

MEGFIGYELT ÉGHAJLATI TENDENCIÁK A KÁRPÁT-RÉGIÓBAN

Lakatos Mónika (1), Bihari Zita (1), Szentimrey Tamás (1), Szalai Sándor (2)

(1) Országos Meteorológiai Szolgálat

(2) Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar

e-mail: lakatos.m@met.hu

Bevezetés

A Kárpátok Európa leghosszabb, legtöredezettebb hegylánca, térségünk, és ezen belül a Kárpát-medence éghajlatát is meghatározza. A Kárpátok és a környező medencék földrajzi kapcsolódást jelentenek az észak-európai és a Dél-Európában jellemző ökoszisztémák között, élőhelyet biztosítanak számos növény és állatfaj számára. Földrajzi helyzetéből adódóan az óceáni, a kontinentális és a mediterrán klímahatások, valamint a domborzati tényezők alakítják az éghajlati viszonyokat.

A globális éghajlati változások regionális skálán is jelentkeznek, de a mérések szerint eltérő mértékben a különböző régiókban. A hazai hőmérsékleti változások a globális tendenciákkal összhangban alakulnak, az emelkedés térségünkben meghaladja a globális átlagos trendet (Lakatos és Bihari, 2011). A környezeti változások nyomán követéséhez a tágabb térségünkben bekövetkezett változásokat is figyelemmel kell kísérni. Kitekintve a Kárpát-régióra, és ezen belül a Kárpát-medencére, tágabb környezetünk a sérülékeny régiók közé sorolható (UNEP, 2007) Az éghajlatváltozás várhatóan jelentős következményekkel jár az itt élő természetes ökoszisztémákra és a gazdaság különböző szektoraira, mint például a vízgazdálkodás, a mezőgazdaság, az élelmiszerbiztonság, az erdészet, az egészségügy és a turizmus. Emiatt is fontos e változatos domborzattal, természeti környezettel, sokféle kultúrával jellemezhető, politikai határokkal szabdalts térség éghajlati viszonyainak mind pontosabb ismerete, és az éghajlati változások elemzése.

A Kárpát-régió Digitális Atlasza

A térség éghajlati állapotának leírásához, valamint a bekövetkezett változások vizsgálatához kiváló alapot teremt a Kárpát-régió Digitális Atlasza, ami a CarpatClim¹ projekt (2010–2013) során jött létre. A projekt célja a Kárpát-régió éghajlatának részletes tér és időbeli vizsgálata volt egységes módszertan alapján. Mivel nyolc ország osztozik a területen, az eltérő, és legtöbb esetben szigorú adatpolitika megnehezíti a közös, harmonizált adatbázis létrehozását. A CarpatClim projektnek köszönhetően először nyílik arra lehetőség, hogy a térség éghajlatát egy harmonizált adatbázis alapján vizsgáljuk. A projekt megvalósítása az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) Éghajlati Osztályán kifejlesztett adathomogenizálási: MASH² (Szentimrey, 1999, 2006) és interpolációs: MISH³ (Szentimrey és Bihari, 2007) eljárásokon alapult.

A projektben alkalmazott módszerek

A nemzetközileg is elismert, matematikailag megalapozott, automatikus adatszerzési módszereknek, a MISH-MASH eljárásoknak kulcsszerepe volt a megvalósításban. Röviden ismertetjük a továbbiakban ezeknek az eljárásoknak a célját.

¹ Climate of Carpathian Region&Digital Atlas of the Region

² Multiple Analysis of Series for Homogenization

³ Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis

Adathomogenizálásra azért van szükség, mert a több évtizedes adatsorokban fellelhetők olyan hatások is, melyek a mérés körülményeinek változását tükrözik. Az évek során általában megváltozik a mérőállomások helye és környezete, a mérések időpontja, a mérőeszközök típusa és elhelyezése sem állandó, stb. Ezek a tényezők mind zavaró hatások, s az általuk okozott mérési hiba összemérhető lehet az éghajlati adatsorokban rejlő tényleges változások nagyságával. Ezért ezeket a mesterséges hatásokat valamilyen módon az adatsorokból ki kell szűrni. A feladat tehát az adatsorokból – az éghajlatváltozás jelének megőrzése mellett – a mérésre ható, zavaró környezeti változások korrigálása. Ez a tevékenység az adatsorok homogenizálása.

