

# ÉGHAJLAT

Bihari Zita, Babolcsai György, Bartholy Judit, Ferenczi Zita, †Gerhátné Kerényi Judit, Haszpra László, Homokiné Ujváry Katalin, Kovács Tamás, Lakatos Mónika, Németh Ákos, Pongrácz Rita, Putsay Mária, Szabó Péter, Szépszó Gabriella

A múlt, a jelen és a jövő éghajlatának bemutatása két-féle, egymástól alapvetően különböző módszertan alkalmazását igényli. Az elmúlt és jelen időről méresek alapján, a matematikai statisztika eszközeivel, míg a jövőről az éghajlati rendszer fizikai folyamatait leíró numerikus modellek alapján tudunk elemzéseket készíteni.

## A statisztikus klimatológiában használt módszerek

Az éghajlat jellemzésére legjobban az ún. éghajlati elemek (pl. hőmérséklet, csapadék) sokéves átlagainak és változási folyamatainak adatai alkalmasak. Magyarország éghajlatának vizsgálatához a HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. (korábban OMSZ) mintegy 100 klímaállomása és további 400 hagyományos csapadékmérő állomása által mért, ellenőrzött és homogenizált adatokat használtuk fel. Bár az állomásoknak többféle mérési programja, ennek megfelelően többféle elnevezése létezik, közülük klímaállomásoknak azokat nevezzük, amelyek mindegyikén mérnek hőmérsékletet, csapadékot, relatív nedvességet, továbbá a legtöbb helyen szélességet és nagyjából az egyharmadukon napfénytartamot is. Az állomások automatizálása az 1990-es években kezdő-

dött, ami növelte a mérések gyakoriságát, ugyanakkor néhány – emberi jelenlétet igénylő – észlelés a háttérbe szorult, a napfénytartam mérését például a globálisúrgázás váltotta ki. A csapadékmérő állomásokon nevékhöz híven csak csapadékot mérnek, egyben jelzik a fajtáját is. Az utóbbi méréseket ún. társadalmi észlelők végzik, akik saját munkájuk mellett vállalják ezt a feladatot, amelyet az év minden napján el kell látniuk. A mérések a Meteorológiai Világszervezet (*World Meteorological Organization, WMO*) által meghatározott, szigorú, az egész világra vonatkozóan nagyjából egységes szabályok szerint folynak, ami biztosítja az adatok megfelelő minőségét. A szabályok azonban nem szűrik ki azokat a hibákat, amelyek a hosszú, több évtizedre kiterjedő mérési időszakban a mérési körülmények megváltozása miatt következnek be, ugyanis az évek során változhat a mérőeszközök fajtája és elhelyezése, a mérőállomások helye és környezete, a mérések időpontja stb. Az éghajlat jellemzéséhez természetesen térben is nagy részletességgel ismert adatokra van szükségünk.

A HungaroMet szakemberei két matematikai módszert fejlesztettek ki, amelyek időben és térben egyaránt megbízható adatok előállításához nyújtanak segítséget. Az egyik az ún. *homogenizálás*, a mérési körülmények megváltozásából fakadó esetleges hibák kiszűrése az adatsorokból. Az eljárás lényege, hogy amelyek állomás adataiban a környező állomásokhoz viszonyít-

va statisztikai értelemben jelentős törés érzékelhető, azt korrigálni kell. Hosszú időszakot átívelő éghajlati vizsgálatok során a szakemberek csak olyan adatsorokat használnak, amelyeket a HungaroMet által készített, matematikailag megalapozott rendszer, a MASH (*Multiple Analysis of Series for Homogenization*) felhasználásával homogenizáltak.

A másik alapvető módszer az *interpolálás*. Mivel a felszíni meteorológiai mérések pontszerűek, a térképezéshez minden közties pontra interpolálni kell a mérőállomásokon mért adatokat. Az interpoláció segítségével bármely tetszőleges helyen becslés adható a meteorológiai elem értékére, vagy – ahogy az atlasz térképei esetében történt – akár az egész országra kiterjedő térkép is készíthető. Ahhoz, hogy az interpoláció során az eredmény a lehető legjobban megközelítse a valódi állapotot, figyelembe kell venni azokat a földrajzi tényezőket, amelyek hatással vannak az érintett meteorológiai elemre. Így elsősorban a tengerszint feletti magasság és más domborzati jellemzők – például a lejtőképesség, amellyel részletesebben atlaszunk *Domborzat* című fejezete foglalkozik – hatására kell tekintettel lenni. Javítja az interpoláció pontosságát, ha a térbeli jellemzők mellett figyelembe vesszük a hosszú adatsorokban rejlő információtartalmat is, ami az éghajlati állapotjelzők statisztikai tulajdonságait adja meg. A HungaroMet által kidolgozott és használt interpo-

lációs rendszer, a MISH (*Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis*) a fenti tényezőket mind figyelembe veszi, emellett más háttérinformációk felhasználására is képes, azaz olyan adatokat – pl. előrejelzett értékeket, műholdas vagy radarrel készült mérések eredményeit – is felhasznál, amelyek valamilyen kellően sűrű rácsalázaton rendelkezésünkre állnak. Az atlaszban bemutatott országos átlagokat sem közvetlenül a változó számú mérőállomásokon mért adatokból határozták meg, hanem – a valóságot pontosabban leírva – a rácspontra interpolált értékek átlagaként.

Az éghajlatban gyakorlatában az elemzésekhez – lehetőség szerint – 30 éves átlagokat szokás alkalmazni. A legtöbb esetben a Magyarország éghajlatát bemutató térképek, grafikonok is az utolsó három teljes évtized, az 1981–2010-es időszak adatait mutatják be (a kivételeket mindenütt jelezzük). Az éghajlat szemléltetésére szolgálnak az átlag- és szélsőértékek mellett az ún. klímaindexek is.

*A klímaindex olyan mérőszám, amely általában valamilyen gyakorlati szempont szerint kiválasztott küszöbérték átlépése alapján mért órák vagy napok számával jellemzi az éghajlatot, ezáltal könnyebbé teszi egy adott időszak időjárásának összehasonlítását az átlagos éghajlati viszonyokkal. Ilyen például a fagyos, a téli, a nyári és a hőségnapok száma.*

## A klíma-modellezés során alkalmazott módszertan

Magyarország éghajlatának elemzésekor a jelen és a közelmúlt éghajlatának bemutatása mellett feltétlenül ki kell térni a jövőben várható változásokra is. Az éghajlati rendszer összetett működésének és jövőbeli viselkedésének tanulmányozására szolgálnak az ún. *numerikus modellek*, amelyek a fizikai folyamatokat leíró matematikai egyenletrendszert oldják meg közelítő módszerekkel. A globális éghajlati modellek képesek leírni a rendszer kölcsönhatásban álló elemeinek (légkör, óceán, szárazföld, jégtaó, élővilág) viselkedését, továbbá megbízhatóan használhatók egy feltételezett jövőbeli éghajlati kényszer által kiváltott változás nagyskalájú jellemzőinek vizsgálatára.

*Éghajlati kényszerek az éghajlatunkat folyamatosan alakító természetes vagy emberi folyamatok, mint például a Föld forgási, keringési jellemzőinek ingadozásai vagy az antropogén szennyezőanyag-kibocsátás. Az éghajlatváltozási kutatásokat folyamatosan áttekintő kormányközi szervezet, az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 5. helyzetértékelő jelentésének egyik lényeges megállapítása szerint „rendkívül valószínű, hogy a globális felszínközeli átlaghőmérséklet 1951 és 2010 között megfigyelt emelkedésének több mint feléért az antropogén eredetű üvegházgázok légköri koncentrációjának növekedése, valamint más egyéb antropogén hatások együttesen felelősek”.*

A külső kényszerek egyik legfontosabb és egyben legbizonytalanabb eleme az emberi tevékenység. Mivel nem tudjuk pontosan kiszámítani, hogy ez számszerűen hogyan változik a 21. században, a jövőbeli antropogén kibocsátási tendenciákra többféle becslést adó forgatókönyvet (scenáriókat) használunk,

melyek figyelembevételével modellszimulációkat készítenek a Föld egészére. Ezeket *projekcióknak* hívjuk; eredményük nagyban függ attól, hogy milyen forgatókönyvet választunk.

A globális klíma-modellek által alkalmazott horizontális rács felbontása (azaz a rácsponatok távolsága) többnyire 100–500 km, mely nem elegendő a helyi jellemzők leírásához. Ehhez *regionális éghajlati modelleket* használunk, amelyek segítségével egy kisebb területen részletesebb felbontás alkalmazásával pontosítjuk a nagyskalájú jellemzőket. A regionális szimulációk számára a globális modellek írják le a tartományon kívül zajló folyamatokat, s az erre vonatkozó információt a regionális modell a terület oldalsó határain veszi figyelembe.

Magyarországon összesen négy regionális éghajlati modellel végeznek kísérleteket, amelyek közül atlaszunk az *ALADIN-Climate* és a *RegCM* eredményeit mutatja be. Az 1961–2010 közötti időszakot (átlagos ütemű antropogén kibocsátást feltételezve és 10 km-es felbontással) vizsgáló két modell eredményeinek együttes ismertetése lehetőséget ad a bizonytalanságok egyszerű számszerűsítésére.

## Az éghajlat általános jellemzése

Magyarország éghajlatát alapvetően földrajzi fekvése határozza meg: az ország az északi mérsékelt éghajlati övben fekszik, melynek fő jellemzője a négy évszak váltakozása és a nyugatias uralma. Arra való tekintettel, hogy a legtöbb csapadékot e nyugatias szelek hozzák, lényeges tényező még az Atlanti-óceántól való távolság is. Magyarország éghajlatának egyik jellemzője a nagy időbeli változékonyság is, aminek fő oka éppen az, hogy fekvéséből következően időjárásunkat az óceáni, a kontinentális, illetve a mediterrán hatások egyaránt alakítják, és ezek közül bármelyik hosszabb-rövidebb időre uralkodóvá válhat.

Éghajlatunk további meghatározója a domborzat. Mivel az ország mai területe a Kárpát-medence központjában, annak legmélyebb részén fekszik, és felszínének 82,4%-a 200 m-nél alacsonyabb, elsősorban a Kárpátok hatását kell kiemelni.

### Napfénytartam

A földi éghajlat alapvető meghatározója a Napból jövő sugárzás. Ennek mennyiségét többféle paraméterrel lehet jellemezni. Az egyik legegyszerűbb elvén működő mérés a napfénytartam mérése, ami a napsütéses időszak hosszát adja meg, órákban.

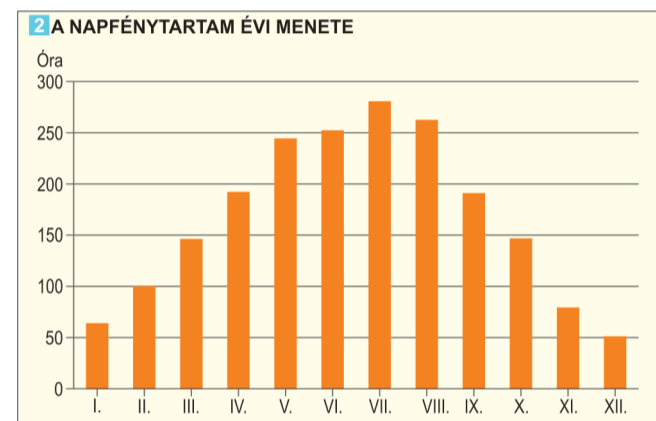
A napfénytartam mennyiségét két tényező alakítja. Elsősorban az határozza meg, hogy a földrajzi szélességtől és a Föld tengelyének a keringés síkjához viszonyított hajlásszögétől függően mekkora az a „csillagászatiilag lehetséges” mennyiség, amely teljesen felhőtlen időben következne be.

Ezt az értéket módosítja a másik tényező, a felhőzet mindenkor mennyisége. A felhőzet okozta különbségek sajátos esete az ún. „hideg légpárna”. Ez a jelenség télen figyelhető meg; ilyenkor a Kárpát-medence alján megülő hideg, ködös, felhős levegőből csak a magasban fekvő területek nyúlnak ki, és sokkal több napsugárzásban részesülnek, mint az alacsonyabb régiók.



1 Hidegpárnás időjárás helyzet a Mátrában. A légtér tisztaságának köszönhetően a horizonton a 80 km-es távolságban lévő Börzsöny is látható.

A napsütéses órák havi összegeinek országos átlagai 50 és 280 óra között váltakoznak. A leghosszabb napok júniusban vannak, de napfényben leggazdagabb hónapunk a felhőzet hatására a július. Legkevesebb napsütésben a legrövidebb nappalok is magában foglalt decemberben részesülünk.

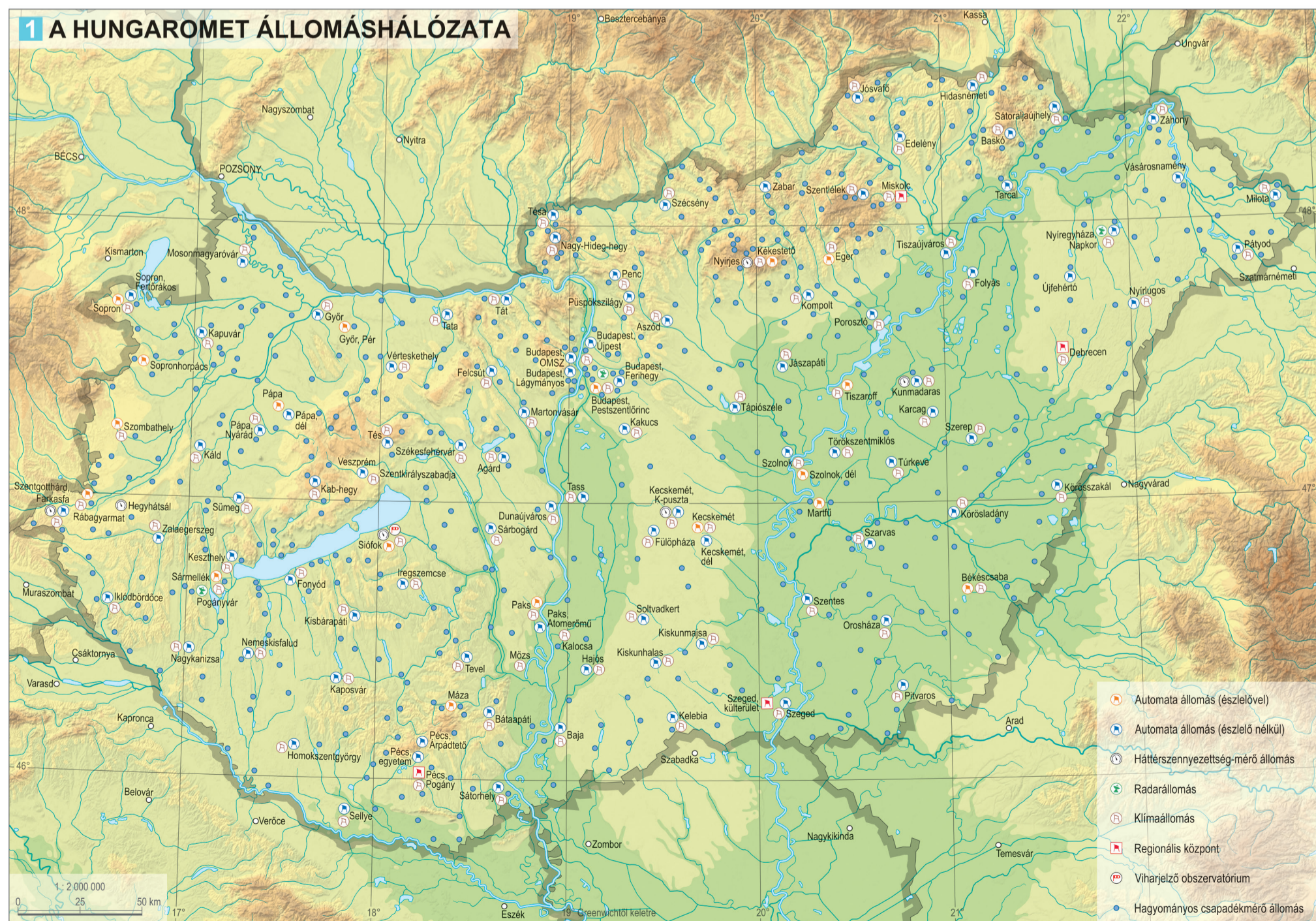
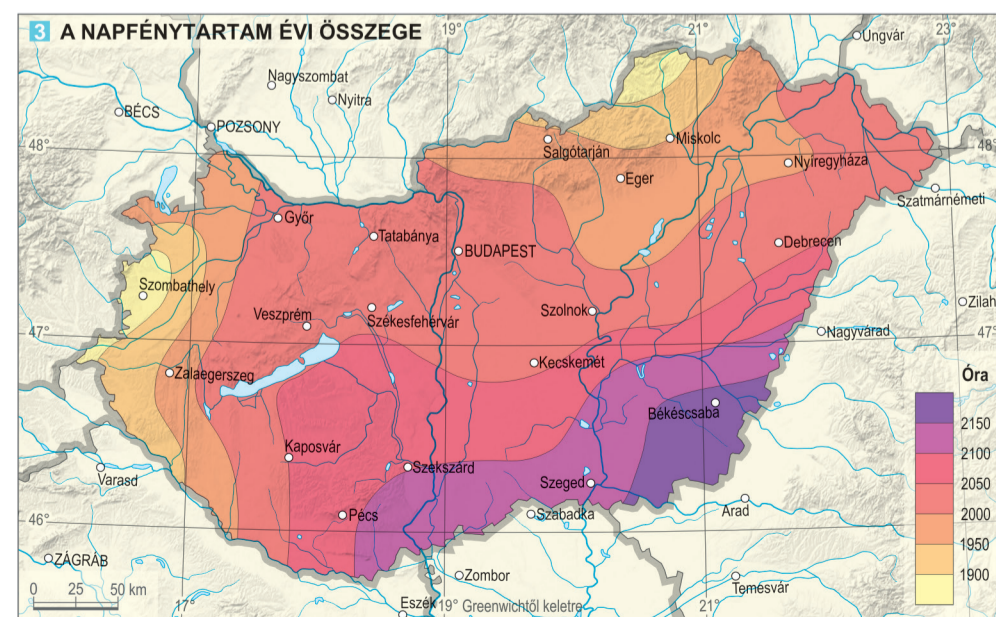


