

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

Európa éghajlatának alakulása a XX. és XXI. században Feddema módszere alapján

DIPLOMAMUNKA



Készítette:

Skarbit Nóra

Meteorológus mesterszak,
Éghajlat kutató szakirány

Témavezetők:

Dr. habil. Ács Ferenc

Dr. Breuer Hajnalka

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2014

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Irodalmi áttekintés	5
2.1 Biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek és alkalmazásuk	5
2.2 Európa éghajlata a XX. században Köppen és Thornthwaite éghajlat-osztályozása alapján.....	7
2.3 XXI. századi modell eredmények Európára vonatkozóan.....	10
3. Felhasznált adatok	12
3.1 A CRU TS 1.2 adatbázis.....	12
3.2 Az E-OBS adatbázis	12
3.3 ENSEMBLES szimulációk.....	13
4. Alkalmazott módszerek	15
4.1 Feddema éghajlat-osztályozási módszere	15
4.2 Bias hibakorrektíós eljárás	17
4.3 A Kappa statisztika	19
4.4 A korrigált és korrigálatlan hőmérséklet adatsorok trendanalízise.....	21
4.5 Szélsőséges modell szimulációk kiválasztása.....	24
5. Eredmények	27
5.1 Európa éghajlata a XX. században mérési adatok alapján.....	27
5.1.1 Az 1901–1930-as időszak.....	27
5.1.2 Az 1971–2000-es időszak.....	28
5.1.3 A XX. század éghajlatváltozása	30
5.1.4 A XX. századi éghajlatváltozás statisztikai elemzése	33
5.2 Európa éghajlata a XXI. században ENSEMBLES modell eredmények alapján.....	36
5.2.1 Az 1971–2000-es időszak.....	36
5.2.2 A 2021–2050-es időszak.....	38

5.2.3 A 2071–2100-as időszak.....	41
5.2.4 A XXI. század éghajlatváltozása	44
5.2.5 A XXI. századi éghajlatváltozás statisztikai elemzése	47
6. Összefoglalás	52
7. Irodalomjegyzék	55
8. Köszönetnyilvánítás	58

1. Bevezetés

Jelenlegi éghajlatunk megismerése és annak jövőbeli változása napjaink egyik legjelentősebb kérdései közé tartozik, ugyanakkor kedvelt kutatási területe. Egy adott térség éghajlatának megadására számos éghajlat-osztályozási módszer ismeretes. Fontos, hogy az alkalmazott éghajlatleírás a vizsgált térségre részletes leírást adjon, az egyes részterületekre klímáját képes legyen elkülöníteni. Továbbá nem megkerülendő, hogy az éghajlat-osztályozás egyszerű és könnyen értelmezhető legyen. A legismertebb biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek közé soroljuk *Köppen* (1900, 1923, 1936), *Thorntwaite* (1931, 1948) és *Holdridge* (1947, 1967) módszerét. Komplexitásuk igen eltérő, annak függvényében, hogy milyen hatásokat vesznek figyelembe. A legösszetettebbnek Thorntwaite módszere tekinthető. Munkámban *Feddema* (2005) éghajlat-osztályozási módszerét alkalmaztam, amely utóbbinak egyszerűsített, közérthetőbb változata.

Vizsgálataimban Európa éghajlatát és annak változását elemzem 1901-től 2100-ig. A XX. század éghajlatára a CRU (Climatic Research Unit) TS 1.2 adatbázis alapján végeztem vizsgálatot. Az elemzés a század eleji (1901–1930), illetve a század végi (1971–2000) időszakok éghajlatának bemutatásával történik. A XX. század folyamán bekövetkezett éghajlatváltozás szemléltetésére bemutatásra kerül a vizsgált időszakok egyes éghajlati mutatóinak különbségtérképei. Az éghajlati kategóriákban bekövetkező változások statisztikai elemzéséhez Kappa statisztikát alkalmaztam.

A XXI. század várható éghajlatának megadásánál az volt a fontos kérdés, hogy az egyes állapothatározók együttes változása hogyan befolyásolja a klíma összetett és számos kölcsönhatásán keresztül érvényesülő hatásmechanizmusát. Azaz az előrejelzett változás mennyiben változtatja meg egy adott terület klímáját különös tekintettel a biofizikai szempontokra. A felvetett kérdés megválaszolásának céljából az ENSEMBLES projekt keretein belül megvalósult tíz regionális klímamodell (RCM) eredményét használtam fel. A modellek nyers outputjain korrekciót végeztem el a pontosabb eredmény elérésének érdekében. Az eredmények bemutatásánál a legszélsőségesebb változások adta lehetséges éghajlat bemutatása volt a cél. Emellett egy átlagos éghajlati kép megadása, amely a felhasznált modellek eredményeinek átlaga alapján történt. A kapott eredményeket az 1971–2000-es időszyakkal összehasonlítva a 2021–2050 és a 2071–2100 időszyakra mutatom be. A XXI. századi éghajlatváltozás elemzése, azaz a 2071–2100 és az 1971–2000 időszyakok különbségének bemutatása és a már említett statisztikai vizsgálat alkalmazása a modellek átlagára történt.

Dolgozatom célja, hogy Európa múltbeli és várható éghajlatát egy részletes és könnyen értelmezhető módszer segítségével mutassam be. Emellett elemezni és szemléletesen bemutatni a két időszak alatt bekövetkező éghajlatváltozást és rámutatni, hogy a biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek jelentősen hozzájárulhatnak a klímaváltozás hatásainak érzékeltetéséhez.

2. Irodalmi áttekintés

2.1 Biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek és alkalmazásuk

Egy adott térség éghajlatának jellemzése mindig is fontos szerepet kapott a társadalom kérdésköreinek sorában. Így az éghajlat-osztályozási módszerek hosszú múltra tekintenek vissza, amelynek következtében számos, különböző módszeren alapuló leírás létezik. Az osztályozások három nagy csoportba sorolhatók: ún. generikus, vagy leíró, valamint ún. genetikusan továbbá praktikus célokat szolgáló (pl. mezőgazdaság, egészségügy számára) módszerekre.

A genetikusan módszerek kevésbé ismertek, az éghajlat osztályozását a légköri folyamatok illetve a légkör szerkezete alapján végzik. Genetikusan osztályozásra példa *Bergeron* (1928) módszere, ahol a légtömegek és frontok alapján történik a csoportosítás vagy *Hettner* (1930) osztályozása, amely a Föld szélövezeteit veszi alapul.

A leíró módszerek széles körben elterjedtek, amelyek közé a biofizikai éghajlat-osztályozási módszereket is sorolhatjuk. Ugyanis ezen osztályozások a növényzet és az éghajlat szoros kapcsolatát veszik alapul. E kapcsolatot elsőként *von Humboldt* (1806) ismerte fel, aki megfigyelte, hogy az egymástól távol eső, de klímájukban egyező területek hasonló növényzettel rendelkeznek. A legelső ilyen osztályozást *Köppen* (1900, 1923, 1936) alkotta meg, módszere a mai napig a legismertebb. További széles körben alkalmazott osztályozások *Thorntwaite* (1931, 1948) és *Holdridge* (1947, 1967) módszere, melyek komplexebb módszereket alkalmaznak az éghajlat megadására. *Feddema* (2005) módszerében a *Thorntwaite*-féle osztályozást módosította, annak érdekében, hogy az éghajlat-osztályozás egyszerűbb és közérthetőbb legyen.

Köppen éghajlat-osztályozási rendszerét a *Grisebach* (1866) által megalkotott globális vegetációs típusok, illetve *de Candolle* (1874) – a növények hőigénye és szárazságtűrése alapján csoportosított – típusai alapján alkotta meg. Így osztályozása összefüggésben van a vegetáció esetén megfigyelhető övezetes jelleggel, amely alapján a forró öv növényzetét A-val, a száraz övezetét B-vel, a mérsékelt övezetét C-vel, a boreális övezetét D-vel, valamint a hideg övezetét E-vel jelölte.

Köppen módszerét a mai napig széleskörben alkalmazzák mind nemzetközi, mind hazai vizsgálatokban. Napjainkban globális vonatkoztatásban pl. *Kalvova et al.* (2003) az 1961–1990, *Kottek et al.* (2006) az 1951–2000 időszakokra alkalmazta CRU adatok alapján. *Peel et al.* (2007) Global Historical Climatology Network (GHCN) teljes

hosszúságú adatsora alapján és az egyes kontinensekre külön és globálisan mutatták be eredményeiket. Ezen éghajlat-osztályozási módszert *Rubel és Kottek* (2010) Tyndall Centre for Climate Change Research TYN SC 2.03 adatait felhasználva az 1901–2000 időszakra alkalmazta. Számításaik alapján Európa éghajlata 5 éghajlati típussal leírható, melyből három a kontinens több mint 75%-át jellemzi. Hazánkban Köppen módszerét először *Réthy* (1933), napjainkban *Fábián és Matyasovszky* (2010) vizsgálta. Eredményeik alapján elmondható, hogy hazánk éghajlatának részletes elemzésére nem alkalmas, mivel az egyes területek közötti különbségek nem mutatkoztak meg. Tehát ebből következtethetünk arra, hogy egy nagyobb kiterjedésű térség esetén sem adja a lehető legrészletesebb éghajlati leírást.

Holdridge és Thornthwaite módszerében már felismerte az evapotranszpiráció szerepének fontosságát az éghajlat leírásában. Thornthwaite módszerében a potenciális evapotranszpirációt a léghőmérséklet és a nappalok hosszának figyelembevételével számítja. Emellett a talaj szerepét is figyelembe veszi, ahol a terület vízháztartását becsüli. Ennek becslése a csapadék és a potenciális evapotranszpiráció mérlege alapján történik. Hasonlóan Köppen éghajlat-osztályozásához széleskörűen alkalmazták nemzetközi viszonylatban (pl. *Garnier*, 1950; *Villmow*, 1962). Hazánkban az alkalmazása szintén nagy múltra tekint vissza. Először *Berényi* (1943), ezt követően *Szesztay* (1958), *Kakas* (1960) és *Szász* (1963) vizsgálta. Napjainkban a jövőre vonatkozó alkalmazása is megtörtént. Először ezt *Drucza* (2008) vizsgálta Magyarország területére *Bartholy et al.* (2003, 2004) becsült hőmérséklet és csapadék adatai alapján. *Szelepcsényi* (2012) ENSEMBLES modell eredmények alapján a Kárpát-medence térségére alkalmazta. A nemzetközi és hazai eredmények alapján elmondható, hogy egy térség részletes klímájának leírására alkalmas, ugyanakkor a módszer komplex, bonyolult számításokat tartalmaz, amelyek megnehezítik érthetőségét.

Holdridge (1947, 1967) éghajlat-osztályozásában szintén az évi potenciális evapotranszpirációt veszi figyelembe, amit havi hőmérsékleti értékek alapján számít ki. Ennek alapján életformákat alakít ki és az ehhez tartozó ökológiai egységeket alkalmazza. Számos nemzetközi alkalmazása közül példa az Egyesül Államok (*Lugo et al.*, 1999) illetve Kína (*Pan et al.*, 2003) éghajlatának leírására. Hazánkban először *Szelepcsényi et al.* (2009a, b) alkalmazták. Eredményeik alapján alkalmas egy térség részletes éghajlatának leírására.

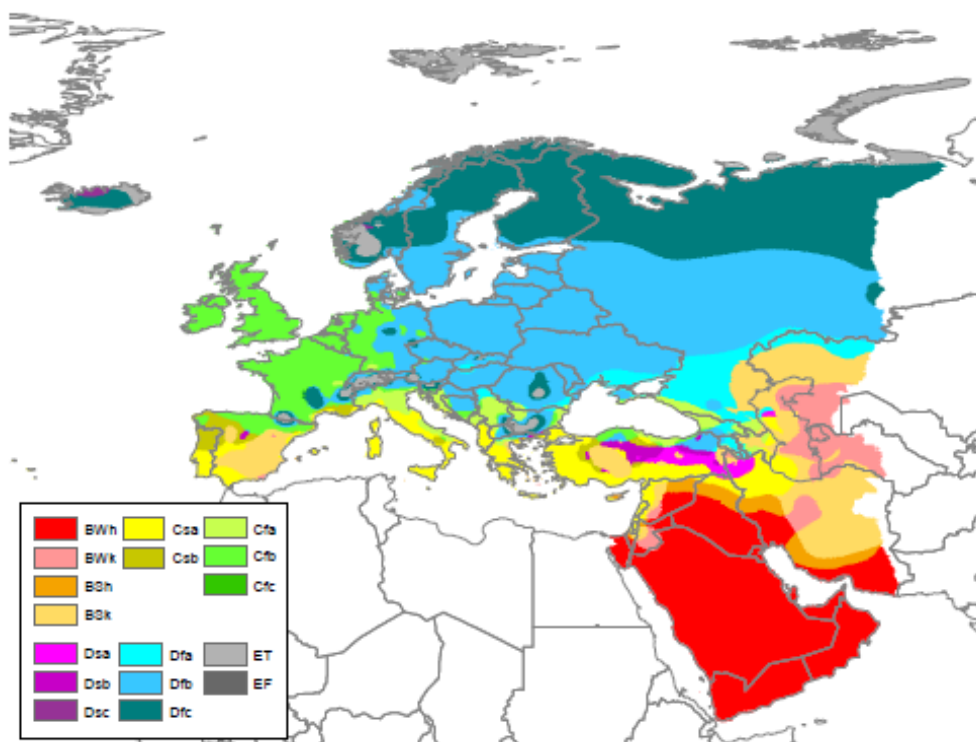
Feddema (2005) módszerét a Thornthwaite-féle klímaosztályozás módosításaként értelmezhetjük. Célja az volt, hogy e klímaosztályozást egyszerűbbé tegye. Véleménye

szerint Thornthwaite két szezonális faktora nehézkesen kezelhető, ezért egy faktorba egyszerűsítette őket, valamint az éghajlati osztályok számát is csökkentette. A klímátípusok betűs elnevezéseit kiiktatta, ugyanis e jelölések nem feltétlenül alkalmasak egy adott térség klímájának értelmezéséhez. Feddema (2005) módszerét globális léptékben dolgozta ki, az egész Föld éghajlatát bemutatva. Hazai vonatkozásban Ács *et al.* (2014) vizsgálta, amely munkában Feddema módszerének mezoskálájú felosztása is megtörtént. Az eredmények alapján elmondható, hogy a módszer alkalmas kisebb térségek lokális klímájának elkülönítésére, amely már a globális skála alkalmazásával is megállapítható.

2.2 Európa éghajlata a XX. században Köppen és Thornthwaite éghajlat-osztályozása alapján

Kontinensünk éghajlatának Köppen-szerinti leírására Peel *et al.* (2007) munkáját vettem alapul (1. ábra). Számításaikhoz a GHCN 2.0 adatbázis havi csapadék és hőmérséklet állomási mért adatait használták (Peterson és Vose, 1997) és Köppen legutolsó publikált éghajlat-osztályozását alkalmazták (Köppen, 1936). A mérsékelt és boreális éghajlatokat elkülönítő leghidegebb hónap hőmérsékletét $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ helyett $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra változtatták Russel (1931) alapján.

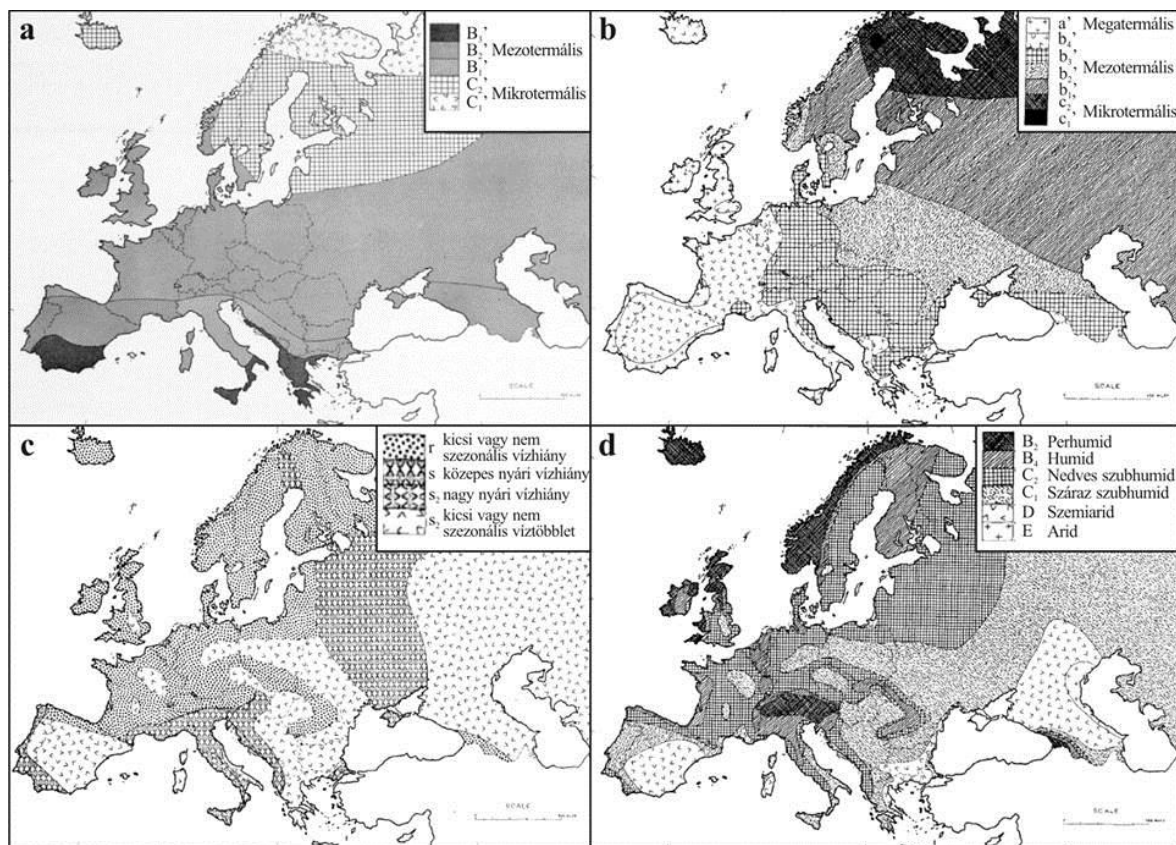
Az 1. ábra alapján elmondható, hogy Európában Köppen (1936) szerint négy fő klímaövezet található. Területi eloszlása alapján a domináns klímátípus a boreális D (44,4%), amelyet a száraz B (36,3%), a mérsékelt C (17%) majd a hideg E (2,3%) követ (Peel *et al.*, 2007). Németországtól keletre illetve az észak-északkeleti területeken Európa éghajlatát Df klímátípusok jellemzik, ahol f az egyenletes évi csapadékeloszlást jelenti. Cf típusok Németországtól nyugatra, Franciaország, a Brit-szigetek illetve Spanyolország északi területein fordulnak elő. A mediterrán térséget leginkább a Cs (s-csapadékos tél, száraz nyár) és BS (S-sztyepp) klímátípusok jellemzik. Hideg éghajlattípusok a Skandináv-hegység, az Alpok, a Pireneusok, a Balkán hegység illetve a Kárpátok kis területén fordulnak elő. Ezen hideg típusok leginkább az ET, azaz tundra éghajlathoz tartoznak. Az EF, azaz az állandó fagy éghajlata legnagyobb területi kiterjedésben a Skandináv-félsziget nyugati partvidékén figyelhető meg.



1. ábra: Európa éghajlata Köppen (1936) alapján (Peel et al., 2007)

Európa éghajlatának leírása *Thorntwaite* (1948) módszere szerint *Villmow* (1962) alapján kerül bemutatásra. Villmow a miltoni Blue Hill Meteorológiai Obszervatórium mérési eredményeit használta fel. Munkájában *Thorntwaite* négy éghajlati mutatóját külön ábrázolta kontinensükre (2. ábra). A vízellátottságot tekintve elmondható, hogy *Thorntwaite* Európa területére változatos, az egyes térségeket elkülönítő osztályozást ad. Módszere alapján kontinensünk legtöbb területének vízellátását a C_1 száraz szubhumid illetve C_2 nedves szubhumid típusok határozzák meg. A C_1 típus legnagyobb területen Spanyolországban, Lengyelországban, Ukrajnában illetve a Balkán-félszigeten jellemző. A C_2 típus főként Franciaország, Németország, a Kelet-európai-síkság illetve a Skandináv-félsziget térségében fordul elő. Az Atlanti-óceán partvidéke mentén megjelenik a humid (B_1 és B_2) vízellátottság is. A mediterrán térségben, főként a Pireneusi-félszigeten a szemiárid (D) típus is megjelenik.

A hőellátottság esetében közel sem beszélhetünk olyan változatosságról, mint amelyet az előző mutató esetén láthattunk. A Skandináv-félsziget és a Kelet-európai-síkság térségben a mikrotermális (C_1' , C_2') hőellátottság a jellemző. Európa többi területén a mezotermális (B_1' , B_2' , B_3') hőellátottság dominál. A B_2' és B_3' típusok a mediterrán térségre jellemzők, ahol a B_3' típus közvetlenül a Földközi-tenger partvidékén jelenik meg.



