

# **A Kárpát-medence éghajlatának vizsgálata különböző éghajlat-osztályozási módszerekkel a CarpatClim adatbázis alapján**

DIPLOMAMUNKA  
METEOROLÓGUS MESTERSZAK  
ÉGHAJLAT KUTATÓ SZAKIRÁNY



Készítette:

**Szabó Amanda Imola**

Témavezető:

**dr. habil. Ács Ferenc**

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

**dr. Breuer Hajnalka**

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Földrajz- és Földtudományi Intézet

Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2017

## Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék .....	2
1. Bevezetés .....	3
2. Célkitűzés .....	4
3. Irodalmi áttekintés .....	5
3.1 A biofizikai éghajlat-osztályozások fejlődése .....	5
3.2 A biofizikai éghajlat-osztályozások nemzetközi alkalmazásai.....	8
3.3 A biofizikai éghajlat-osztályozások alkalmazásai hazánkban .....	12
4. Anyag és módszertan.....	13
4.1 A CarpatClim adatbázis .....	13
4.2 Köppen éghajlat-osztályozási módszere.....	13
4.3 Feddema éghajlat-osztályozási módszere .....	15
4.4 A finomhangolt Feddema .....	17
5. Eredmények .....	21
5.1 Köppen és Feddema alkalmazása a Kárpát-medencére .....	21
5.2 A finomhangolt Feddema módszer.....	26
5.2.1 1. alterület .....	26
5.2.2 2. alterület .....	29
5.2.3 3. alterület .....	30
6. Konklúzió .....	34
7. Kitekintés.....	36
8. Köszönetnyilvánítás .....	37
9. Irodalomjegyzék .....	38

## 1. Bevezetés

Az éghajlat az adott régiót jellemző átlagos légköri jellemzők összesége (*de Oliveira Aparecido*, 2016). Az éghajlati rendszer összetevőinek vizsgálata és azok kölcsönhatásainak elemzése során a kutatók felismerték, hogy a növényzet vizsgálatával az egyes területek besorolhatók különböző éghajlati osztályokba (*Ács és Breuer*, 2013). Ez az úgynevezett biofizikai éghajlat-osztályozás, amely alkalmazható éghajlatszimulációs modellek értelmezésénél (*Szelepcsényi*, 2012) is. A legismertebb éghajlat-osztályozási módszereknek tekintik Köppen, Holdridge és Thornthwaite módszereit (*Szelepcsényi*, 2012). Ezen módszerek segítségével különböző osztályokba és alosztályokba sorolhatók az egyes területek.

A különböző biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek eltérő számításokkal igyekeznek minél pontosabban meghatározni az adott területek karakterisztikáit visszaadó indexeket. Továbbá módszertani különbségeket eredményez az is, hogy mely környezeti tényezőket veszi figyelembe az adott osztályozás. Ilyen tényező lehet például a vegetáció és az ahhoz való viszony, valamint a különböző talajkarakterisztikák (*Rubel és Kottek*, 2011).

Az osztályozások sokfélesége miatt szükségessé vált a jó éghajlat-osztályozáshoz szükséges alapelvek megfogalmazása. *Essenwanger* (2001) fogalmazta meg a következő négy kritériumot: az éghajlat-osztályozás (1) alkalmas az éghajlati adatok tömegének egy kezelhető és könnyen értelmezhető formába való rendszerezésére, (2) könnyen alkalmazható, (3) a légköri paraméterek alapján meghatározható kategóriáinak száma és típusai a Földön ténylegesen létező klímátípusoknak megfelelően vannak definiálva, (4) meteorológiai alapelveken alapszik.

A fentebb említett módszerek a mindennapi alkalmazás során nehézkesen felhasználhatók. Ennek oka, hogy a felhasznált változók és feltételrendszerek eredményei háttérismeretek hiányában nehezen értelmezhetők, valamint vizuálisan sem ábrázolhatók közérthető módon (*Feddema*, 2005). Ezen kívül ezek a módszerek gyakran éghajlati szempontból igen változatos területek esetében sem képesek a regionális különbségek megmutatására (*Skarbit*, 2012). A közérthetőség és a globálisnál kisebb skálákon való alkalmazhatóság javítása fontos szempont a módszerek fejlesztésében (*Feddema*, 2005). Ezt felismerve készítette el *Feddema* (2005) a *Thornthwaite* (1948) módszer átdolgozott verzióját. Jelen dolgozatban az utóbb említett probléma, a finomabb skálájú osztályozás kerül előtérbe.