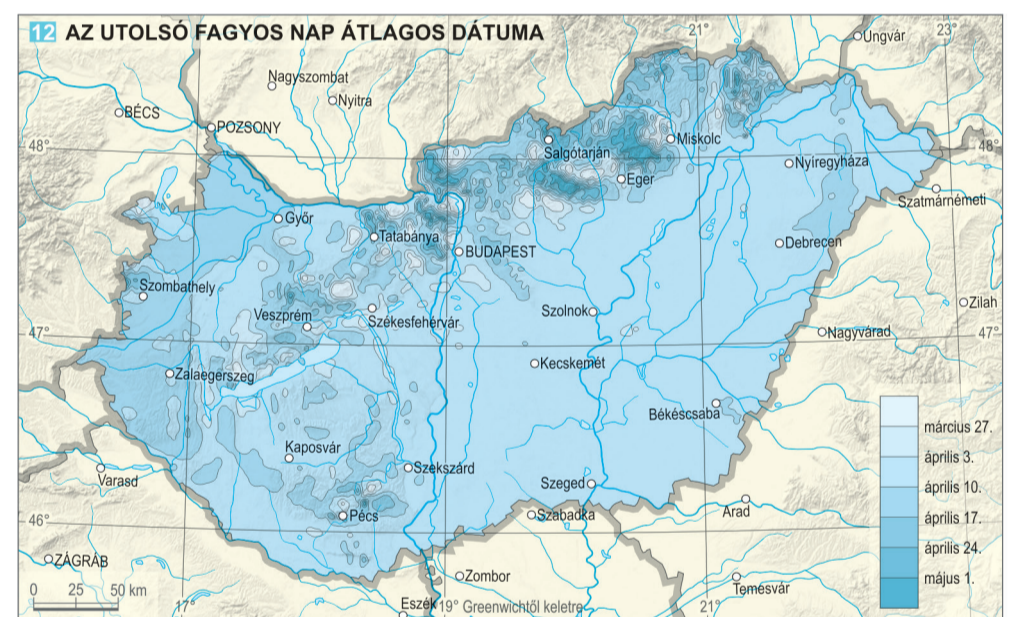
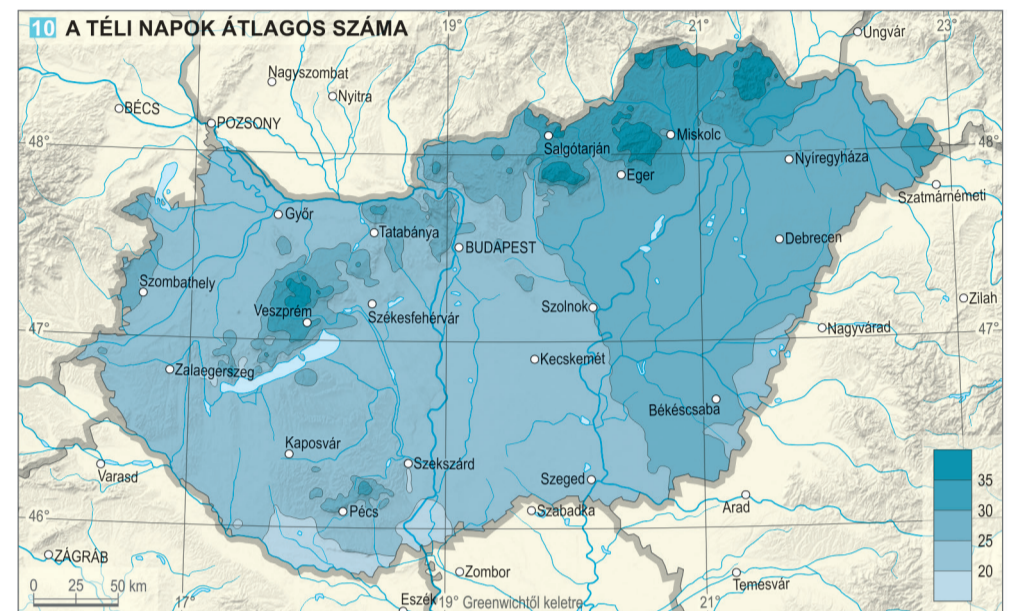
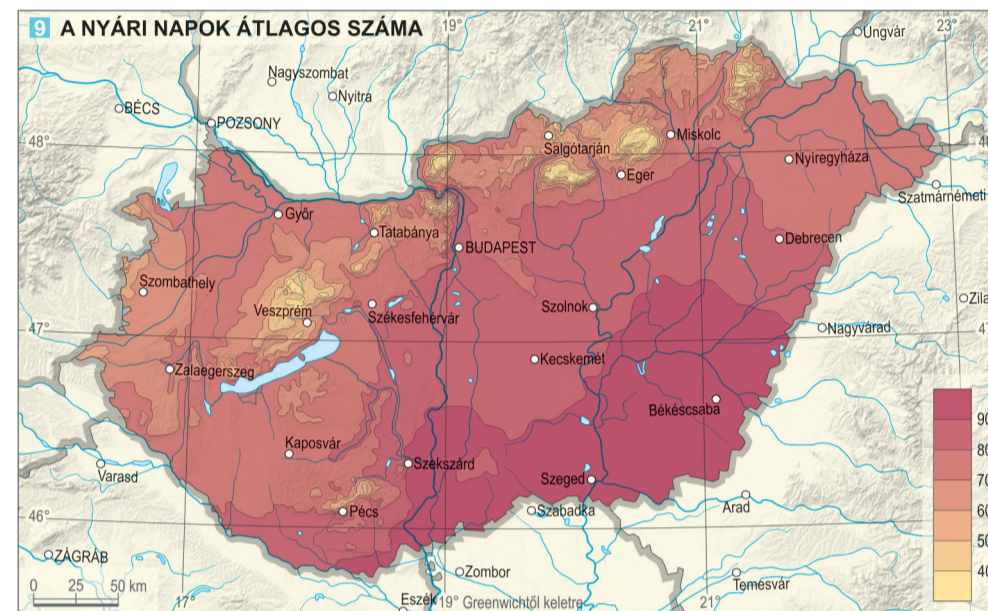
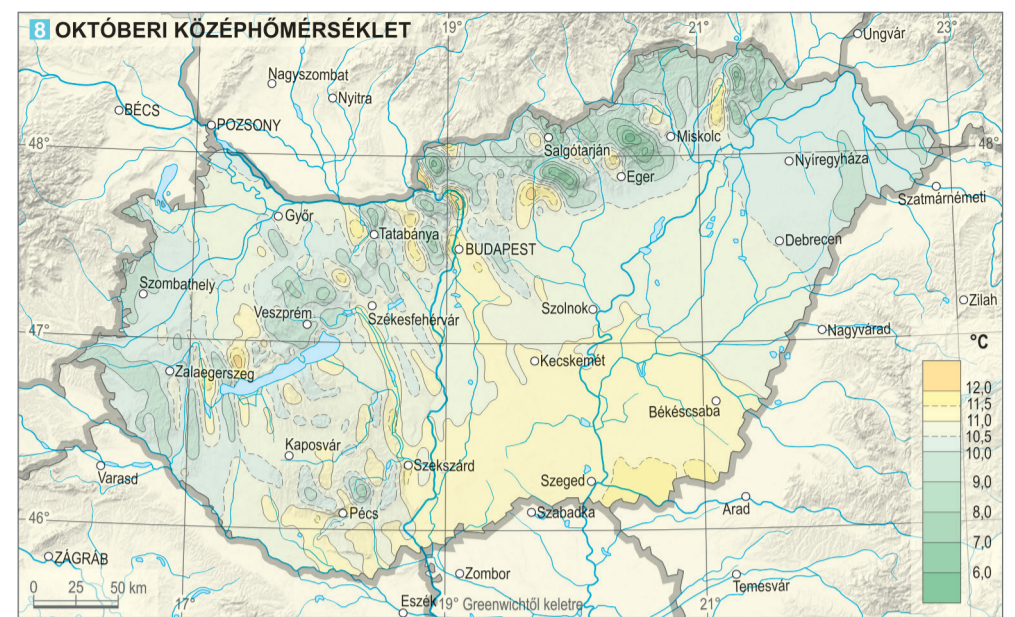
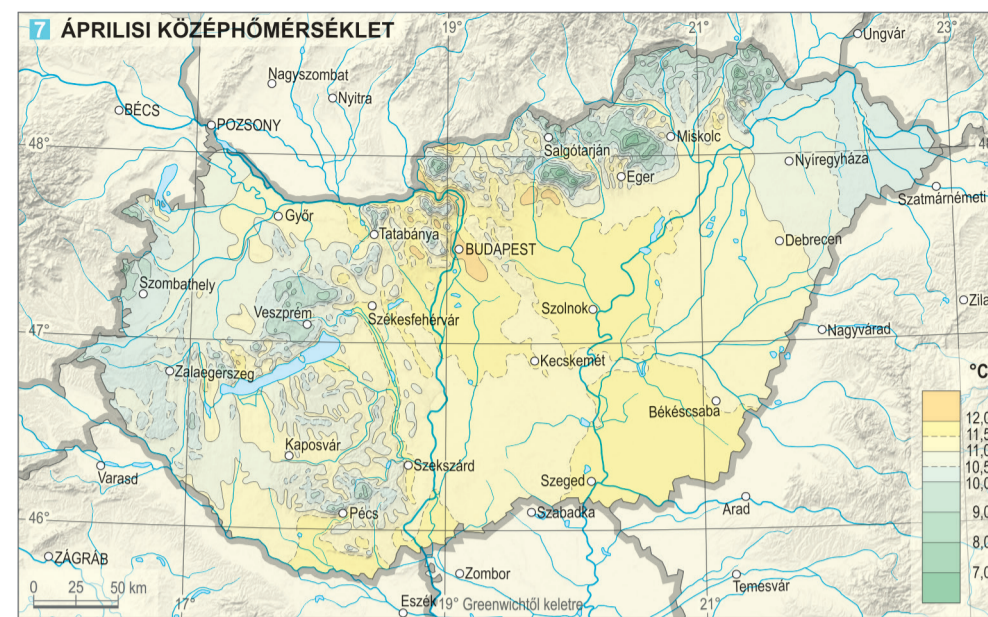
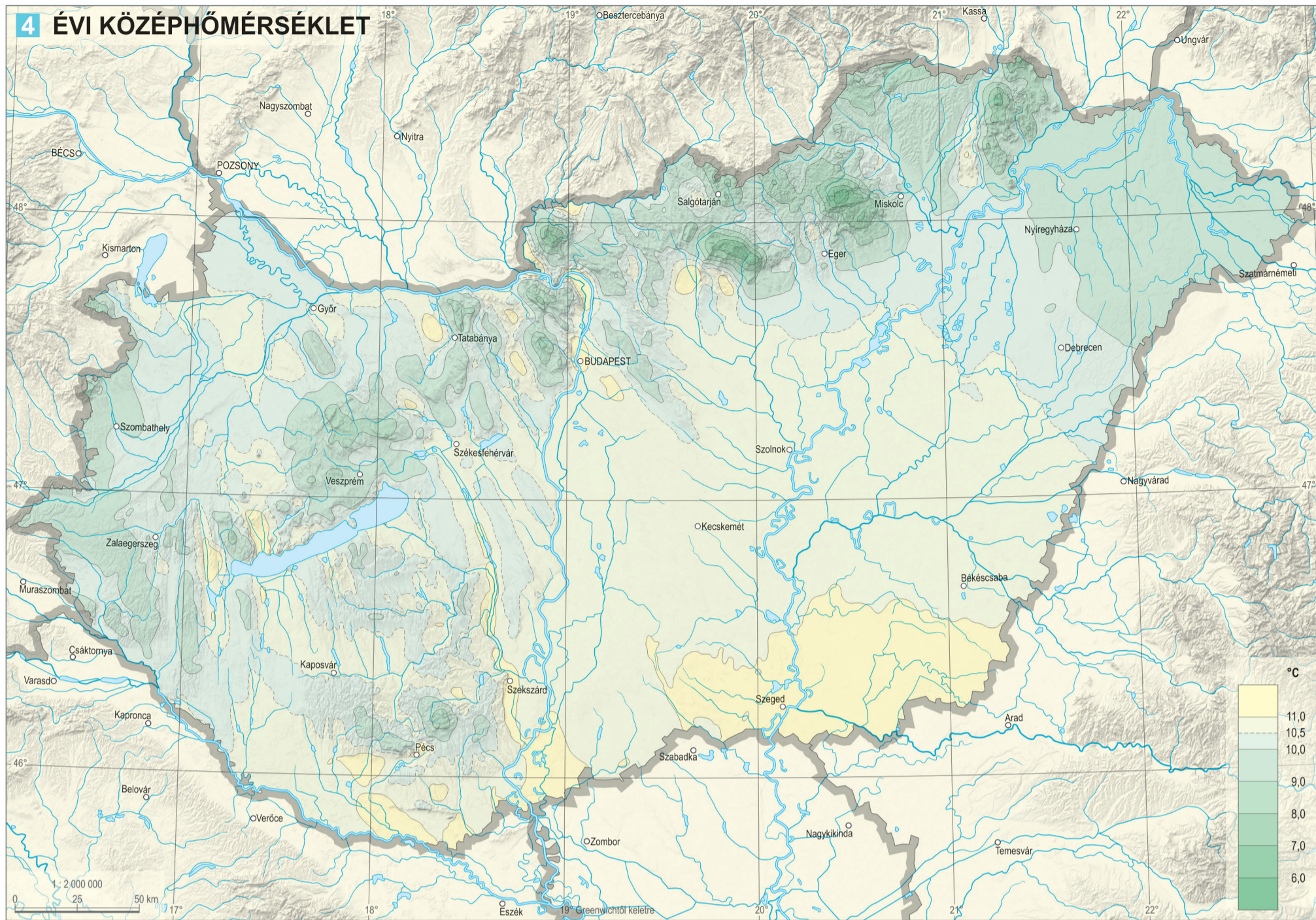
A napsütéses órák évi száma az ország területén általában 1900 és 2100 óra között ingadozik, a térbeli eloszlásban egy nyugat-keleti és észak-déli irányú növekedés figyelhető meg. A legmagasabb értékek a déli, míg a legalacsonyabbak az északi, északkeleti ország-részben fordulnak elő.

### Hőmérséklet

Magyarországon a levegő hőmérsékletének eloszlását befolyásoló legfontosabb tényezők a földrajzi szélesség, a tengerszint feletti magasság, valamint a tengerektől való távolság.

Az ország túlnyomó részén az évi középhőmérséklet 10 °C és 11 °C között alakul, az 1981–2010-es adatok alapján az országos átlag 10,4 °C. Az alacsonyabb értékek a magasabb tájakon, a Bakony és az Alpokalja egyes vidékein, illetve az Északi-középhegységben jelennek meg, itt a középhőmérséklet általában a 8 °C-ot sem éri el. A leghidegebb területeken, a Mátra és a Bükk térségében 6 °C alatti hőmérsékletek jellemzők. 11 °C-nál magasabb értékek az ország déli–délkeleti régióiban, a délies–délnyugatias kitettségű lejtőkön, valamint a városhatás következtében Budapest körzetében





fordulnak elő. Megjegyzendő, hogy a 11 °C-nál magasabb hőmérsékletű területek ilyen mértékű megjelenése csak az utolsó 30 évre jellemző.

Az év során az egymást követő hónapok középhőmérsékletének területi eloszlása az évestől jelentősen különbözhet. Sokéves átlagban a januári középhőmérséklet délnyugatról északkelet felé csökken [5], az 1981–2010-es időszak adatai alapján az országos átlag –1,0 °C. A legmelegebb területek kivételével mindenhol fagyponthoz alattiak az értékek, az Északi-középhegység leghidegebb részein –5 °C alá süllyednek. A januári középhőmérséklet és általában a tél középhőmérséklete évről évre nagyon változókékon alakul, az egyes évek közötti különbség sokkal nagyobb, mint nyáron. Bár a domborzat hatása a hőmérsékletre nyilvánvaló, télen gyakran fordul elő ún. inverzió, amikor a hőmérséklet a magassággal nem csökken, hanem nő. Így előfordulhat, hogy a magasabban fekvő területek melegebbek, mivel kimagaslanak a Kárpát-medence alját megülő hideg légtömegből [1].

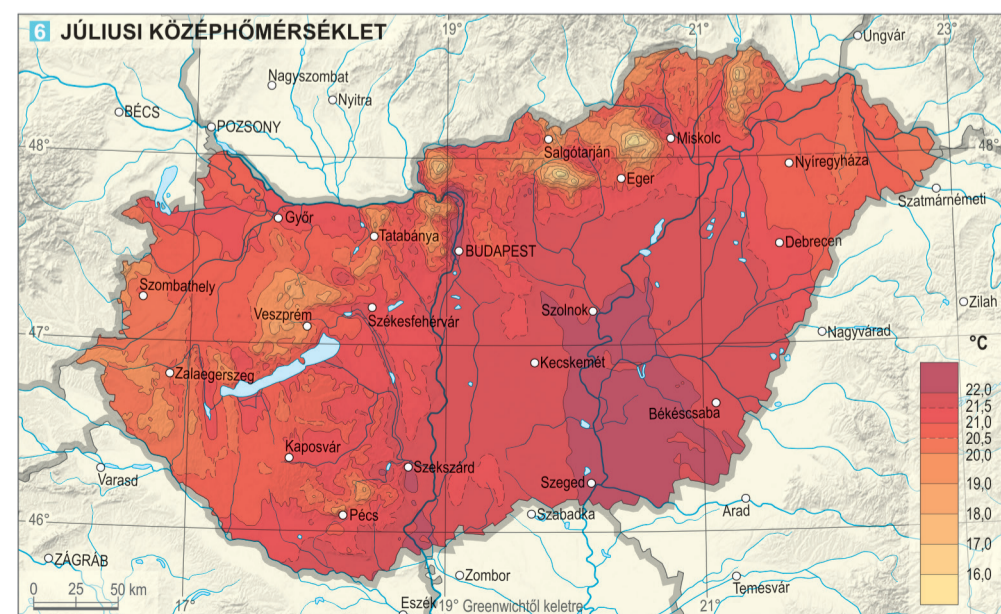
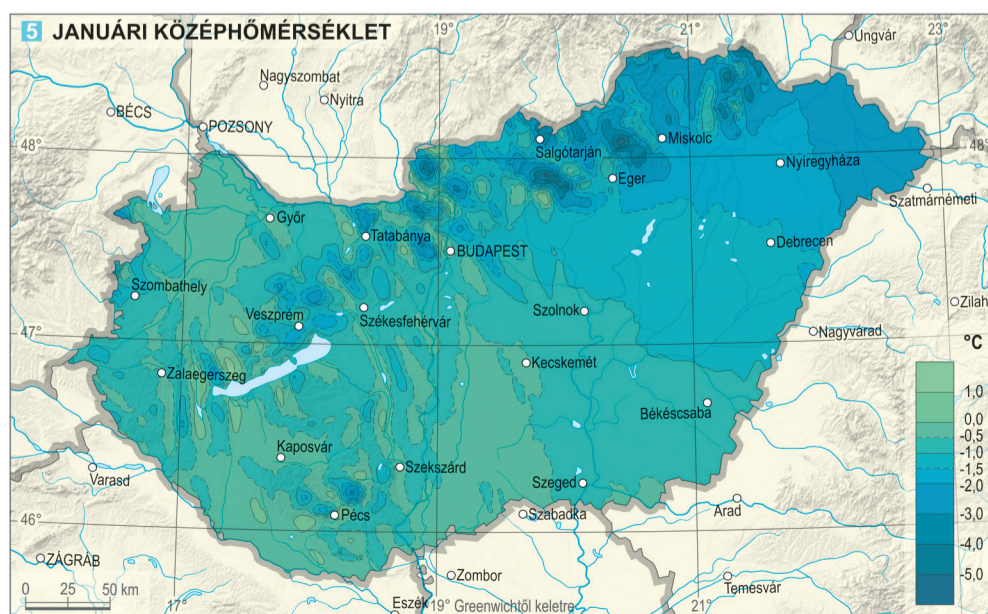
Az év legmelegebb időszaka a július vége és az augusztus eleje, sokévi átlagban legmelegebb hónapunk a július [6], de egyes években az augusztus megelőzi. Júliusban a hőmérséklet általában északról délre, valamint a medence közepe felé nő, az országos átlagérték 21,2 °C. A Dunántúl 1–1,5 °C-kal hűvösebb az alföldi területeknél, az előbbinél a 20–21 °C-os, az utóbbinál a 21 °C fölötti tartományok uralkodnak. A legmelegebb részeken, a Tisza Szolnok és Szeged közötti szakasza környezetében a középhőmérséklet 22 °C fölötti, míg a Mátra és a Bükk magasabb részein nem éri el a 16 °C-ot sem.