2. ábra: Európa éghajlata Thornthwaite (1948) módszere szerint Villmow (1962) alapján (a: hőellátottság, b: a hőellátottság szezonális jellege, c: vízellátottság, d: vízellátottság szezonális jellege)

A vízellátottság szezonális jellegének esetében Európa területén az r (kicsi vagy nem szezonális vízhiány), az s (közepes nyári vízhiány), az s₂ (nagy nyári vízhiány) és a d (kicsi vagy nem szezonális víztöbblet) jellegek fordultak elő. Az r típus Európa keleti részein, főként Nagy-Britannia, Franciaország, Németország, a Kárpátok és a Skandináv-félsziget területén jellemző. A közepes nyári vízhiány főként a mediterrán térségben, a Kelet-európai-síkságon fordul elő, de a Skandináv-félsziget területén is megjelenik. A nagy nyári vízhiány közvetlenül a Földközi-tenger partvidékén fedezhető fel. A d típus jelentős területi kiterjedésben a Pireneusi-félszigeten, a Kárpátokat körülvevő illetve a Balkán-félszigeten mutatkozik meg. A hőellátottság szezonális jellegének területi eloszlása délnyugatról északkelet felé haladva a megatermálisról (a') a mezotermálison (b₄', b₃', b₂', b₁') keresztül, a mikrotermálisig (c₂', c₁') zonális jellegűt öltve változik.

2.3 XXI. századi modell eredmények Európára vonatkozóan

Az éghajlati modellezéssel foglalkozó tanulmányok hosszú sora foglalkozik az egyes állapothatározók, illetve paraméterek várható alakulásával. Talán az egyik legfontosabb kérdés, a hőmérséklet- és csapadékváltozás mértéke valamint iránya. *Giorgi et al.* (2004) a 2071–2100-as időszakot vizsgálták az 1961–1990-es időszakhoz viszonyítva. Munkájukban a HadAM3H és RegCM modell eredményeivel dolgoztak, melyek az A2, illetve a B2 scenáriót használják. Az IPCC¹ 2001-es jelentése szerint az A2 forgatókönyvcsalád folyamatosan növekvő népességre számít. Továbbá a gazdasági növekedés régióorientált és a technológiai változás térben változatos és lassú. A B2 forgatókönyvcsalád család esetén a hangsúly a gazdasági, társadalmi és környezeti fenntarthatóság helyi megoldásain van. A globális népesség folyamatosan nő, de az A2 scenárióhoz képest kisebb mértékben, a gazdasági fejlődés szintje közepes és a technológiai változás kevésbé gyors (*IPCC*, 2001). Az időszakok közötti csapadék illetve hőmérséklet különbségeket a téli (december–február) illetve nyári (június–augusztus) időszakra mutatták be.

Mindkét scenárió esetén a téli időszakban a hőmérséklet nyugatról keleti irányban növekszik, zonális jelleget öltve. Az A2 scenárió esetén 2–5 °C, a B2 scenárió esetén 1–4 °C között változik. A legmagasabb értékek Európa keleti területein helyezkednek el. A nyári időszakban a változás mértéke ugyanekkora, különbség a területi eloszlásban van. Ebben az időszakban ugyanis a legnagyobb változások a Pireneusi-félsziget térségére tehetők és északkeleti irányba haladva az értékek csökkennek, elérve a Kelet-európai-síkságon található minimumukat.

A csapadékváltozás esetén *Giorgi et al.* (2004) a napi csapadék változását vizsgálták. Mindkét scenárió esetében a téli időszakban kb. az é. sz. 45°-tól északra a csapadék mennyisége 0,5 mm/napot növekszik, a mediterrán területeket a csapadékcsökkenése jellemzi (megközelítőleg 0,1 mm/nap). A nyári időszakban a csapadéknövekedés Európa nyugati területein jellemző, a kontinentális területeken a csapadék csökkenni fog, ezen változások mértéke megegyezik a téli időszakban látottakéval.

Rowell (2005) munkájában a HadAM3P modellel dolgozott, amely az A2 scenáriót alkalmazza, hasonlóan a 2071–2100-as és az 1961–1990-es időszakok különbségét vette. A hőmérséklet- és csapadékváltozásra kapott eredményeit évszakonként mutatta be. A téli és

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (Éghajlatváltozási Kormányközi Testület)

tavaszi évszakokban 3–5 °C-os változást kapott Európa területére. A nyári időszakra vonatkozó eredményeiben észak-déli irányú zonalitást kapott a hőmérsékletváltozásra. Az é. sz. kb. 48°-tól délre a hőmérsékletváltozás 7–9 °C között alakul, míg Európa legészakibb területein 3 és 5 °C között. Az őszi időszakban, Európában a tengerparti területeken 3–5 °C, míg a belső kontinentális területeken 5–7 °C a változás.

A csapadékváltozás vizsgálatánál eredményeit az 1961–1990-es időszakhoz viszonyítva százalékos értékben adta meg. A téli időszakban Európa legbelső területeit leszámítva 15–45%-os csapadéknövekedés várható. A többi évszak esetén Európa legtöbb, leginkább déli területeit a csapadék csökkenése határozza meg. A csapadékcsökkenés a nyári időszakban a legnagyobb, a mediterrán területeken 45 és 60% közötti.

Christensen és Christensen (2007) a PRUDENCE projekt regionális klímamodell eredményeivel dolgoztak. A projekt 2001-től 2004-ig tartott, az ENSEMBLES projektet megelőzve. Munkájukban a projektben szereplő valamennyi modell eredményét bemutatták a téli és nyári időszak hőmérséklet- illetve csapadékváltozására. A változások területi eloszlásban és mértékben hasonlóak az előzőekhez. A modellek közül mindkét vizsgált időszakban a legnagyobb hőmérsékletváltozást a HadAM3P, a legkisebbet a CLM modell adta. A csapadékváltozás tekintetében a modellek hasonló eredményeket adtak, szélsőséges eredményeket nehéz találni. Egyedül a CHRM és RACMO modellek tűnnek ki, amelyek a nyári időszakban a mediterrán térségben jelentős területi kiterjedésben 50% feletti csapadékcsökkenést jeleznek előre.

3. Felhasznált adatok

3.1 A CRU TS 1.2 adatbázis

Európa XX. századi éghajlatának bemutatása során a CRU TS 1.2 adatbázis hőmérséklet és csapadék adataival dolgoztam. Az adatbázist a Kelet-Angliai Egyetem Éghajlatkutató Osztálya (Climatic Research Unit) állította össze. Az adatbázisban öt különböző klímaváltozó értékei szerepelnek: középhőmérséklet, napi hőmérséklet-ingadozás, csapadékösszeg, gőznyomás és felhőborítottság. Ezen változók havi idősorait a XX. századra vonatkozóan 10'-es horizontális felbontással Európát lefedve tartalmazza (Mitchell et al., 2004).

Vizsgálatomban 31143 rácsponton dolgoztam, melyeknek rácsávolsága megközelítőleg 18 km. A vizsgált terület a nyugati hosszúság 11°-a és a keleti hosszúság 32°-a között, valamint az északi szélesség 34°–72°-a között található. A száz éves idősor (1901–2000) hőmérséklet és csapadék értékeiből harminc éves átlagokat képeztem és erre az átlagokra készültek a további számítások. A XX. század két időszak átlagát nézve kerül bemutatásra: a század eleji 1901–1930-as és a század végi 1971–2000-es.

3.2 Az E-OBS adatbázis

A XXI. századra vizsgálatában felhasznált modell adatokon a hibák minimalizálásának érdekében bias hibakorrekciót végeztem. Ehhez olyan adatbázisra volt szükség, amelyben folytonos idősorban állnak rendelkezésünkre napi adatok, valamint horizontális felbontása közel megegyezik az alkalmazott regionális klímamodellekével. Ezt figyelembe véve az E-OBS adatbázis európai mérési adatok alapján előállított értékeit alkalmaztam. Az adatbázis létrehozásánál elsődleges szempont volt, hogy direkt módon lehetővé tegye a modell eredményekkel való összehasonlítást. Összeállítása az ENSEMBLES projekt keretében valósult meg ezzel segítve az RCM-ek validációját, így a klímaváltozást tanulmányozó kutatásokat (Haylock et al., 2008).

Az E-OBS adatbázis az 1950–2010 időszakra tartalmaz napi csapadék, minimum és maximum hőmérséklet, középhőmérséklet adatokat valamint kiegészült légnyomás adatokkal (van der Besselaar et al., 2011). A nagy felbontású, azaz 25x25 km-es adatsor előállítása az állomási mért adatok interpolációjával történt. A nyers állomási adatok minőségi teszteken mennek keresztül, így azonosítva a hibás értékeket. Az interpolált értékek előállítása három lépésben történik. Első lépésben az ún. TPS (thin-plate splines)

interpolációs eljárást alkalmazták a havi átlagokra. Ezt követően krigeléssel (lineáris becslési eljárással) a napi anomáliákat határozták meg. Az interpolált havi átlagokon alkalmazták az interpolált anomáliákat, így megkapva a végső eredményt (*Haylock et al.*, 2008).

3.3 ENSEMBLES szimulációk

Európa várható, XXI. századi éghajlatának megadása során az ENSEMBLES projekt keretében megvalósuló regionális klímamodellek eredményeivel dolgoztam. A projekt az Európai Unió 6. Keretprogramjának finanszírozásában valósult meg, 2004 szeptemberétől 2009 decemberéig tartott. A projektet a UK Met Office vezette, a programban 20 ország 66 intézménye vett részt (*van der Linden és Mitchell*, 2009).

1. táblázat: A vizsgálatban felhasznált regionális klímamodellek

Meghajtó GCM	RCM	Alkalmazó intézet	Referencia publikáció
HadCM3Q	CLM	ETHZ ²	<i>Böhm et al.</i> , 2006
	HadRM3Q	METEO-HC ³	<i>Collins et al.</i> , 2005
	RCA	SMHI ⁴	<i>Jones et al.</i> , 2004
ECHAM5	RegCM	ICTP ⁵	<i>Pal et al.</i> , 2007
	RACMO2	KNMI ⁶	<i>Lenderink et al.</i> , 2003
	REMO	MPI ⁷	<i>Jacob et al.</i> , 2001
	HIRHAM5	DMI ⁸	<i>Christensen et al.</i> , 2007
	HIRHAM		<i>Christensen et al.</i> , 1996
ARPEGE	ALADIN	CNRM ⁹	<i>Radu et al.</i> , 2008

² Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (Zürichi Szövetségi Technológiai Intézet)

³ Met Office Hadley Centre (Hadley Meteorológiai Központ)

⁴ Swedish Meteorological and Hydrological Institute (Svéd Meteorológiai és Hidrológiai Intézet)

⁵ International Centre for Theoretical Physics (Nemzetközi Elméleti Fizikai Központ)

⁶ Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (Holland Királyi Meteorológiai Szolgálat)

⁷ Max Planck Institut (Max Plack Intézet)

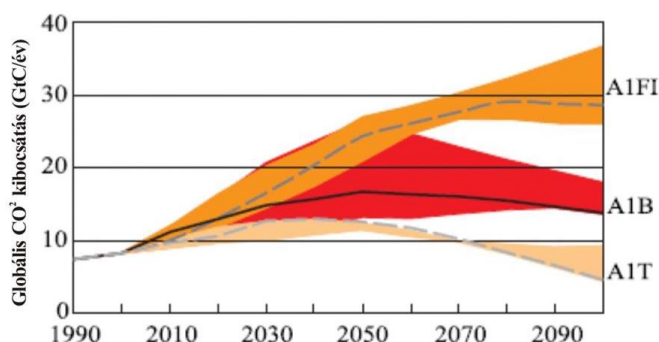
⁸ Danmarks Meteorologiske Institut (Dán Meteorológiai Intézet)

⁹ Centre National de Recherches Météorologiques (Nemzeti Meteorológiai Kutatóközpont)

Vizsgálatomban 10 regionális modell eredményeit használtam fel. A felhasznált modellek legfontosabb adatait az 1. táblázat tartalmazza. A projekt keretében több szimuláció is készült, azonban 11 regionális modellel végeztek csak tranziens, 2100-ig tartó számításokat, melyek adatai teljesen egészen elérhetők. A modelleknél három különböző globális éghajlati modell (GCM) biztosítja a kezdő- és peremfeltételeket. Az ALADIN és HIRHAM modellek esetén a francia ARPEGE, a HadRM3Q, CLM és RCA modelleknél a brit HadCM3Q valamint az RCA, RegCM, RACMO2, REMO, HIRHAM5 modellek esetében a német ECHAM5.

Mindegyik modell esetében a horizontális felbontás 25 km továbbá valamennyi az A1 forgatókönyv-család A1B alaptípusát alkalmazza. Az A1 forgatókönyv-család szerint gyors gazdasági növekedés valamint új és hatékony technológiák bevezetése várható. A világ népességének csúcspontja a század közepén következik be, ezt követően csökkenésnek indul. Az egyes régiók közötti jövedelmet illető regionális különbségek mérséklődni fognak. A technológiai változás alternatív iránya alapján három altípust különböztetünk meg. Az A1B scenárió a fosszilis energiahordozók valamint a megújuló források egyensúlyát feltételezi (IPCC, 2001).

Az A1B scenárió esetében a globális szén-dioxid kibocsátás 2050-re éri el a maximumát, ami kb. 16 GtC/év ezután mérsékelt csökkenés veszi kezdetét (3. ábra). Meg kell említeni, hogy ezen scenárió szórása igen nagy mind a megújuló energiaforrások alkalmazását feltételező A1T scenárióhoz mind a fosszilis energiahordozók használatát feltételező A1F1 forgatókönyvhöz képest (3. ábra).



3. ábra: Teljes globális CO₂ kibocsátás 1990-től 2100-ig az A1 forgatókönyvcsalád egyes típusai esetén (IPCC, 2001)

4. Alkalmazott módszerek

4.1 Feddema éghajlat-osztályozási módszere

Feddema (2005) módszerében négy különböző mutatót használ: nedvességi, hőmérsékleti és szezonális mutatót; negyedik mutatóként pedig a szezonális típusát nevezi meg.

A nedvességi tényező

Feddema (2005) módszerének nedvességi indexe a rendelkezésre álló vízkészleten alapul. Ez egy korszerűsített formája a hagyományos *Thornthwaite* (1948) féle formulának. Az indexet *Willmott és Feddema* (1992) vezették be:

$$I_m = \begin{cases} 1 - PET/P, & \text{ha } P > PET \\ 0, & \text{ha } P = PET \\ P/PET - 1, & \text{ha } P < PET \end{cases} \quad (1)$$

ahol P a csapadék és PET a potenciális evapotranszpiráció. A nedvességi index értéktartománya -1 (nincs csapadék) és +1 (nincs PET) között változik. A 0 érték azt mutatja, hogy az éves vízbevétel (P) megegyezik az éves vízkiadással (PET).

A klasszifikáció az éves I_m értékek alapján hat különböző nedvességi kategóriát különít el (2. táblázat).

2. táblázat: Vízellátottsági kategóriák *Feddema* (2005) osztályozásában

Vízellátottsági kategóriák	Nedvességi index (I_m)
nagyon nedves	0,66–1
nedves	0,33–0,66
nyirkos	0–0,33
száraz	-0,33–0
szemiarid	-0,66–(-0,33)
arid	-1,00–(-0,66)

A termikus tényező

A *Thornthwaite* (1948) féle klímaosztályozáshoz hasonlóan ez az index is potenciális evapotranszspiráció alapú. A PET-et *Thornthwaite* módszerével becsüli. *Feddema* (2005) hat hőellátottsági kategóriát különböztet meg 300 mm-es léptéket alkalmazva (3. táblázat).

3. táblázat: Hőellátottsági kategóriák *Feddema* (2005) osztályozásában

Hőellátottsági kategóriák	Éves PET (mm)
forró	>1500
nagyon meleg	1200–1500
meleg	900–1200
hűvös	600–900
hideg	300–600
fagyos	0–300

A szezonális tényező

A szezonális kezelés eltérő, mint az előző osztályozásokban. *Carter és Mather* (1966) szerint a száraz és nedves periódusok intenzitása hat a szezonális mértékére. Szerintük a szezonális index a havi I_m értékek évi ingadozása alapján becsülhető. Maximális értéke 2, ami azt jelenti, hogy egy hónapban nincs csapadék, míg egy másik hónapban a PET értéke nulla. *Feddema* (2005) osztályozásában négy kategória van. (4. táblázat).

4. táblázat: A szezonális kategóriái *Feddema* (2005) osztályozásában

A szezonális kategóriái	Éves I_m változás
kis	0–0,5
közepes	0,5–1
nagy	1–1,5
extrém	1,5–2

A szezonális típusa

A havi P és PET értékek évi változásának arányát használva, Feddema a szezonális három típusát különíti el. Ha ez az arány kisebb, mint 0,5 akkor a P szinte állandó (egyenletes csapadékjárás) egész évben, míg a PET legalább kétszer annyit változik, mint a P. Hasonlóan, ha ez az arány nagyobb, mint 2, akkor a P változik legalább kétszer annyit az év során, mint a PET (Feddema, 2005). Ezen extrém esetek között a P és a PET kombinált szezonális típusa jellemző (5. táblázat).

5. táblázat: A szezonális típusai Feddema (2005) osztályozásában

A szezonális típusai	Éves P változás/éves PET változás
hőmérséklet	<0,5
hőmérséklet és csapadék	0,5–2
csapadék	>2

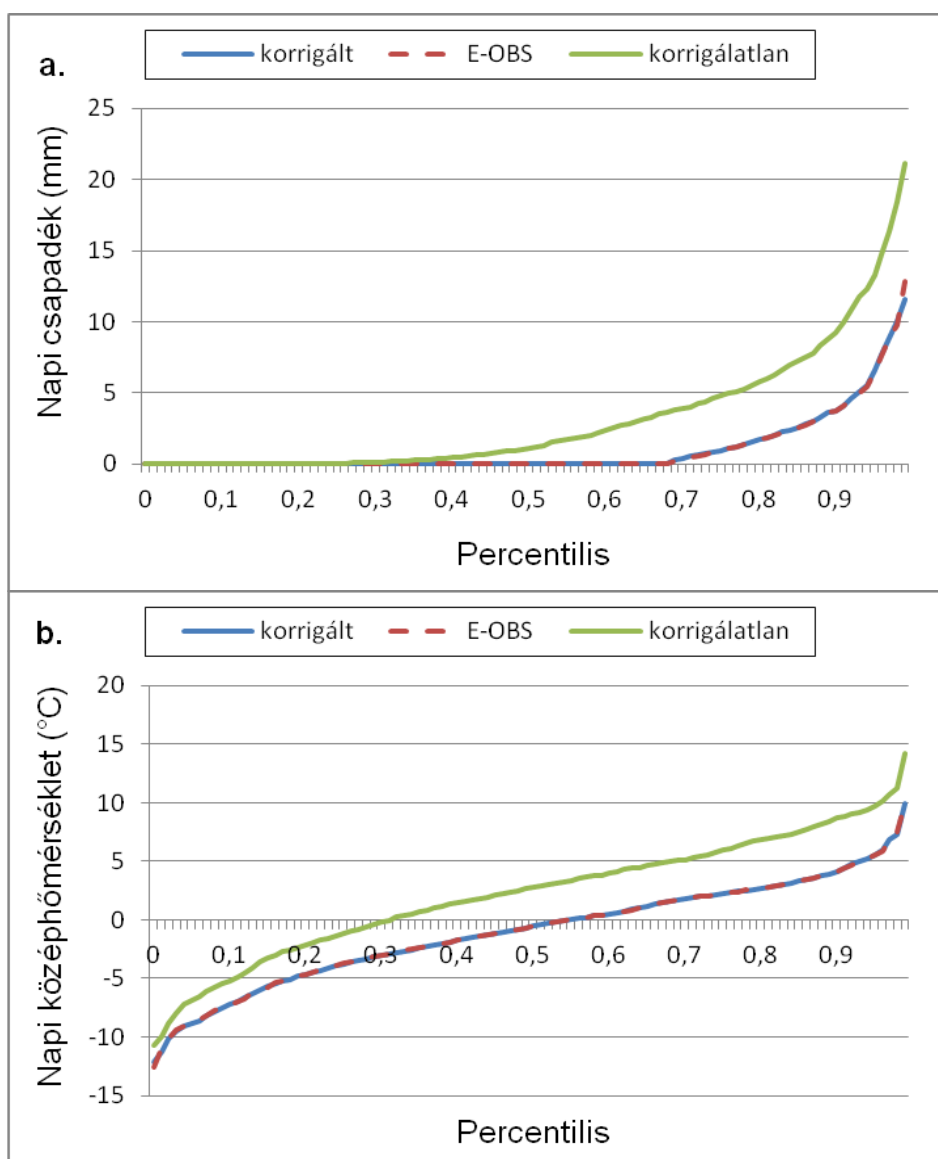
4.2 Bias hibakorrekción eljárás

Az éghajlati modellek nyers outputjainak alkalmazása nem nyújt tökéletes végeredményt, hiszen összetett éghajlati folyamatokat írnak le. Gyakran megfigyelhetők szisztematikus hibák a modellek eredményeiben. A becslés hibájának minimalizálásához számos korrekciós eljárás ismeretes. Az ilyen jellegű korrekciók egyike a bias hibakorrekción, amelyet széles körben alkalmaznak a klímamodellezés során (Ehret et al., 2012).