A projekt során egy homogenizált rácsponti adatbázist hoztak létre a régió országai a Kárpát-régió területére (1. ábra). Ehhez az állomási adatsorok interpolációjára volt szükség. A különböző interpolációs eljárások segítségével bármely tetszőleges helyen becslést adhatunk valamely meteorológiai elem értékére. Többféle interpolációs eljárás létezik. Fontos, hogy ezek közül olyat használjunk, ami alkalmas meteorológiai adatok interpolációjára. Az interpolált adat minősége ugyanis nagyban függ az alkalmazott eljárástól. Az interpoláció során természetesen arra törekszünk, hogy az eredmény a lehető legnagyobb mértékben megközelítse a valódi állapotot. Ennek előfeltétele, hogy a számítások során figyelembe vegyünk azokat a tényezőket, melyek hatással vannak az interpolálandó meteorológiai elemre. Így elsősorban a tengerszint feletti magasság és más domborzati jellemzők (például a különböző kitettségű lejtők) hatására kell tekintettel lenni. Ugyancsak javítja az interpoláció pontosságát, ha nem csupán a kérdéses időponthoz tartozó mérések adatait használjuk fel, hanem a térbeli eloszlás modellezéséhez figyelembe vesszük az adott térség adatsoraiban rejlő éghajlati információtartalmat is. Az OMSZ Éghajlati Osztályán kifejlesztett MISH interpolációs eljárás kifejezetten meteorológiai adatok interpolációjára alkalmas, a hosszú megfigyelési sorokban rejlő információt is kihasználja, ezáltal jobb eredményt produkál, mint a kevésbé megalapozott eljárások (Szentimrey et al., 2009).



1. ábra: A Kárpát-régió területe, az É 50° és 44°, illetve a K 17° és 27° közötti terület

Három fő modult különítettek el a megvalósítás során. Az első modulban megtörtént az adatmentés, mivel a csak papíron fellelhető adatokat digitalizálni kellett. Ugyancsak az első modul feladata volt az adatellenőrzés és a homogenizáció. Ezekre a lépésekre a fel dolgozni kívánt 1961–2010 közötti 50 év hosszú periódus, és a területen osztozó országok alkalmanként eltérő mérési, adatfeldolgozási, adatrögzítési és adatkezelési módszerei miatt volt szükség. Az adatellenőrzést és a homogenizálást a MASH v3.03 (Szentimrey, 2011) szoftverrel végezték el, amit minden résztvevő fél külön alkalmazott a saját állomás-hálózatára. A második modulban történt a homogenizált adatsorok alapján a rácspontokra

interpolált adatsorok előállítására a MISH szoftver segítségével. A harmonizáció az ország-határok mentén elhelyezkedő állomások adatcseréjén keresztül valósult meg a homogenizálás megkezdése előtt. Az interpolációt megelőzően pedig a már homogenizált sorokat ismét kicserélték a szomszédos országok, ezáltal egy harmonizált adatbázis jött létre a régióban. A határmenti adatcserére azért volt szükség, hogy az országhatárok mentén ne legyen törés, összeilleszthetővé váljanak a különböző országokból származó rácsponti adatok, térképrészletek.

A megvalósítás során létrejött egy publikus, jó minőségű, napi megfigyelések interpolációjával készült, hozzávetőlegesen 10×10 km-es ($0,1^\circ$ -os) rácsponti adatbázis a Kárpát-régió térségére az 1961–2010 közötti időszakra, többféle meteorológiai elemre. Ezek a következők: középhőmérséklet, minimum- és maximumhőmérséklet, csapadék-összeg, szélirány és szélesség, napfénytartam, felhőborítottság, globálisugárzás, relatív nedvesség, párányomás, felszíni légnyomás és hóvastagság. Az alapelemek mellett számos indikátor is megtalálható a projekt honlapján a részletes dokumentációval együtt (<http://www.carpatclim-eu.org/pages/home/>)