## 2. Célkitűzés

A bevezetésben említett éghajlat-osztályozási módszerek közül Köppen metódusa a legszélesebb körben alkalmazott (Kottek *et al.*, 2006). Ez a módszertan globális skálán jó eredményeket ad az egyes területek klímájára vonatkozóan. Azonban kisebb skálán, például Magyarország területére, már nem ad hiteles képet a területen előforduló éghajlati osztályokról (Réthly, 1933). A Köppen osztályozás alapján hazánk területe erősen homogén éghajlattal jellemezhető és nem mutatja meg az egyes mezoklimák elhelyezkedését (Fábián és Matyasovszky, 2010).

Korábbi kutatások során, a kevésbé ismert Feddema módszertant mindössze néhány területen alkalmazták, többek között a Pannon-medencére vonatkozóan is (Ács *et al.*, 2015). Az eredmények alapján megállapítható, hogy a Feddema módszerrel kapott éghajlati típusok száma általában valamelyest nagyobb, mint a Köppen módszerrel kapott éghajlat típusok száma. A Feddema éghajlat-osztályozás jelentősége továbbá, hogy finomhangolható, így megmutatható a Köppen által homogén éghajlatúnak látszó terület mezoléptékben éghajlatilag heterogén struktúrája (Breuer *et al.*, 2015). A finomhangolás azért lehetséges, mert míg Köppen módszertanának alkalmazásakor egy többlépcsős küszöbértékeken alapuló kritériumrendszer segítségével osztályozhatók a területek, addig Feddema esetében az osztályozást nem küszöbértékek, hanem meghatározott nagyságú intervallumok alkalmazása alapján hajtjuk végre (Ács *et al.*, 2010).

Ezen eredmények ismeretében dolgozatom célja, hogy összevegyem a Köppen és a Feddema módszertanát egy heterogénebb és éghajlati szempontból még változatosabb területre, a Kárpát medencére vonatkozólag. Vizsgálatom során a CarpatClim adatbázis segítségével igyekszem bemutatni, hogy míg a Köppen éghajlat-osztályozás meglehetősen homogén klímával rendelkező területként jellemzi a Kárpát-medencét, addig világviszonylatban ismeretlen Feddema osztályozás e térség mezoklíma szerkezetének leírására is alkalmas.

### 3. Irodalmi áttekintés

Az éghajlat megismerése és osztályozása évezredek óta foglalkoztatja az emberiséget (*Ács és Breuer, 2013*). Az éghajlat osztályozására számos módszert gondoltak ki, és fejlesztettek tovább a kutatók az elmúlt évszázadok során. E módszereket csoportosíthatjuk a következőképpen: empirikus és egzakt klíma-klasszifikációk. Az empirikus módszerek tovább csoportosíthatók generikus vagyis leíró, továbbá a genetikus és praktikus osztályozásokra.

A dolgozat során a leíró osztályozás lehetséges módszerei kerülnek említésre. Ezek a módszerek általában valamely éghajlati elemek, esetenként környezeti adottságok (pl.: vegetáció típusa) értékeinek ismeretében írják le az adott terület klímáját (*Ács és Breuer, 2013*). Az irodalmi áttekintés során továbbá számos példa látható a leíró osztályozások lehetséges alkalmazási módjaira és ezáltal lehetőség nyílik a leíró osztályozásokkal kapcsolatos kutatások fontosságának felismerésére.

#### 3.1 A biofizikai éghajlat-osztályozások fejlődése

A leíró jellegű osztályozások közé sorolandók a biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek, melyek figyelembe veszik a különböző növényföldrajzi adottságokat. *von Humboldt* (1806) írta le elsőként azt az észrevételt, hogy az eltérő földrajzi elhelyezkedésű területek vegetációja szerkezetileg igen hasonló, ha a területek éghajlati szempontból is közel egyező tulajdonságokkal rendelkeznek (*Bonan, 2002*).