Az alkalmazott korrekciós módszer azon alapul, hogy egy adatsor statisztikai tulajdonságait teljes mértékben leírhatjuk annak valószínűségi sűrűség- és eloszlásfüggvényével. Tehát két adatsor statisztikailag azonosnak tekinthetünk, ha sűrűség- és eloszlásfüggvényeik megegyeznek (Formayer és Haas, 2009). Így ha egy adatsort statisztikai tulajdonságai alapján akarunk korrigálni, el kell érünk, hogy valószínűségi eloszlásfüggvénye a mérési eredményekével azonos legyen. A módszer elvégzéséhez tehát szükséges, hogy egy adott időszak mérési eredményei is a rendelkezésünkre álljanak. Az azonos időszakra a modell és a mérési eredmények valószínűségi eloszlásfüggvényét korrekciós faktorokkal egymáshoz illesztjük és feltételezzük, hogy a hiba időben

változatlan marad. A korrekciós faktorokat a hőmérséklet esetén a percentilisek különbsége, a csapadék esetén a percentilisek hányadosa alapján számítjuk ki.

Munkámban az E-OBS adatbázis 1961–1990 időszakra vonatkozó időszora alapján végeztem el a korrekciót a napi hőmérséklet és csapadék adatokra a fent leírt módon. A korrekció elvégzéséhez az RCM, illetve az E-OBS adatok 1 %-onként meghatározott percentilisét és azoknak különbségét illetve hányadosát számítottam ki havonta, rácspontonként, az említett időszakra. A kiszámított különbségek és hányadosok alapján történt az 1951–2100 időszakra a modell eredmények korrigálása, a hiba állandóságát feltételezve.



**4. ábra: Az E-OBS adatsor, illetve a korrigált és korrigálatlan modell adatsorok percentilisei az 1961–1990-es időszakban, kiválasztott rácspontban
a. csapadék b. hőmérséklet esetén (modell: HIRHAM5)**

A módszer szükségességének céljából bemutatásra kerül a napi csapadék és hőmérséklet adatok percentilisét bemutató diagram (4. ábra). A példa a k. h. 19,125° és az é. sz. 47,625° rácsponthoz tartozó januári hőmérséklet és csapadék adatokat mutatja. A diagramon a Danmarks Meteorologiske Institut (Dán Meteorológiai Intézet) által futtatott HIRHAM5 modell output adatainak, valamint az E-OBS adatbázis mérési eredményeinek illetve az adatbázis alapján korrigált modelleredmények percentilisei láthatók. A 4. ábra alapján elmondható, hogy a modellben közel kétszer gyakrabban fordult elő csapadék, mint a mérésekben, valamint 2–5 mm-rel becsüli felül azokat. A hőmérséklet esetén a modellben 1–5°C-kal magasabb értékek fordulnak elő. Az ábra alapján láthatjuk, hogy a korrekció sikeres volt, hiszen a korrigált és az E-OBS adatsor percentilisei megegyeznek.

4.3 A Kappa statisztika

A XX. illetve a XXI. század során bekövetkező klímátípus szerinti változások elemzésére a Cohen-féle Kappa együtthatót alkalmaztam (Cohen, 1960). A Kappa statisztikát széles körben alkalmazzák különböző éghajlat-osztályozási térképek összehasonlítására (Monserud és Leemans, 1992, Heikkinen et al., 2006, Seo et al., 2009). A Kappa együttható (κ) az egyes térképek adott osztályozási kategóriái közötti egyezést mutatja. Az együttható kiszámítása Cerletta (2004) alapján:

$$\kappa = \frac{P(A) - P(E)}{1 - P(E)} \quad (2)$$

ahol $P(A)$ az egyezés valószínűsége és $P(E)$ a véletlen egyezés feltételezett valószínűsége. A Kappa együttható kiszámításához szükséges valószínűségek megadásához, ún. kontingencia táblázat alkalmazása szükséges, melynek felépítését Monserud és Leemans (1992) alapján a 6. táblázat mutatja be.

A táblázat megalkotásánál először azokat a valószínűségeket kell megadni, amelyek az egyes térképek kategóriáinak egyezését mutatják. A 6. táblázat esetén ezek P_{ij} valószínűségekkel jelöltek, ahol $i=1,...,n$ és $j=1,...,n$ és n a kategóriák száma. A P_{i0} , ahol $i=1,...,n$ az „A” térképre, míg P_{0j} , ahol $j=1,...,n$ a „B” térképre vonatkozó kategóriák valószínűségének összege.

6. táblázat: A Kappa statisztika kontingencia táblázata *Monserud és Leemans (1992)* alapján

„A” térkép kategóriái	„B” térkép kategóriái				Összeg
	1	2	...	n	
1	P_{11}	P_{12}	...	P_{1n}	$P_{1\bar{o}}$
2	P_{21}	P_{22}	...	P_{2n}	$P_{2\bar{o}}$
...	...	...	...	...	...
n	P_{n1}	P_{n2}	...	P_{nn}	$P_{n\bar{o}}$
Összeg	$P_{\bar{o}1}$	$P_{\bar{o}2}$	...	$P_{\bar{o}n}$	1

A (2) képletben szereplő $P(A)$ és $P(E)$ kiszámítása a bemutatott kontingencia táblázat alapján történik:

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P_{ii} \quad (3)$$

$$P(E) = \sum_{i,j=1}^n P_{i\bar{o}} \cdot P_{\bar{o}j} \quad (4)$$

A Kappa együtttható értéke 0 és 1 között változhat, amikor κ értéke 0 akkor nincs egyezés, a $\kappa=1$ érték esetén pedig teljes az egyezés (*Carletta, 2004*). A Kappa együtttható értékének elemzésére munkám során a *Monserud és Leemans (1992)* által definiált egyezési fokokat alkalmaztam, melyeket a 7. táblázat mutat be.

A Kappa statisztika alkalmazása a XX. és XXI. századra külön történt. A XX. század során az 1901–1930 valamint az 1971–2000 időszakok, míg a XXI. század esetén a referencia időszak (1971–2000) és közeljövő (2021–2050) valamint a referencia időszak (1971–2000) és a távoljövő (2071–2100) között.

Továbbá külön került kiszámításra az egyes mutatókra, azaz a hőellátottságra, a vízellátottságra valamint – összevonva a szezonalitási tényezőt és a szezonalitás típusát – a szezonalitásra. Mindhárom esetben az adott tényezőkön belül a legnagyobb területi kiterjedésben előforduló kategóriákon végeztem el a vizsgálatot. A hőellátottság esetében ezek mindkét évszázad esetén a meleg, hűvös és hideg típusok voltak. A vízellátottság esetében a XX. század során a száraz, nyirkos és nedves, a XXI. század során a szemiárid, száraz és nyirkos típusok fordultak elő a legtöbb területen. Szezonalitás esetében mindkét

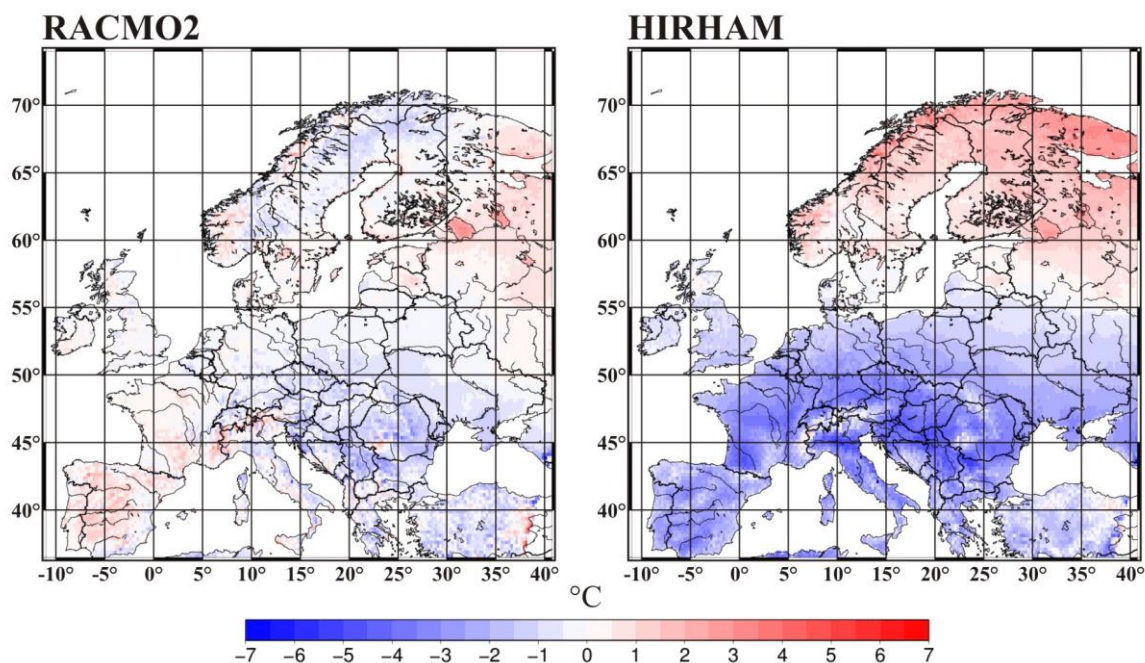
évszázad esetében a hőmérséklet, valamint a hőmérséklet és csapadék extrém és nagy szezonálisitása került kiválasztásra.

7. táblázat: A Monserud és Leemans (1992) által meghatározott egyezési kategóriák a Kappa együttható értéke alapján

Az egyezés foka	Kappa együttható (κ)
nincs	0,00–0,05
nagyon gyenge	0,05–0,20
gyenge	0,20–0,40
korrekt	0,40–0,55
jó	0,55–0,70
nagyon jó	0,70–0,85
kiváló	0,85–0,99
tökéletes	0,99–1,00

4.4 A korrigált és korrigálatlan hőmérséklet adatsorok trendanalízise

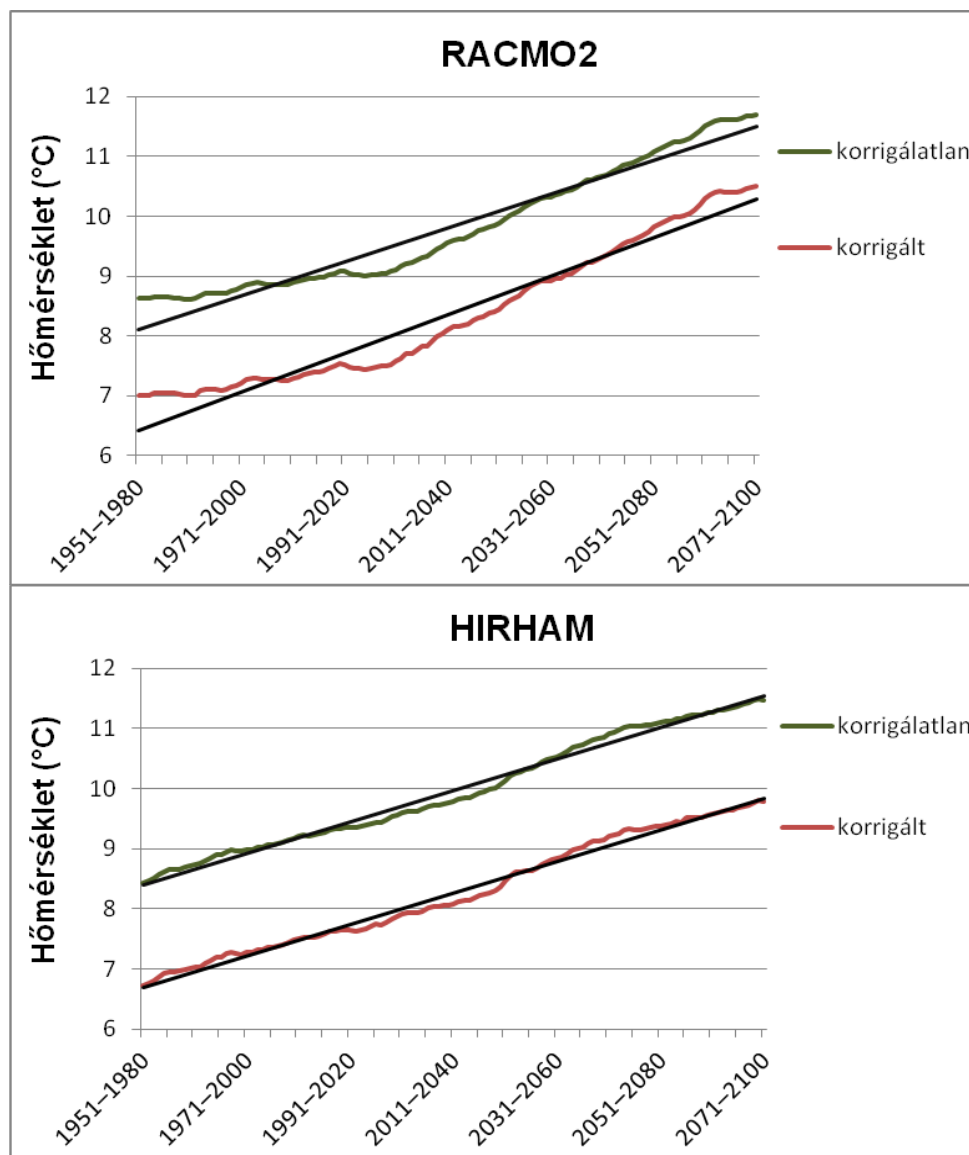
A hőmérséklet értékek adatsorára trendanalízist végeztem el, annak érdekében, hogy az idősorban fedezhető-e fel szabályszerűség. A trend korrigálatlan és korrigált idősorokra került meghatározásra a RACMO2 és a HIRHAM modell esetében. A két vizsgált modell az alapján került kiválasztásra, hogy a 2071–2100-as időszakra vonatkozóan melyik mutatta a legkisebb illetve a legnagyobb eltérést a korrigált és a korrigálatlan értékek között. A tíz ENSEMBLES modell közül a HIRHAM modell esetében történt a legnagyobb és a legtöbb területet érintő korrigálás. A legkisebb korrigálást pedig a RACMO2 modell eredményei indokolták. Ennek szemléltetése az 5. ábrán látható, amely az említett időszak korrigált és korrigálatlan értékei közötti különbséget mutatja.



5. ábra: A korrigált és korrigálatlan hőmérséklet értékek különbsége a 2071–2100 időszakban a RACMO2 és a HIRHAM modellek esetében

A RACMO2 modellnél a legnagyobb korrigálás Európa középső és délkeleti területein és a Kelet-európai-síkság területén történt. Utóbbi esetében a legtöbb területen körülbelül 2–4 °C-os korrigálás volt szükséges pozitív irányba. Negatív irányú korrigálás a legnagyobb mértékben Európa délkeleti területein valamint a Skandináv-félszigeten történt, ez az előzőhöz képest kisebb mértékű, megközelítőleg -1 és -3 °C közötti. A HIRHAM modellnél az é. sz. 55°-tól északra kisebb területektől eltekintve pozitív irányba történt a korrigálás, amelynek mértéke észak felé haladva növekszik. Európa legészakiabb területein meghaladja az 5 °C-ot. Látható, hogy a HIRHAM modell esetében Európa többi területén negatív irányba történő korrekció volt indokolt. Ezek közül a legjelentősebben korrigált területek Európa középső részén találhatók, az Alpokat és a Kárpátokat övező síkságok területén, ahol -3 és -6 °C közötti értékeket láthatunk.

A 6. ábrán a két vizsgált modell korrigált és korrigálatlan hőmérséklet adatai láthatók a hozzájuk tartozó lineáris trenddel. Az értékek 121 darab 30 éves átlagra vonatkoznak, azaz az 1951–2100-as időszakot fedik le.



6. ábra: A korrigált és korrigálatlan hőmérséklet értékek időszora és trendje a RACMO2 és a HIRHAM modellek esetében

Az eredmények alapján mindegyik modell esetében, a korrekció elvégzésétől függetlenül növekvő trendről beszélhetünk. A trendegyütthatók értéke, azaz az illesztett regressziós egyenes meredeksége a RACMO2 modell esetén a korrigálatlan adatokra $0,0282\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{év}$, míg a korrigáltra $0,0321\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{év}$. A HIRHAM modellnél ez az érték mindkét esetben $0,0262\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{év}$. A lineáris ($y = ax + b$) trendegyütthatókra szükséges megvizsgálni, hogy szignifikánsan eltérnek-e 0-tól (Bartholy et al., 2013). Ennek érdekében t-próbát végzünk, amelyhez az A próbastatisztika értékét kell megadni. Ennek kiszámítása a következő:

$$A = \frac{a \cdot \sqrt{(N-2) \cdot \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (5)$$

ahol a trendegyüttható, $N-2$ szabadsági fok (N a mintaelem szám), X_i és Y_i a mintaelemek valamint $\bar{X}$ és $\bar{Y}$ a mintaelemek átlaga.

A következőekben az A próbastatisztika értékét kell összehasonlítani a 119 szabadsági fokú t -eloszlás 0,95 valószínűségekre vonatkozó kritikus értékével (t_{krit}), amely 1,98 (*Dévényi és Gulyás, 1988*). Ha A próbastatisztika eredménye nagyobb, mint a kritikus érték, akkor a változás szignifikánsan eltér 0-tól. A kapott eredményeket a 8. táblázat szemlélteti.

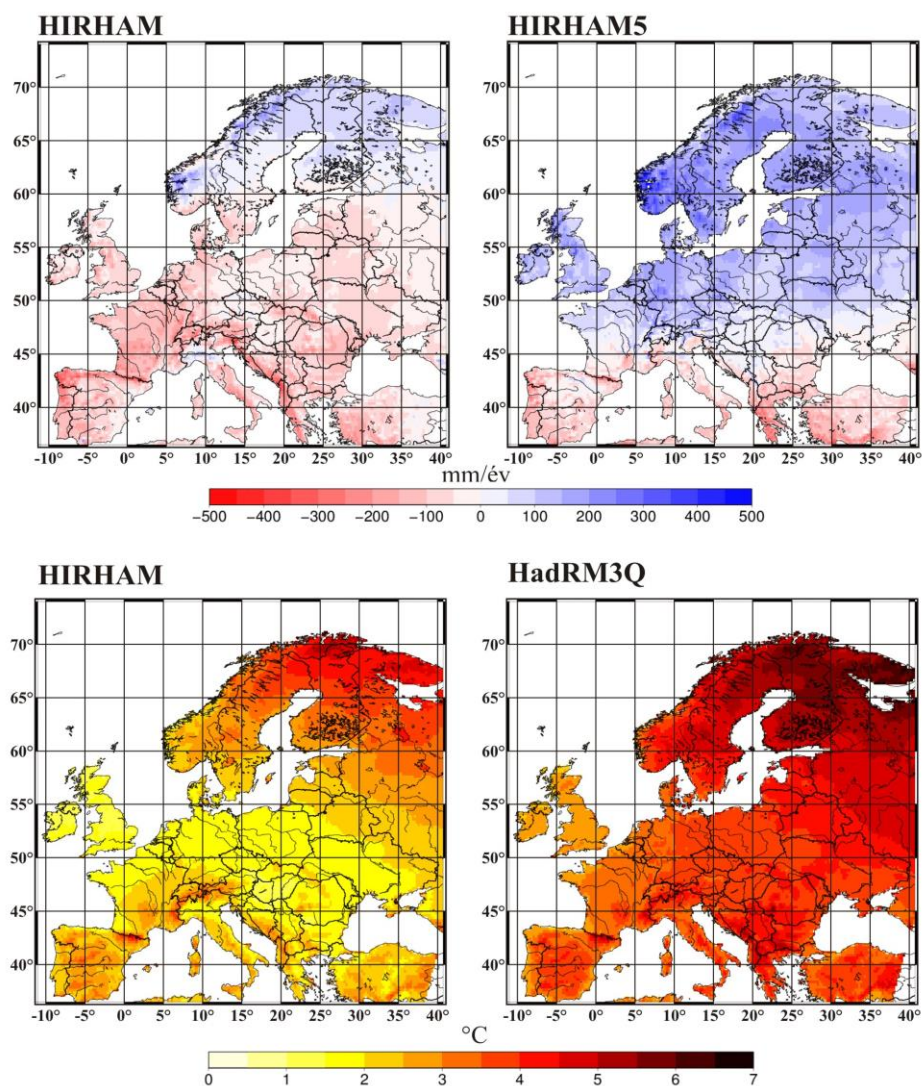
8. táblázat: Az elvégzett t -próba eredményei

RACMO2 korrigálatlan	$A=10,60$	Szignifikáns
RACMO2 korrigált	$A=13,28$	Szignifikáns
HIRHAM korrigálatlan	$A=8,67$	Szignifikáns
HIRHAM korrigált	$A=10,84$	Szignifikáns

Látható, hogy minden esetben A értéke a kritikus értéktől nagyobb (még 0,99 valószínűség mellett is, ahol $t_{krit}=2,617$), így mindkét modell esetében, a korrekciótól függetlenül szignifikánsnak tekinthetjük a változást.

4.5 Szélsőséges modell szimulációk kiválasztása

A kapott eredmények rendszerezésénél az volt a meghatározó szempont, hogy megtaláljuk azokat a modelleket, amelyek szélsőséges változásokat jeleznek előre. Gondolva itt arra, hogy a hőmérséklet esetében melyek azok a modellek, amelyek a legkisebb illetve legnagyobb hőmérsékletváltozást adják. A csapadék szempontjából a legnagyobb mértékű szárazodást, illetve nedvesedést jelző modell megtalálása volt a cél. Ennek érdekében történt a 2071–2100 és az 1971–2000 időszakok hőmérséklet és csapadék értékeinek különbségének kiszámítása valamennyi modell esetében. A 7. ábrán a szélsőséges modell szimulációk hőmérséklet és csapadék különbség értékeit szemléltetjük.



