): *The Economic Consequences of Climate Change*. OECD Publishing, Paris <https://doi.org/10.1787/9789264235410-en>.
- OECD (2018): *Climate-resilient Infrastructure*. OECD Environment Policy Paper NO. 14, OECD Publishing, Paris <https://doi.org/10.1787/4fd9eaf-en>
- OECD (2021): *Managing Climate Risks, Facing up to Losses and Damages*. OECD Publishing, Paris <https://doi.org/10.1787/55ea1cc9-en>
- Páldy A., Erdei E., Bobvos J., Ferenczi E., Nádor G., Szabó, J. (2004): A klímaváltozás egészségi hatásai. *Egészségtudomány*, 2–3., 220–236.
- Páldy A., Bobvos J., Málnási T. (2018): A klímaváltozás hatásai egészségünkre és az egészségügyre Magyarországon. *Magyar Tudomány*, 9., 1336–1348. <https://doi.org/10.1556/2065.179.2018.9.7>
- Pálvölgyi T., Czira T., Dobozi E., Rideg A., Schneller K. (2010): A kistérségi szintű éghajlatváltozási sérülékenység vizsgálat módszere és eredményei. „Klíma-21” füzetek, 62., 88–102.
- Pálvölgyi T. (2008a): Az éghajlatváltozás hatásai az épített környezetre és az infrastruktúrára. In: Fodor I., Suvák A. (szerk.): *A fenntartható fejlődés és a megújuló természeti erőforrások környezetvédelmi összefüggései a Kárpát-medencében*. MTA Regionális Kutatások Központja, Pécs, 111–119.
- Pálvölgyi T. (2008b): Gazdaság, társadalom, infrastruktúra. In: Harnos Zs., Gaál M., Hufnagel L. (szerk.): *Klímaváltozásról mindenkinek*. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest, 153–164.
- Péter K., Lámfalusi I. (2022): *A mezőgazdasági kockázatkezelési rendszer működésének értékelése 2021*. Agrárközgazdasági Intézet, Budapest <https://doi.org/10.7896/ai2202>
- Pieczka I. (2012): *A Kárpát-medence térségére vonatkozó éghajlati scenáriók elemzése a PRECIS finom felbontású regionális klímamodel felhasználásával*. Doktori értekezés ELTE, Budapest
- Pongrácz R., Bartholy J., Pieczka I., Szabóné André K. (2015): Regionális klímamodellezés a Kárpát-medencére – érzékenységvizsgálatok különböző csapadéksémák alkalmazásával. In: Pongrácz