Az átmeneti évszakokban a térségi eloszlás a két szélsőséges hónap közötti állapotot jelez, az áprilisi [7] és októberi [8] középhőmérsékleti térkép hasonlít egymáshoz mind az eloszlást, mind a hőmérsékleti értéket tekintve. Áprilisban az országos átlaghőmérséklet 11,2 °C, októberben 10,5 °C.

A már említett klímaindexek közül atlaszunk a nyári és téli napok számát, valamint a fagyos napok előfor-

dulásának első és utolsó időpontját mutatja be. Nyári napok azok a napok, amikor a hőmérséklet napi maximuma eléri a 25 °C-ot, a téli napokon pedig egész nap nem emelkedik fagyponthoz a levegő hőmérséklete. Míg a nyári napok száma [9] a domborzat hatásától eltekintve északról délre növekszik, a téli napok nyugatról kelet felé válnak egyre gyakoribbá [10].

A fagyos időszak ismerete főként a mezőgazdaság számára fontos adat, de emellett különböző tervezési folyamatokban is szerepe van. Fagyos napnak azt a napot nevezzük, amikor a hőmérséklet minimuma 0 °C vagy annál alacsonyabb érték. Az első és utolsó megjelenés természetesen nem azt jelenti, hogy e két dátum között nincs fagymentes időszak, még a leghidegebb teleken is megszakítja a hideget egy-egy pozitív hőmérsékletű nap. Az első fagyok [11] az ország legnagyobb részén október 18. és november 1. között jelentkeznek. A magasabban fekvő területeken ennél korábban is lehet negatív hőmérsékletre számítani, míg a délies lejtőkön csak novemberben várható a megjelenésük.



A fagyok az ország legnagyobb részén április 3. és 10. között szűnnek meg [12], ám a magasabban fekvő területeken még májusban is lehet rájuk számítani. Hosszú fagyos időszak esetén a folyók, tavak befagyhatnak [2].

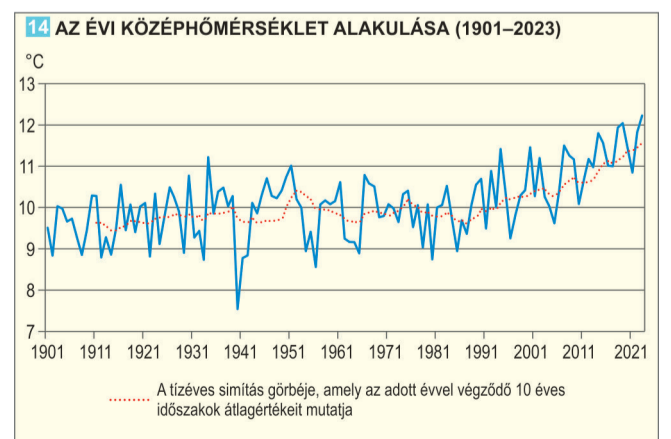
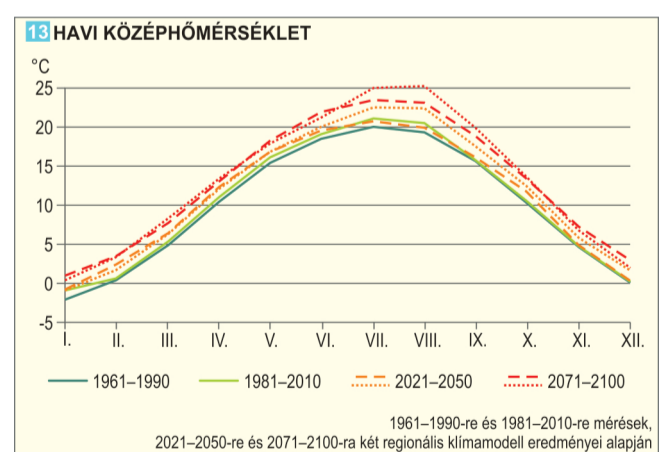


2 A megfagyott Szinva-vízesés Lilafürednél

A hőmérséklet évi menetét, a havi hőmérsékleti átlagok alakulását két időszakra vonatkozóan is nyomon követhetjük: a jelen éghajlatot leginkább jellemző 1981–2010 közötti és az 1961–1990 közötti harmincéves időszakokra [13]. Az 1961–1990-es időszaknak kitüntetett szerepe van, mivel gyakran tekintik referencia-időszaknak a jövő éghajlatának modellezése során. Mindkét időszakban a januári havi átlagok a legalacsonyabbak és a júliusiak a legmagasabbak. A jelent leíró havi hőmérsékleti átlagok minden hónapban magasabbak az 1961–1990-es átlagoknál, leginkább januárban és augusztusban, ezekben a hónapokban több mint 1 °C-kal, de a július melegebbé is eléri a 1 °C-ot.

A sokévi átlagokhoz képest az egyes években nagy különbségeket tapasztalhatunk. A nyári félévben az évről évre fellépő változékonyság általában kisebb, mint a téli hónapokban. A havi középhőmérsékletek szórása április–október hónapokban 1,5 °C körüli, míg februárban eléri a 3 °C-ot is. A januári havi középhőmérsékletek alakulnak a legszélsőségesebben, a legenyhébb és a legzordabb január átlaga között 5,4 °C a különbség. Július a legkiszáradtabb hónap, ekkor csupán 2 °C-os az eltérés az 1981–2010 közötti időszak mérései alapján.

A közepes évi hőingás, amely a leghidegebb és a legmelegebb hónap középhőmérséklete közötti különbség, országos átlagban 22,1 °C-nak adódik az 1981–2010 közötti időszak mérései alapján. Ez a mérőszám az óceánoktól a szárazföldek belseje felé növekszik, így a kontinentális mértékének kifejezésére is szolgál. Magyarországon az értéke a keleti országrészben és az ország középső területe-



## A hőmérséklet várható változásai Magyarországon

A jövőbeli változásokra vonatkozó becslések bizonytalansága az ún. ensemble technika segítségével számítható. Ennek során több szimuláció – amelyek egyaránt az éghajlati rendszer fejlődésének lehetséges leírását adják – eredményeit együttesen értékeljük. A következő néhány évtized változásainak szimulációjánál a modellek közelítő jellegéből és az éghajlat természetes változékonyságából eredő bizonytalanság a meghatározó, míg hosszabb távon, az évszázad második felében az emberi tevékenységet leíró kibocsátási forgatókönyv megválasztása eredményez különbségeket. Az ALADIN-Climate és a RegCM regionális modellek számára a nagyskalájú jellemzőket (azaz a határfel-tételeket) két globális modell azonos kibocsátási forgatókönyvvel készült kísérleti szolgáltatották, így a következő eredmények különbségei alapvetően a modellek-

ben alkalmazott eltérő közelítő módszerekre vezethetők vissza.

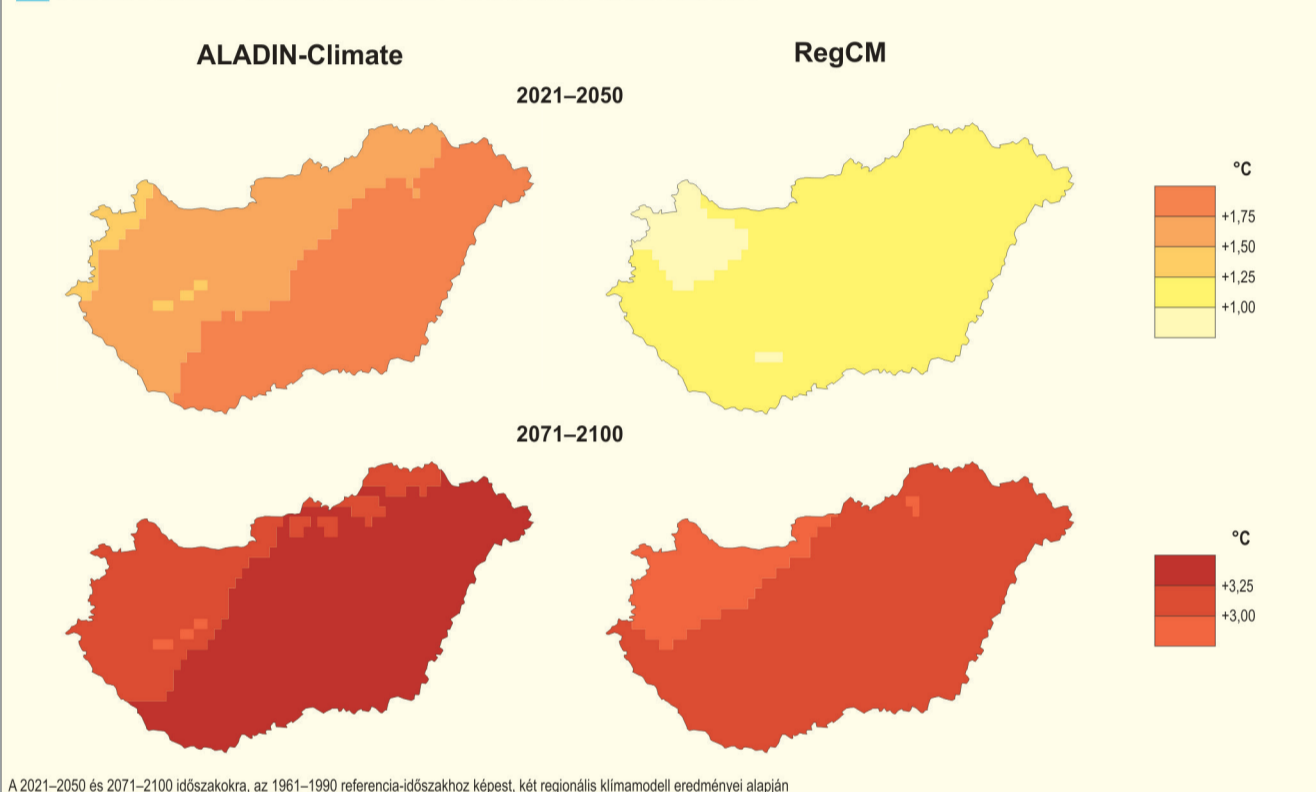
Az éghajlati modellek egy hosszabb időszak statisztikai jellemzőit adják meg. A várható változásokat az 1961–1990 időszakhoz viszonyítva két jövőbeli időszakra számszerűsítjük: 2021–2050-re, aminek az alkalmazkodási stratégiák szempontjából van jelentősége, valamint 2071–2100-ra, amikor a modellek által jelzett éghajlatváltozás már többnyire meghaladja a természetes változékonyság mértékét.

A két modell eredményei alapján Magyarországon a 21. században mind éves, mind évszakai szinten folytatódni fog az átlaghőmérséklet emelkedése. Évi átlagban 2021–2050-re jellemzően 1–2 °C-os, 2071–2100-ra pedig 3–4 °C-os növekedés várható **15**. Az országon belül a keleti, délkeleti területeken nagyobb változások várhatók, mint nyugaton vagy északnyugaton. Az azonban a két kísérlet alapján nem egyértelmű, hogy a kö-

vetkező évtizedekben melyik évszékben számíthatunk a legjelentősebb változásra: az egyik modell eredményei szerint tavasszal várható a legnagyobb, hozzávetőlegesen 1,5 °C-os melegedés, míg a másik modell nyárra ennél magasabb, 2 °C-ot meghaladó változást valószínűsít. Az évszázad végére mindkét modell a nyári időszakra jelzi a legjelentősebb, 3,5–4,5 °C-os átlaghőmérséklet-növekedést, például augusztusban a melegedés átlagos mértéke elérheti akár a 6 °C-ot is.

A leghidegebb hónapunk továbbra is a január marad, a januári átlaghőmérséklet azonban az évszázad végére már fagypont fölé kerül. Ez nem jelenti azt, hogy fagyos nap vagy negatív átlaghőmérsékletű január nem fordulhat elő a jövőben, hanem csak azt, hogy az arányuk csökken. Őszel, elsősorban szeptemberben és októberben a nyárihoz hasonló, de valamivel kisebb növekedésre számíthatunk, amelynek mértéke 2071–2100-ra meghaladhatja a 3 °C-ot **13**.

## 15 AZ ÉVI KÖZÉPHŐMÉRSÉKLET VÁRHATÓ VÁLTOZÁSA



in23 °C körüli, míg a Dunántúlon ennél némileg alacsonyabban, 22–23 °C között alakul.

A magyarországi hőmérsékleti idősorok jellemzői jól illeszkednek a hőmérséklet globális tendenciáihoz, azonban nagyobb változékonyságot mutatnak. A kiterjedt műszeres megfigyelések kezdete hazánkban a 19. század második felére tehető. A rendelkezésre álló források alapján az azóta eltelt időszakban az ezredforduló és az azt követő évek bizonyultak a legmelegebbnek az egész Földön, így térségünkben is. A 20. században a század eleji melegedést követően hideg évekkel kezdődött a negyedik évtized, majd a század közepén jelentkező újabb melegedő szakaszt ismét hűlés váltotta fel, az 1980-as évektől pedig újra melegedés tapasztalható **14**. Az 1901–2023 közötti időszakban 2023 volt a legmelegebb év, és a legmelegebb tíz év rangsorában – egy kivételével – csak 2000 utáni éveket találunk. Noha a tízéves átlagokat megjelenítő görbe rövid hűvösebb periódusokat is jelez, az 1980-as évektől kezdve egyértelműen melegedés figyelhető meg, ami az éves értékekben is nyomon követhető, még akkor is, ha évről évre fellépő, jelentős változékonyság kísérte az egyirányú melegedést.

A jelen hőmérsékleti viszonyait az 1981–2010 közötti harmincéves időszak átlaghőmérsékletével jellemezhetjük leginkább, ami 10,35 °C-nak adódik. Az ezredfordulót követő évek közül ettől csak a 2005-ös esztendő hőmérséklete maradt el számottevően (0,59 °C-kal), a többi átlag körüli vagy annál melegebb.

Az éves középhőmérsékletet a lineáris trendmodell szerint 1901-től 1,5 °C-os emelkedést mutat a homogenizált és interpolált adatokból számított országos átlagok alapján. A legutóbbi évtizedekben ennél meredekebb az emelkedés, 1981-től 2023-ig 2,0 °C.

Az éves változás mellett minden egyes évszék is jelentősen melegszik, de legnyilvánvalóbb a tavaszi és a nyári

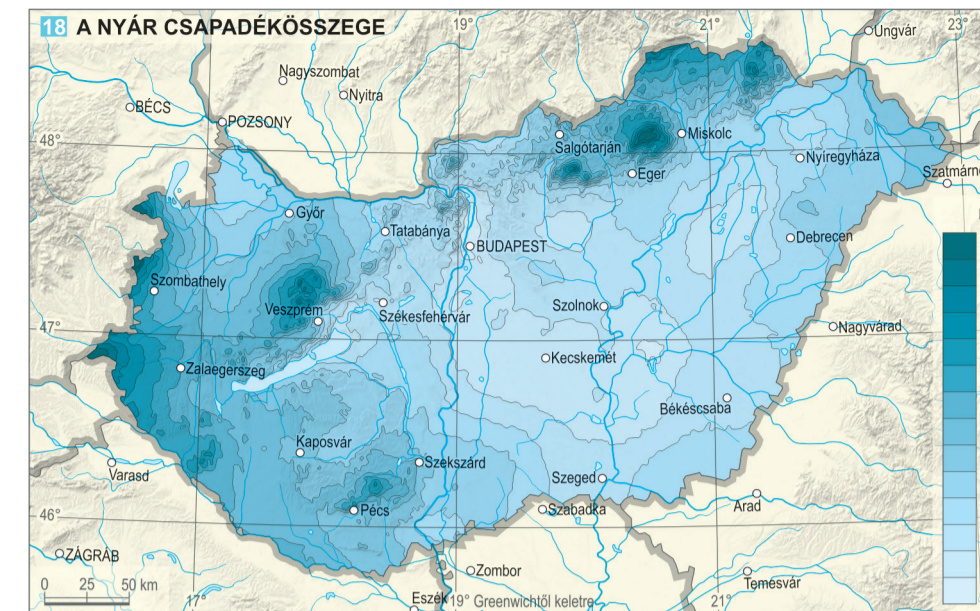
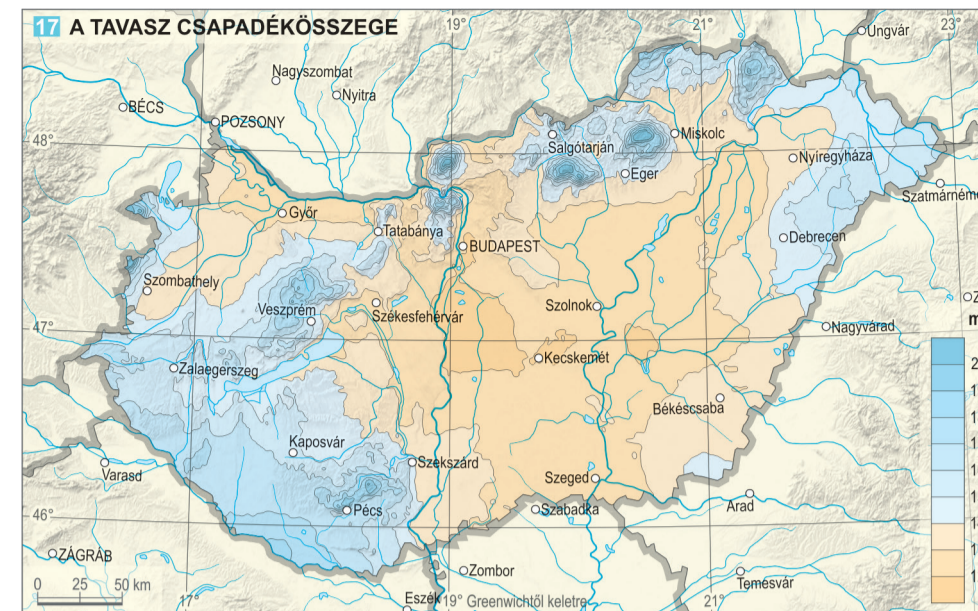
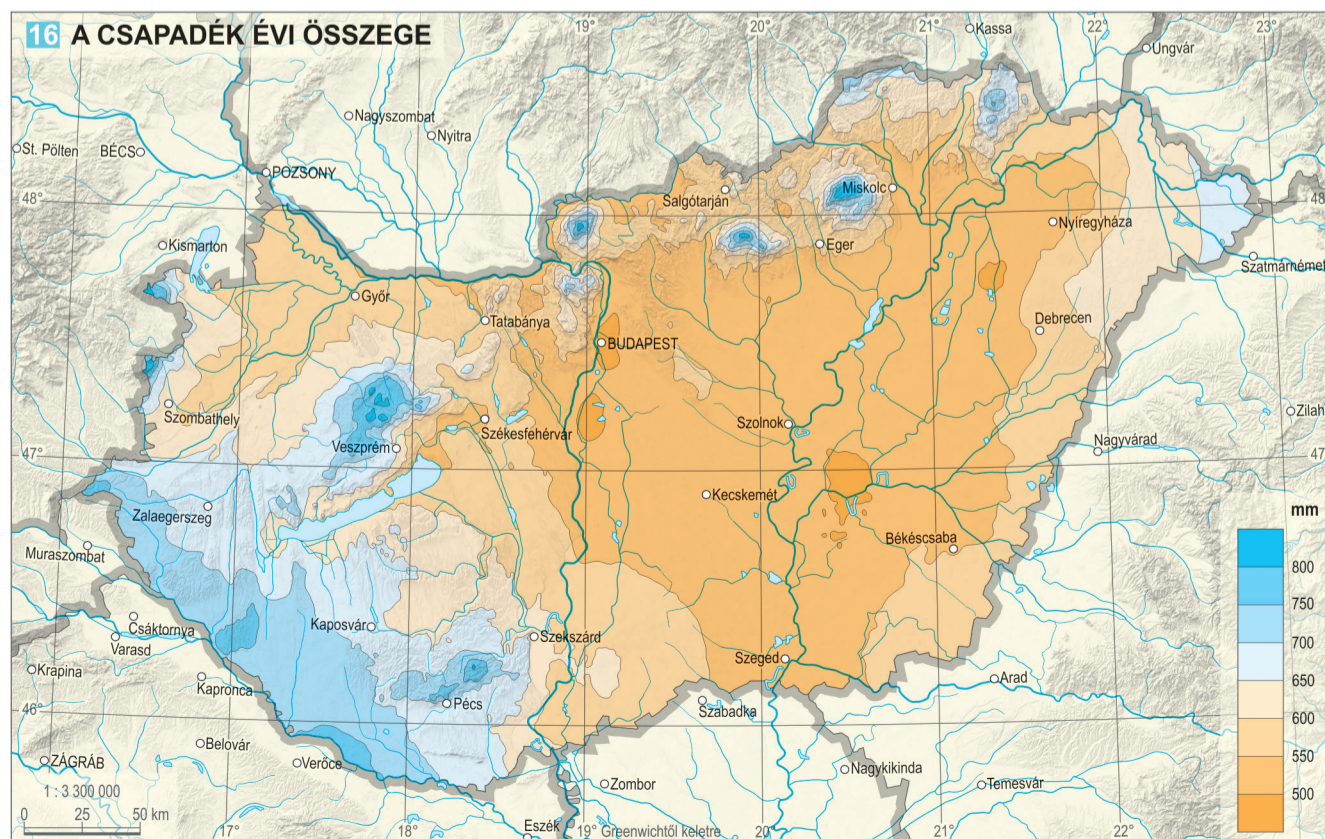
melegedés. 1901 és 2023 között a tavaszok 1,26 °C-kal, a nyarak 1,79 °C-kal lettek melegebbek. Az ősz 1,29 °C-os melegedést mutat ugyanebben az időszakban, a telek enyhülése pedig 1,6 °C-os. 1981 óta még meredekebb és feltűnőbb az emelkedés mindegyik évszékben, télen és nyáron már meghaladja a 2,5 °C-ot. A felmelegedés tehát egyértelműen megmutatkozik a hazai hőmérsékleti idősorokban is.