7. ábra: A szélsőséges modellek hőmérséklet és csapadék különbségei a 2071–2100-as és az 1971–2000-es időszakok között

A legnagyobb csapadékcsökkenést a HIRHAM, míg a legnagyobb csapadéknövekedést a HIRHAM5 modell adta. Az ábra alapján elmondható, hogy a csapadékcsökkenés Európa délebbre fekvő területeit jellemzi. A HIRHAM modell esetében Európa középső és északi területeire is kiterjed, egészen az é. sz. 58°-ig. A modell a legnagyobb csapadékcsökkenést a Pireneusok és a Dinári-hegység területén mutatja, amely területeken több mint 400 mm-et csökken az évi csapadék. A csapadék növekedése általánosságban Európa északi területein jellemző. A HIRHAM5 modell eredményeiben a csapadéknövekedés már az é. sz. 48°-tól jellemző. A legnagyobb értékek a Skandináv-félsziget nyugati-délnyugati részére jellemzők, ahol 500 mm körüli csapadéknövekedést tapasztalhatunk.

A hőmérsékletváltozás esetében a legkisebb értékeket a HIRHAM modell eredményei szolgáltatták, a legnagyobb növekedés pedig a HadRM3Q modell esetében adódott. A hőmérsékletkülönbségek területi eloszlása hasonló eredményt mutat mindkét modell esetében. A legnagyobb változás a Skandináv-félsziget északi területén valamint a mediterrán térségben várható. A HIRHAM modell esetében ez kb. 3–5 °C-ra, a HadRM3Q esetében 5–7 °C-ra tehető. Fontos megjegyezni, az utóbbi modell esetében Európa nagy részén 4 °C fölötti a változás. Kivételt képez a Brit-szigetek, ahol mindkét esetben a legkisebb változást tapasztalhatjuk, amely az óceán közelségének tulajdonítható. A HIRHAM eredményei alapján 1–2 °C-os, míg a HadRM3Q szerint 2–3 °C-os változás várható.

Számításaimat a korrigált modell eredményeken végeztem el. Az EU FP7 projekt keretében hasonló vizsgálatokat végeztek az ENSEMBLES modell eredményekkel, azonban ott a korrigálatlan adatsorokra történt a számítás. A hőmérséklet- és csapadékváltozást a téli és nyári hónapokban vizsgálták. A hőmérséklet esetében az eredmények megegyeznek az itt kapottakkal. Ugyanakkor a csapadék változásának vizsgálatánál a legnagyobb csapadéknövekedést jelző modell (HIRHAM5) egyezett meg. A legnagyobb csapadékcsökkenést mutató modell ebben a jelentésben az ALADIN modell volt (*Christensen, 2011*) nem sokkal megelőzve a HIRHAM modellt.

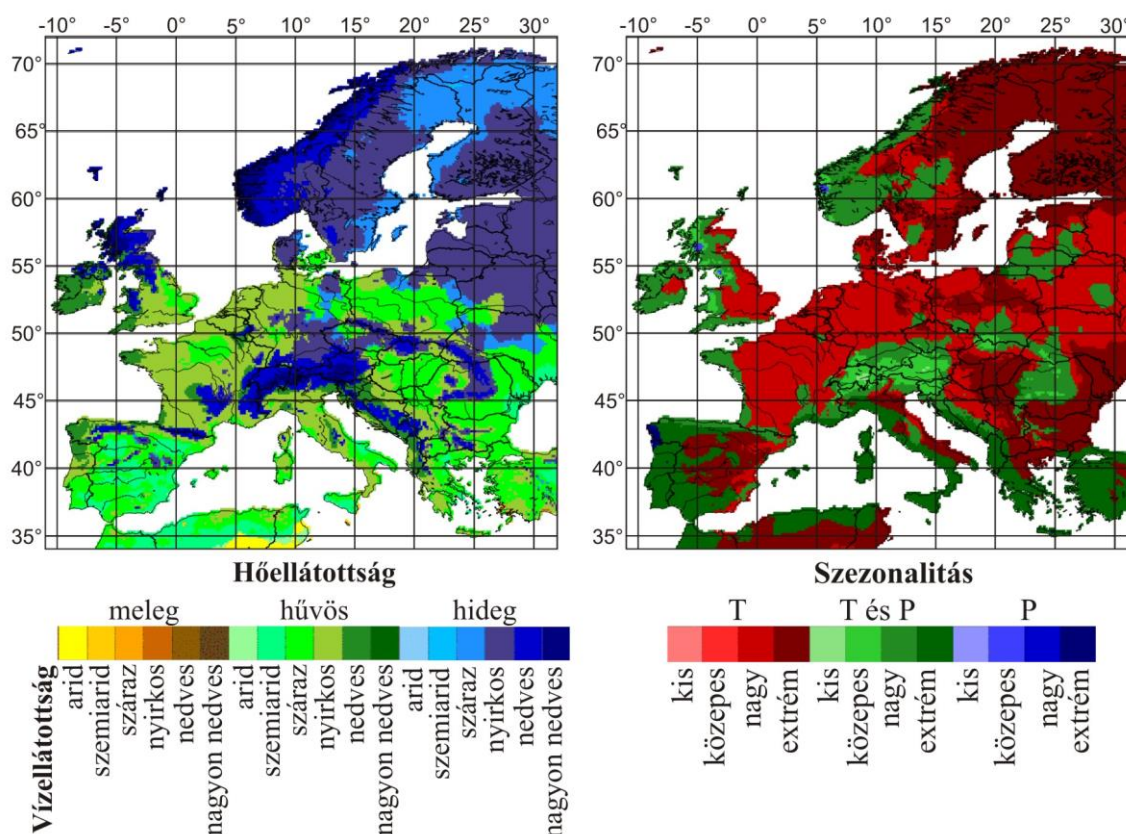
Az előbbieken vázoltak alapján kerültek kiválasztásra a szélsőséges modellek. A csapadék esetében a HIRHAM és HIRHAM5, a hőmérséklet esetében a HIRHAM és a HadRM3Q. Továbbá mind a tíz modell hőmérséklet és a csapadék eredményeiből átlagot képeztem. A felsorolt modellek, illetve az átlag csapadék és hőmérséklet értékeire alkalmaztam Feddema éghajlat-osztályozását.

5. Eredmények

5.1 Európa éghajlata a XX. században

5.1.1 Az 1901–1930-as időszak

Kontinensünk 1901–1930-as időszakra vonatkozó éghajlata a 8. ábrán kerül bemutatásra. A bal oldali ábrán a termikus és nedvességi tényezők, a jobb oldali ábrán a szezonális tényező és a szezonális típusa szerepel.



8. ábra: Európa éghajlata az 1901–1930-as időszakban Feddema (2005) éghajlat-osztályozása alapján

Az ábra alapján elmondható, hogy Európa hőellátottságát a hűvös és a hideg klímátípusok határozzák meg. Hideg klímátípusokat találunk a Brit-szigetek északi és nyugati részén, a Skandináv-félszigeten és a Kelet-európai-síkság területén. A felsorolt területek mellett hideg klímátípusok jelennek meg Európa nagyobb hegységeiben, azaz a Pireneusokban, a Francia-középhegységben, az Alpokban, a Kárpátokban valamint a Dinári-hegység területén. Hűvös klímátípusok főként a síkságok klímáját jellemzik, mint például a Germán- és Lengyel-alföld, az Alföld és a Román-alföld területén. Továbbá kontinensünk legtöbb országának területén a hűvös klímátípusok dominálnak. A

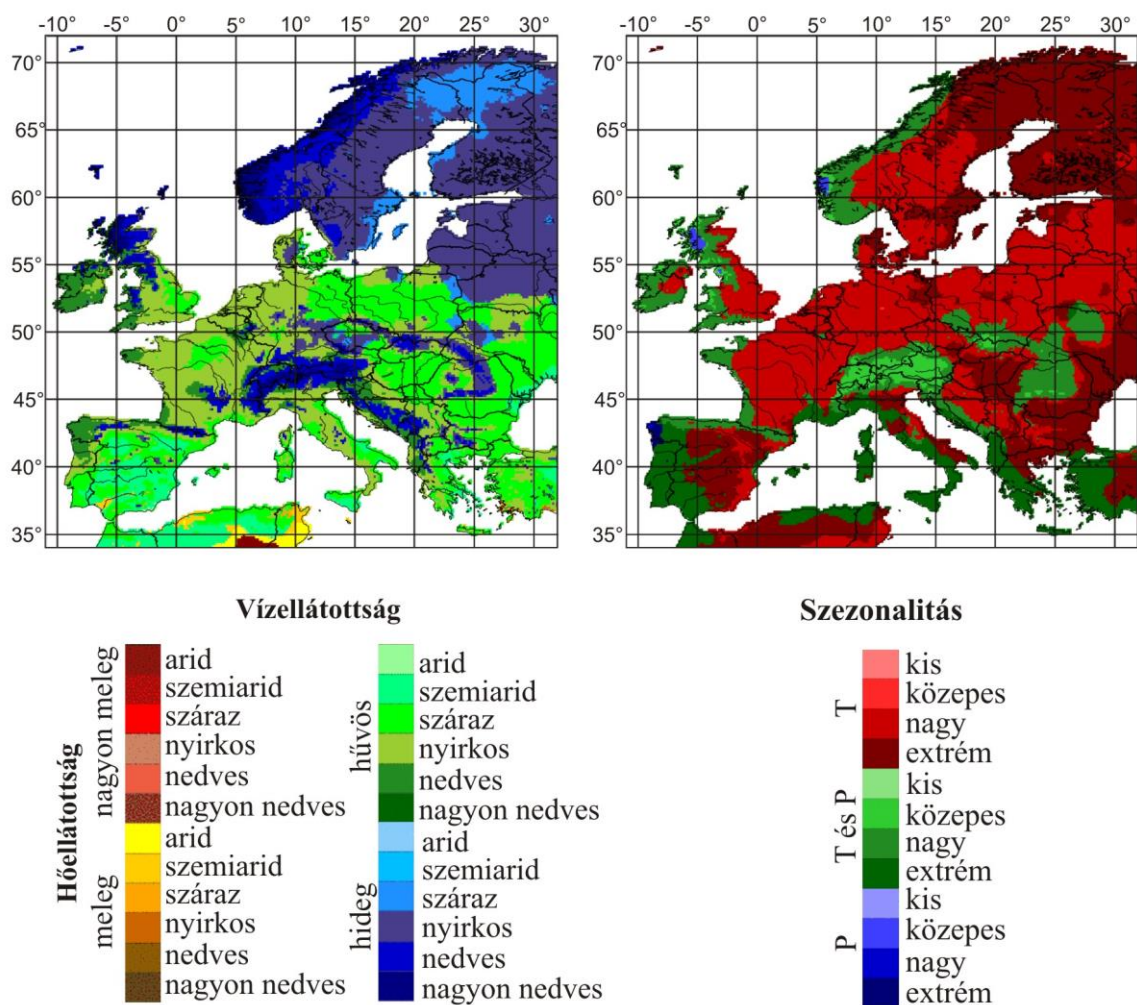
legnagyobb területi kiterjedésben Spanyolország, Franciaország, Olaszország, Németország és Lengyelország területén fedezhető fel. Fontos megemlíteni, hogy hazánk teljes területén, a Bükk hegységet leszámítva a hűvös hőellátottság a jellemző.

A nedvességi viszonyok területi eloszlását megfigyelve a legszembetűnőbb jellegzetesség a kontinens belseje felé történő szárazodás. A Skandináv-félsziget nyugati, Nagy-Britannia északnyugati területein valamint az Alpokban kisebb területen a nagyon nedves vízellátottsági kategória jelenik meg. Az Atlanti-óceán partvidékének egyes részein – gondolva itt a Brit-szigetek, Franciaország és a Pireneusi-félsziget északnyugati részére – valamint a nagyobb hegységekben (pl. Alpok, Kárpátok) a nedves vízellátottság a jellemző. Európa belső, kontinentális területei felé haladva jelentős területi kiterjedésben a száraz és nyirkos vízellátottság található meg. Elmondható, hogy Európa legtöbb területének vízellátottságát e két típus határozza meg. A Pireneusi-, az Appennini- és a Balkán-félszigetek több részén, elszórta megjelenik a szemiárid vízellátottság is.

A szezonalitást tekintve Európa csaknem egész területén a hőmérséklet, valamint a hőmérséklet és a csapadék kombinált szezonalitása a jellemző. A legnagyobb területi kiterjedésben a hőmérséklet nagy szezonalitása jelenik meg. E szezonalitási típus főként Nagy-Britannia keleti részén, Franciaország legtöbb területén és Észak-Németországban fordul elő, ahol egyenletes az évi csapadékeloszlás. Továbbá jelentős területi kiterjedésű a hőmérséklet extrém szezonalitása Spanyolország egyes területein, Olaszország keleti részén, a Skandináv-félszigeten és a Fekete-tenger keleti partvidékén. Hazánk legtöbb részének szezonalitását is e típus uralja. A hőmérséklet és csapadék kombinált szezonalitása főként Európa hegységeit jellemzi, mint például az Appenninek, Alpok, Kárpátok és a Dinári-hegység térsége, de megjelenik a Kelet-európai-síkság és a Pireneusi-félsziget több területén is. A csapadék szezonalitása is megjelenik kis területen; a Pireneusi-félsziget, Brit szigetek és a Skandináv-félsziget nyugati részein, azaz Atlanti-óceán partvidékén.

5.1.2 Az 1971–2000-es időszak

Európa 1971–2000-es időszakra vonatkozó éghajlati képét a 9. ábra mutatja be. Mindegyik éghajlati mutató esetében elmondható, hogy az 1901–1930-as időszakhoz hasonló területi kiterjedésben jelennek meg az előzőekben leírt klímátípusok.



9. ábra: Európa éghajlata az 1971–2000-es időszakban *Feddema* (2005) éghajlat-osztályozása alapján

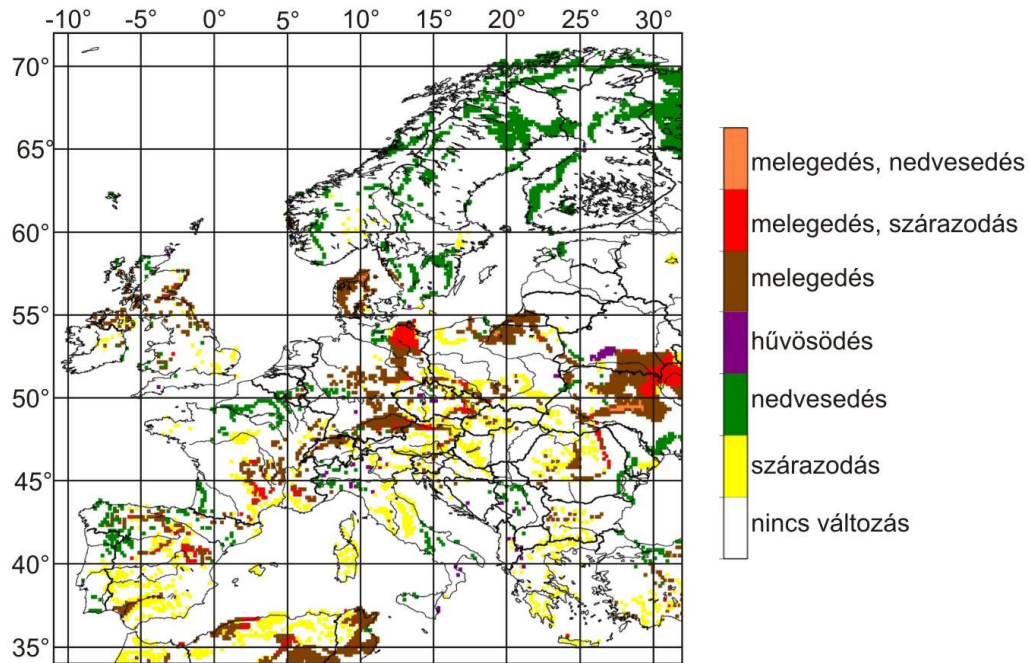
A hőellátottság tekintetében elmondható, hogy ezen időszakban Európa éghajlatát a hűvös és hideg típusok határozzák meg. A hideg klímátípusok továbbra is Európa északon fekvő területeit illetve a nagyobb hegységeket jellemzik. Látható, hogy több területen a hideg típust felváltja a hűvös típus. Ezen változások Franciaország, Németország déli és északkeleti részén, Dánia területén; azaz a Jylland-félszigeten valamint Ukrajna területén találhatók. A felsorolt területeken összesen kb. 200 ezer km²-nyi területet érintett a változás. Ugyanakkor elmondható, hogy ez a melegedést reprezentáló folyamat leglátványosabban az Alpok illetve a Kelet-európai-síkság területét jellemzi. További változás a Spanyolország déli részén kb. 5000 km²-es területen megjelenő új, a század elején még nem látott meleg hőellátottsági kategória. E kategória esetén az évi potenciális párolgás már 900 és 1200 mm között alakul. Spanyolország más területein is megfigyelhető a terület melegedése, ahol az előzőekben leírt folyamat figyelhető meg, azaz több helyen a hideg klímátípust felváltja a hűvös.

A vízellátottság tekintetében továbbra is a nyirkos és száraz típusok fordulnak elő a legnagyobb területi kiterjedésben. A nedves és nagyon nedves vízellátottsági kategóriák szintén az Atlanti-óceán partvidékét illetve a hegységek területét jellemzik. Fontos észrevétel a Skandináv-félsziget északi részén az adott terület nedvesebbé válása, azaz a nyirkos klímátípus térnyerése a szárazzal szemben. A változás számszerűsítve megközelítőleg 30000 km². További változásként a száraz típus nagyobb területi kiterjedése fedezhető fel Európa középső területein, pl. Németország, Lengyelország illetve Magyarország területén. E változás hazánk területén a leglátványosabb, az érintett terület megközelítőleg az ország egy harmada és főként a dunántúli területeket érinti.

A szezonális tekintetében egyértelmű tendencia figyelhető meg, ugyanis nagyobb területi kiterjedésben jelenik meg a hőmérséklet okozta szezonális a hőmérséklet és csapadék együttes szezonálisával szemben. A hőmérséklet és csapadék kombinált szezonálisát Európa több részén, mint pl. a Kelet-európai-síkságon és a Skandináv-félszigeten felváltja a hőmérséklet nagy szezonális, a térnyerés hozzávetőlegesen 130 ezer km². A Pireneusi-félszigeten a hőmérséklet extrém szezonálisának térnyerése figyelhető meg. Ezen változások eredményeként Európa jelentős részén a hőmérséklet nagy és extrém szezonális a domináns. A hőmérséklet és csapadék kombinált szezonális így kisebb területi kiterjedésben fordul elő, de még mindig jelentős a hegységek illetve az Atlanti-óceán partvidékének mentén. Továbbá fontos megemlíteni, hogy a csapadék szezonális nagyobb kiterjedésben figyelhető meg a század elején megjelölt területeken, azaz a Pireneusi-félszigeten, a Brit-szigeteken valamint a Skandináv-félszigeten. A felsorolt területeken ez a változás kb. 23000 km²-es területet érint.

5.1.3 A XX. század éghajlatváltozása

Az Európát érintő XX. századi éghajlatváltozás leírásához bemutatásra kerül az 1971–2000-es és az 1901–1930-as időszakok éghajlati térképeinek különbsége. A 10. ábra a hő- és vízellátottsági kategóriákban bekövetkező változásokat ábrázolja.



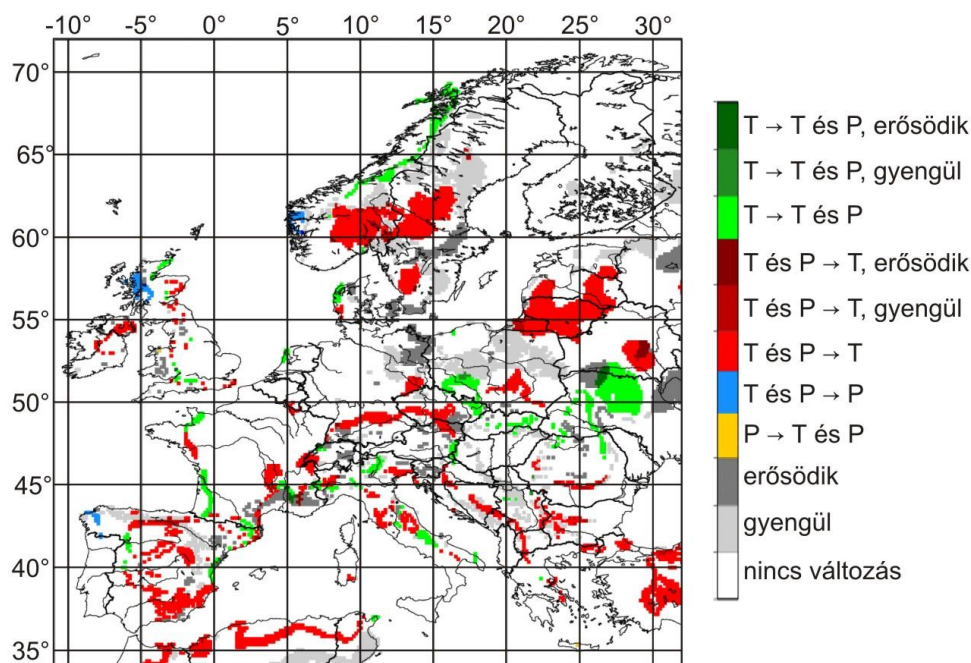
10. ábra: Az 1971–2000 és az 1901–1930 időszakok között bekövetkező változások Európa hő- és vízellátottságban

Az ábra alapján elmondható, hogy Európa legtöbb területén megjelenik a XX. századi klímaváltozás hatása. Ezek a változások szétszórtnak jelennek meg, néhány esettől eltekintve nem jellemzők nagyobb, összefüggő területi kiterjedésben. A változások sokfélék, egyaránt találkozhatunk a melegedés és hűvösödés illetve a nedvesedés és szárazodás folyamatával. A legnagyobb területi kiterjedésben az egyszerre egy éghajlati mutatóban bekövetkező változások figyelhetők meg, gondolva itt a szárazodás, a nedvesedés és a melegedés folyamatára. A szárazodás folyamata Európa több területén is jelentkezik, egymástól elkülönülve. Nagyobb, összefüggő területi kiterjedésben főként Európa mediterrán területein jellemző, leginkább Spanyolország és Olaszország területén. További nagyobb kiterjedésű, érintett területek Franciaország illetve Európa középső és keleti részein találhatóak. A változás hazánk dunántúli területein is látványosan megmutatkozik. A nedvesedés folyamata Európa legtöbb területén megjelenik, de nagyobb, összefüggő területi kiterjedésben csupán a Skandináv-félsziget északkeleti részén található meg.