- R., Mészáros, R., Kis A. (szerk.) *Aktuális Kutatások Az ELTE Meteorológiai Tanszékén: Jubileumi kötet - 70 éves az ELTE Meteorológiai Tanszéke*. ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest, 76–81.
- Rotárné Sz. Á., Selmeczi P., Homolya E. (2016): Ivóvízbázisok klímaváltozással szembeni sérülékenységeinek vizsgálati módszere. In: Pálvölgyi T., Selmeczi, P. (szerk.): *Tudásmegosztás, alkalmazkodás és éghajlatváltozás. A Magyar Földtani és Geofizikai Intézet kutatási-fejlesztési eredményei a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer létrehozására*. Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest, 41–48.
- Selmeczi P., Pálvölgyi T., Czira T. (2016): Az éghajlati sérülékenységvizsgálat elemzési-értékelési módszertana. In: Pálvölgyi T., Selmeczi, P. (szerk.): *Tudásmegosztás, alkalmazkodás és éghajlatváltozás. A Magyar Földtani és Geofizikai Intézet kutatási-fejlesztési eredményei a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer létrehozására*. Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest, 25–29.
- Skarbit, N., Unger, J., Gál, T. (2022): Projected values of thermal and precipitation climate indices for the broader Carpathian region based on EURO-CORDEX simulations. *Hungarian Geographical Bulletin*, 4., 325–347. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.71.4.2>
- Somodi I., Bede-Fazekas Á., Lepesi N., Czúcz B. (2016): A klímaváltozás hatása a természetes élőhelyekre. In: Pálvölgyi T., Selmeczi, P. (szerk.): *Tudásmegosztás, alkalmazkodás és éghajlatváltozás. A Magyar Földtani és Geofizikai Intézet kutatási-fejlesztési eredményei a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer létrehozására*. Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest, 57–63.
- Sütő A., Fejes L. (2019): A turizmus ágazat jelenlegi és potenciális éghajlati sérülékenységeinek területi különbségei Magyarországon. *Tér és Társadalom*, 3., 108–126. <https://doi.org/10.17649/TET.33.3.3178>
- Torma Cs. (2011): *Átlagos és szélsőséges hőmérsékleti és csapadék viszonyok modellezése a Kárpát-medencére a XXI. századra a RegCM regionális klímamodell alkalmazásával*. Doktori értekezés ELTE, Budapest
- Torma, Cs. (2019): Detailed validation of EURO-CORDEX and Med-CORDEX regional climate model ensembles over the Carpathian Region. *Időjárás*, 2., 217–240. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2019.2.6>
- Turczai G., Homolya E., Mattányi Zs. (2016): A magyarországi hegy- és dombvidéki területek villámvíz veszélyeztetettsége. In: Pálvölgyi T., Selmeczi, P. (szerk.): *Tudásmegosztás, alkalmazkodás és éghajlatváltozás. A Magyar Földtani és Geofizikai Intézet kutatási-fejlesztési eredményei a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer létrehozására*. Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest, 49–55.
- Turner, B.L., Kasperson, R.E., Matson, P.A., McCarthy, J.J., Corell, R.W., Christensen, L., Schiller, A. (2003): A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *PNAS*, 14., 8074–8079. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>
- Uzzoli A., Szilágyi D., Bán A. (2019): Az éghajlatváltozás egészségkockázatai és népegészségügyi következményei – A hőhullámokkal szembeni sérülékenység területi különbségei Magyarországon. *Területi Statisztika*, 4., 400–425. <https://doi.org/10.15196/TS590403>
- Várallyay Gy. (1985): Magyarország 1:100 000 méretarányú agrotopográfiai térképe. *Agrokémia és talajtan*, 1-2., 243–248.
- WMO – World Meteorological Organization (1985): *Report of the international conference on the assessment of the role of carbon dioxide and other greenhouse gases in climate variations and associated impacts*. Villach, Austria, 9-15 October 1985, WMO- No. 661.
- Zsebeházi G. (2011): *Magyarország éghajlatának jellemzése az ENSEMBLES projektbeli és a hazai regionális modelledmények együttes vizsgálatával*. Szakdolgozat, ELTE Budapest
- Zsebeházi G., Bán B., Kovácsné I. B., Szépszó G. (2022): *Az éghajlatváltozás magyarországi hatásainak felértékelése regionális klímamodell-szimulációk elvégzésével és reprezentatív adatbázis fejlesztésével*. A KlimAdat (KEHOP-1.1.0) projekt zárókiadványa. https://www.met.hu/downloads.php?fn=/klimadat/doc/nyito/KlimAdat_nyito_leaflet_final.pdf (letöltés: 2023.05.16.)

Egyéb források (internetes hivatkozások, adatbázisok, jogszabályok)

2020. évi XLIV. törvény a klímavédelemről.
2017. évi LVI. törvény az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról szóló 2009. évi XXXVII. törvény és egyéb kapcsolódó törvények módosításáról.
- 18/2013. (III. 28.) OGY határozat a Nemzeti Fenntartható Fejlődés Keretstratégiáról.
- 23/2018. (X. 31.) OGY határozat a 2018-2030 közötti időszakra vonatkozó, 2050-ig tartó időszakra tekintést nyújtó második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiáról.
- Szeged MJV 443/2021. (V.25) határozata Szeged Klímastratégiájáról.
- OMSZ Meteorológiai Adattára (<https://odp.met.hu/>)
- OMSZ, Klimadat adatbázis (<https://klimadat.met.hu/>).
- Európai Környezetvédelmi Ügynökség, Copernicus Land Monitoring Service <https://land.copernicus.eu/>
- Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR) <https://nater.mbfisz.gov.hu/>
- Barcelona Institute for Global Health <https://www.isglobal.org/en/-/4-of-summer-mortality-is-attributable-to-urban-heat-islands> <https://telex.hu/tudomany/2023/06/07/balaton-vizszint-eghajlatvedelem-vizpotlas-limnologiai-intezet-klimavaltozas>