## Csapadék

Magyarországon a csapadék térben és időben egyaránt változékony éghajlati elem. A csapadék területi eloszlását a tengerektől való távolság, az ebből következő kontinentalitás mértéke, valamint a domborzat határozza meg. A domborzat szerepe a Kárpát-medence áramlásmódosító hatásában is jelentkezik.

Az 1981–2010-es időszakban az országos átlag 580 mm körüli volt **16**. A legszárazabb alföldi területeken 500 mm alatti csapadéku területeket is találunk, az azokat körülvevő jelentős kiterjedésű területeken pedig 500 és 550 mm közötti csapadék hullik. A délnyugati határszél és a középhegységekben 700 mm fölötti összegek jellemzők. Ennél magasabb, 800 mm-t is meghaladó értékek csak kis foltokban, a Mátra és a Bükk csúcsai közelében, valamint a Kőszegi-hegységben jelennek meg.

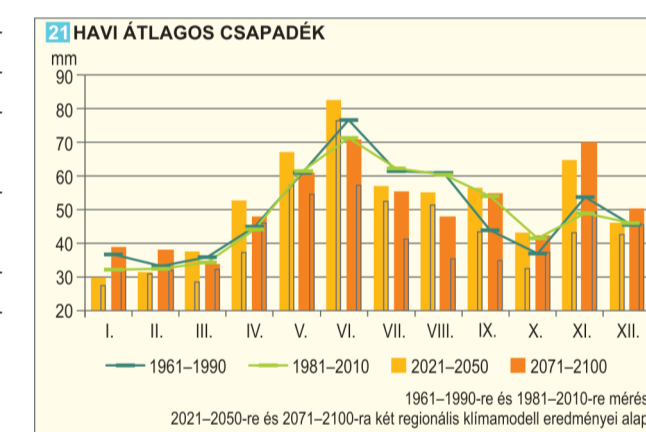
Az évszakai csapadékösszegek területi jellemzői ki-sebb-nagyobb mértékben eltérnek az évestől. Habár a kontinentalitás és a domborzat hatása az év minden



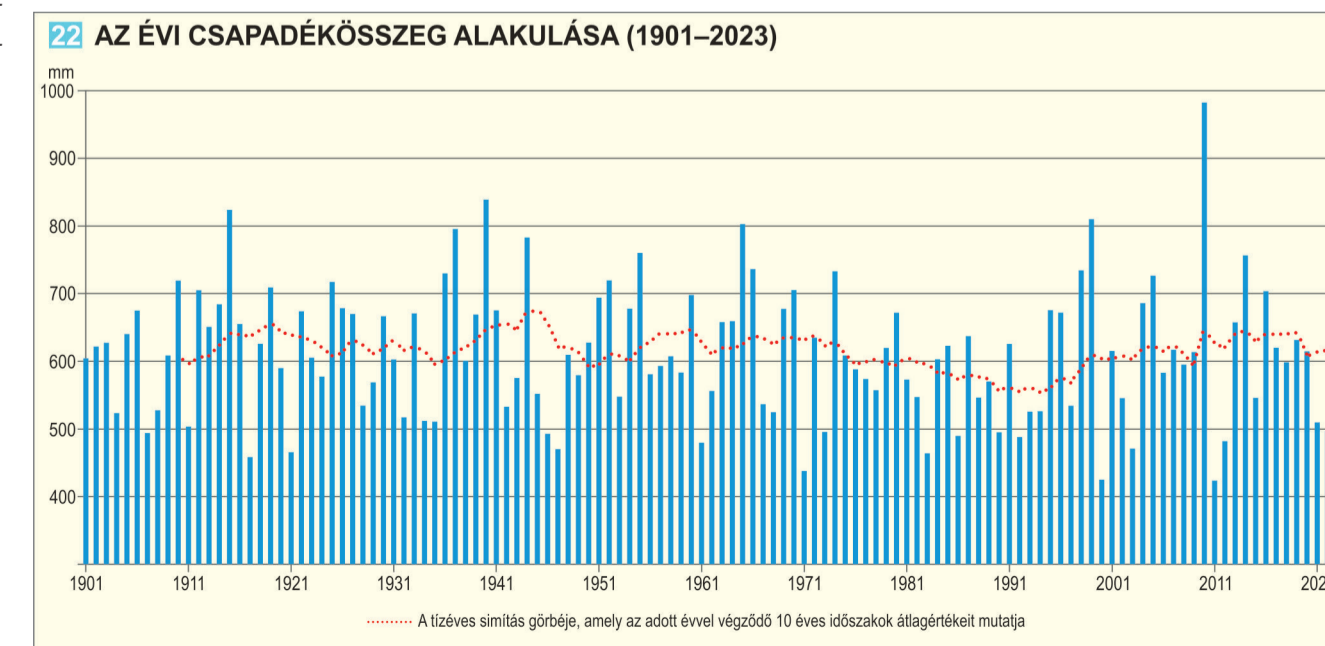
szakában megfigyelhető, befolyásuk különböző mértékben érvényesül az egyes évszakokban. A tavaszi csapadékösszeg országos átlagban közel 140 mm, a magasabb fekvő területeken 200 mm fölötti értékeket is tapasztalunk **17**. A legcsapadékosabb évszakban, nyáron országos átlagban közel 200 mm-nyi eső hullik, ez az éves csapadéknak mintegy harmadát teszi ki; ilyenkor is az Alföld egyes részei a legszárazabbak, ugyanakkor bő csapadék jellemzi a délnyugati határszél és az északkeleti országrész területeit **18**, és gyakoriak a zivatarok **3**. Az őszi csapadékösszeg 145 mm, mely közel megegyezik a másik átmeneti évszak átlagos összegével, a térségi különbségek azonban őszel számottevőbbek: mind a legszárazabb, mind a legnedvesebb területek kiterjedése nagyobb, mint tavasszal. Ekkor a legcsapadékosabb terület egyértelműen a délnyugati országrész **19**. A tél a legszárazabb évszakunk, az országos átlag nem éri el a 110 mm-t. A legcsapadékosabb területek a délnyugati régiókban, a Bakony területén és kismértékben az északkeleti határszélén jelentkeznek 160 mm körüli értékekkel, de kiterjedt foltokban 100 mm alatti csapadéku területekkel is találkozunk **20**. Érdemes megfigyelni a nagy területi változékonyságot az Északi-középhegységben, ugyanis a legmagasabb értékek mellett a legszárazabb terület (Sajó-völgy) is ott található.



**3** Nyári zivatarból kiáramló levegő (ún. kifutószél) és csapadéksáv a Balaton fölött



Az évi menetet tekintve a téli félév (október–március) hónapjaiban hullik kevesebb csapadék országos átlagban, az éves összeg mintegy 40%-a. Ez azt jelenti, hogy Magyarország a szárazabb telű és nedvesebb nyarú mérsékelt övi területekhez tartozik, azaz csapadékeloszlásunk kontinentális jellege erősebb, mint az óceáni vagy a mediterrán jelleg. A mért havi csapadékat két időszakra mutatjuk be **21**, a jelen éghajlatat legjobban leíró 1981–2010, valamint az 1961–1990 közötti időszakokra. (Az utóbbi időszak jelenik meg



általában referencia-időszakként a jövő éghajlatának modellezése során, ezért kiemelt a jelentősége az éghajlati értékelésekben.) Mivel a csapadék igen változékony éghajlati elem térségünkben, így egy-egy hónap csapadéka országos átlagban akár háromszorosa vagy éppen a harmadrésze is lehet a sokéves átlagnak. Például a legutóbbi normál időszak legbősegebb csapadéku hónapjában, 2010 májusában 172 mm hullott országos átlagban, míg a legszárazabb hónapban, 1998 februárjában az országos átlag nem érte el a 2 mm-t.

Az évszakok közül a téli csapadék a legkisebb, az 1981–2010-es időszakban az éves összeg mindössze 19%-át tette ki. A december a legcsapadékosabb téli hónap, a januári átlag csökkent, így januárban és februárban közel azonos mennyiségű csapadék hullik országos átlagban. A tavaszi hónapok során egyre nő a csapadékelátottság, a márciusi 34 mm-ről májusra 61 mm-re növekszik az országos átlag. Térségünkben a legcsapadékosabb nyári és egyben évi hónap a június, noha az 1981–2010-es éveket tekintve kisebb a június havi összeg, mint 1961–1990 átlagában. Összehasonlítva a két normál időszakot az látható, hogy júliusban

### A csapadék várható változásai Magyarországon

Hasonlóan a hőmérséklethez, a csapadék jövőbeli változásaira vonatkozó becslések bizonytalansága is az ún. ensemble technika segítségével számszerűsíthető. Ennek során több szimuláció – amelyek egyaránt az éghajlati rendszer fejlődésének lehetséges leírását adják – eredményeit együttesen értékeljük. A csapadék változásainak szimulációjánál meghatározó a csapadékképződési folyamatok leírására használt modellezési módszerek eltéréseiből és az éghajlat természetes változékonyságából eredő bizonytalanság. A 21. században várható változásokat az 1961–1990 időszakhoz viszonyítva a csapadék esetében is két jövőbeli időszakra számszerűsítjük: 2021–2050-re, amelynek az alkalmazkodási stratégiák szempontjából van jelentősége, valamint 2071–2100-ra, amikor a modellek által jelzett éghajlatváltozás már többnyire meghaladja a természetes változékonyság mértékét, azaz a változás szignifikáns.

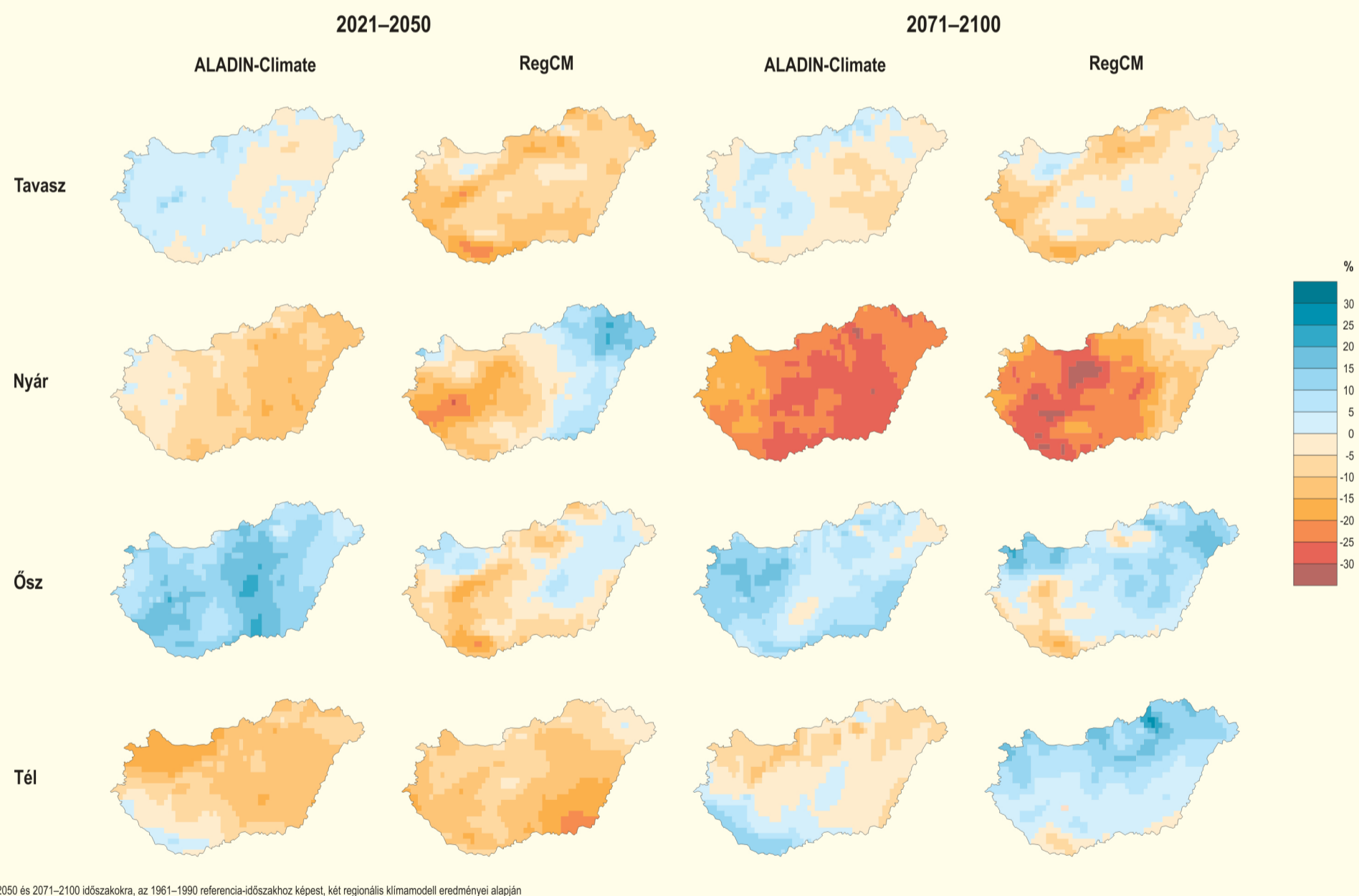
A magyarországi csapadékmennyiség várható változásai kevésbé egyértelműek. A modellek egyes évszakokban eltérő irányú csapadékváltozást mutatnak, a Kárpát-medence ugyanis jövőbeli átlagos éves csapadékvizsgálatát tekintve a globális és a regionális modell-szimulációkban is átmeneti zónában helyezkedik el:

tőlünk északra növekedés, tőlünk délre csökkenés várható, az előjelváltás területének behatárolása viszont bizonytalan. Ezenkívül a csapadék jelentős évközi változékonysága miatt a változások gyakran nem szignifikánsak, sőt nem is egyirányúak. A mérések alapján meghatározott jelenlegi tendenciák nem feltétlenül folytatódhatnak a jövőben. Egészében a következő évtizedekben a csapadék évi átlagos mennyisége az ország keleti részén várhatóan csökkenni fog mindkét modell eredményei alapján, a nyugati tájak változásai ugyanakkor nem egyértelműek: az egyik modell kismértékű növekedést, a másik pedig 10%-nál nagyobb csökkenést mutat. Az évszázad végére mindkét modell a csökkenést valószínűsíti az ország nagy részén, habár az északkeleti és északnyugati területeken növekedés is előfordulhat. A változás mértéke az évszázad végére többnyire nem haladja meg a 10%-ot, és nem is szignifikáns.

Jelenleg az éves csapadékmennyiség jelentős része Magyarországon általában nyáron hullik, s a legszárazabb évszak többnyire a tél. Bár ezek az alapvető jellemzők a jövőben sem változnak, a csapadék éven belüli eloszlásában némi átrendeződésre számíthatunk. A két vizsgált modell eredményei alapján 2021–2050-re nyáron és télen a csapadék átlagos mennyisége csökken, különösen a július–augusztus, illetve a január–február hónapokban **21**. Az évszakos változások az ország jelentős részén 10% és 20% közé esnek, s csak néhány rácspontra haladják meg számottevően a 20%-ot **23**. A csökkenést az ALADIN-Climate modell eredményeiben tavaszi és őszi növekedés egyenlíti ki, míg a RegCM modell esetében ezekben az évszakokban is a csökkenés jellemző. Ekkor a legnagyobb tehát a szimulációk bizonytalansága: egyes hónapokban akár 15–20 mm eltérés is lehet a jövőbeli értékek között. Az évszázad utolsó évtizedeire mindkét vizsgált modell a nyári csapadékcsökkenés egyértelmű, szignifikáns fokozódását vetíti előre, aminek nagysága az ország nagy részén várhatóan meghaladja a 20%-ot, s néhány helyen elérheti akár a 30%-ot is. Az őszi csapadék növekedése a nyárihoz hasonló mértékű átlagos őszi csapadékmáximumot eredményezhet (az ALADIN-Climate eredményei alapján továbbra is novemberben, a RegCM szerint inkább szeptemberben), aminek következtében az eddig megszokott júniusi csapadékmáximum jelentősége csökken **21**. Ami a telet illeti, nem tudjuk egyértelműen megállapítani a változás irányát: míg az ALADIN-Climate modell a téli csapadék csökkenését jelzi, addig a RegCM modell 2071–2100-ra a korábbi csökkenés helyett növekedést valószínűsít. A tavaszi csapadékváltozásban nem számítunk lényeges változásra.

ruár hónapokban **21**. Az évszakos változások az ország jelentős részén 10% és 20% közé esnek, s csak néhány rácspontra haladják meg számottevően a 20%-ot **23**. A csökkenést az ALADIN-Climate modell eredményeiben tavaszi és őszi növekedés egyenlíti ki, míg a RegCM modell esetében ezekben az évszakokban is a csökkenés jellemző. Ekkor a legnagyobb tehát a szimulációk bizonytalansága: egyes hónapokban akár 15–20 mm eltérés is lehet a jövőbeli értékek között. Az évszázad utolsó évtizedeire mindkét vizsgált modell a nyári csapadékcsökkenés egyértelmű, szignifikáns fokozódását vetíti előre, aminek nagysága az ország nagy részén várhatóan meghaladja a 20%-ot, s néhány helyen elérheti akár a 30%-ot is. Az őszi csapadék növekedése a nyárihoz hasonló mértékű átlagos őszi csapadékmáximumot eredményezhet (az ALADIN-Climate eredményei alapján továbbra is novemberben, a RegCM szerint inkább szeptemberben), aminek következtében az eddig megszokott júniusi csapadékmáximum jelentősége csökken **21**. Ami a telet illeti, nem tudjuk egyértelműen megállapítani a változás irányát: míg az ALADIN-Climate modell a téli csapadék csökkenését jelzi, addig a RegCM modell 2071–2100-ra a korábbi csökkenés helyett növekedést valószínűsít. A tavaszi csapadékváltozásban nem számítunk lényeges változásra.