A melegedés által érintett területek általánosságban Európa területén szétszórva, főként az előbbieknél kisebb, de összefüggő területeken jelennek meg. A változásban leginkább érintett térségek a Jylland-félsziget, Németország északi területei, az Alpok vonulata valamint Ukrajna és Lengyelország egyes részei. Az említett területeken, több térségben a melegedés folyamata mellett vízellátottságbeli változások is megjelennek. A

Jylland-félsziget, valamint Ukrajna kis részén a melegedés és nedvesedés együttesen van jelen. A melegedés és szárazodás együttes megnyilvánulása a legnagyobb területen Németország északi területein illetve Ukrajna északi határa mentén látható. Az Európát jellemző éghajlatváltozások sorát tovább bővíti a hűvösödés folyamatának feltűnése. Összességében csak néhány rácspontban jelenik meg, összefüggő területen csupán a Kelet-európai-síkság kis részén, de jelenlétével tovább színesíti az Európát érintő klímaváltozást.

A 11. ábra a XX. század folyamán Európát érintő, szezonálisban bekövetkező változásokat illusztrálja. Az ábra alapján elmondható, hogy a hő- és vízellátottsághoz hasonlóan ezúttal is sokféle változási típus jelenik meg. A legtöbb területen egyaránt jelentkezik a szezonális típusában, illetve mértékében jelentkező változás.



11. ábra: Az 1971–2000 és az 1901–1930 időszakok között bekövetkező változások Európa szezonálisában

A típusban bekövetkező módosulás esetén a legjellemzőbb a hőmérséklet illetve a hőmérséklet és csapadék szezonálisának egymásba való átalakulása. A hőmérséklet és csapadék együttes szezonálisának átalakulása csak a hőmérséklet szezonálisává a legtöbb területen megjelenő folyamat. A változás érintette területek főleg a Skandináv-félszigeten és a Kelet-európai-síkságon jelentkeznek nagyobb kiterjedésben, de az Alpok illetve a Pireneusi-félsziget területén is meghatározó. Továbbá látható, hogy a típusváltozással egyidejűleg találunk példát a szezonális gyengülésére illetve erősödésére is.

A változások sokszínűségét reprezentálja, hogy az előzőekben taglalt folyamat ellentéte is lejátszódott a XX. század folyamán. Ugyanis Európa több területén a hőmérséklet szezonálisát felváltja a hőmérséklet és csapadék kombinált szezonálisága. A változás több kisebb, hosszan elnyúló területet érintenek, legnagyobb kiterjedésben Ukrajna területén fedezhető fel. Ezen folyamat esetén is igaz, hogy találhatunk olyan területeket, ahol a típusváltozás mellett a szezonális gyengült vagy erősödött. Így – bár kisebb területi kiterjedésben – ismét számolhatunk mindkét szezonális mutató együttes megváltozásával.

További, a szezonális típusában bekövetkező változás az Atlanti-óceán partvidékére jellemző. Itt a hőmérséklet és csapadék kombinált szezonálisát a csapadék szezonálisága váltja fel. Az érintett területek a Skandináv-félsziget, Nagy-Britannia és a Pireneusi-félsziget északnyugati részei.

A szezonális típusában bekövetkező változásokon felül Európa legtöbb területén jellemző csupán az intenzitás erősödése vagy gyengülése is. A két folyamat megközelítőleg egyenlő területi kiterjedésben mutatkozik. A szezonális erősödése leginkább Franciaország, Németország, a Skandináv térség illetve a Kelet-európai-síkság területén jellemző. Az ezzel ellentétes intenzitásbeli változás, azaz a gyengülés folyamata a Skandináv-félsziget, Lengyelország valamint a Pireneusi-félsziget területén jelenik meg a legnagyobb kiterjedésben.

Összegezve mindegyik éghajlati mutató esetében elmondható, hogy a XX. századi változások Európa területén sokszínűek, szinte mindegyik lehetséges változási formával számolhatunk. A változások inkább egyes kisebb térségeket elkülönítve érintenek, nagyobb területi kiterjedésben kevés esetben jellemzők.

5.1.4 A XX. századi klímaváltozás statisztikai elemzése

A 9. táblázat a XX. század két vizsgált időszakára vonatkozó kontingencia táblázatot mutatja a vizsgált hőellátottsági kategóriákra. Elmondható, hogy a legnagyobb előfordulási gyakorisággal a hűvös és hideg kategóriák megmaradása rendelkezik, hiszen ezen esetek során közel 50%-os valószínűséggel kell számolnunk. A változások közül a legnagyobb esetszámot a hideg típusból hűvösbe való átalakulás birtokolja. Bár ennek gyakorisága elenyésző, megközelítőleg 0,063, a többi lehetséges változásnál egy nagyságrenddel nagyobb. Ezen észrevételek mellett látható az is, hogy a hidegből meleg, illetve melegebből

hideg típusokba való átalakulások kivételével minden átalakulási formával találkozhatunk. Azaz a melegedés folyamata mellett, a hűvösödés esete is megjelenik.

9. táblázat: A Kappa statisztika kontingencia táblázata az 1901–1930-as és az 1971–2000-es időszakok között a leggyakoribb hőellátottsági kategóriákra

	1971–2000				
1901–1930	hőellátottság	meleg	hűvös	hideg	Σ
	meleg	0,00441	0,000161	0	0,00457
	hűvös	0,009817	0,464482	0,001963	0,476263
	hideg	0	0,063118	0,456049	0,519167
	Σ	0,014226	0,527761	0,458013	1

10. táblázat: A Kappa statisztika kontingencia táblázata az 1901–1930-as és az 1971–2000-es időszakok között a leggyakoribb vízellátottsági kategóriákra

	1971–2000				
1901–1930	vízellátottság	száraz	nyirkos	nedves	Σ
	száraz	0,259729	0,04339	0	0,303119
	nyirkos	0,038048	0,480868	0,012634	0,53155
	nedves	0	0,012959	0,152372	0,165331
	Σ	0,297776	0,537218	0,165006	1

Az 1901–1930-as és az 1971–2000-es időszakok közötti, vízellátottságra vonatkozó kontingencia táblázatot a 10. táblázat mutatja be. A hőellátottsághoz hasonlóan a legnagyobb előfordulási gyakoriság szintén az egyes kategóriák megmaradásánál látható. A három vizsgált kategória közül a nyirkos típusnál a legnagyobb ennek gyakorisága, értéke megközelítőleg 0,48. A változások közül legtöbb esetben a szárazból nyirkos, illetve a nyirkosból száraz átalakulásokkal találkozunk, melyek gyakorisága rendre megközelítőleg 0,043 illetve 0,038. A további átalakulás esetében is hasonló nagyságban található a szárazodást, illetve a nedvesedést reprezentáló folyamat. Gondolva itt a nedvesből nyirkosba, valamint a nyirkosból nedvesbe való átalakulásra, ahol mindkét eset

gyakorisága 0,013 körüli. Összegezve tehát elmondható, a szárazodás és nedvesedés folyamata egyaránt jelen van a XX. század éghajlatváltozása során.

A szezonálitásra vonatkozó kontingencia táblázatot az 1901–1930-as és az 1971–2000-es időszakok között a 11. táblázat mutatja be. A legtöbb esetben a hőmérséklet extrém és nagy szezonálitásának megmaradásával találkozhatunk, melyeknek előfordulási gyakorisága rendre megközelítőleg 0,31 illetve 0,266. Elmondható, hogy a lehetséges változások közül valamennyi eset előfordul, azonban az egyes gyakoriságok értéke nem jelentős. A legnagyobb előfordulással a hőmérséklet extrém szezonálitásának gyengülése rendelkezik, amelynek értéke 0,062 körüli. Továbbá hasonló értékkel rendelkezik a hőmérséklet és csapadék nagy szezonálitásának átalakulása a hőmérséklet nagy szezonálitásává. Ugyanilyen nagyságrendű, 0,02 feletti gyakorsággal rendelkező átalakulások még a következők: a hőmérséklet és csapadék extrém szezonálitásának átalakulása a hőmérséklet extrém szezonálitásává, a hőmérséklet nagy szezonálitásának extrémévé válása, valamint a hőmérséklet szezonálitásának ugyanolyan intenzitású, de mindkét állapotátározót érintő átalakulása.

11. táblázat: A Kappa statisztika kontingencia táblázata az 1901–1930-as és az 1971–2000-es időszakok között a leggyakoribb szezonálitási kategóriákra

	1971–2000					
1901–1930	szezonálitás	extrém T	nagy T	extrém T és P	nagy T és P	Σ
	extrém T	0,31072	0,062305	0,003154	0,001208	0,377386
	nagy T	0,024023	0,26623	0,001342	0,02154	0,313135
	extrém T és P	0,02513	0,005167	0,103573	0,005939	0,139809
	nagy T és P	0,001577	0,061835	0,002852	0,103405	0,16967
	Σ	0,361449	0,395538	0,110921	0,132092	1

A XX. századra elvégzett Kappa statisztika eredményeit a 12. táblázat tartalmazza, ahol az egyezés fokának meghatározása *Monserud és Leemans* (1992) alapján történt. Látható, hogy mindegyik éghajlati mutató esetében a Kappa együtttható értékei magasak, ami az egyezés fokának elnevezésében is megmutatkozik. A legkisebb egyezés a szezonálitás esetében jelentkezik, bár szükséges megjegyezni, hogy ez a kb. 0,69-es érték

is még jó kategória besorolású egyezést ad a két vizsgált időszak szezonálitási típusai között. A statisztika eredményei alapján arra a következtetésre juthatunk, hogy egyik mutató esetében sem tapasztalható jelentősebb változás a XX. század folyamán

12. táblázat: A Kappa együttható értékei valamint az egyezés foka *Monserud és Leemans* (1992) alapján az egyes éghajlati mutatókra az 1901–1930-as és az 1971–2000-es időszakok között

Éghajlati mutató	Kappa együttható (κ)	Az egyezés foka
hőellátottság	0,853056	kiváló
vízellátottság	0,820687	nagyon jó
szezonálitás	0,692126	jó

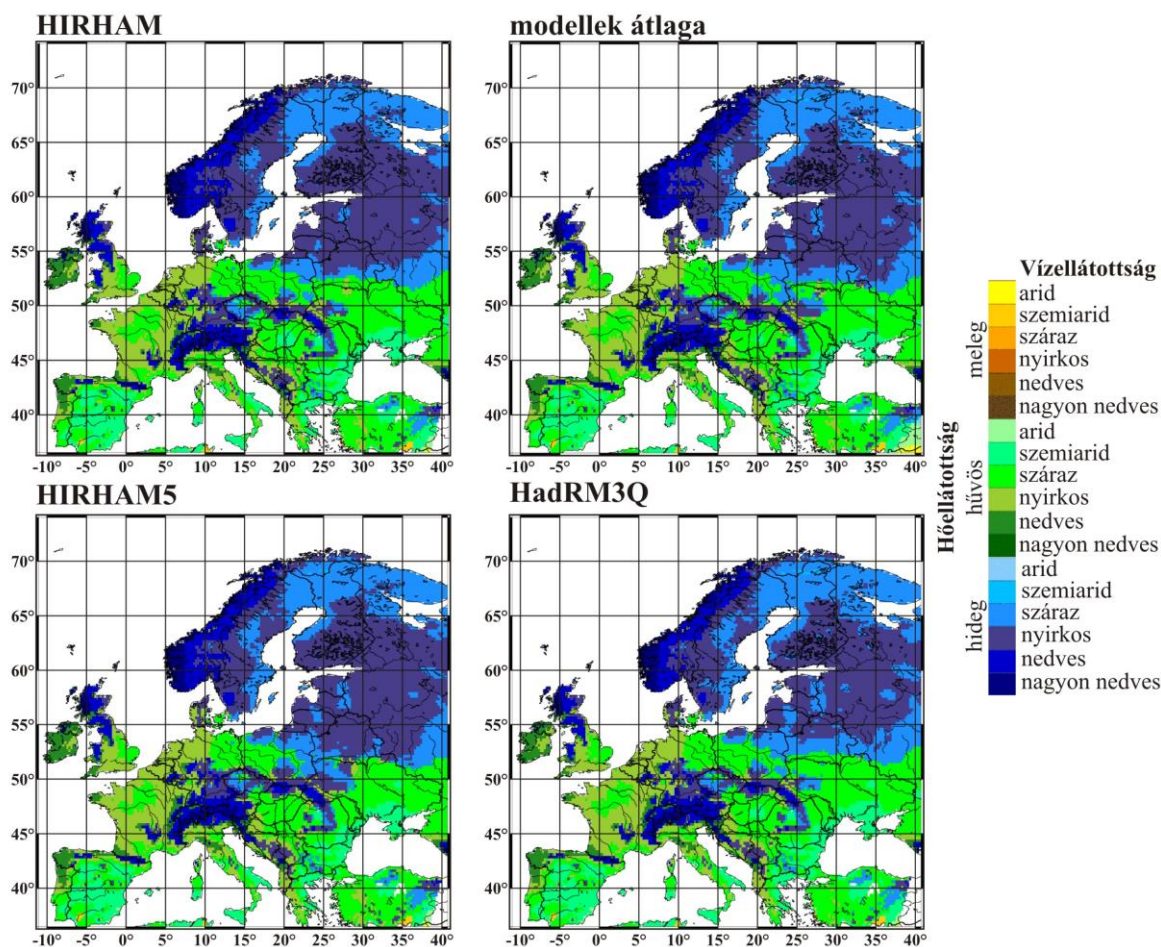
5.2 Európa éghajlata a XXI. században ENSEMBLES modell eredmények alapján

5.2.1 Az 1971–2000-es időszak

A 12. ábra Európa hő- és vízellátottsági viszonyait szemlélteti az 1971–2000-es időszakban a HIRHAM, a HIRHAM5, a HadRM3Q modellek valamint a modellek átlagának eredményei alapján. Megfigyelhető, hogy mindhárom modell, illetve az átlag esetében is ugyanazon hő- és vízellátottsági típusok fordultak elő valamint – a Kelet-európai-síkság és a Skandináv-félsziget egyes területeitől eltekintve – megegyező területi eloszlást mutatnak. Az eredmények alapján elmondható, hogy Európa éghajlatát ebben az időszakban a hűvös és hideg klímátípusok jellemezték, de Spanyolországban, Andalúzia kis területén a meleg, szemiárid típus is megjelent. A hűvös klímátípusok dominálnak Európa nagy részén, például Spanyolország, Franciaország, Nagy-Britannia, Olaszország és Magyarország területén. Főként a síkságok klímáját jellemzik, amelyek közül kiemelhető a Germán- és Lengyel-alföld, az Alföld és a Román-alföld térsége.

Hideg klímátípusok Európa északi területein találhatók, azaz a Skandináv-félszigeten, a Kelet-európai-síkságon, a Brit-szigetek északi és nyugati területein valamint a Jylland-félszigeten. Továbbá hideg klímátípusok jellemzik a nagyobb hegységek hőellátottságát, azaz az Alpok, a Kárpátok, a Pireneusok és a Dinári-hegység területét. A nedvességi viszonyok területi eloszlását megfigyelve a legszembetűnőbb jellegzetesség a kontinens belseje felé történő szárazodás. A kontinentális területeken, mint például a Lengyel és Román-alföld és az Alföld területén a száraz és szemiárid vízellátottság a

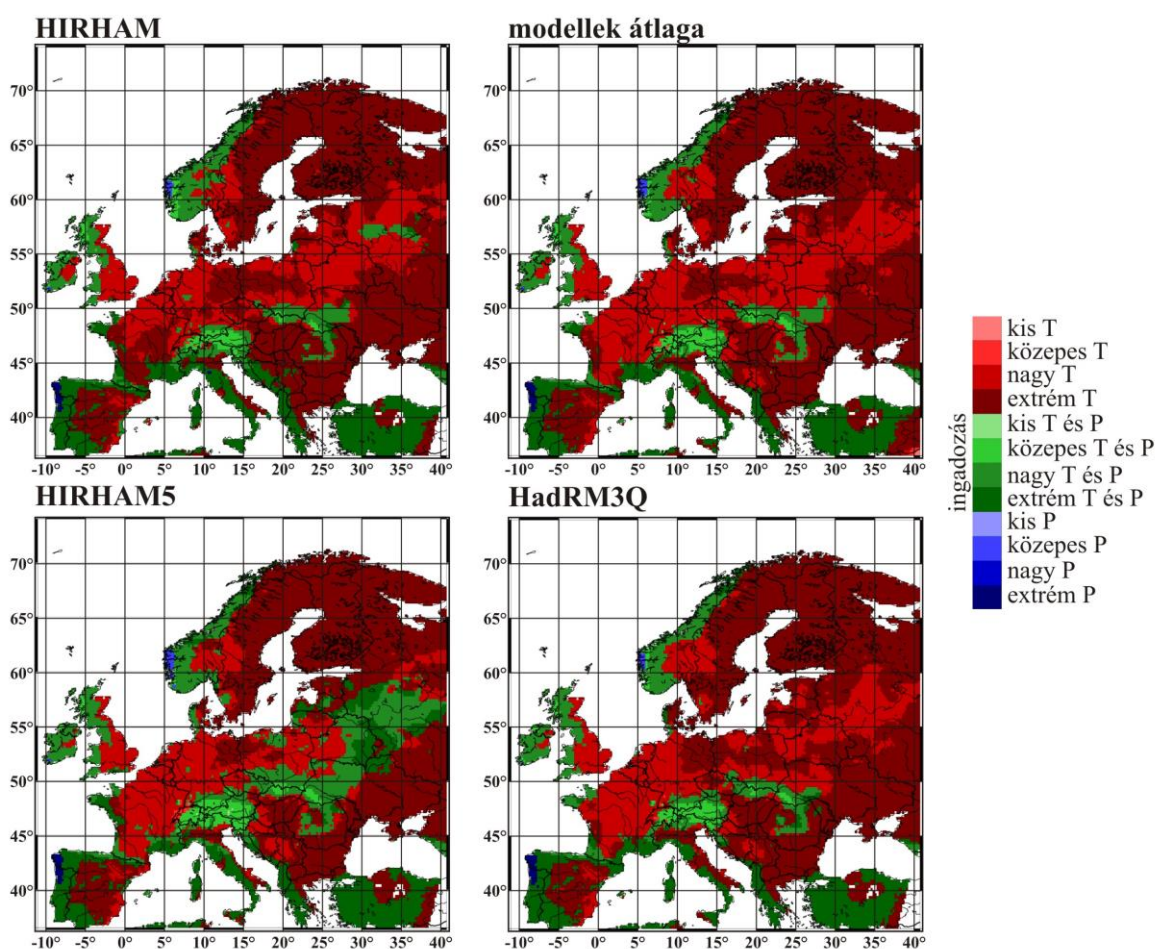
jellemző. Az Atlanti-óceán partvidéke felé haladva megjelenik a nyirkos valamint a nedves kategória. A hűvös, nyirkos klímátípus a Germán-alföld nyugati részének valamint Nagy-Britannia és Franciaország síkvidékeinek klímáját jellemzi. A nedves vízellátottság közvetlenül az óceán partja mentén jelenik meg, a Brit-szigetek, Bretagne és a Pireneusi-félsziget nyugati részén. A Skandináv-félszigeten, azaz a hideg hőellátottság esetében is megfigyelhető ez a tendencia, ott nyugati irányban haladva a száraz típustól egészen a – Norvégia területén megjelenő – nagyon nedves típusig változik a vízellátottság mértéke.