A CarpatClim adatokon végzett elemzések előzetes eredményei

Elemeztük a hőmérsékleti és csapadék átlagokat és azok tendenciáit is, hogy képet kapjunk az átlagos éghajlati viszonyokról és a régiót jellemző változásokról a két alapvető meteorológiai paraméter tekintetében. Az átlagos éves és évszakos tendenciák mellett Marton Annamária részletes elemzést ad néhány klímaindikátor: csapadékos napok száma, 20 mm-t meghaladó csapadékú napok aránya, hidegtűrő és melegkedvelő növények vegetációs periódusának kezdete, vége, az erdészeti aszályok nyomon követését célzó Ellenberg-index alakulásáról is a régióban (Marton, 2012). Az éghajlati extrémumok gyakoribbá válása is a változó klimatikus viszonyok egyértelmű jele a Kárpát-régióban (Lakatos et al., 2012).

A rendelkezésre álló 50 éves adatsorból két normál időszakra mutatjuk be az átlaghőmérséklet és az éves csapadékösszeg területi eloszlását, az 1961–1990, és az 1981–2010 közötti harminc éves periódusokra. A területi eloszlást elsősorban a tengerszint feletti magasság és a lejtők északias, avagy délies fekvése, vagyis a domborzat, másodsorban pedig a zonalitás határozza meg. A változásokat a teljes időszakra vizsgáltuk.

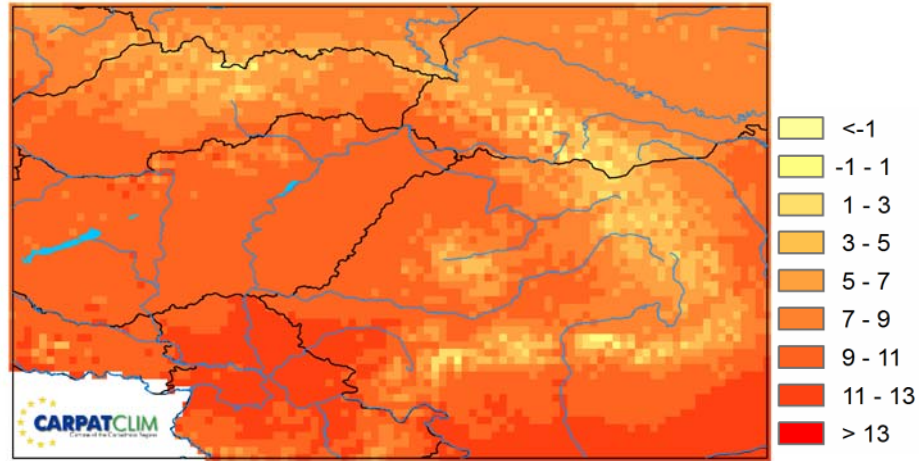
Hőmérsékleti átlagok és tendenciák

Az 1961–1990 közötti időszakban a legmelegebb területek évi átlaghőmérséklete $11\text{--}13^\circ\text{C}$ között alakult, ez főként a Vajdaság, a Bánság és a Szerémség területeit foglalta magába (2. ábra). A Mecsektől délre és a Dráva-mentén, továbbá a Dunántúl északi részén és Szlavónia egyes területein az évi átlaghőmérséklet meghaladta ugyan a 11°C -ot, de nagyobb összefüggő területet nem alkotott. A 3. ábrán látható, hogy az 1981–2010-es időszakban mintegy megduplázódott a $11\text{--}13^\circ\text{C}$ -os tartományba eső terület mérete: Szlavóniában és a Dráva-mellékén, a Dunántúlon elszórtan és a Marcal-medencében, továbbá a Kiskunságban, a Körös-Maros közén és a Nagykunság egy részén láthatunk ilyen területeket. A hegyvidéki területek is melegebbé váltak (Marton, 2012).