### 23 AZ ÉVSZAKOS ÁTLAGOS CSAPADÉKÖSSZEG VÁRHATÓ VÁLTOZÁSA



több hullott az utóbbi normál időszakban, az augusztusi összeg pedig nem változott lényegesen. Az éves menetet tekintve az őszi hónapok csökkenő csapadékuak októberig, majd a legcsapadékosabb őszi hónapban, novemberben az országos átlagos mennyiség megközelíti az 50 mm-t. Mivel 1981–2010 között a szeptemberi és októberi átlagok megnöttek, a novemberi pedig némileg csökkent, az őszi másodmaximum kevésbé kifejezett, mint a korábbi normál időszakban.

Az országos éves csapadékatlagok nagyon változóak **22**. A 20. század első fele jellemzően csapadékosabb volt, mint az 1970-es évektől kezdődő, összességében szárazabb, de igen nagy évenkénti ingadozást mutató időszak. Míg korábban a nedves és a száraz évek csoportosulása volt megfigyelhető, addig az ezredforduló utáni éveket tekintve inkább a szélsőséges jelleg emelhető ki. Ennek következtében az aszály (amellyel részletesebben atlaszunk *Természeti veszélyek* című

fejezete foglalkozik) visszatérő jelenség a régiókban. Mindegyik évtizedben előfordultak szárazabb évek, de az 1970-es évek közepétől gyakoribbá váltak, noha a legutóbbi normál időszak csapadéka (1981–2010: 587 mm) meghaladja a korábbi átlagokat (1961–1990: 577 mm, 1971–2000: 568 mm).

Míg Észak- és Nyugat-Európában az éghajlati változások következtében egyre több csapadék hullik, addig térségünk inkább a Földközi-tenger vidékéhez kezd



4 Egy nyírségi nemesnyáras szélvihar utáni állapota jól jelzi a szél irányát és erejét

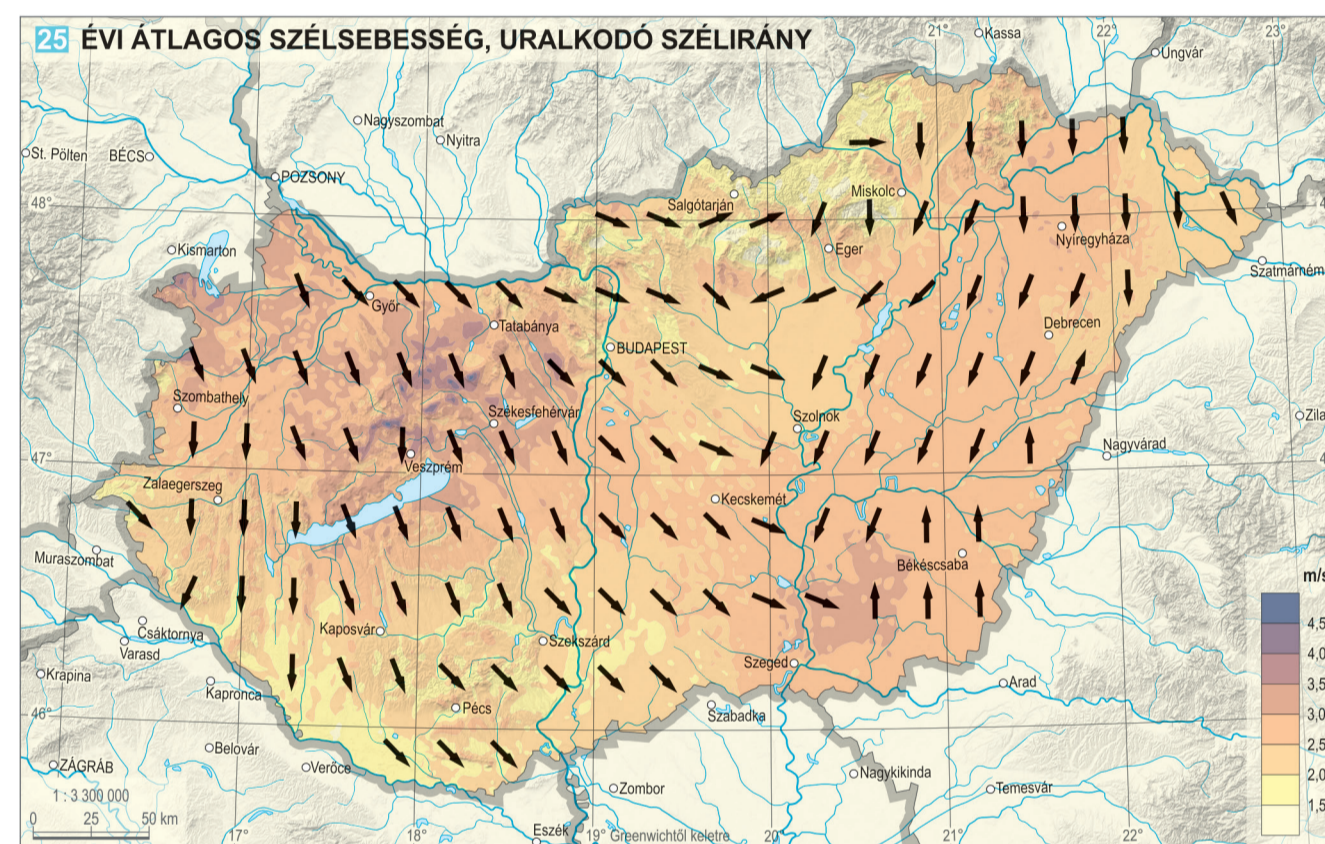
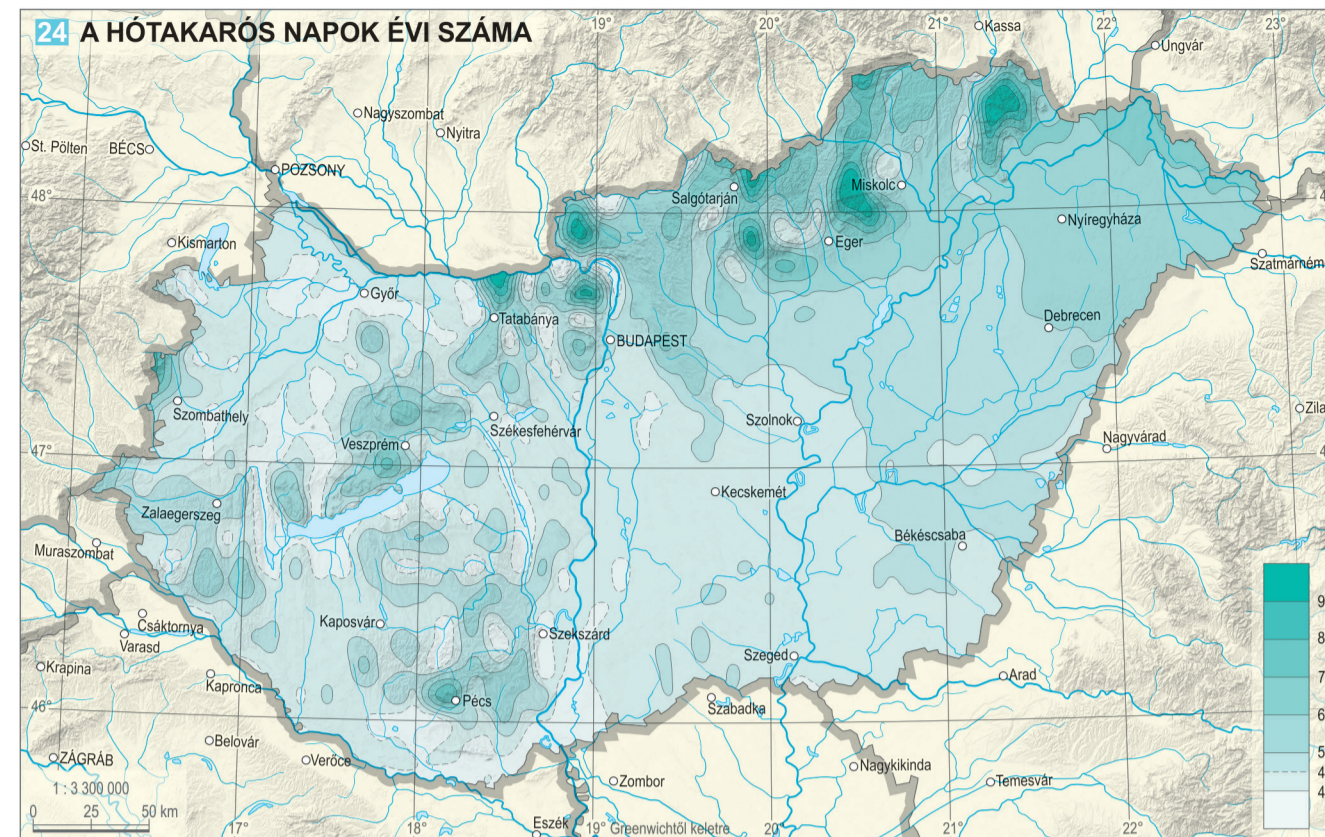
hasonlatossá válni, mivel kevesebb csapadékos nap és a 20. század elejétől az éves összeg is csökkenő tendenciát mutat. A csapadék térben és időben nagyon változó, így az éghajlatváltozás hatására bekövetkező egyirányú változásokat nehezebb kimutatni, mint a hőmérséklet esetében. Éves összege 1901-től 2023-ig ugyan mindössze 3,8%-os csökkenést mutat, de az éven belüli eloszlása jelentősen megváltozott: a tavaszi csapadék jelentősen, mintegy 17%-kal esett vissza, az őszi másodmaximum eltűnően van a 8,2%-os csökkenés következtében. Télen (5,4%) és nyáron (6%) viszont növekedést tapasztalunk. Az 1980-as évek elejétől a csapadékkértékek növekednek mind éves, mind évszakos skálán, de a változás nem szignifikáns.

### Hótakaró

A hóval kapcsolatos éghajlati jellemzők közül az egyik legszembetűnőbb a hótakarós napok száma. Ismerete számos területen fontos, így például a mezőgazdaságban, a turizmusban és a közlekedésben. A hóborítottság időtartamát több tényező együttes hatása határozza meg, közülük legfontosabb a lehullott csapadék halmazállapota és mennyisége, valamint a levegő és a talajfelszín hőmérséklete; e tényezők térbeli eloszlása tükröződik a hótakarós napok számát bemutató térképen **24**. A leghosszabb hóborította időszakok a hegységekben jelentkeznek 90 nap fölötti értékkel, az alacsonyabban fekvő területeken pedig a téli hőmérséklet délnyugatról északra felé való csökkenésének hatása figyelhető meg. A sokéves országos átlag 47 nap, de az egyes éveket illetően nagy a változékonyság, 2–3-szoros különbség is előfordul. Az 1981–2010-es időszakban a legkisebb érték mindössze 18 nap volt 2007-ben, míg a legmagasabb 89 nap 1996-ban. Mivel a téli csapadék és középhőmérséklet is enyhén növekedett az elmúlt évtizedekben, a két ellenkező irányú hatás következtében a hótakarós napok számának országos átlagában nem figyelhető meg egyirányú változás.

### Szél

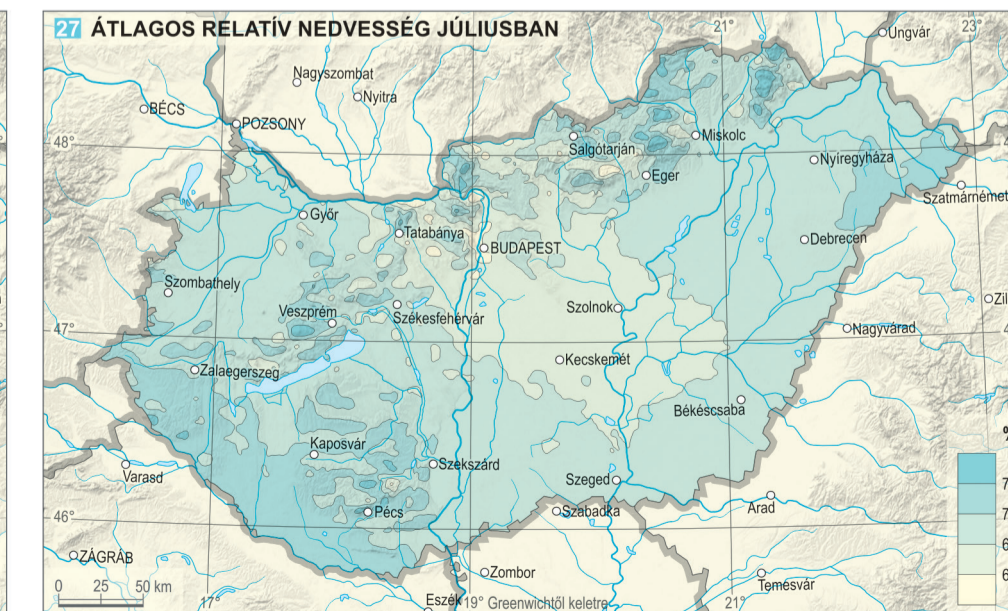
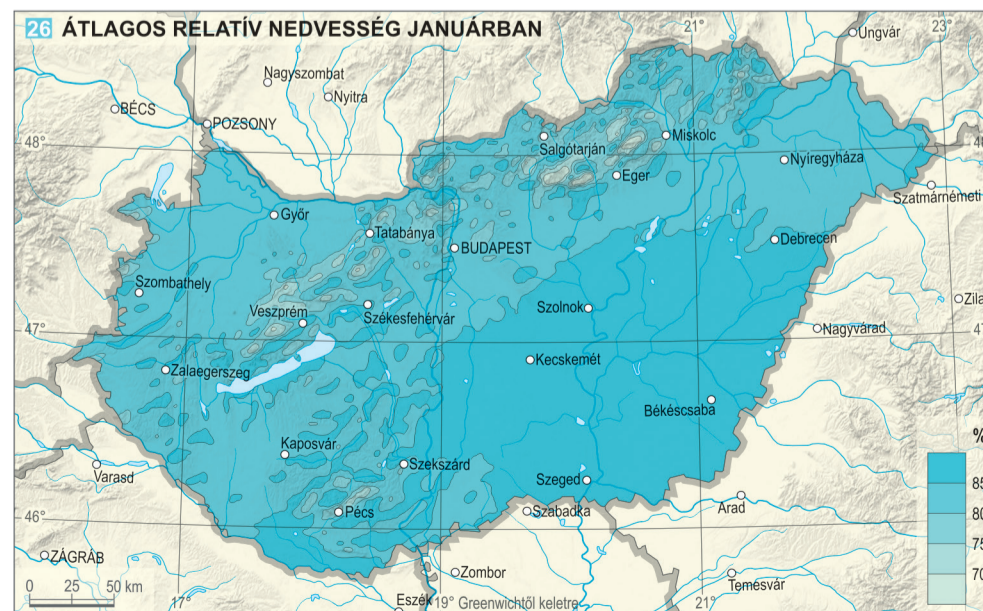
Magyarország földrajzi elhelyezkedéséből következően az északnyugati szélirány a meghatározó **25** **4**, míg