12. ábra: Európa hő- és vízellátottsága az 1971–2000-es időszakban Feddema (2005) éghajlat-osztályozása alapján

A 13. ábrán Európa szezonális eloszlása látható az 1971–2000-es időszakra vonatkozóan. A hő- és vízellátottsághoz hasonlóan a különböző modellek és a modellek átlaga hasonló területi eloszlásban jelenítik meg a szezonális típusait és intenzitását. Ezeket az eseteket vizsgálva, a legszembetűnőbb eredmény a hőmérséklet szezonális eloszlásának domináns kiterjedése. A HIRHAM és a HIRHAM5 modellek esetében azonban a hőmérséklet és csapadék kombinált szezonális eloszlása megjelenik a Kelet-európai-síkság területén, amely az utóbbinál számottevő területen fordul elő. Ez a modellek átlagára, valamint a HadRM3Q

modellre nem jellemző. További különbség a hőmérséklet extrém szezonálisának területi eloszlásában fedezhető fel. A hőmérséklet nagy és extrém ingadozása jelenik meg Európa legtöbb területén, amely főként a síkságok szezonálisát határozza meg. A hőmérséklet és csapadék kombinált szezonális az Atlanti-óceán menti területeken, a félszigetek és szigetek nyugati részén és a hegységekben (Alpok, Pireneusok, Kárpátok, Appenninek) fordul elő. A csapadék okozta szezonális is megjelenik, kis területen a Skandináv-félsziget és a Pireneusi-félsziget területén.



13. ábra: Európa szezonális tényezője és típusa az 1971–2000-es időszakban Feddema (2005) éghajlat-osztályozása alapján

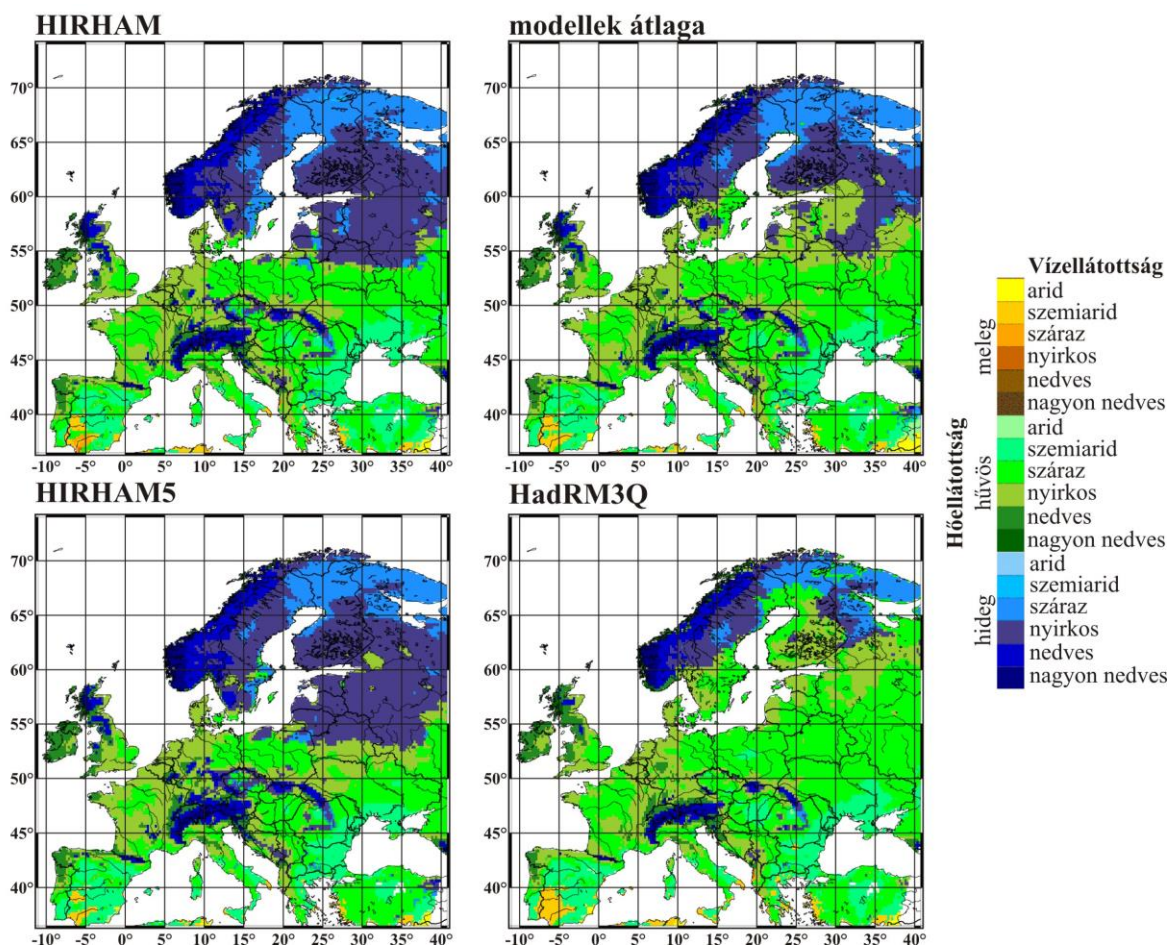
5.2.2 A 2021–2050-es időszak

A következőekben az 1971–2000-es időszakhoz viszonyítva mutatjuk be eredményeinket. A 14. ábrán Európa 2021–2050-as időszakra vonatkozó hő- és vízellátottsági viszonyai kerülnek bemutatásra. Az 1971–2000-es időszakhoz viszonyítva mindhárom szélsőséges változást adó modell valamint a modellek átlagának esetében

ugyanaz a változás figyelhető meg, a különbség a változás mértékében mutatkozik meg. A legfőbb változás a hőellátottsági kategóriák változásában jelentkezik, ennek legszembetűnőbb megnyilvánulása a Kelet-európai-síkság, a Skandináv-félsziget valamint a hegységek területén látható. Az említett területeken a hideg klímátípusokat felváltják a hűvös típusok. Ez a változás a legkisebb mértékben egyértelműen a legkisebb hőmérsékletváltozást ígérő HIRHAM, illetve a legnagyobb csapadéknövekedést jelző HIRHAM5 modell esetében jelentkezik. E modellek eredményei alapján a közeljövőben csupán Dániát, Svédország déli részét és a balti országokat érinti. A felsorolt területeket érintő változás kb. 150 ezer km^2 -re tehető. A tíz ENSEMBLES modell átlagát tekintve nagyobb területet érint a melegedés. A Skandináv-félsziget és a Kelet-európai-síkság területén további területek éghajlata enyhül, amely az utóbbi terület esetében látványosan megmutatkozik. A változás mértéke a HIRHAM és a HIRHAM5 modellekhez képest kb. kétszeres, tehát megközelítőleg 300 ezer km^2 . Az elvárásokhoz mérten a HadRM3Q modell mutatja a legtöbb területen a tárgyalt melegedést. Az angol modell szerint a 2021–2050-es időszakban a Kelet-európai-síkság területén már nem jelenik meg hideg klímátípus, a síkság teljes területét a hűvös klímátípusok határozzák meg. Az előző esetekhez viszonyítva nagyobb a hűvös klímátípusok uralta területek kiterjedése Skandinávia területén. Továbbá a Brit-szigetek és a hegységek területén az előzőekben taglaltakhoz képest látványosabb a változás. A változás tehát jelentős, kb. 600 ezer km^2 -t érint, amely Európa északi és északkeleti területeinek többségét magában foglalja. További változás a hőellátottságban, a meleg klímátípus térnyerése az Ibéria-félszigeten valamint megjelenik az Appennini-félszigeten, a Balkán-félszigeten és Szicília déli részén. A három bemutatott esetben a meleg klímátípus terjedésének mértéke számottevően nem különbözik, megközelítőleg azonos nagyságú, kb. 70 ezer km^2 .

Vízellátottság esetében a változások kevesebb területet érintenek, mint a hőellátottság esetében. A HIRHAM5 modell kivételével a jellemző folyamat egyértelműen a szárazodás, azaz a száraz kategória térnyerése a nyirkossal szemben. A HIRHAM modell és a modellek átlagának esetében ez a folyamat csupán Franciaország egyes területére koncentrálódik. E változás pár 10 ezer km^2 -re tehető. A HadRM3Q modell az említetten felül a Kelet-európai-síkság szárazodását is mutatja, ez a változás is az előzőhöz hasonló nagyságú területen jelentkezik. A HIRHAM5 modell esetében a szárazodás folyamata nem figyelhető meg. Az előző két modelltől, illetve az átlagtól eltérően itt a nedvesedés jelenik meg, azaz a nyirkos vízellátottság található meg az 1971–2000-es időszakhoz képest több, kisebb területen. Ezt a folyamatot a Skandináv-félsziget, a Germán- és Lengyel-alföld

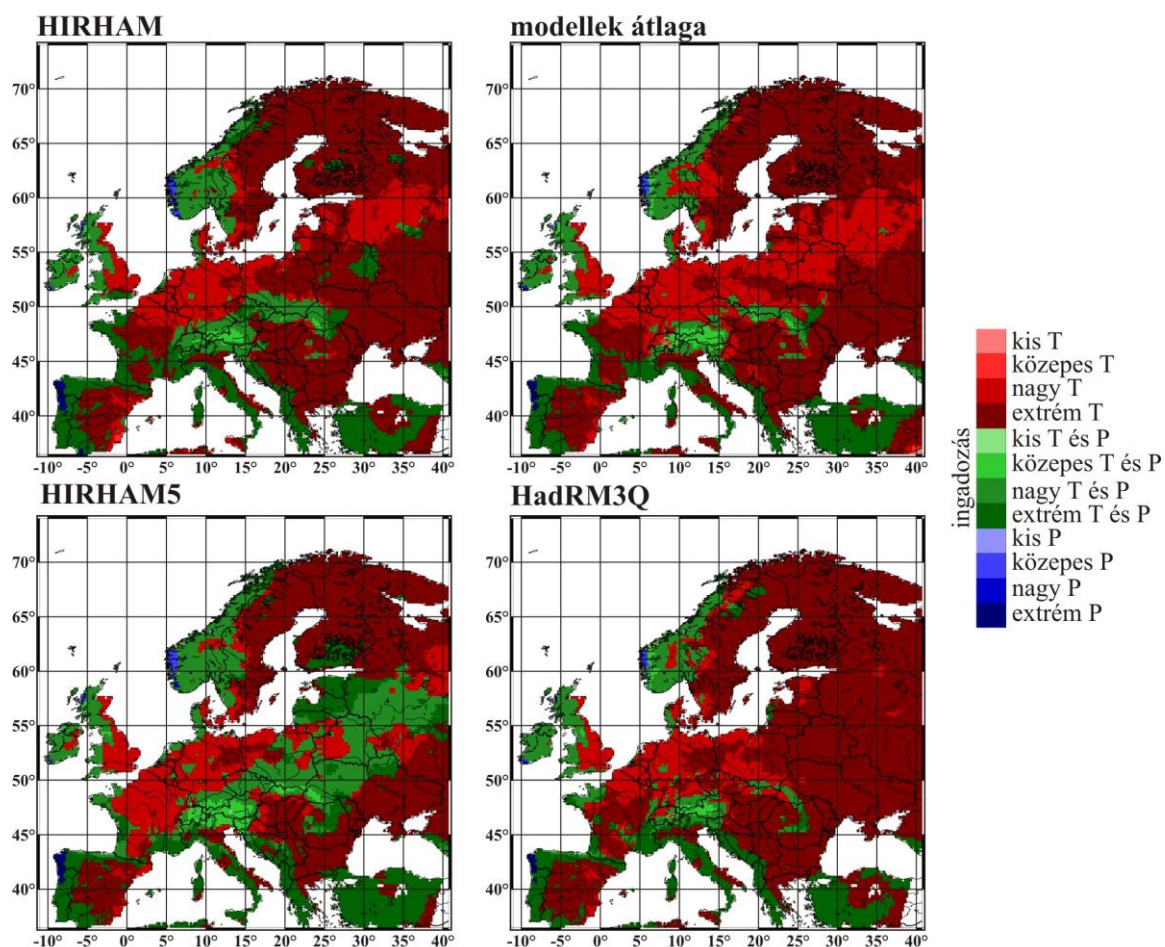
illetve a Kelet-európai-síkság területén figyelhetjük meg. A változás érintette területek kiterjedése nem jelentős, pár ezer km²-en figyelhetjük meg.



14. ábra: Európa hő- és vízellátottsága a 2021–2050-es időszakban *Feddema* (2005) éghajlat-osztályozása alapján

Európa éghajlatának szezonálisát a 2021–2050-es időszakban a 15. ábra mutatja be. Az 1971–2000-es időszakhoz viszonyítva a változások jellege a modellek átlagának és a legnagyobb hőmérsékletváltozást ígérő HadRM3Q modell esetében egyforma. Mindkét esetben a hőmérséklet extrém szezonálisának tényerését figyelhetjük meg. A tíz modell átlagánál ez főként Franciaország és a Kelet-európai-síkság területén figyelhető meg összesen kb. 100 ezer km²-nyi területen. A HadRM3Q modell esetében a változás szintén ezeken a területeken jelenik meg, de nagyobb, megközelítőleg 250 ezer km²-es területen. A HIRHAM modell esetében változásként az tapasztalható, hogy Európa területén belül elszórva több, pár ezer km²-es térségében a csapadék és hőmérséklet kombinált szezonálisága váltja fel a hőmérséklet szezonálisát. Ennek a változásnak a megnyilvánulása Franciaország, Spanyolország továbbá a Kelet-európai-síkság területén a

leglátványosabb. A HIRHAM5 modell esetében ugyanez a változás tapasztalható, de az előbbinél több területet érint. A hőmérséklet és csapadék kombinált szezonálisnak térnyerése a Skandináv-félsziget, a Kelet-európai-síkság valamint Európa középső területein elszórva figyelhető meg, összesen kb. 200 ezer km²-es területen.

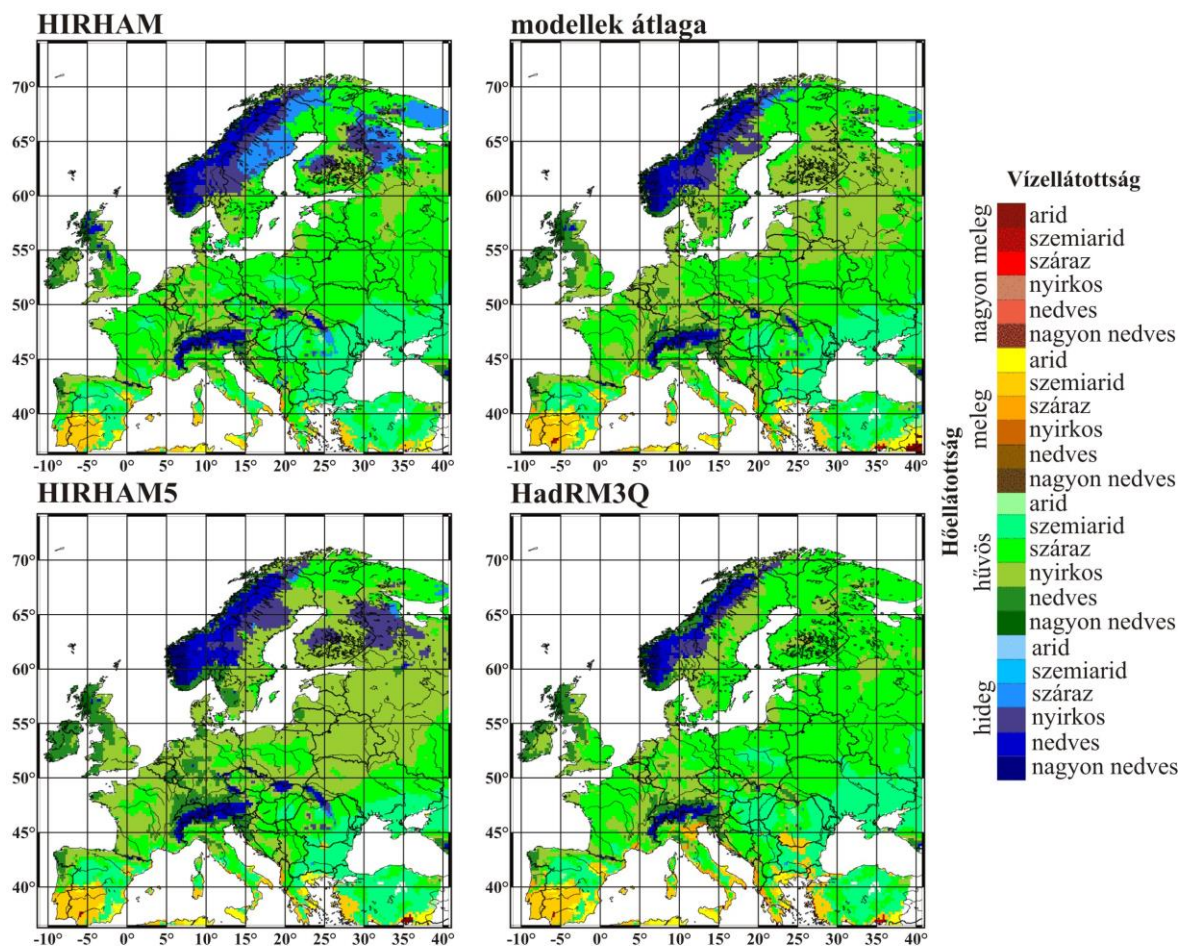


15. ábra: Európa szezonális tényezője és típusa a 2021–2050-es időszakban *Feddema* (2005) éghajlat-osztályozása alapján

5.2.3 A 2071–2100-as időszak

A 16. ábrán kontinensünk hő- és vízellátottsága kerül bemutatásra a 2071–2100-as időszakra. Mindhárom esetben ugyanannak a tendenciának a folytatása vehető észre, amit a 2021–2050-es időszakban már láttunk. A hűvös klímátípusok területi kiterjedése a 2071–2100-as időszakra tovább nő. A Kelet-európai-síkság területéről teljesen eltűnik a hideg típus. Az egyes bemutatott esetek közötti különbségek abban mutatkoznak meg, hogy mekkora területen találhatunk még hideg klímátípusokat a Skandináv-félsziget és Európa nagyobb hegységeinek területén. A HadRM3Q modell esetében csupán a Skandináv-hegység és az Alpok területén maradnak meg a hideg klímátípusok (itt eltekintünk a Brit-

szigetek, a Pireneusok és a Kárpátok pár pontjától). A modellek átlagát valamint a HIRHAM és a HIRHAM5 modellt nézve szintén ezeken a területeken fordul elő jelentősebb kiterjedésben a hideg klímátípus, de ezekben az esetekben a Kárpátokban nem elhanyagolható a kiterjedése, továbbá nagyobb területen fordul elő a Skandináv-félsziget területén. A 2021–2050-es időszakhoz képest a HIRHAM és a HIRHAM5 modellek esetében történt a legnagyobb területi változás, közel 600 ezer km²-en. A modellek átlagánál a 2021–2050-es időszakhoz képest további 400 ezer km²-nyi tényerésről beszélhetünk. A HadRM3Q modell esetében a további változás kevesebb, 100 ezer km²-re tehető. Ennek ellenére hasonló éghajlati képet ad, mint a többi eset, hiszen a legnagyobb területi változás már a 2021–2050-as időszakban megtörtént.



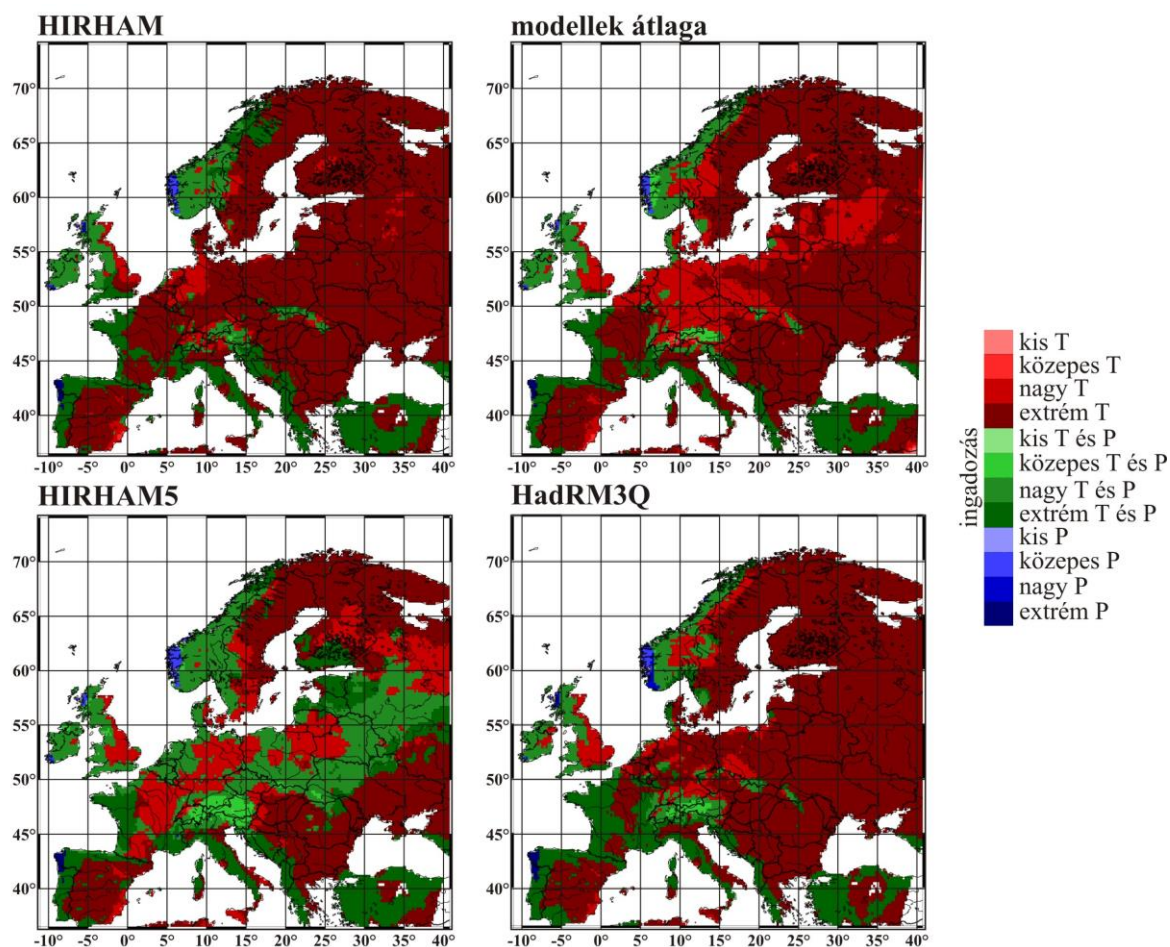
16. ábra: Európa hő- és vízellátottsága a 2071–2100-es időszakban Feddema (2005) éghajlatosztályozása alapján

Tovább nő a meleg klímátípusok területi kiterjedése az előző időszakban megemlített térségekben, melyek így már megközelítőleg 200 ezer km²-nyi területet foglalnak el kontinensünk területén. Fontos változás egy újabb hőellátottsági kategória megjelenése, ez

a nagyon meleg típus, ahol már 1200 mmév^{-1} feletti PET értékekkel kell számolnunk. Ez a klímátípus legnagyobb területen a modellek átlagánál jelentkezik kb. 10 ezer km^2 -en, Spanyolország területén. A legkisebb hőmérsékletváltozást mutató HIRHAM modell esetében viszont egyáltalán nem jelentkezik.