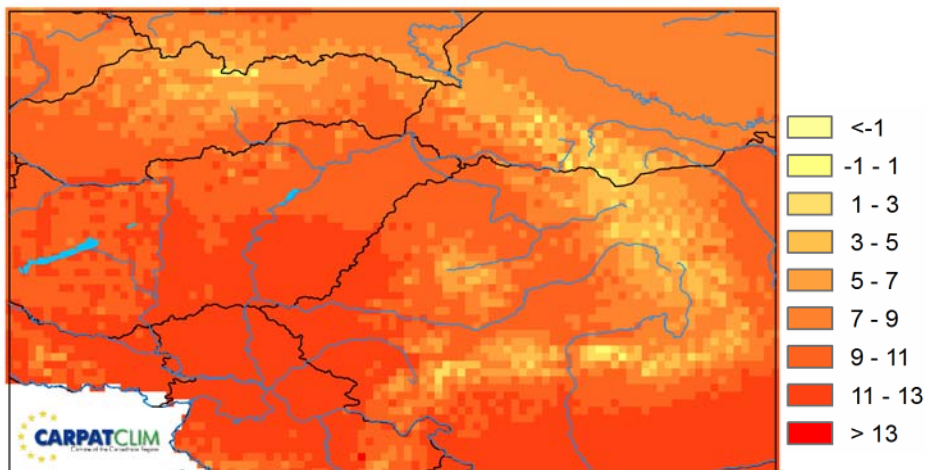
A jelen klímát jellemző normál időszak tehát magasabb középhőmérsékletű a régióban. A teljes ötven év alatt bekövetkezett változások mértékét lineáris trenddel közelítettük. A változás alatt a teljes időszak alatti változást értjük, ami a trend egyenes meredekségéből (β) és az idősor hosszából (n) származtatható: $\beta \cdot (n-1)$.

A 4. ábrán a középhőmérséklet változása látható, mely a teljes Kárpát-régióra nézve pozitív. A legerőteljesebb változás a Kisalföld térségében, illetve a Mecsekben és Szla-

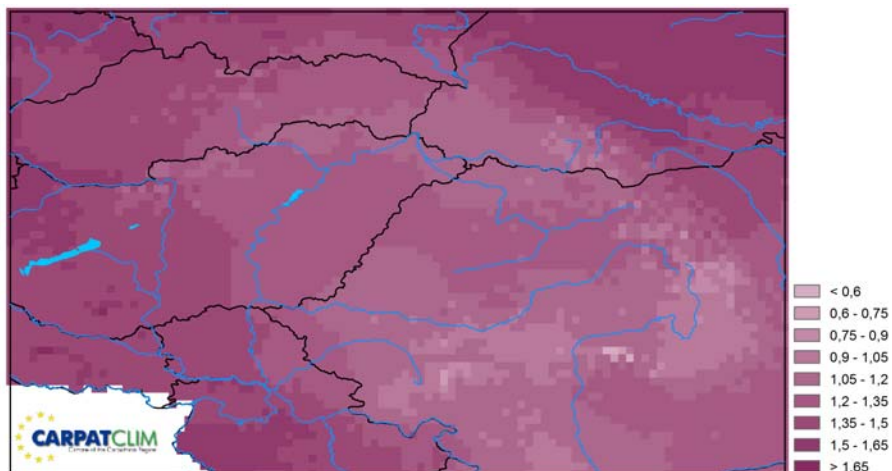
vónia kisebb részén, valamint Ukrajna Kárpátokon túli területein jellemző. A medence nyugati felén jelentősebb a változás, mint a keletin. Megfigyelhető, hogy a magasabban fekvő területek kevésbé melegedtek, ezt sejteti, hogy a változás függ a tengerszint feletti magasságtól.



2. ábra: Az évi átlaghőmérséklet alakulása (°C) a Kárpát-medencében 1961–1990 között