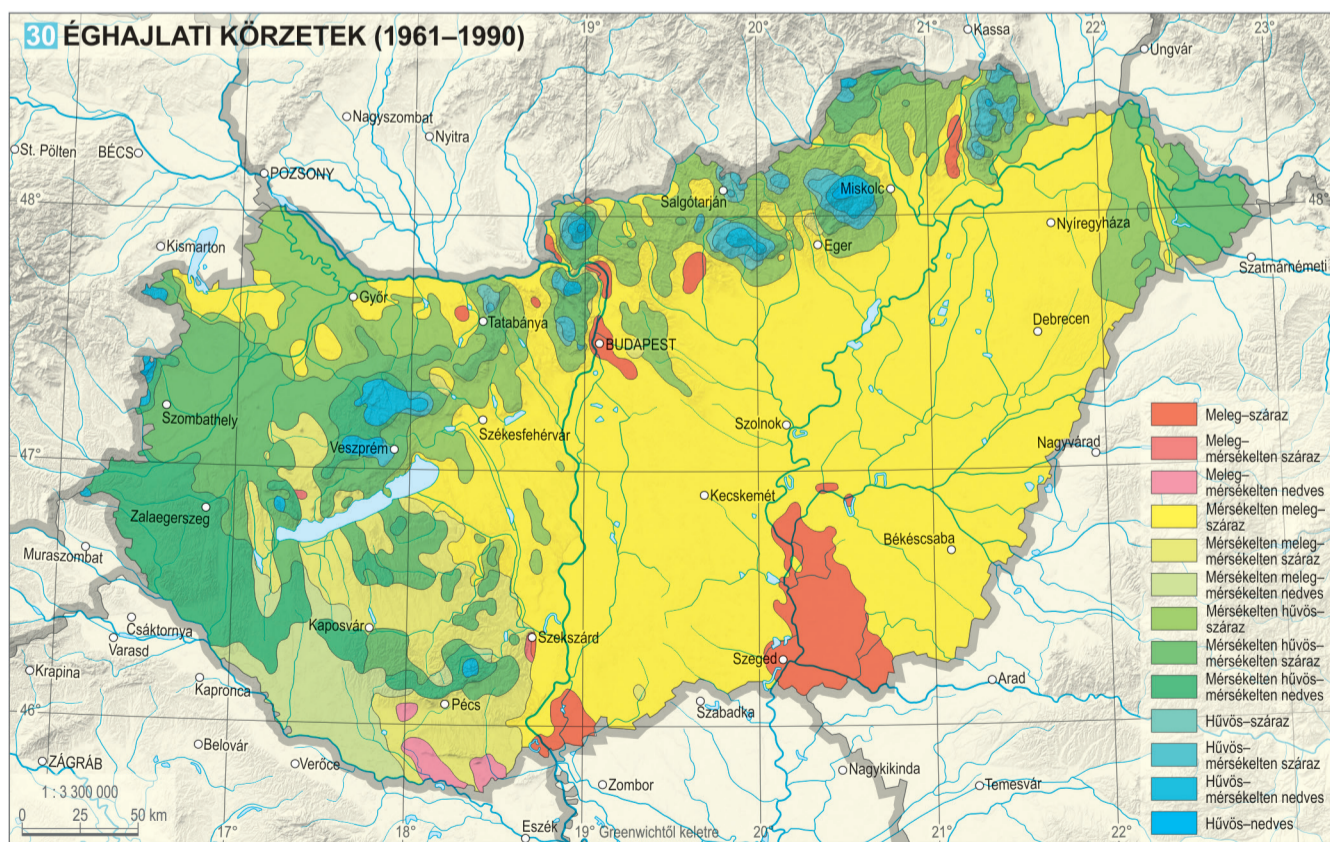
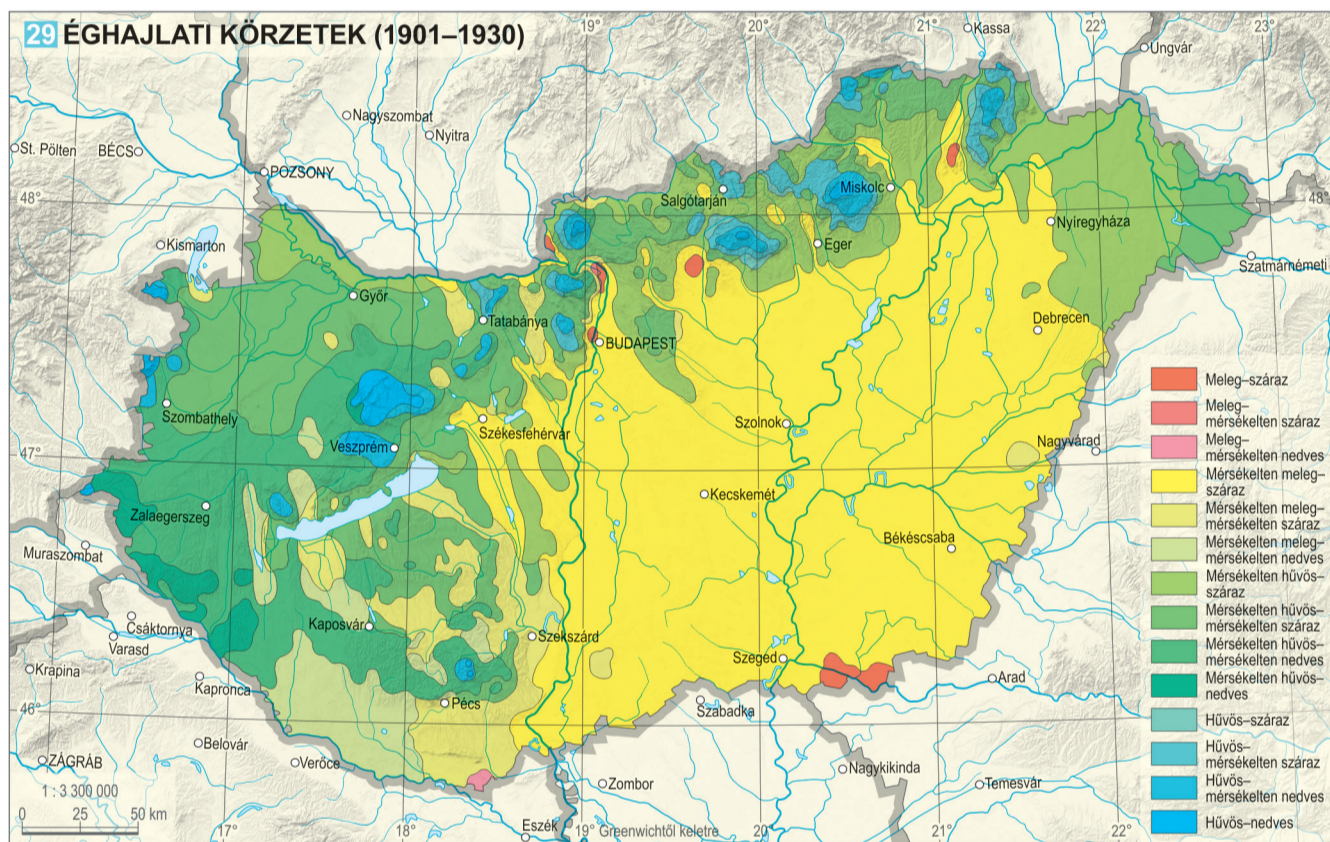
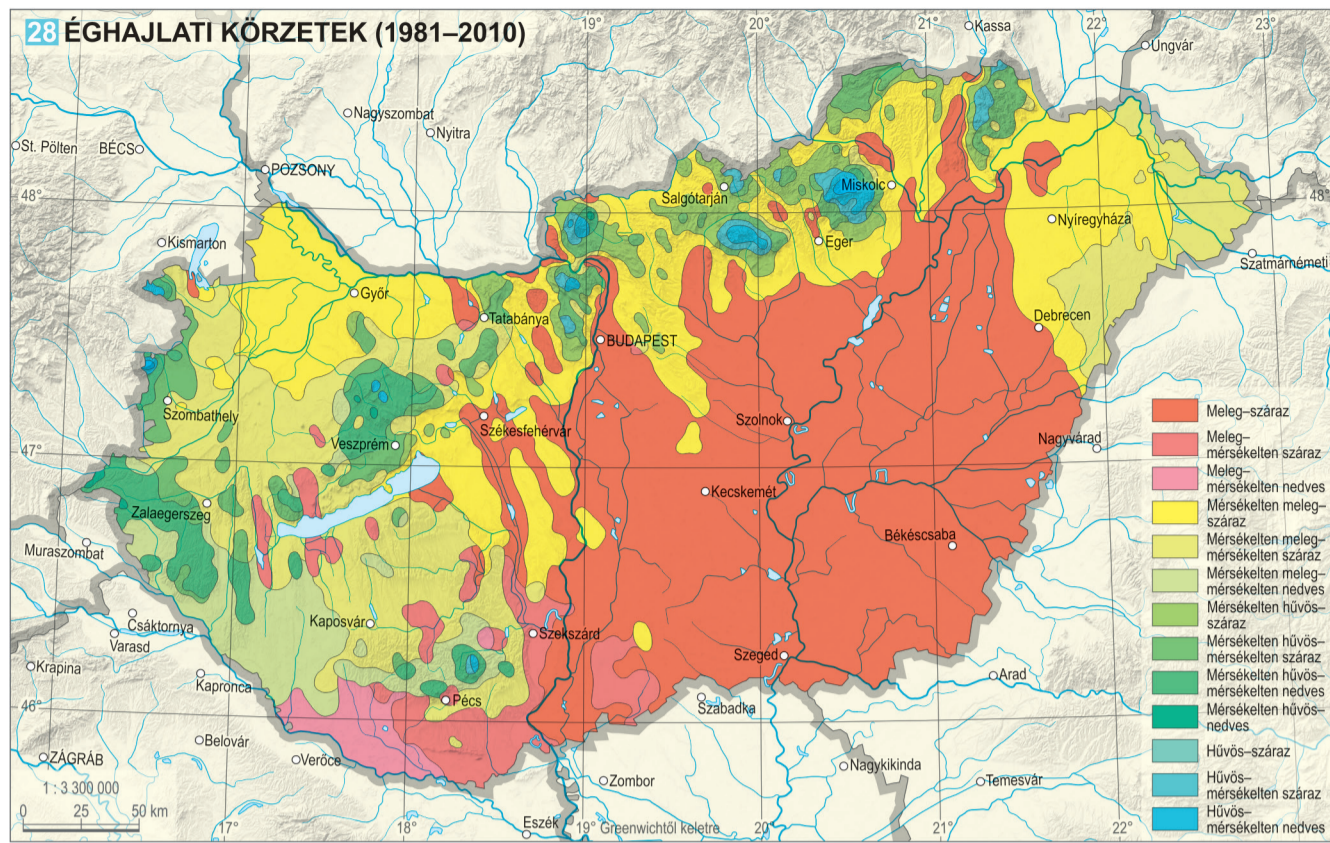


a délies szeleknek másodmaximuma van. Az északnyugati szélirány a Dunántúli és a Duna–Tisza közének túlnyomórészt érvényesül is, a medencehelyzetből fakadóan azonban a Tiszántúlon és az északkeleti szelvak uralkodnak. A változatosabb domborzatú területeken, a hegységekben és domboságokban a két fő iránytól való eltéréseket is tapasztalhatunk. Meg kell azonban jegyezni, hogy a leggyakoribb, azaz az uralkodó szélirány relatív gyakorisága általában 10–15%, és gyakran a másodmaximum is csak alig marad el ettől.

A szél sebességét a helyi tényezők, így például a domborzat, valamint a felszín borítottsága és az adott hely

környezetében levő egyéb akadályok (épületek, fák, fasorok stb.) nagymértékben befolyásolják, az utóbbi számszerűsítésére szolgál az érdességi magasság. A helyenként egy-egy nagyobb akadályal megszakított alacsony uránnyezetek a 0,1 m érdességi magasság felett, a hegységekben és domboságokban a két fő iránytól való eltéréseket is tapasztalhatunk. Meg kell azonban jegyezni, hogy a leggyakoribb, azaz az uralkodó szélirány relatív gyakorisága általában 10–15%, és gyakran a másodmaximum is csak alig marad el ettől.





megfigyelhetők. A lokális hatások következtében a leg-erősebb szeleket a Bakonyban mérjük, míg az Északi-középhegységtől délre és a Dunántúl délnyugati részén a hegységek árnyékoló hatása fedezhető fel. A szél sebességének jellegzetes évi menete van. Leg-sebesebb hónapjaink általában a március és az április,

országos átlagban 3,2–3,3 m/s-os értékekkel (pl. a hús-vét előtti böjti szelek), míg a legalacsonyabb értékeket (2,5 m/s) az augusztus–október közötti időszakban figyelhetjük meg. Az országban évente átlagosan 133 szeles nap (vagyis amikor a szél legerősebb lökésének sebessége eléri vagy meghaladja a 10 m/s-ot) fordul

elő, közülük 38 nap viharos (vagyis ennyi alkalommal nagyobb a szélhőkés 15 m/s-nál is).

### Relatív nedvesség

A levegő páratartalmának egyik legismertebb mérő-száma a relatív nedvesség, ami a tényleges páranyo-másnak és az adott hőmérsékleten vízgőzzel telített levegő páranomásának arányát fejezi ki. A relatív ned-vesség évi menete nagyjából tükröképe a hőmérsék-letének, maximumát december–januárban, minimu-mát júliusban éri el. A térképeken 26 27 a két szélső-séges hónapban, januárban és júliusban megfigyelhető különbözőségek láthatók. Míg januárban az országos átlag 83%, addig júliusban ez az érték csupán 67%. A két hónap nemcsak az értékekben, hanem a területi eloszlásban is eltér egymástól: januárban a legned-ve-sebb területek az ország déli részén, júliusban pedig a délnyugati határ mentén figyelhetők meg.

### Éghajlati körzetek

Az éghajlati vizsgálatoknál általános gyakorlat, hogy különböző paraméterek együttes előfordulása alapján az éghajlatot osztályozzuk, a fennálló hasonlóságok alapján típusokba soroljuk. E rendszerek közül egyesek globális mértékű tipizálásra készültek, de vannak olyanok is, amelyek finomabb különbségek kimutatására is alkalmasak. Magyarországon a legismertebb tipizálás PÉCZELY GYÖRGY nevéhez fűződik, ezért az éghajlati körzetek bemutatásakor mi is ezt alkalmazzuk. A mód-szer – az ariditási index és a vegetációs időszak hőm-érsékletének figyelembevételével – 16 éghajlati körzetet különít el, melyekből Magyarország mai területén 14 figyelhető meg 28. E felosztás alapján elmondható, hogy az ország legnagyobb részén jelenleg a meleg–száraz körzet található meg, az ellenkező véleget jelző hű-vös–nedves területek pedig csak hegységeink legma-gasabb részein fordulnak elő.

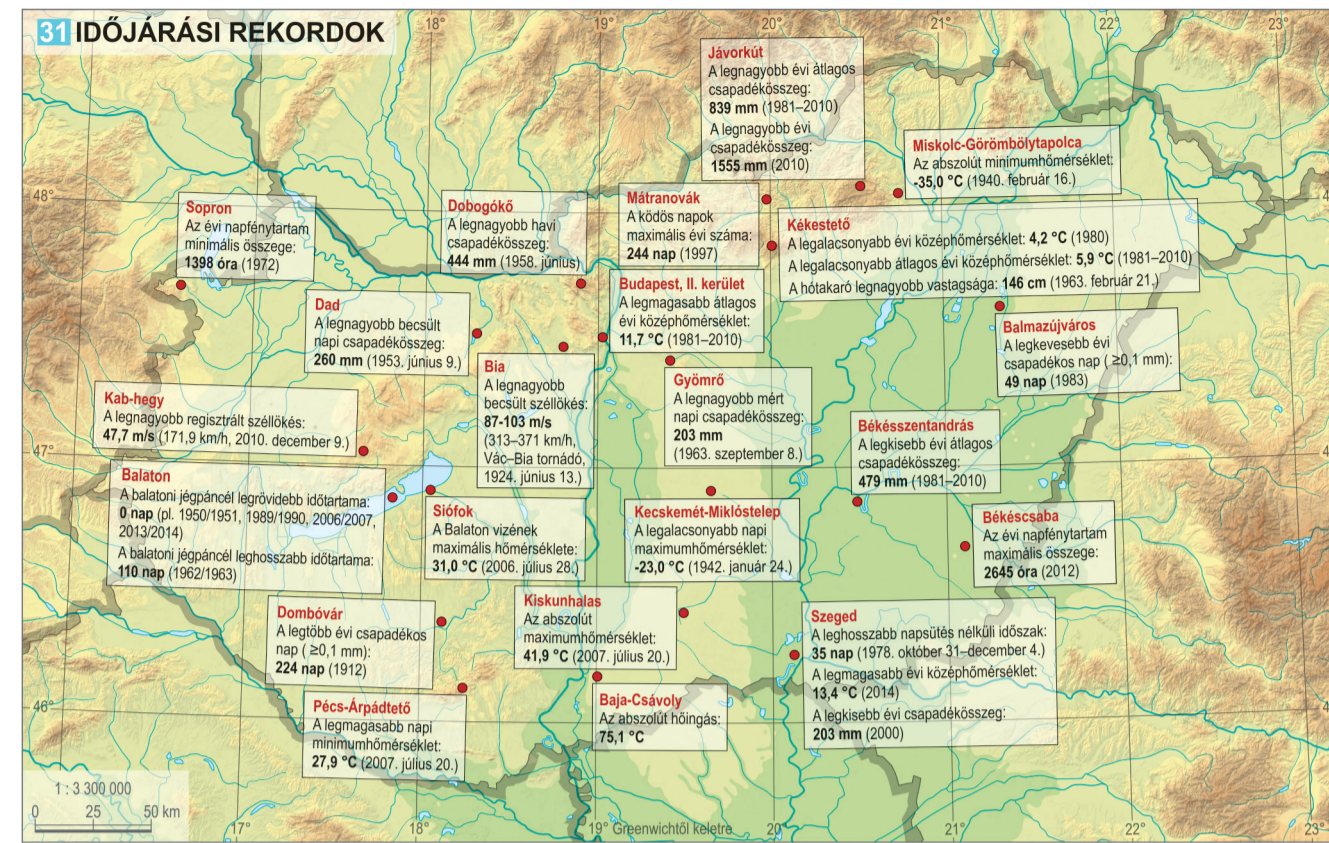
Az éghajlati körzetek területének aránya az éghajlat-változás következtében jelentősen megváltozott a ko-rábbi időszakokhoz képest. Legszenvedetűbb a me-leg–száraz területek térhódítása a mérsékeltlen me-leg–száraz körzetek rovására. A 20. század elején 29, de még az 1961–1990-es években is 30 csak nagyon kis területek tartoztak ebbe a legszélsőségesebb kate-góriába. Ugyancsak csökkent a mérsékeltlen hűvös területek nagysága, helyüket a mérsékeltlen meleg te-rületek vették át.

### Éghajlati szélsőségek

#### Időjárási rekordok

Az abszolút szélsőértékeknek – vagyis az éghajlati ele-mek és jelenségek eddig mért legnagyobb és legkisebb értékeinek – a bekövetkezése gyakran különböző me-teorológiai jelenségek véletlenszerű egybeesésének és bizonyos helyi hatások megerősítésének a követ-kezménye. A szélsőértékek meghatározásai a mérő-hálózat pótolhatatlan eredményei közé sorolhatók. Egy-egy adott földrajzi helyen és időpillanatban elő-forduló kiugró érték önmagában inkább csak érdekese-g, de egy-egy részletesebb szélsőérték-elemzést a gy-a-korlati élet is hasznosítani tud.