A biofizikai éghajlat-osztályozások létrejöttében fontos szerepe volt *Grisebach* (1866) valamint *Drude* (1884) munkájának. Tanulmányaikban ismertették a vegetációk globális elterjedésének térképét. Nem sokkal később *de Candolle* (1874) végzett osztályozást a hőmérsékletnek a növényzet életműködésére gyakorolt hatásai alapján. Kronológiailag a következő előrelépés volt *Supan* (1879) hőmérsékleten alapuló módszertana, amely az erdők határát a 10 °C-os izotermákhoz kapcsolta a poláris övben, továbbá a 20 °C-os évi középhőmérsékleti izoterma elhelyezkedéséhez a pálmák elterjedését a trópusi övben. Ezzel ő volt az első kutató, aki párhuzamos felosztás helyett izovonalak segítségével határozta meg a fő éghajlati területeket (*Rubel és Kottek, 2011*). Érdeemes még megemlíteni *Vojekov* 1884-es munkásságát, aki a folyók vízszállítását vette alapul,

Munkáját néhány évtizeddel később (1910) Penck folytatta, akinek már több és pontosabb hidrológiai adatok álltak rendelkezésére (Anda et al., 2010).

A 20. század elejétől kezdve kezdett elterjedni a vegetáció típusok és határok figyelembe vétele az osztályozási módszerek kidolgozása során. Az első globális kvantitatív klíma osztályozás Köppen (1918) módszertana volt (Belda et al., 2014). Munkája során a már korábban említett Grisebach (1886) és de Candolle (1874) által elkészített vegetáció-térképeket vette alapul (Ács és Breuer, 2013). de Candolle (1874) öt főcsoportba sorolta a vegetáció típusokat és ezekhez rendelt hozzá Köppen (1918) öt, a hőmérsékleten, valamint a csapadék mennyiségén és időbeli eloszlásán alapuló, fő övet. Az övek definiálása során megtartotta a Supan (1987) által használt 10 °C és 20 °C-os izotermákat, de már a hőmérséklet éves váltakozásait is figyelembe vette (Rubel, 2011). Köppen népszerű módszertanának előfutárját, az 1884-ben publikált módszertanát, több ízben módosította (Köppen, 1884, 1900, 1918, 1923, 1936; Rubel, 2011). 1936-os munkájában Rudolf Geiger is segédkezett, aki Köppen halála után tovább fejlesztette módszerét (Geiger, 1954) valamint elkészítette a földtudományokban gyakran használt Köppen-Geiger klímaterképet (Geiger, 1961). Köppen világszerte ismert módszerének egy másik híres módosítása az úgynevezett Köppen-Trewartha osztályozás, melyet Trewartha és Horn (1980) alkottak meg. A Trewartha-féle éghajlat-osztályozás Köppenéhez hasonlóan a fő éghajlati öveken alapul, azonban a kategóriák inkább kapcsolódnak éghajlati megfigyelésekhez, mint konkrét értékekhez. Így, bár csupán négy alosztállyal tartalmaz többet, mint a Köppen, mégis természetűbb (Péczeley, 1979).

A következő fontos lépcsőfoka az éghajlat-osztályozás fejlődésének a Holdridge-féle osztályozási rendszer. Holdridge (1947) módszertanának során az egyes területek éghajlatának osztályozása a jellemző potenciális vegetáción alapul. Holdridge osztályozását és a módszerben szükséges indexek számításának módját több ízben módosította (Holdridge, 1947, 1967; Holdridge et al., 1971). A módszertan hőmérséklet és csapadék adatok felhasználásával osztályozza az ökológiai egységeket (Szelepcsényi, 2009a). Az osztályozás során három indexet becsült meg: évi átlagos biohőmérséklet, évi potenciális evapotranszpirációs arány, évi átlagos csapadékmennyiség. A különböző életformák rendszere a Holdridge-féle háromszögdiagramról olvasható le. A diagramról leolvashatók a különböző biotopok (pl.: erdő, bozót) valamint szélességi övek (pl.: sarkvidéki, hidegmérsékelt) továbbá a nedvességi tartományok (pl.: nedves, száraz) (Lugo et al., 1999).