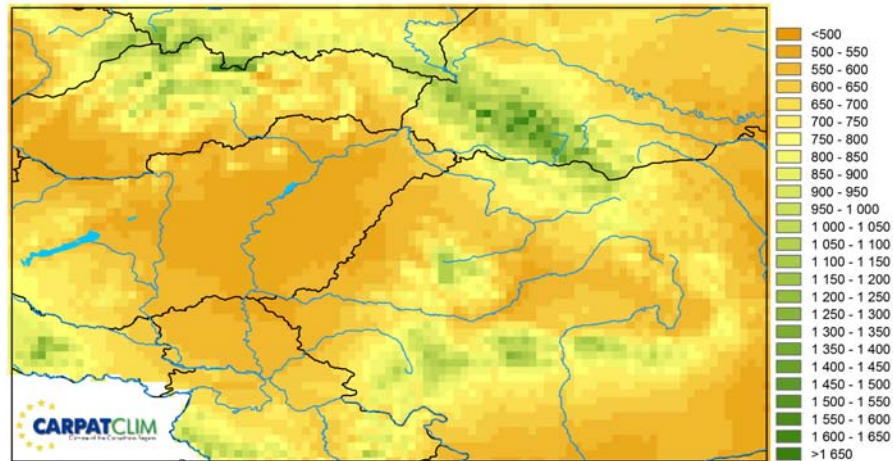
3. ábra: Az évi átlaghőmérséklet alakulása (°C) a Kárpát-medencében 1981–2010 között



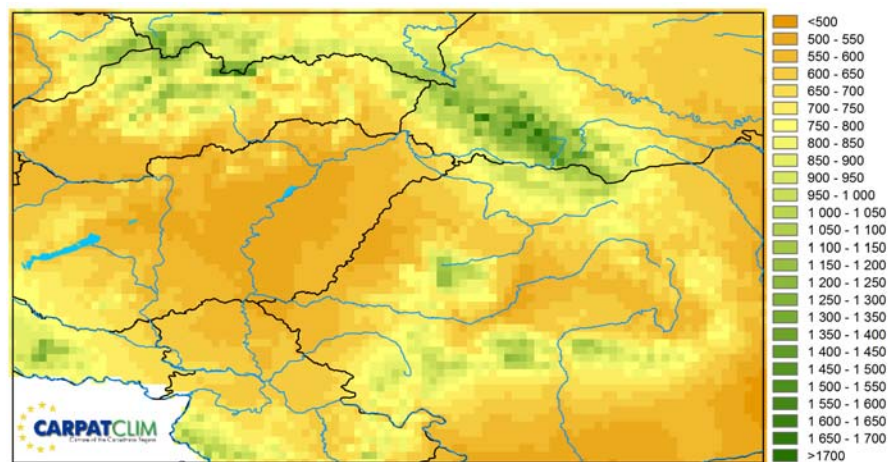
4. ábra: Az évi átlaghőmérséklet változása (°C) 1961–2010 között

Csapadék átlagok és tendenciák

A csapadék térben és időben sokkal változékonyabb éghajlat-alakító tényező, mint a hőmérséklet. Az 5. és 6. ábra az éves csapadékösszeg átlagos alakulását mutatja be a két 30 éves időszakban. A hőmérsékleti viszonyokhoz hasonlóan az 1961–1990, és az 1981–2010 közötti éves átlagokat vizsgáltuk.



5. ábra: Az átlagos éves csapadékmennyiség (mm) alakulása a Kárpát-medencében 1961–1990 között



6. ábra: Az átlagos éves csapadékmennyiség (mm) alakulása a Kárpát-medencében 1981–2010 között

Az 1961–1990 közötti periódusban az Alföld jelentős részén, a Kisalföldön és az Erdélyi-medencében is találunk területeket, ahol az évi összeg 500 mm alatti. Az 1981–2010-es időszakra csökkent ezeknek a területeknek az aránya. A 400 m-nél mélyebben elhelyezkedő területek a legszárazabbak, itt alig van olyan terület, ahol az átlagos csapadékösszeg meghaladja a 700 mm-t. Az ilyen területek Szlavóniában illetve a Keleti-Kárpátok előterében helyezkednek el, az előbbi a Földközi-tenger közelségének, utóbbi a domborzati viszonyoknak tudható be. A legcsapadékosabb területek várakozásunknak megfelelően a Kárpátok vonulatai. Az 1500 m-nél magasabban fekvő területek egy részén kevesebb a csapadék az 1961–1990 időszakhoz képest. Ide tartozik a Keleti-Kárpátok romániai része és a Déli-Kárpátok.