Térképünk 31 Magyarország időjárási rekordjait mutatja be az OMSZ és elődeinek adatai alapján. A szél-sőségek feljegyzése és azok alapján az abszolút szélső-ségek megállapítása a mérések kezdete óta tart, az érte-keket többszörösen ellenőrizték. Természetesen a mért értékeknél nagyobb szélsőségek is előfordulhattak, de egyrészt adatok csak azokban a pontokban állnak



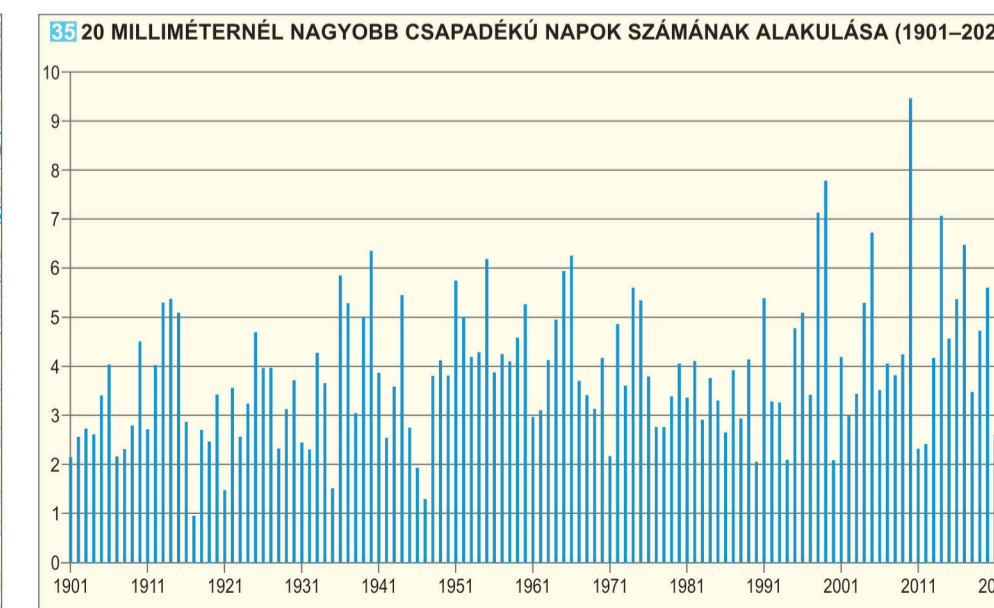
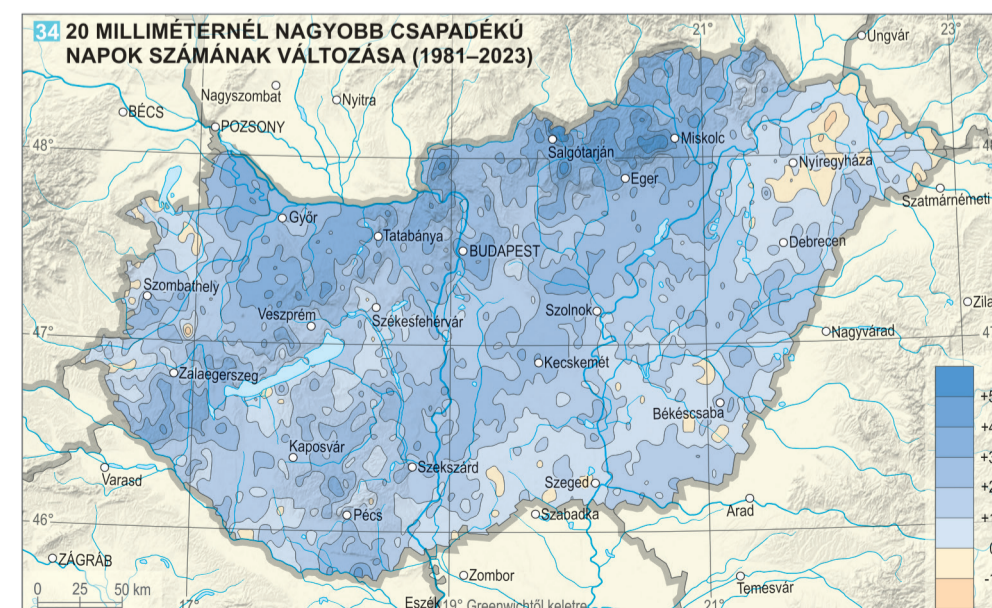
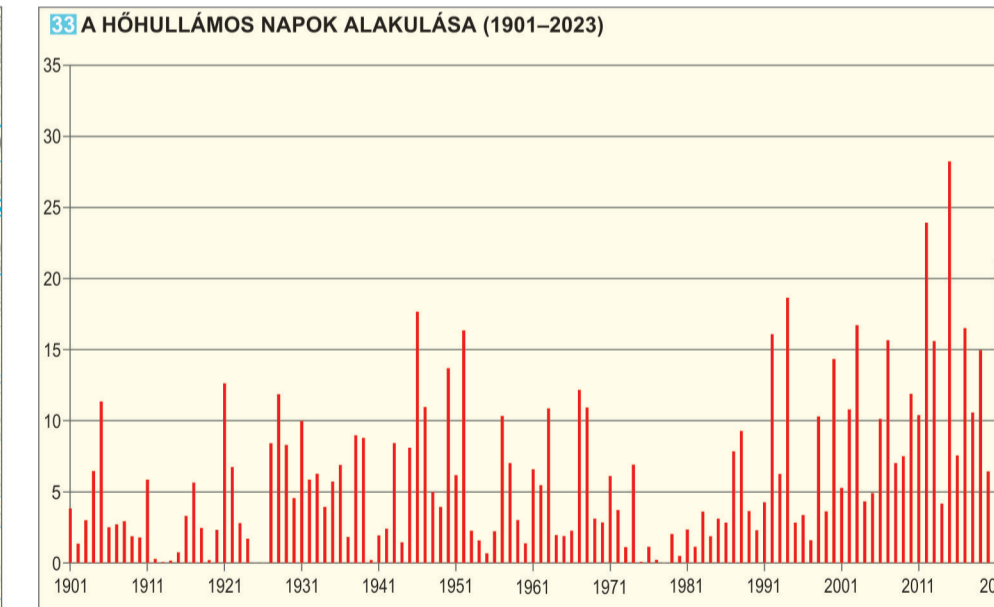
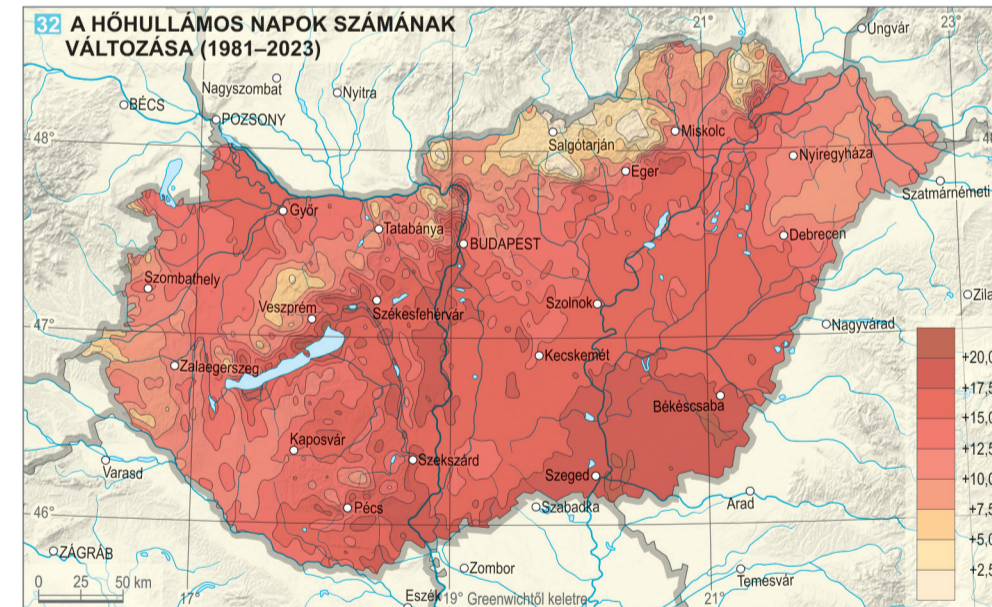
rendelkezésre, ahol műszeres mérés folyt vagy jelen-leg is folyik, másrészt különösen a 20. század első feléből ma még nem minden adat érhető el digitális formában.

### Hőhullámos napok

A szélsőséges hőmérsékletekben bekövetkezett válto-zások arra utalnak, hogy térségünkben az éghajlatvál-tozás a meleg szélsőségek értelmű növekedésével jár. Nemcsak magukat a hőmérsékleti értékek, hanem a belőlük származtatott egyéb klímaindexek (lásd ko-rábbi keretes írásunkat) is jelzik az éghajlati változá-sokat. A hőhullámos napok (amikor a napi középhő-m-érséklet >25 °C) számának az ország közepső és dél-alföldi területein a legmarkánsabb a növekedés a leg-utóbbi évtizedek tendenciáit tekintve 32. Az emel-ke-dés mértéke az 1981 utáni intenzív globális melegedés időszakában nagy területen a két hetet is meghaladja.

Magasabb hegységeinkben az időszak elején sem volt jellemző a hőhullámos napok előfordulása, és a me-le-gedés következtében sem nőtt a számuk, ugyanakkor az Alpokalja és a Dunántúli-középhegység térségében viszont már számolni kell a fellépésükkel a melegebb nyarakon.

A 20. század elején a jellemzően hűvösebb nyarak miatt csak kis számban fordultak elő hőhullámos na-pok 33, ezt követően emelkedő jelleg mutatkozott az ötvenes évek elején, amikor is egy újabb hűvösebb periódus következett, majd a nyolcvanas évektől az intenzív melegedés a hőhullámos napok gyakoribbá válásában – ami különösen a kilencvenes évektől nyil-vánvaló – is kirajzolódik. A 2023-mal záruló legutóbbi tíz évben már 15 hőhullámos nap fordult elő országos átlagban. A növekedés immár több mint 8 napnyi a múlt század eleje óta, ami egyértelműen a meleg szélsőségek gyakoribbá válását jelzi.



### A csapadék szélsőségei

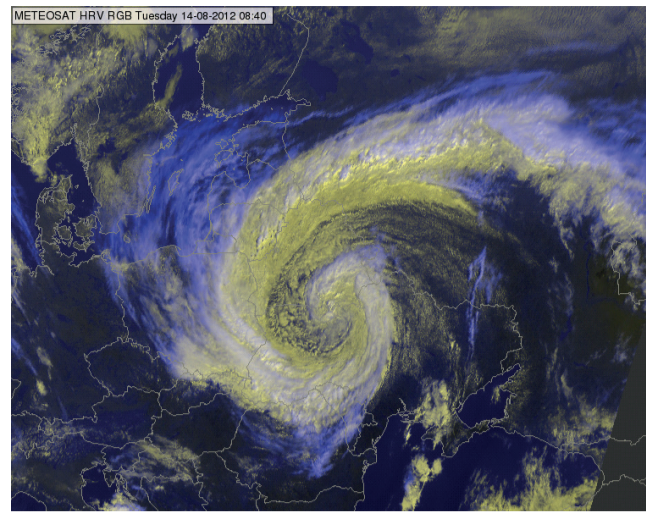
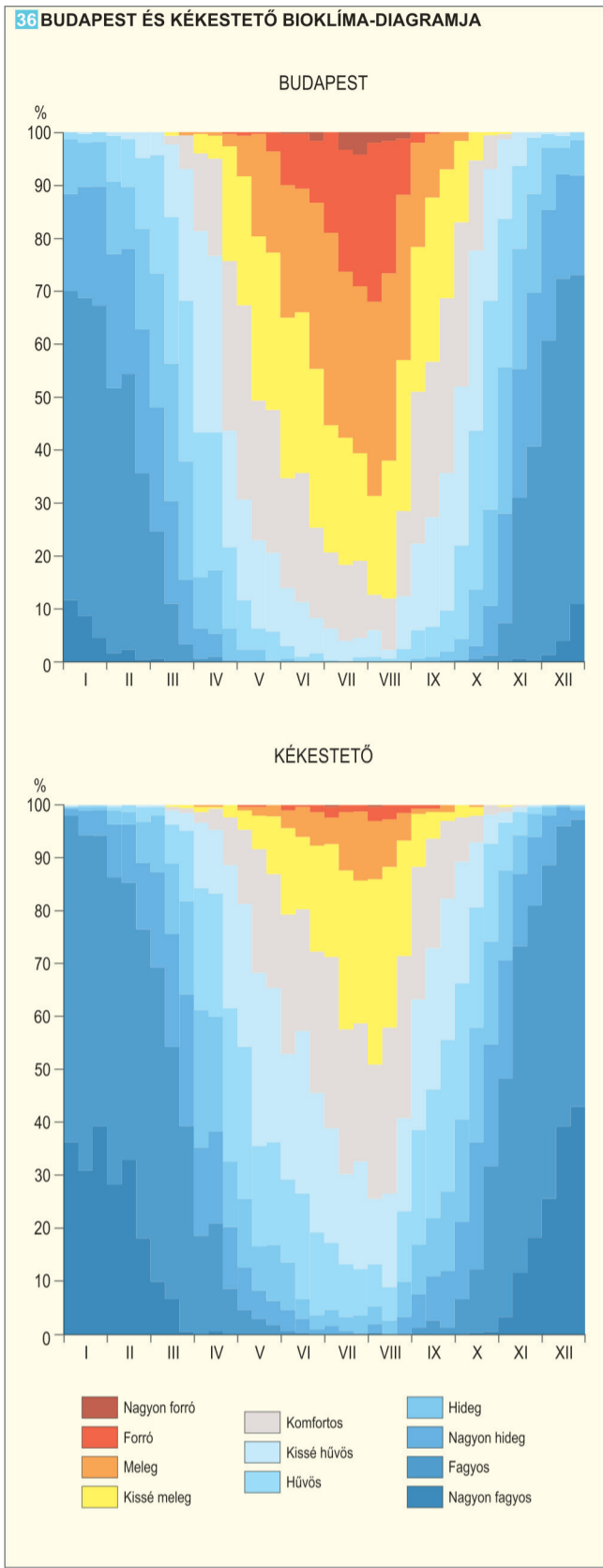
Az éghajlatváltozás a szélsőségebbé váló csapadék-hullásban is megnyilvánul, ami azonban nem egyfor-mán érint minden régiót. A csapadék szélsőségeinek változása kevéssé értelmű, de a mérések alapján a tendenciák nyomon követhetők. A 20 mm fölötti, nagy csapadékú napok számának növekedése országos átlagban közel 1,7 nap, de az 1981–2023 közötti idő-szakban voltak csökkenést mutató területek is 34. A te-rületi eloszlás igen változatos, a legnagyobb (6 napos) növekedés a Bükk környezetében mutatkozik, viszont elszórtan, többek között a Zalai domboságban és a Nyír-ségben csökkenés rajzolódik ki.

A 20 mm fölötti nagy csapadékú napok országos átlaga évről évre nagy változékonyságot mutat a teljes 20. századot lefedő, napjainkig kiterjesztett 123 éves adatsoron 35. A 20. században az 1940-es évek elejéig emelkedő, majd az 1990-es évek végéig csökkenő jel-leg mutatkozott, ezt követően viszont több évben is kiugróan magas számban fordultak elő 20 mm fölötti csapadékú napok. A legtöbb, országos átlagban több mint 9 ilyen nap előfordulása az éves összegeket te-kintve is legcsapadékosabb 2010-es évhez köthető.

### A szélsőségek hatása az emberi szervezetre

Az emberi egészség és életmódosság egyik meghatáro-zója a hőkomfort. Ennek jellemzésére az egyik legis-mertebb mérőszám az ún. fiziológiailag ekvivalens hő-m-érséklet (PET), amely egy olyan elképzelt, bizonyos meteorológiai változók tekintetében standardizált szobának a hőmérséklete, ahol az emberi test ugyan-olyan élettani válaszreakciókat (pl. verejtékezés) ad, mint a valós környezet összetett viszonyai között.

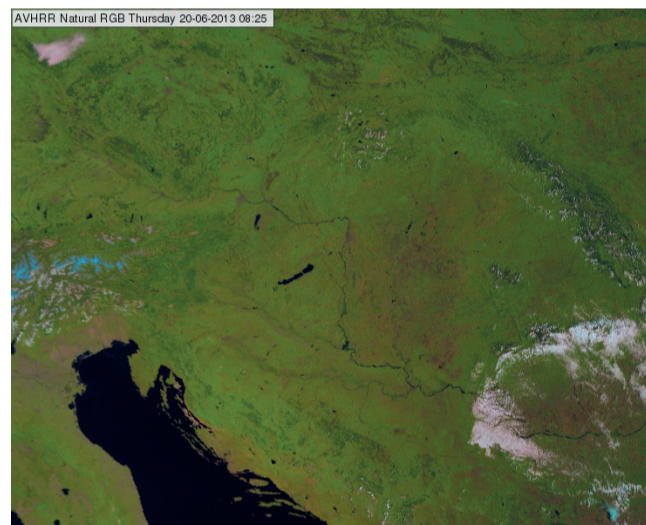
Az egyes hőérzet-kategóriák tíznaponkénti relatív gyakoriságát az ún. bioklíma-diagram mutatja 36. M-érsékelt vagy annál erősebb hőterhelést okozó napokra általában március közepétől harmadától október elejéig kell számítaniunk. Júniustól szeptember közepéig for-dulhatnak elő forró hőérzetű napok, igaz, relatív gy-a-koriságuk sehol nem éri el a 10%-ot. Hőkomfort szem-



5 Ciklon Európá felett műholdképen, 2012. augusztus 14.

értését. A műholdas adatokból számos légköri, felszíni paraméter számolható ki (pl. felhőzet-magasság, hőmérséklet vagy felszínhőmérséklet, növényborítottság) amellett, hogy képként is megjeleníthetők. A modern meteorológiai műholdképek már nem egyszerű fényképek, hanem fizikai mennyiségekké alakítható, számszerű adatok, de a képek megjelenítése ma is fontos a meteorológiában [5] [6]. Az előrejelző szakemberek időben sűrű (akár 5 percnkénti) műholdképek sorozatait tanulmányozhatják. Rajtuk jól nyomon követhető a légköri folyamatok alakulása, például a felhőalakzatok mozgása, zivatarok keletkezése, fejlődése, ködfoltok feloszlása stb.

A műholdadatokat a rövid és középtávú előrejelzésben is segítségül szolgálhatnak a szakembereknek. Egyre több műholdadatot és belőlük származtatott paramé-

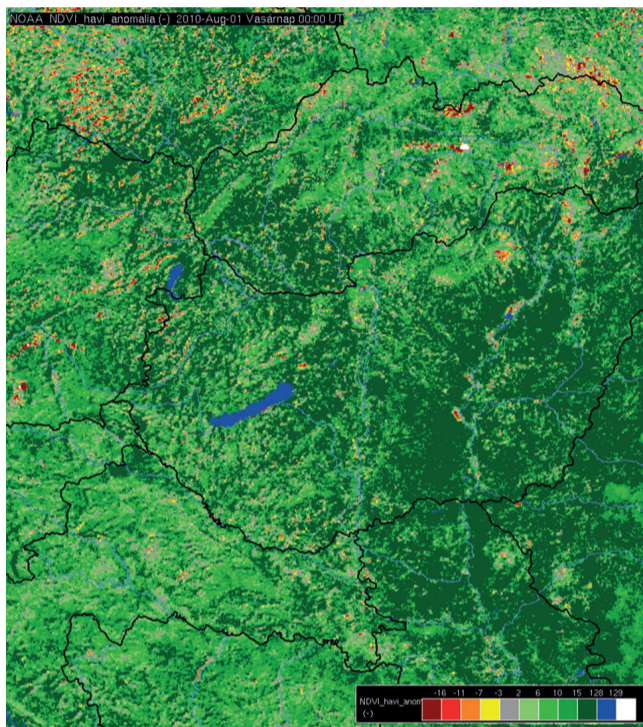


6 A Kárpát-Pannon-térség nagyrészt derült időben készült műholdképe, 2013. június 20.

tert használnak fel a numerikus időjárás-előrejelző modellekben. Műholdról a légkör összetétele is megfigyelhető. Különösen fontos az egészségünket érintő anyagok (pl. ózon), a légszennyező anyagok vagy az éghajlatot befolyásoló gázok (pl. szén-dioxid, vízgőz) megfigyelése, terjedésének nyomon követése. Az éghajlat megfigyeléséhez is nagy segítséget nyújtanak a több évtizedes műholdas adatsorok. Számos, éghajlati szempontból jelentős környezeti elemről, jelenségről szolgáltatnak információt a műholdak: a Földre érkező, illetve onnan távozó sugárzásokról, a hőmérsékleti, a csapadék-ellátottsági és a szélviszonyokban beállt változásokról, a felszín borító növénytakaróról. Műholdak segítségével az aszály jelensége is jól nyomon követhető a növényborítottság elemzése alapján, egy ún. vegetációs index (NDVI) számításával.