A HIRHAM5 modell kivételével a vízellátottság esetében továbbra is a szárazodás folyamatát figyelhetjük meg főként Franciaország és a Kelet-európai-síkság területén, de a területi változás közel sem olyan jelentős, mint a hőellátottság esetében. Az előző időszakhoz képest újabb változás az egyre nagyobb területi kiterjedéssel rendelkező szemiárid típus megjelenése Magyarország és a Román-alföld területén. A HIRHAM5 modell esetében továbbra sem látható a szárazodás folyamata, a XXI. század végén még mindig a nyirkos vízellátottság jellemzi Európa legtöbb területét. Az előző időszakhoz képest tovább nő a nyirkos típus kiterjedése a szárazsággal szemben, így továbbra is a nedvesedés folyamata jellemző. A változás Európa több, kisebb területét érinti, a leglátványosabb a Skandináv-félszigeten. Az 2021–2050-es időszakhoz képest a változás megközelítőleg 150 ezer km^2 -t érint.

A 2071–2100-as időszak szezonális viszonyait a 17. ábrán láthatjuk. A HIRHAM5 modell kivételével a változások hasonlóak. A HIRHAM és a HadRM3Q modellek valamint a modellek átlagának esetében a hőmérséklet extrém szezonálisának jelentős térnyerése figyelhető meg az előző időszakokhoz képest. Ez a változás a HIRHAM modell esetében a legnagyobb. Nemcsak a szezonális erőssége változik ebben az esetben, hiszen az érintett területek több részén is a hőmérséklet és csapadék kombinált szezonális volt jellemző. Ennek eredményeként e modell alapján a 2071–2100-as időszakban Európa éghajlatának szezonálisát egyértelműen a hőmérséklet extrém szezonális volta jellemzi. Csupán a tengerparti részekben és hegységekben találunk más típust. A változások főként a Kelet-európai-síkságot és Európa középső területeit érinti. A modellek átlagánál a hőmérséklet extrém szezonálisának térnyerését emelhetjük ki, de a változás nem olyan jelentős, mint az előző esetben. A HadRM3Q modell eredményében megfigyelhetünk még az említetten kívül, az előbbiekkal ellentétes folyamatot, azaz a hőmérséklet és csapadék kombinált szezonálisának térnyerését a hőmérséklet szezonálisával szemben. Ez a folyamat jellemzi a HIRHAM5 modell eredményeit is, amely már az előző vizsgált időszakban is ezt a tendenciát mutatta. További területeken jelenik meg a hőmérséklet és csapadék kombinált szezonális volta főként Franciaország, Németország és Lengyelország területén, ahol további kb. 200 ezer km^2 -nyi területet érint.



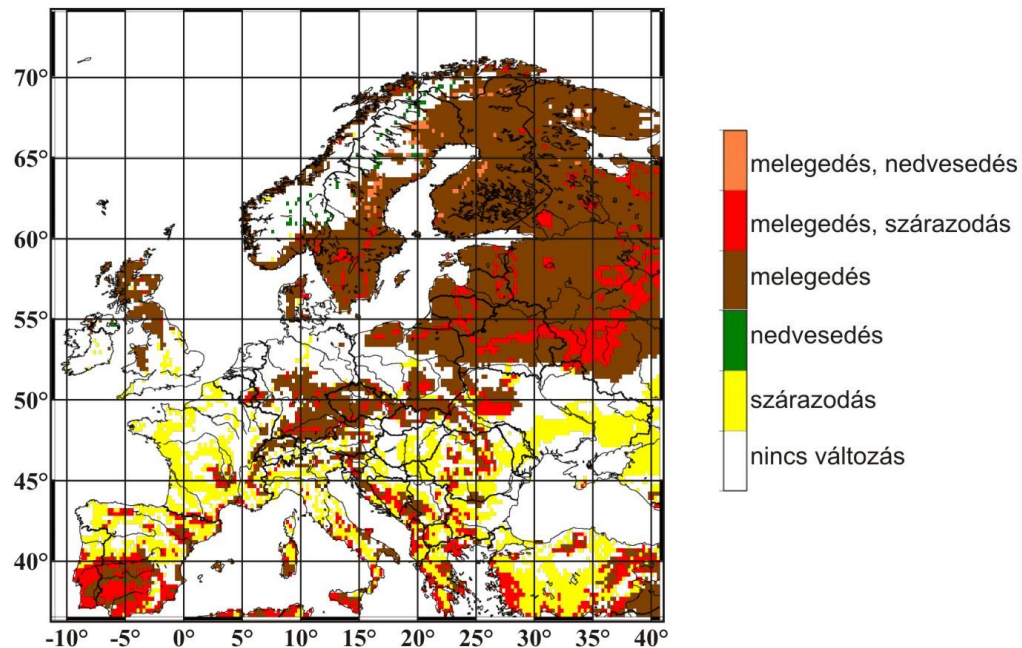
17. ábra: Európa szezonális tényezője és típusa a 2071–2100-es időszakban Feddema éghajlat-osztályozása (2005) alapján

5.2.4 A XXI. század éghajlatváltozása

A XXI. századi éghajlatváltozás bemutatása a 2071–2100 és az 1971–2000 időszakok éghajlati térképeinek különbségével történik a tíz ENSEMBLES modell átlaga alapján. A 18. ábra a XXI. század során hő- és vízellátottságban bekövetkező változásokat mutatja be. Az ábra alapján elmondható, hogy a legnagyobb területi kiterjedésben megjelenő folyamatok a melegedés, a szárazodás illetve a két folyamat együttes megjelenése. Kisebb területeken megjelenik a nedvesedés, valamint egymás mellett a melegedés és nedvesedés. Ezen változások csupán pár rácspontban jellemzőek a Skandináv-félsziget területén.

A változások közül Európa legtöbb területét a melegedés jellemzi. Több kisebb területen is megjelenik, de legnagyobb kiterjedésben összefüggő – több 100 ezer km²-es – területeken jelenik meg. A leglátványosabban egyértelműen a Skandináv-félsziget és a Kelet-európai-síkság térségében fedezhető fel, de az Alpok és a Kárpátok területén is

jelentős méreteket ölt. További melegedés érintette nagyobb területek a Brit-szigetek északnyugati területei, illetve a mediterrán térség egyes részei.



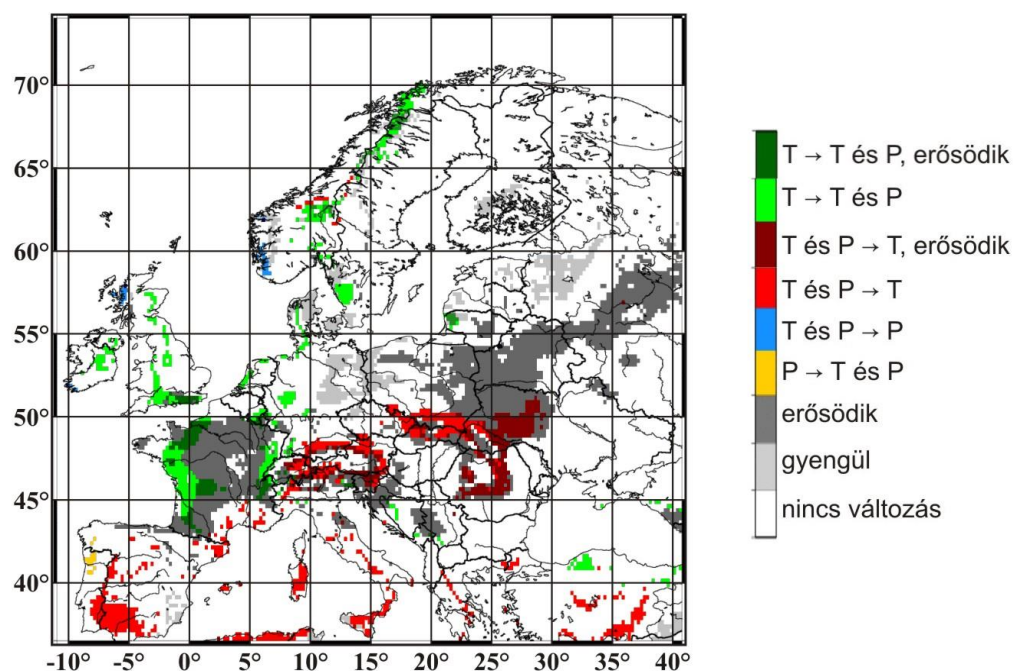
18. ábra: A 2071–2100 és az 1971–2000 időszakok között bekövetkező változások Európa hő- és vízellátottságban az ENSEMBLES modellek átlaga alapján

A melegedés és szárazodás együttes jelensége ugyanezen felsorolt területeken jelenik meg, de jelentős, összefüggő területi kiterjedésben csak a Kelet-európai-síkságon illetve a Pireneusi-félszigeten látható. A melegedés folyamatához hasonlóan több, kisebb területen megjelenik, amelyek közül fontos kiemelni Európa nagyobb hegységeit, mint pl. az Alpok, Kárpátok, Dinári-hegység illetve a Pireneusok.

A szárazodás folyamata szintén érinti a mediterrán térséget, de emellett Európa több területén is megjelenik. A legnagyobb területi kiterjedésben a Pireneusi-félsziget, valamint Franciaország területén jelentkezik, de fontos megemlíteni, hogy hazánk XXI. századbeli éghajlatváltozását is e folyamat határozza meg. Ezen területek mellett a Fekete-tenger partvidékén is megjelenik.

A XXI. század folyamán a szezonálisban bekövetkező változásokat a 19. ábra szemlélteti. A legnagyobb területeket érintő változás a szezonális erősödése. E folyamat legnagyobb területi kiterjedésben Franciaország területén, illetve Magyarország északi határától a Kelet-európai-síkságig kiterjedve figyelhető meg. Továbbá meghatározó kiterjedésben jelentkezik a Dinári-hegység, az Alpok illetve az Appenninek területén.

Emellett a szezonális gyengülése is felfedezhető. Az érintett területek a Finn-tóvidék, a Kelet-európai-síkság, a Jylland-félsziget továbbá a Germán- és Lengyel-alföld térsége.



19. ábra: A 2071–2100 és az 1971–2000 időszakok között bekövetkező változások Európa szezonálisában az ENSEMBLES modellek átlaga alapján

A szezonális mértékben bekövetkező átalakulásokon felül a szezonális típusában is jelentkezik változás. Megközelítőleg egyenlő területi kiterjedésben láthatjuk a hőmérséklet szezonálisának átalakulását a hőmérséklet és csapadék együttes ingadozásába és ennek ellentétes folyamatát. Az első folyamat főként Európa nyugati területein jelenik meg, legnagyobb kiterjedésben a Skandináv-félsziget, a Brit-szigetek illetve Franciaország egyes részein jelentkezik. Nagy-Britannia és Franciaország esetében a típusváltozás mellett a szezonális erősödik is. A hőmérséklet és csapadék szezonálisának átalakulása a hőmérséklet szezonálisába főként az Alpok és Kárpátok térségét érinti. Ezen területek mellett megtalálható a Földközi-tenger partvidékén is, nagyobb, összefüggő területen a Pireneusi-félszigeten jellemző. A típusváltozás mellett a szezonális erősödik is az említett hegységek illetve Ukrajna területén.

Az Atlanti-óceán partvidékén, a Skandináv-félszigeten illetve a Brit-szigeteken további típusbeli átalakulás a hőmérséklet és csapadék változékonyságának átalakulása a csapadék szezonálisába. Ezzel ellentétes folyamat játszódik le a Pireneusi-félsziget

nyugati területén, azaz a század végére a csapadék szezonálisát felváltja a csapadék és hőmérséklet együttes ingadozása.

5.2.5 A XXI. századi klímaváltozás statisztikai elemzése

A 13. táblázat a leggyakoribb hőellátottsági kategóriák kontingencia táblázatát mutatja az 1971–2000-es és a 2021–2050-es időszakok között. A táblázat alapján elmondható, hogy a legtöbb esetben a hűvös hőellátottság a 2021–2050-es időszakban is hűvös maradt, ugyanis ennek előfordulási gyakorsága közel 0,5. Emellett a vizsgált terület 32%-án a hideg hőellátottságú területek a közeljövőben azok maradnak. A változások közül a legnagyobb gyakorisággal a hidegből hűvös változás rendelkezik, ennek értéke megközelítőleg 0,211. Az előbb említetten felül csupán egy változás figyelhető meg, amikor a hűvös hőellátottság a közeljövőre meleggé válik. Ennek valószínűsége az előbb taglaltaknál egy nagyságrenddel kisebb, kb. 0,023.

13. táblázat: A Kappa statisztika kontingencia táblázata az 1971–2000-es és a 2021–2050-es időszakok között a leggyakoribb hőellátottsági kategóriákra

	2021–2050				
	hőellátottság	meleg	hűvös	hideg	Σ
1971–2000	meleg	0,015651	0	0	0,015651
	hűvös	0,023127	0,431758	0	0,454885
	hideg	0	0,211003	0,318461	0,529463
	Σ	0,038778	0,642761	0,318461	1

A 14. táblázat az 1971–2000-es és a 2021–2050-es időszakok közötti, vízellátottságra vonatkozó kontingencia táblázatot mutatja be. Látható, hogy a legnagyobb előfordulási gyakorisággal ott találkozhatunk, ahol nem tapasztalhatunk változást. Ezek közül a legnagyobb, 0,4 körüli gyakoriságokat a nyirkos és száraz típusok esetében vehetjük észre. A változások közül a szárazodást reprezentáló folyamatoknál találunk nagyobb értékeket ($\approx 0,043$), gondolva itt a szárazból szemiariddá valamint a nyirkosból szárazzá való átalakulásokra. Ezen említett folyamatokhoz képest egy nagyságrenddel kisebb gyakoriságok adódtak a nedvesedést mutató változások esetében (száraz típusból nyirkos illetve szemiarid típusból száraz).

14. táblázat: A Kappa statisztika kontingencia táblázata az 1971–2000-es és a 2021–2050-es időszakok között a leggyakoribb vízellátottsági kategóriákra

	2021–2050				
1971–2000	vízellátottság	szemiarid	száraz	nyirkos	Σ
	szemiarid	0,102718	0,000826	0	0,103543
	száraz	0,043894	0,394358	0,008462	0,446715
	nyirkos	0	0,043	0,406742	0,449742
	Σ	0,146612	0,438184	0,415205	1

15. táblázat: A Kappa statisztika kontingencia táblázata az 1971–2000-es és a 2021–2050-es időszakok között a leggyakoribb szezonális kategóriákra

	2021-2050					
1971-2000	szezonális	extrém T	nagy T	extrém T és P	nagy T és P	Σ
	extrém T	0,47166	0,031425	0,008787	0,000815	0,512686
	nagy T	0,051851	0,199139	0,002561	0,013443	0,266993
	extrém T és P	0,012453	0,00902	0,112663	0,006169	0,140305
	nagy T és P	0,003142	0,006169	0,008962	0,061743	0,080016
	Σ	0,539106	0,245752	0,132973	0,082169	1

A szezonálisra vonatkozó kontingencia táblázatot a 15. táblázat mutatja be az 1971–2000-es és a 2021–2050-es időszakok között. A hő- és vízellátottsággal ellentétben itt minden lehetséges változás megfigyelhető. A legnagyobb, közel 50%-os előfordulási gyakoriságot a hőmérséklet extrém szezonálisának változatlansága mutatja. A változások esetében a hőmérséklet szezonálisának erősödése illetve gyengülése fordul elő a legtöbb esetben, megközelítőleg rendre 0,052 és 0,031 gyakoriságokkal. Kiemelhető még a hőmérséklet nagy szezonálisának átalakulása a hőmérséklet és csapadék kombinált szezonálisába. Ebben az esetben csupán a szezonális típusa változott meg, annak

intenzitása nem módosult. A többi változás esetében az előbbieknél egy illetve két nagyságrenddel kisebb gyakoriságok adódtak.

A 16. táblázat az elvégzett Kappa statisztika végeredményét mutatja az egyes éghajlati tényezőkre a referencia időszak és a közeljövő között. Továbbá tartalmazza az adott Kappa együtthatóhoz tartozó egyezés fokát *Monserud és Leemans* (1992) alapján. Az eredmények alapján elmondható, hogy a hőellátottság esetén a legkisebb – 0,55 és 0,70 közötti – a Kappa együttható értéke, azaz az egyezés foka jó. A vízellátottság és a szezonális esetben az együttható nagyon jó, azaz 0,70 és 0,85 közötti egyezést mutat a két időszak között. Ez alapján elmondható, hogy a két időszak között a hőellátottság tekintetében történt a vizsgált mutatók közül a legnagyobb változás. Továbbá mivel κ értékei igen magasak, megállapítható, hogy a referencia időszak és a közeljövő között az egyes kategória változások a statisztika alapján nem jelentősek.

16. táblázat: A Kappa együttható értékei valamint az egyezés foka *Monserud és Leemans* (1992) alapján az egyes éghajlati mutatókra az 1971–2000-es és a 2021–2050-es időszakok között

Éghajlati mutató	Kappa együttható (κ)	Az egyezés foka
hőellátottság	0,565136	jó
vízellátottság	0,84032	nagyon jó
szezonális	0,755366	nagyon jó

17. táblázat: A Kappa statisztika kontingencia táblázata az 1971–2000-es és a 2071–2100-as időszakok között a leggyakoribb hőellátottsági kategóriákra

	2071–2100				
1971-2000	hőellátottság	meleg	hűvös	hideg	Σ
	meleg	0,015651	0	0	0,015651
	hűvös	0,081236	0,373649	0	0,454885
	hideg	0	0,455469	0,073994	0,529463
	Σ	0,096887	0,829119	0,073994	1

Az 1971–2000-es és a 2071–2100-as időszakok közötti hőellátottságra vonatkozó kontingencia táblázatot a 17. táblázat mutatja be. A legszembetűnőbb változás az előző

időszakhoz képest, hogy a legnagyobb előfordulási gyakorisággal a hideg típusból a hűvös típusba való átalakulás rendelkezik. Ez az összes változás megközelítőleg 50%-át érinti. Továbbá nőtt a hűvös klímátípus meleg típussá való átalakulásának gyakorisága, ennek értéke kb. 0,081. Továbbra is elmondható, hogy ez a két változási típus volt megfigyelhető, amelyek a melegedés folyamatát mutatják. Ettől eltérő hőellátottságbeli változás nem történt.

18. táblázat: A Kappa statisztika kontingencia táblázata az 1971–2000-es és a 2071–2100-as időszakok között a leggyakoribb vízellátottsági kategóriákra

	2071–2100				
1971-2000	vízellátottság	szemiarid	száraz	nyirkos	Σ
	szemiarid	0,102621	0,000894	0	0,103515
	száraz	0,128551	0,310269	0,007772	0,446592
	nyirkos	0,001169	0,120435	0,328289	0,449893
	Σ	0,232341	0,431598	0,336062	1

A 18. táblázat a leggyakoribb vízellátottsági kategóriák kontingencia táblázatát mutatja az 1971–2000-es és a 2071–2100-as időszakok között. Az ábra alapján elmondható, hogy továbbra is a legnagyobb előfordulási gyakoriság a diagonális cellákban találhatunk, a száraz és nyirkos vízellátottságok esetében. Fontos megjegyezni, hogy a szárazodást mutató változások gyakorisága nőtt az előző időszakhoz képest. Azaz a száraz típusból szemiarid típusba, valamint a nyirkos típusból száraz típusba való átalakulás gyakorisága már 0,12 körüli. Itt megjelenik az előző időszakban nem látott nyirkos típusból szemiarid típusba való átalakulás, azonban kisebb előfordulással, amely két nagyságrenddel kisebb az előzőektől. Továbbra is jellemzők a nedvesedés folyamatát reprezentáló átalakulások, de gyakoriságuk jelen esetben is csekély.