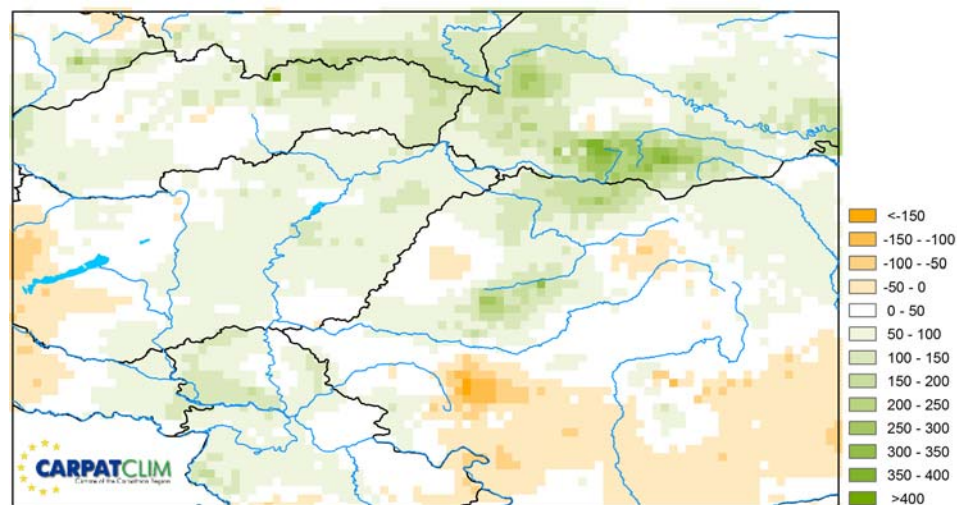
Míg 1961–1990 között a legnagyobb éves összeg nem haladta meg az 1650 mm-t, addig 1981–2010 között már találunk olyan területet a Magas-Tátrában, ahol 1700 mm feletti az

éves összeg. A legkisebb összegeket a Keleti-Kárpátok keleti oldalán tapasztaljuk, ahol kisebb területeken a 700 mm-t sem érte el az átlag sem 1961–1990, sem 1981–2010 között. Az 1000–1500 m-es tengerszint feletti magasságú területek közül a Máramarosi-havasok a legcsapadékosabb terület, itt előfordul 1600 mm és a feletti csapadékmennyiség, a délebbre fekvő Görgényi-, Gyergyói- és Csíki-havasokban gyakori a 600–700 mm-es érték, de előfordulnak 600 mm alatti értékek is 1961–1990 tekintetében (Marton, 2012).

Mindkét vizsgált időszakban a legszárazabb az Erdélyi-medence, ahol 500–700 mm jellemző. A legcsapadékosabb területek az Északnyugati-Kárpátok esetében az északi peremterületek, ezek közül is főként a Nyugati-Beszkidék északi lejtői, míg az Északkeleti-Kárpátokban Kárpátalja, ami a belsővonulat része. 1961–1990 között ezeken a területeken a csapadékösszeg meghaladja az 1300 mm-t is. A 400 m alatt fekvő területek nagy részén az éves átlagos csapadék 500–700 mm között alakul mindkét 30 éves időszakban, Kárpátalján és Szlavóniában azonban vannak területek, ahol 900–1000 mm is előfordult. Az 1961–1990 közötti időszak az 1981–2010-hez képest – a 400 m alatt fekvő területeken az éves csapadékátlag alapján – szárazabbnak bizonyult (Marton, 2012).

A csapadék térben és időben is nagyon változékony, így az éghajlatváltozás hatására bekövetkező tendenciákat nehezebb kimutatni, mint a hőmérséklet esetén. A térbeli különbségeket a 7. ábra szemlélteti, mely az 1961–2010 között eltelt 50 év adataiból készült, és a teljes időszak alatt bekövetkezett változást mutatja be.

Az éves csapadéktendencia térkép esetén arányaiban sokkal nagyobb változással találkozunk, mint az éves átlaghőmérséklet tendenciaterképén. Növekedés és csökkenés egyaránt mutatkozik, míg az átlaghőmérséklet esetén csökkenő tendencia csak ősszel lépett fel, ahogy ez az évszakos elemzésekből kiderült.