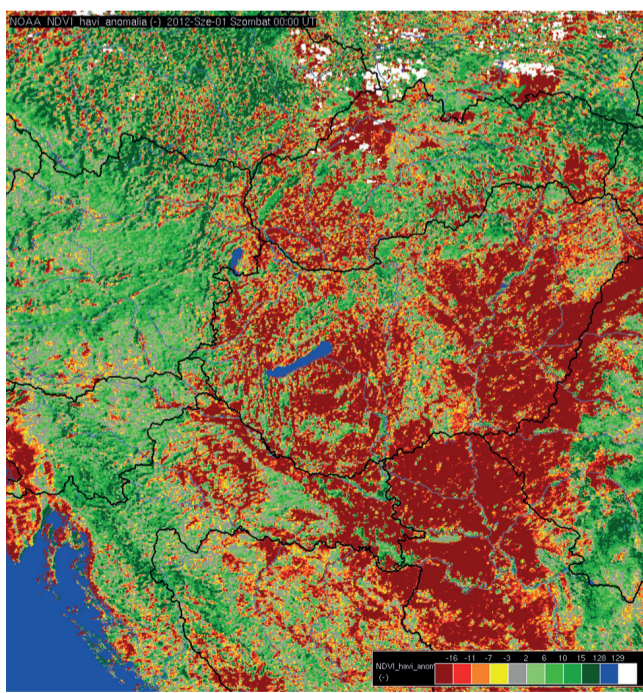
A vegetációs index képeiből számított havi térképek alapján szerkeszthetők meg az anomáliatérképek. Az anomália azt fejezi ki, hogy az adott hónapban a vegetációs index értéke mennyire tér el az adott hónapra vonatkozó sokéves (2003–2012 közötti időszakra vonatkozó) átlagtól. A pozitív anomáliák (a zöld szín árnyalatai) [7] azt mutatják, hogy az adott időszakban nagyobb volt a növényborítottság, mint az előző évek-

A vegetációs index (Normalised Difference Vegetation Index, NDVI) egy dimenziómentes mérőszám, amely a növény fotoszintézisével, azaz a termelt klorofillmennyiséggel van kapcsolatban. A növényzet műholdas megfigyelése azon alapul, hogy a növényállományról és a talajfelszínről visszavert sugárzási értékek eltérnek a különböző hullámhossztartományokban. A növényzet a látható tartomány sugárát kismértékben veri vissza, ugyanakkor fejlettségével, klorofilltartalmával arányosan erősödik a visszaverődés a közeli infravörös sávban, így ezen eltérést kihasználva kimutatható a vegetáció fejlettségi állapota. Ha a növényállományt vízhiány sújtja, vagy a vegetációs időszak a vége felé közeledik, csökken a klorofilltartalom, akkor a különböző hullámhossztartományokban mért visszaverődés aránya csökken.



7 A vegetációs index anomáliái 2010 augusztusában

ben, a negatív anomáliák (sárga és piros színek) pedig a sokévi átlaghoz képest gyengébb vegetációt jelentenek. 2010-ben az éves csapadékösszeg jelentősen meghaladta a sokévi átlagot. Jól látható, hogy augusztusban a sokévi átlaghoz képest magasabbak voltak az NDVI-értékek [7]. Ezzel szemben 2012 igen aszályos év volt, a vegetációs időszakban a lehullott csapadék több hónapban is jelentősen elmaradt a sokéves átlaghoz képest, nyáron pedig hosszan tartó kánikulai hely-

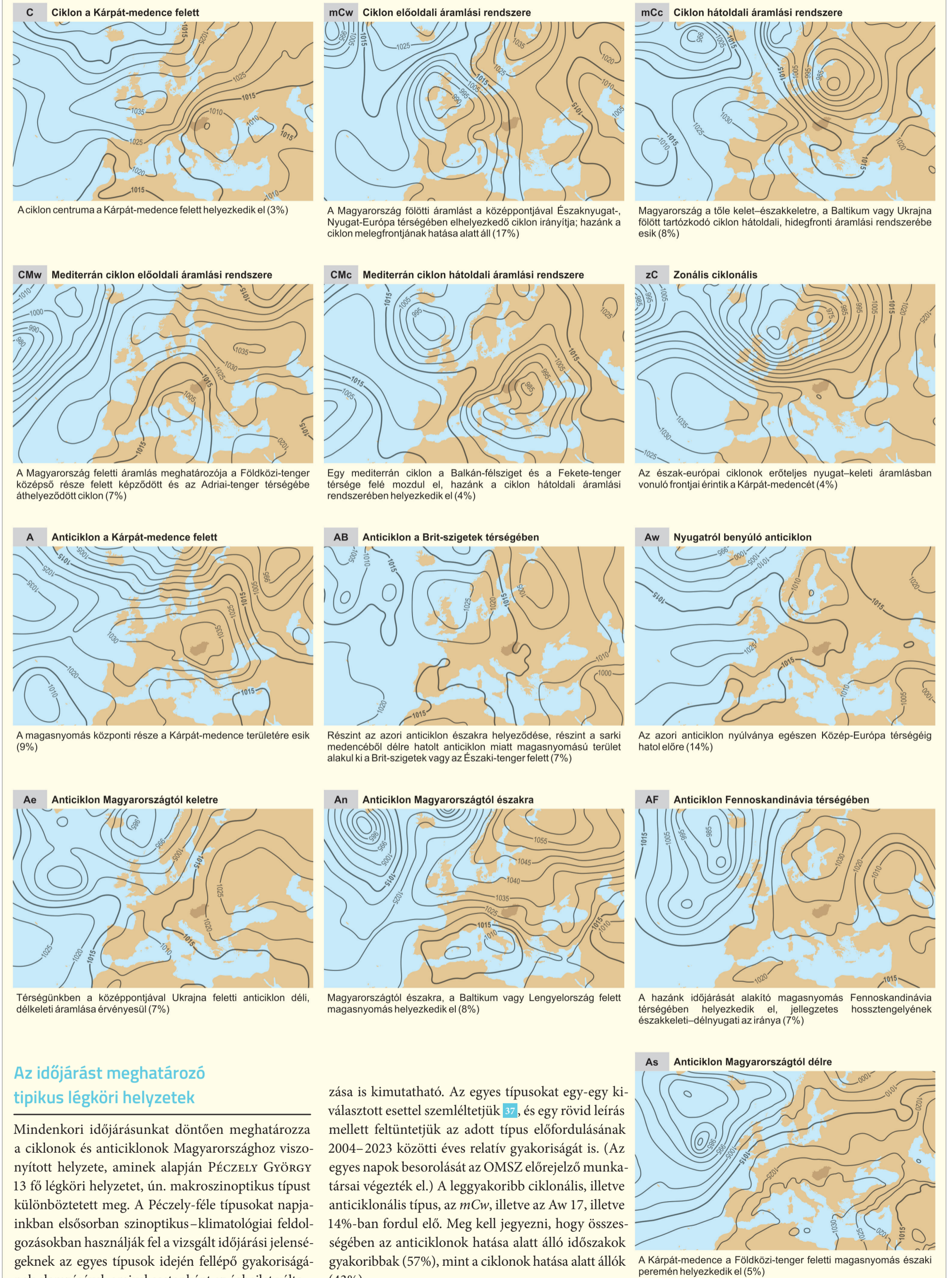


8 A vegetációs index anomáliái 2012 szeptemberében

zet alakult ki. E szélsőségesen száraz és meleg idő a növényzet fejlődésében is megmutatkozott, szeptemberben az NDVI értéke szinte az ország egész területén alacsonyabb volt a 10 éves átlagnál [8].

### 37 A PÉCZELY-FÉLE MAKROCIRKULÁCIÓS TÍPUSOK (2003–2014)

A térképeken az azonos légnymósági (izobár) vonalak értékei hPa-ban jelennek meg, zárójelben az éves előfordulás relatív gyakorisága olvasható



A ciklon centruma a Kárpát-medence felett helyezkedik el (3%)

A Magyarország fölötti áramlást a középpontjával Északnyugat-, Nyugat-Európa térségében elhelyezkedő ciklon irányítja; hazánk a ciklon melegfrontjának hatása alatt áll (17%)

Magyarország a tőle kelet-északkeletre, a Baltikum vagy Ukrajna fölötti tartózkodó ciklon hátoldali, hidegfronti áramlási rendszerébe esik (8%)

A Magyarországot felelő áramlás meghatározója a Földközi-tenger középső része felett képződött és az Adriai-tenger térségébe áthelyeződött ciklon (7%)

Egy mediterrán ciklon a Balkán-félsziget és a Fekete-tenger térsége felé mozdul el, hazánk a ciklon hátoldali áramlási rendszerében helyezkedik el (4%)

Az észak-európai ciklonok erőteljes nyugat-keleti áramlásban vonuló frontjai érintik a Kárpát-medencét (4%)

A magasnyomás központi része a Kárpát-medence területére esik (9%)

Részint az azori anticyklon északra helyeződése, részint a sarki medencéből délre hatolt anticyklon miatt magasnyomású terület alakul ki a Brit-szigetek vagy az Északi-tenger felett (7%)

Az azori anticyklon nyúlványa egészen Közép-Európa térségéig hatol előre (14%)

Térségünkben a középpontjával Ukrajna feletti anticyklon déli, délkeleti áramlása érvényesül (7%)

Magyarországtól északra, a Baltikum vagy Lengyelország felett magasnyomás helyezkedik el (8%)

A hazánk időjárását alakító magasnyomás Fennskandinávia térségében helyezkedik el, jellegzetes hossz tengelyének északkeleti-délnyugati az iránya (7%)

#### Az időjárást meghatározó tipikus légköri helyzetek

Mindenkori időjárásunkat döntően meghatározza a ciklonok és anticyklonok Magyarországhoz viszonyított helyzete, aminek alapján PÉCZELY GYÖRGY 13 fő légköri helyzetet, ún. makroszintoptikus típusú különböztetett meg. A Péczy-féle típusokat napjainkban elsősorban szinoptikus-klimatológiai feldolgozásokban használják fel a vizsgált időjárás jelenségekre az egyes típusok idején fellépő gyakoriságának elemzésével, amivel esetenként az éghajlat válto-

zása is kimutatható. Az egyes típusokat egy-egy kiválasztott esettel szemléltetjük [37], és egy rövid leírás mellett feltüntetjük az adott típus előfordulásának 2004–2023 közötti éves relatív gyakoriságát is. (Az egyes napok besorolását az OMSZ előrejelző munkatársai végezték el.) A leggyakoribb ciklonális, illetve anticyklonális típus, az mCw, illetve az Aw, illetve a 14%-ban fordul elő. Meg kell jegyezni, hogy összességében az anticyklonok hatása alatt álló időszakok gyakoribbak (57%), mint a ciklonok hatása alatt állók (43%).

A Kárpát-medence a Földközi-tenger feletti magasnyomás északi peremén helyezkedik el (5%)

## Magyarország Nemzeti Atlasza (MNA)

www.nemzetiatlasz.hu

<i>Szerkesztőbizottság</i>
Kocsis Károly (elnök)
Klinghammer István (tiszteletbeli elnök), Nemerkényi Zsombor (titkár),
Gercsák Gábor, Kincses Áron, Kovács Zoltán, Zentai László

<i>Kartográfiai Tanácsadó Bizottság</i>
Zentai László (elnök)
Bartos–Elekes Zsombor, Bottlik Zsolt, Buga László, Gede Máttyás, Gercsák Gábor,
Györffy János, Márton Máttyás, Orosz László, Török Zsolt Győző, Ungvári Zsuzsanna

### MNA Természeti környezet kötet

### 2., átdolgozott kiadás

<i>Kötetszerkesztők</i>
Kocsis Károly (főszerkesztő), Gercsák Gábor, Horváth Gergely, Nemerkényi Zsombor

<i>Fejezetszerkesztők</i>
Bihari Zita, Brezsnýánszky Károly, Csorba Péter, Fazekas István, †Fekete Gábor, Gábris Gyula, Haas János, Horváth Gergely, †Kerényi Attila, Király Gergely, Kocsis Károly, Molnár Zsolt, Pásztor László, Schmidt András, †Schweitzer Ferenc, Szabó József, Tardy János, Timár Gábor, Túri Zoltán, Varga György (FTI), Varga György (OVF)

<i>Képszerkesztő</i>
Magyar Árpád

<i>Szakmai lektorok</i>
Bölöni János, Brezsnýánszky Károly, Dobróka Mihály, Keveiné Bárány Ilona, Konecsny Károly, Korsós Zoltán, Lóczy Dénes, Magyar Gábor, Mika János, Molnár V. Attila, Schmotzer András, Solt Anna, Szabó György, Szabó József, Szalai Zoltán

<i>Nyelvi lektor</i>
Kálóczy Katalin

<i>Borítóterv</i>
Mezei Gáspár – HUN-REN CSFK Földrajztudományi Intézet, Kuti Ildikó – Civertan Bt.

<i>Arculatterv, tipográfia</i>
Kuti Ildikó – Civertan Bt.

<i>Sokszorosítás</i>
Keskeny és Társai 2001 Kft. keskenynyomda.hu

Minden jog fenntartva, beleértve a sokszorosítás, a mű bővített, illetve rövidített változatainak kiadási jogát is. A kiadó írásbeli hozzájárulása nélkül sem a teljes mű, sem annak valamely része semmiféle formában, semmiféle nyelven nem sokszorosítható és nem publikálható.
--

Felelős kiadó: Kiss László főigazgató
HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, www.csfk.org
©CSFK Földrajztudományi Intézet, www.hungarian-geography.hu, Budapest, 2024

A kiadvány megjelenéséhez támogatást nyújtott: <p>Magyarország Kormánya</p> HUN-REN, Magyar Kutatási Hálózat Magyar Tudományos Akadémia
---

A kötet szerkesztésének lezárása: 2024. szeptember 20.

ISBN <span> </span> 978-963-9545-55-7ö
ISBN <span> </span> 978-963-9545-65-6

# MAGYARORSZÁG NEMZETI ATLASZA

## TERMÉSZETI KÖRNYEZET

<b>Szerzők</b>	GÁL NÓRA	MÓNUS PÉTER	TIRÁSZI ÁGNES
†ALFÖLDI LÁSZLÓ	GALSA ÁTTILA	NÁDOR ANNAMÁRIA	TÓTH GYÖRGY ISTVÁN
ÁSZALÓS RÉKA	†GERHÁTNÉ KERÉNYI JUDIT	†NAGYMAROSY ANDRÁS	TÓTH LÁSZLÓ
ÁDÁM SZILVIA	GOMBÁRNÉ FORGÁCS GIZELLA	NÉGYESI GÁBOR	TÖRÖK ÁKOS
ÁGOSTON BENCE	GYALOG LÁSZLÓ	NÉMETH ÁKOS	TÚRI ZOLTÁN
ÁRGAY ZOLTÁN	HAAS JÁNOS	NÉMETH CSABA	UDVARDY ORSOLYA
BABOLCSAI GYÖRGY	HASZPRA LÁSZLÓ	PAPP BEÁTA	VARGA BALÁZS
BAGI MÁRTA	HERCZEG ZOLTÁN	†PÁLFAI IMRE	VARGA GÁBOR
BALÁZS DÁVID	HOMOKINÉ UJVÁRY KATALIN	PÁSZTOR LÁSZLÓ	VARGA GYÖRGY (FTI)
BALLA DÁNIEL ZOLTÁN	HORVÁTH ÁKOS	PÁTZAY GYÖRGY	VARGA GYÖRGY (OVF)
BARÁZ CSABA	†HORVÁTH FERENC	†PÉCSI MÁRTON	VARGA ZOLTÁN
BARINA ZOLTÁN	HORVÁTH GERGELY	PINKE GYULA	VASS RÓBERT
BARLA ENIKŐ	ILLÉS GÁBOR	PIRKHOFFER ERVIN	VASVÁRI MÁRIA
BARTHA DÉNES	IVÁNYI KRISZTINA	PONGRÁCZ RITA	VATAI JÓZSEF
BARTHOLY JUDIT	KATONA GÁBOR	PRAKفالvi Péter	†VÁRALLYAY GYÖRGY
BARTOS-ELEKES ZSOMBOR	KERESKÉNYI ERIKA	PUTSAY MÁRIA	VÍKOR ZSUSZANNA
BATA TEODÓRA	†KERÉNYI ÁTTILA	RAPALA MIKLÓS	VOJTKÓ ANDRÁS
BEDE-FAZEKAS ÁKOS	KEVEY BALÁZS	ROTÁRNÉ SZALKAI ÁGNES	ZAGYVA TÜNDE ANDREA
BIHARI ZITA	KINCSES KRISZTINA	SCHAREK PÉTER	ZILAHÍ-SEBESS LÁSZLÓ
BIRÓ MARIANNA	KIRÁLY GERGELY	SCHMIDT ANDRÁS	†ZÓLYOMI BÁLINT
BOKOR VERONIKA	KISS GÁBOR	SCHMIDT DÁVID	ZSEMBERY ZITA
BORHIDI ÁTTILA	KOCSIS KÁROLY	SCHMOTZER ANDRÁS	
BÖLÖNI JÁNOS	KOLLÁNYI LÁSZLÓ	†SCHWEITZER FERENC	
BREZSNYÁNSZKY KÁROLY	KONKOLY-GYURÓ ÉVA	SÍKHEGYI FERENC	<b>Vezető térképészek</b>
BUDAI TAMÁS	KORBÉLY BARNABÁS	SOLT ANNA	AGÁRDI NORBERT
CZIGÁNY SZABOLCS	KOVÁCS GÁBOR	SOMODI IMELDA	KERESZTESI ZOLTÁN
CZÚCZ BÁLINT	KOVÁCS TAMÁS	SÜMEGI PÁL	KOCZÓ FANNI
CSEPREGI ISTVÁN	KOVÁCSNÉ BODOR PETRA	SZABÓ GYÖRGY	KOVÁCS ANIKÓ
CSIKY JÁNOS	KÖVÉR SZILVIA	SZABÓ JÓZSEF	MEZEI GÁSPÁR
CSIMA PÉTER	LAKATOS MÓNIKA	†SZABÓ MÁRIA	NEMERKÉNYI ZSOMBOR
CSORBA PÉTER	L’AUNÉ ÁGNES	SZABÓ PÉTER	SZABÓ RENÁTA
CSÜLLÖG GÁBOR	LÁZÁR ILDIKÓ	SZALAI JÓZSEF	
DANCZA ISTVÁN	LEELÖSSY ÁDÁM	SZALAY MIKLÓS	
DEBRECENI PÉTER	LEPESI NIKOLETT	SZARVAS IMRE	<b>További térképészeti közreműködők</b>
DOBOR LAURA	LESTÁK FERENC	SZEGEDI SÁNDOR	BAGAMÉRI GERGELY
DOBOS ENDRE	LÓCZY DÉNES	SZENTIVÁNYI ÁRPÁD	BALÁZS ÉVA
DOBÓ KRISTÓF	LÓKI JÓZSEF	SZEPESY GÁBOR	BARANCSUK ÁDÁM
EGRI CSABA	LÓKÖS LÁSZLÓ	SZÉPSZÓ GABRIELLA	BUTOR ZSANETT
FÁBIÁN SZABOLCS	MAGINECZ JÁNOS	SZILASSI PÉTER	GERTHEIS ANNA
FANCSIK TAMÁS	MAGYAR DONÁT	SZMORAD FERENC	GULYÁS ZOLTÁN
FARKAS EDIT	MAGYARI ENIKŐ	SZŐCS TEODÓRA	KISS RÉKA
FARKAS SÁNDOR	MALATINSZKY ÁKOS	SZÖVÉNYI GERGELY	SZIGETI CSABA
FAZEKAS ISTVÁN	MEGYERI BALÁZS	SZURDOKI ERZSÉBET	SZILÁDI JÓZSEF
†FEKETE GÁBOR	MESTER TAMÁS	TAHY ÁGNES	VESZELY ZSUSZANNA
FERENCZI ZITA	MEZŐSI GÁBOR	TAMÁS LÁSZLÓ	
FIALA KÁROLY	MICHÉLI ERIKA	TAR GYULA	
FODOR LÁSZLÓ	MIKESY GÁBOR	TARDY JÁNOS	<b>Technikai munkatársak</b>
FODOR NÁNDOR	MOLNÁR CSABA	TELBI SZ TAMÁS	LACZKÓ MARGIT
FRISNYÁK SÁNDOR	MOLNÁR V. ÁTTILA	TIBORCZ VIKTOR	MAGYAR ÁRPÁD
GÁBRIS GYULA	MOLNÁR ZSOLT	TIMÁR GÁBOR	