A szezonális, 1971–2000 és 2071–2100 időszakok közötti kontingencia táblázatát a 19. táblázat mutatja. A táblázat alapján elmondható, hogy továbbra is a hőmérséklet extrém szezonálisának megmaradása a legjellemzőbb, közel 50%-os előfordulási gyakorisággal. A legtöbb területet érintő változás ezúttal is a hőmérséklet nagy szezonálisának extrémé válása. Ennek gyakorisága megközelítőleg 0,1. Továbbra is megfigyelhető, hogy minden lehetséges változási típus megfigyelhető, azonban az előzőnél egy, illetve két nagyságrenddel kisebb előfordulási gyakorisággal.

19. táblázat: A Kappa statisztika kontingencia táblázata az 1971–2000-es és a 2071–2100-as időszakok között a leggyakoribb szezonális kategóriákra

	2071-2100					
1971-2000	szezonális	extrém T	nagy T	extrém T és P	nagy T és P	Σ
	extrém T	0,458799	0,040619	0,010824	0,002444	0,512686
	nagy T	0,10923	0,132914	0,00902	0,015829	0,266993
	extrém T és P	0,033869	0,010999	0,087232	0,008205	0,140305
	nagy T és P	0,012337	0,012512	0,010533	0,044635	0,080016
	Σ	0,614234	0,197044	0,117609	0,071113	1

20. táblázat: A Kappa együttható értékei valamint az egyezés foka *Monserud és Leemans* (1992) alapján az egyes éghajlati mutatókra az 1971–2000-es és a 2071–2100-as időszakok között

Éghajlati mutató	Kappa együttható (κ)	Az egyezés foka
hőellátottság	0,078068	nagyon gyenge
vízellátottság	0,590479	jó
szezonális	0,547068	korrekt

A 20. táblázat a referencia időszak és a távoljövő között elvégzett Kappa statisztika eredményeit mutatja. Látható, hogy az előző időszakhoz képest az együtthatók sokkal kisebbek. A táblázat alapján elmondható, hogy a vízellátottság és a szezonális esetben az egyezés foka *Monserud és Leemans* (1992) alapján rendre jó illetve korrekt. A leglátványosabb változás a hőellátottság esetében jelentkezik, esetében κ értéke megközelítőleg 0,078 tehát nagyon gyenge egyezésről beszélhetünk. Így az eredmények alapján elmondható, hogy a távoljövő és a referencia időszak között a hőellátottság tekintetében jelentős változások mennek végbe.

6. Összefoglalás

Munkám során Európa éghajlatát mutattam be a XX. és XXI. századra Feddema módszere alapján. Ennek megvalósítása CRU TS 1.2 valamint mérési adatok alapján korrigált modell eredményekkel történt. A XXI. század vizsgálata során tíz ENSEMBLES modell eredményével dolgoztam. Ezek közül a legszélsőségesebb hőmérséklet- és csapadékváltozást ígérő modellekre, valamint a tíz modell átlagára alkalmaztam Feddema éghajlat-osztályozását. A XX. század esetében az 1901–1930 illetve az 1971–2000-es időszak, a XXI. század esetében a 2021–2050 és a 2071–2100 időszakok kerültek bemutatásra, amelyet az 1971–2000-es időszakkal hasonlítottam össze. A két századot érintő éghajlatváltozást az egyes időszakok között különbség térképek mutatták be, illetve statisztikai elemzésük Kappa próbával történt.

Az 1901–1930-as időszakban Európa éghajlatát a hűvös és hideg klímátípusok határozták meg. Hideg klímátípusok a Skandináv-félsziget, a Kelet-európai-síkság illetve a nagyobb hegységek éghajlatát jellemzi. Hűvös típusokat főként a síkságok területén lehetett megfigyelni. A vízellátottság esetében a kontinens belseje felé történő szárazodás emelhető ki, azaz a vízellátottság csökkenése nyugat-keleti irányban haladva. A szezonalitást tekintve Európa csaknem egész területén a hőmérséklet valamint a hőmérséklet és a csapadék kombinált szezonalitása a jellemző. A hőmérséklet és csapadék együttes szezonalitása főként a hegységekben és az Atlanti-óceán partvidékén jelent meg. A csapadék szezonalitása a Skandináv-félsziget és a Pireneusi-félsziget nyugati területein fordult elő kis területi kiterjedésben.

Az 1971–2000-es időszakra kisebb kiterjedésben találjuk a hideg klímátípusokat, azaz a melegedés folyamata emelhető ki. A legnagyobb változás a Kelet-európai-síkságot, illetve az Alpok és Kárpátok térségét érinti. Új hőellátottsági kategória jelent meg, ez a meleg típus, amely Spanyolország területén jellemző kis térségben. A vízellátottság esetében a nedvesedés és szárazodás folyamata egyaránt megfigyelhető volt. Az előbbi leginkább a Skandináv-félszigetet jellemezte. A szárazodás a leglátványosabban Németország területén mutatkozik, de Európa több kisebb területén előfordult. A szezonalitás esetében az egyértelmű tendencia a hőmérséklet szezonálisának térnyerése a Kelet-európai-síkság területén. A XX. századi változásokról elmondható, hogy nagyobb, összefüggő területen csak néhány esetben fordultak elő leginkább Európa területén szélszórtnak mutatkoznak.

A 2021–2050-es és 2071–2100-as időszakokat összevetve az 1971–2000 időszakokkal több, főként hőellátottságbeli változás volt megfigyelhető. A legszembetűnőbb folyamat a Kelet-európai-síkság, a Skandináv-félsziget valamint a hegységek területén megfigyelhető melegedés, azaz a hűvös klímátípus térnyerése a hideggel szemben. A változás a HadRM3Q modell esetében a 2021–2050-es időszakban jelentősebb a többi modellhez illetve az átlaghoz képest. A 2071–2100-as időszakban az összes bemutatott esetben ugyanazt a képet kapjuk, a 100 év alatt történt változás kb. 600 ezer km²-es területet érint. Fontos megemlítenünk, hogy új hőellátottságbeli kategória jelenik meg a XXI. század folyamán. A 2071–2100-as időszakban a nagyon meleg kategória jelenik meg Spanyolország területén. A legnagyobb területi kiterjedésben, azaz kb. 10 ezer km²-en a modellek átlagánál tűnik fel.

A vízellátottságban történt változások nem mutatkoznak olyan nagy területi kiterjedésben, mint az előzőekben leírtak. Franciaország valamint a Kelet-európai-síkság területén a száraz klímátípus jelenik meg egyre nagyobb területi kiterjedésben a 100 év folyamán. Továbbá a szemiárid típus is egyre nagyobb területeken jelenik meg Európa keleti-délkeleti részén (pl.: Magyarország, Románia területén). Fontos megjegyezni, hogy a HIRHAM5 modell esetében ezek a változások nem jelentkeznek. Ezzel ellentétes folyamatot, azaz nedvesedést figyelhetünk meg. Ugyanis a modell eredményei a nyirkos vízellátottság térnyerését mutatják a XXI. század folyamán.

A szezonális tekintetében igen eltérő eredményeket kaptunk mind a modellekre, mind az egyes időszakokra. A 2021–2050-es időszakban a HIRHAM és HIRHAM5 modellek esetében több területen a hőmérséklet és csapadék szezonális váltotta fel a hőmérséklet szezonálisát. Ezzel szemben a HadRM3Q modell és a modellek átlagának esetében a hőmérséklet szezonálisának erősödését tudtuk kiemelni. A 2071–2100-as időszakban a HIRHAM modell valamint a modellek átlagának esetében a hőmérséklet extrém szezonálisának térnyerése volt megfigyelhető. A HadRM3Q modell eredményei ugyanakkor a hőmérséklet és csapadék szezonálisának területi kiterjedésének növekedését is mutatják a hőmérséklet szezonálisával szemben. A HIRHAM5 modell esetében továbbra is a hőmérséklet és csapadék kombinált szezonális a jellemző.

Összefoglalva a változások mindkét század esetén főként a hőellátottságban jelentkeztek és a domináns folyamat egyértelműen a melegedés. A legnagyobb változások a XXI. században jelentkeznek. A század végére ugyanis Európa éghajlatát néhány területtől eltekintve a hűvös, száraz klímátípus uralja. A kontinens déli részein olyan klímátípus is megjelenik, amely a XX. században még nem volt jelen. Szezonális

tekintetében Európa legnagyobb részének éghajlatát a hőmérséklet extrém szezonalitása fogja meghatározni.

Elmondható, hogy *Feddema* (2005) módszerével Európa éghajlatát részletesen, az egyes térségek klímáját elkülönítve tudtuk bemutatni. Az éghajlat-osztályozási módszer a klímaváltozás folyamatait jól tudja érzékeltetni, a változások könnyen értelmezhetők.

7. Irodalomjegyzék

- Ács, F., Breuer, H., Skarbit, N., 2014: Climate of Hungary in the twentieth century according to Feddema. Theoretical and Applied Climatology, DOI: 10.1007/s00704-014-1103-5
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Matyasovszky, I., Schlanger, V., 2003: Expected regional variations and changes of mean and extreme climatology of Eastern/Central Europe. In: Combined Preprints CDROM of the 83rdAMS Annual Meeting, Paper 4.7, American Meteorological Society, 10 p.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Matyasovszky, I., Schlanger, V., 2004: A XX. században bekövetkezett és a XXI. századra várható éghajlati tendenciák Magyarország területére. Agro-21 Füzetek, 33, 1–15.
- Bartholy, J., Dezső, Zs., Gelybó, Gy., Kern, A., Pongrácz, R., Radics, K., 2013: Alkalmazott és városklimatológia. Egyetemi jegyzet, 105–107.
- Berényi, D., 1943: Magyarország Thornthwaite rendszerű éghajlati térképe és az éghajlati térképek növényföldrajzi vonatkozásai. Időjárás, 47 (5–6), 81–91. (7–8), 117–125.
- Bergeron, T. 1928: Ueber die dreidimensional verknüpfende Wetteranalyse; erster Teil: Prinzipelle Einführung in das Problem der Luftmassen-und Frontenbildung. Geofysiske Publikasjoner, 5. 6., 1–111.
- Böhm, U., Kücken, M., Ahrens, W., Block, A., Hauffe, D., Keuler, K., Rockel, B., Will, A., 2006: CLM – The climate version of LM: Brief description and long-term applications. COSMO Newsletter, 6, 225–235.
- Carletta, J., 2004: Assessing Agreement on Classification Tasks: The Kappa Statistic. Computational Linguistics, Volume 22, Number 2 249–254
- Carter, D. B., Mather, J. R., 1966: Climatic classification for environmental biology. Publications in Climatology, 19, 305–395.
- Christensen, J. H., Christensen, O. B., Lopez, P., van Meijgaard, E., Botzet, M., 1996: The HIRHAM4 Regional Atmospheric Climate Model. Scientific Report, 96–4, Danish Meteorological Institute, 51 p.
- 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, 7–30
- Christensen, O. B., Drews, M., Christensen, J. H., Dethloff, K., Ketelsen, K., Hebestadt, I., Rinke, A., 2007: The HIRHAM Regional Climate Model Version 5 (beta). Technical Report, 06–17, Danish Meteorological Institute, 22 p.
- Christensen, O. B., 2011: Climate change signals of ENSEMBLES RT2b models. Technical Report, 4 p.
- Cohen, J., 1960: A coefficient of agreement for nominal scales. Educ. Psychol. Meas., 20, 37–46
- Collins, M., Booth, B. B. B., Harris, G. R., Murphy, J. M., Sexton, D. M. H., Webb, M. J., 2005: Towards Quantifying Uncertainty in Transient Climate Change. Climate Dynamics, 27 (2–3), 127–147.
- de Candolle, A., 1874: Constitution dans le règne végétal des groupes physiologiques applicables à la géographie botanique ancienne et moderne. Bibliothèque Universelle. Archives des Sciences Physiques et Naturelles, 50, 5–42.
- Dévényi, D., Gulyás, O., 1988: Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában. Egyetemi tankönyv, 428 p.
- Drucza, M., 2008: A párolgás és a talaj vízháztartási tulajdonságainak modellezése: magyarországi esettanulmányok. Doktori értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék, 100 p.
- Ehret, U., Zehe, E., Wulfmeyer, V., Warrach-Sagi, K., Liebert, J., 2012: Should we apply bias correction to global and regional climate model data? Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 14 p.
- Fábián, Á. P., Matyasovszky, I., 2010: Analysis of climate change in Hungary according to an extended Köppen classification system, 1971–2060. Időjárás, 114, 251–263
- Feddema, J. J. 2005: A revised Thornthwaite-type global climate classification. Physical Geography, 26., 442–466.
- Formayer, H., Haas, P., 2009: Correction of RegCM3 model output data using a rank matching approach applied on various meteorological parameters. In: Deliverable D3.2 RCM output localization methods (BOKU-contribution of the FP 6 CECILIA project), 5–15.
- Garnier, B. J., 1950: Thornthwaite's New System of Climate Classification In Its application to New Zealand. Transactions of the Royal Society of New Zealand, Vol 79, part 1, 87–103.
- Giorgi, F., Bi, X., Pal, J., 2004: Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. II: climate change scenarios (2071–2100). Climate Dynamics, 23, 839–858
- Grisebach, A., 1866: Die Vegetations-Gebiete der Erde, übersichtlich zusammengestellt. Petermanns Geographische Mitteilungen, 12, 45–53.

- Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. D., New, M., 2008: A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *Journal of Geophysical Research*, 113, D20119, doi:10.1029/2008JD010201.
- Heikkinen, R. K., Luoto, M., Araújo, M. B., Virkkala, R., Thuiller, W., Sykes M. T., 2006: Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography*, 30, 6, 751–777
- Hettner, A., 1930: *Die Klimate der Erde*. Geographische Schriften (Leipzig and Berlin), 5, 115 p.
- Holdridge, L. R., 1947: Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, 105, 367–368.
- Holdridge, L. R., 1967: Life zone ecology. Tropical Science Center, San Jose, Costa Rica, 206 p.
- IPCC, 2001: Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [WATSON, R. T. and the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 398 p.
- Jacob, D., Andrae, U., Elgered, G., Fortelius, C., Graham, L. P., Jackson, S. D., Karstens, U., Koepken, C. H. R., Lindau, R., Podzun, R., Rockel, B., Rubel, F., Sass, H. B., Smith, R. N. D., van den Hurk, B. J. J. M., Yang, X., 2001: A Comprehensive Model Intercomparison Study Investigating the Water Budget during the BALTEX-PIDCAP Period. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 77 (1–4), 19–43.
- Jones, C. G., Willén, U., Ullerstig, A., Hansson, U., 2004: The Rossby Centre Regional Atmospheric Climate Model Part I: Model Climatology and Performance for the Present Climate over Europe. *Ambio*, 33 (4–5), 199–210.
- Kakas, J., 1960: A lehetséges évi evapotranszspiráció. Az évi vízfölösleg. Az évi vízhiány. In: Magyarország Éghajlati Atlasza. Akadémiai Kiadó, Budapest, 46/2–4 térkép.
- Kalvova, J., Halenka, T., Bezpalcova, K., Nemesova, I., 2003: Köppen Climate types in observed and simulated climates. *Stud. Geophys. Geod.*, 47, 185–202.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F., 2006: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, 15, 259–263.
- Köppen, W., 1900: Versuch einer Klassifikation der Klimata, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzen. *Geograph. Zeitschr.*, 6., 593–611, 657–697.
- Köppen, W., 1923: *Die Klimate der Erde*, Grundriss der Klimakunde. Walter de Gruyter, Berlin, 388 p.
- Köppen, W., 1936: Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W. and GEIGER, R. (eds.): *Handbuch der Klimatologie*. Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1–44.
- Lenderink, G., van den Hurk, B., van Meijgaard, E., van Ulden, A., Cuijpers, H., 2003: Simulation of present-day climate in RACMO2: first results and model developments. KNMI Technical Report, 252, 24 p.
- Lugo, A. E., Brown, S. L., Dodson, R., Smith, T. S., Shugart, H. H., 1999: The Holdridge life zones of the conterminous United States in relation to ecosystem mapping. *Journal of Biogeography*, 26, 5, 1025–1038
- Mitchell, T. D., Carter, T. R., Jones, P. D., Hulme, M., New, M., 2004: A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901–2000) and 16 scenarios (2001–2100). Tyndall Centre Working, Paper 55, 2–7.
- Monserud, R.S., Leemans, R., 1992: Comparing global vegetation maps with the Kappa statistics. *Ecol. Model.*, 62, 275–293.
- Pal, J. S., Girogi, F., Bi, X., Elguindi, N., Solmon, F., Gao, X., Rauscher, S. A., Francisco, R., Zakey, A., Winter, J., Ashfa, Q. M., Syed, F. S., Bell, J. L., Diffenbaugh, N. S., Karmacharya, J., Konare, A., Martinez, D., Da Rocha, R. P., Sloan, L. C., Steiner, A. L., 2007: Regional climate modeling for the developing world: The ICTP RegCM3 and RegCNET. *Bulletin of American Meteorological Society*, 88 (9), 1395–1409.
- Pan, Y., Li, X., Gong, P., He, C., Shi, P., Pu, R., 2003: An integrative classification of vegetation in China based on NOAA AVHRR and vegetation-climate indices of the Holdridge life zone. *International Journal of Remote Sensing*, 24:5, 1009–1027
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., McMahon, T. A., 2007: Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 4, 439–473
- Peterson, T. C., Vose, R. S. 1997: An overview of the Global Historical Climatology Network temperature database. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 78(12), 2837–2849.
- Radu, R., Déqué, M., Somot, S., 2008: Spectral nudging in a spectral regional climate model. *Dynamic Meteorology and Oceanography*, 60 (5), 898–910.
- Réthy, A., 1933: Kísérlet Magyarország klímaterképének szerkesztésére a Köppenféle klímabeosztás értelmében. *Időjárás*, 9, 105–115.

- Rowell, D. P., 2005: A scenario of European climate change for the late twenty-first century: seasonal means and interannual variability. *Climate Dynamics*, 25, 837–849.
- Rubel, F., Kottek, M., 2010: Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorol. Z.*, 19, 135–141.
- Russell, R. J., 1931: Dry climates of the United States: I climatic map. University of California, Publications in Geography, 5, 1–41.
- Seo, C., Thorne, J. H., Hannah, L., Thuiller, W., 2009: Scale effects in species distribution models: implications for conservation planning under climate change. *Biol. Lett.*, 5, 39–43.
- Szász, G., 1963: A vízháztartás klimatikus tényezőinek vizsgálata Magyarországon. Debreceni Agrártudományi Főiskola Tudományos Közleményei, 49–71.
- Szelepcsényi, Z., Breuer, H., Ács, F., Kozma, I., 2009a: Biofizikai klímaklasszifikációk. 1. rész: a módszerek bemutatása. *Léggör*, 54, 3, 21–27.
- Szelepcsényi, Z., Breuer, H., Ács, F., Kozma, I., 2009b: Biofizikai klímaklasszifikációk. 2. rész: magyarországi alkalmazások. *Léggör*, 54, 4, 18–24.
- Szelepcsényi, Z., 2012: A Kárpát-medence várható éghajlata ENSEMBLES szimulációk korrigált adatsorai alapján Thornthwaite szerint. Diplomamunka, Budapest, 57 p.
- Szesztay, K., 1958: Estimation of water balance of catchment areas in Hungary. *Időjárás*, 62, 313–328.
- Thornthwaite, C. W., 1931: The climates of North America according to a new classification. *Geogr. Rev.*, 21, 633–655.
- Thornthwaite, C. W., 1948: An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.*, 38, 5–94.
- van der Besselaar, E. J. M., Haylock, M. R., van der Schrier, G., Klein Tank, A. M. G., 2011: A European Daily High-resolution Observational Gridded Data set of Sea Level Pressure. *Journal of Geophysical Research*, 116, D11110, 11 p.
- van der Linden, P., Mitchell, J. F. B., 2009: ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160p.
- Villmow, J. R., 1962: Regional Pattern of Climates in Europe According to the Thornthwaite Classification. *The Ohio Journal of Science*, 62, 1, 39–53.
- von Humboldt, A., 1806: Ideen zu einer Physiognomik der Gewächse. J. G. Cotta, Tübingen, 28 p.
- Willmott, C. J., Feddema, J. J., 1992: A more rational climatic moisture index. *The Professional Geographer*, 44, 84–88.

8. Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni, Dr. habil. Ács Ferencnek körültekintő útmutatásaiért és számos szakmai tanácsáért.

Köszönet illeti Dr. Breuer Hajnalkát, aki bármilyen problémámat rövid idő alatt orvosolta és mindvégig hasznos tanácsokkal látott el.

A felhasznált regionális klímamodell-szimulációkat és az E-OBS adatbázist az ENSEMBLES projekt (<http://ensembles-eu.metoffice.com>) keretében állították elő, amelyet az EU FP6 program támogatott. Az E-OBS adatbázis alapját képező állomási adatokat az ECA&D projekt (<http://eca.knmi.nl>) bocsátotta rendelkezésre.