7. ábra: Az éves csapadékösszegek (mm) változásának tendenciája 1961–2010 között

A Kárpát-régió a csapadékra vonatkozó globális tendenciák szempontjából határvonalon helyezkedik el. Modellfuttatások szerint Észak-Európában nőni, míg Dél-Európában csökkenni fog az éves csapadék mennyisége (Bozó et al., 2010). Az évi csapadékmennyiség változását a 7. ábra szemlélteti. A legnagyobb csapadékcsökkenés a Déli-Kárpátokban, a Retyezát csoportban jelentkezik, itt van olyan terület, ahol több, mint 150 mm-rel csökkent az éves összeg a vizsgált időszakban. Szintén csökkent a csapadék a Brassói-, a Háromszéki-, és a Kelemen-havasokban, de ezeken a területeken többnyire 50 mm-nél kisebb mértékben. Csökkenő tendencia mutatkozott a horvátországi Bilohegységben és a Papuk egy részén, továbbá a Dunántúl nyugati felén, főként a Marcal-medencében, ahol jelentős területen haladta meg a csökkenés az 50 mm-t. Nőtt a csapadék

a Magas-Tátrában – itt több mint 400 mm a növekedés – a Lócsei-hegységben és a Keleti-Beszkidékben, szinte a teljes Északkeleti-Kárpátokban és az Erdélyi-középhegység jelentős részén (Marton, 2012). További érdekessége ennek a tendencia térképnek, hogy a Kárpát-régió nagy részére csapadéknövekedés jellemző, például az Alföldön is, csupán a mérték eltérő. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy a változások jellemzően nem szignifikánsak, így messzemenő következtetéseket ezekből nem vonhatunk le, legfeljebb a változások irányáról tájékozódhatunk.

Konklúzió

Tágabb környezetünk a Kárpát-régió éghajlati viszonyainak leírására nagyszerű lehetőség nyílt a CarpatClim pályázatban létrehozott, szabad hozzáférésű, harmonizált adatbázison. A változásokat bemutató elemzések szerint a hőmérséklet alakulása összhangban van a globális tendenciákkal, a melegedés irányába mutatnak tágabb környezetünkben, a Kárpát-régióban is. Az éves csapadékösszeg változása kevésbé egyértelmű még ötven és távlatában is. Az adatbázis egyes elemeinek bemutatása mellett további elemzések és publikációk sora lelhető fel a projekt weblapján: <http://www.carpatclim-eu.org/pages/publications/>.

Hivatkozások

- Bozó, L., (szerk.), 2010: Köztestületi Stratégiai Programok: környezeti jövőkép. Környezet- és klímabiztonság. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest.
- Lakatos, M., Bihari, Z., 2011: A közelmúltban megfigyelt hőmérsékleti és csapadéktendenciái. In: Bartholy J., Bozó L., Haszpra L., szerk.: Klímaváltozás – 2011, Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. Magyar Tudományos Akadémia és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszéke, Budapest. 146–169.
- Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z., Szalai, S., 2012: Investigation of climate extremes in the Carpathian region on harmonized data. International Scientific Conference on Environmental Changes and Adaptation Strategies, 9th–11th September 2013, Skalica, Slovakia
- Marton, A., 2012: A Kárpát-régió éghajlati tendenciái és néhány mezőgazdasági klímaindex alakulása a régióban 1961-2010 között. Szakdolgozat. ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest.
- Szentimrey, T., 1999: Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). In: Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data, Budapest, Hungary 9–13 November 1998. (WMO-TD No. 962), 27–46.
- Szentimrey, T., 2006: Development of MASH homogenization procedure for daily data. Proceedings of the Fifth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases, Budapest, Hungary
- Szentimrey, T., Bihari, Z., 2007: MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis). In: Tveito, E., Wegehenkel, M., Wel, F., Dobesch, H. (eds.) COST Action 719 Final Report, The use of GIS in climatology and meteorology, 54–56.
- Szentimrey, T., Bihari, Z., Lakatos, M., Szalai, S., 2009: Mathematical methodological questions concerning the spatial interpolation of climate elements. *Időjárás*, 115, 1–11.
- Szentimrey, T., 2011: Manual of homogenization software MASHv3.03. Hungarian Meteorological Service, Budapest. 64p.
- UNEP, 2007: United Nations Environment Programme 2007 Annual Report.