Az eddigiekben röviden ismertetett osztályozásoktól eltérően a következő „generációs” osztályozások már a víz- és a hőellátottság becslése alapján klasszifikálták az

adott területet. A talán legismertebbnek számító Köppen osztályozás után a legelterjedtebb *Thornthwaite* (1931, 1933, 1948) osztályozása, amely, bár racionális megközelítése alapján gyakran idézett módszer, túlzott komplexitása miatt nehezen alkalmazható a gyakorlatban (*Rubel*, 2011). Míg a korábbi éghajlat-osztályozásokban az izotermák elhelyezkedése volt a döntő, *Thornthwaite* (1948) felismerte, hogy a potenciális evapotranszpiráció (*PET*), mint hidrofizikai mutató, szintén alkalmas a terület hőellátottságának meghatározására (*Ács et al.*, 2005). A csapadék (*P*) és a *PET* mérlegének számításával a talaj hasznos vízkészletét is figyelembe veszi a terület vízháztartásának leírásakor (*Grundstein*, 2008). A *Thornthwaite*-féle osztályozás négy karakteres klímaképletekkel jelölt osztályokba sorolja az egyes területeket. Az éghajlati osztályokat meghatározó klímaképlet első két betűje éves, míg a második két betű évszakos szinten adja meg a terület vízmérlegét (*Ács et al.*, 2005; *Feddema*, 2005). Az első betű a területre jellemző nedvességi állapotot jellemző index. A második a (*PET*) mennyiségét, míg a harmadik az esetleges vízhiánnyal/víz többlettel arányos nedvességi/szárazsági indexet jelöli. A negyedik betű a nyári évszakra vonatkozó és az éves *PET* arányát mutatja. Az egyes nedvességi intervallumok meghatározása során figyelembe vette a természetes vegetáció eloszlását (*Péczeley*, 1979).

*Thornthwaite* osztályozása, annak ellenére, hogy Köppen módszerének egy fejlettebb, javított verziójának tartják, nem nagyon terjedt el (*Feddema*, 2005). A módszer hiányosságainak és hibáinak javítására készítette el *Feddema* (2005) osztályozását mely a *Thornthwaite* klímaklasszifikáció egy módosított verziója. A módosított *Thornthwaite* osztályozás már egyszerűbben számítható és ábrázolható.

Az említett *Thornthwaite* és *Feddema* osztályozások *P* és *PET* értékek alapján értékelik a nedvességi viszonyokat az egyes éghajlati területeken. Hasonló típusú generikus éghajlat-osztályozási módszer még *Budyko* (1974) osztályozása mely szintén hőháztartási alapokon nyugszik és a növényföldrajzi övekkel szoros kapcsolatot mutat. Az általa használt ariditási index a sugárzási egyenleg és a csapadék látens hőjének viszonyát mutatja meg.

Fontos még megemlíteni egy hazai éghajlat-osztályozással foglalkozó kutató, *Péczeley* (1979) éghajlat-osztályozását. A módszer alapja, hogy a *PET* értékét egyenlővé teszi a felszín sugárzási egyenlegével. *Péczeley* módszertanát Magyarország területére alkalmazta (*Skarbit et al.*, 2014).

### 3.2 A biofizikai éghajlat-osztályozások nemzetközi alkalmazásai

A következőkben a jelen kutatás során alkalmazott Köppen és Feddema klímaklasszifikációk nemzetközi alkalmazásai kerülnek bemutatásra. Bár az éghajlat-osztályozások eredetileg arra lettek megszerkesztve, hogy globális, regionális és lokális szinten leírják az éghajlati osztályok struktúráját (*Beck et al.*, 2005) napjainkban már igen változatos módokon kerülnek alkalmazásra. A biofizikai éghajlat-osztályozások használhatók a globális és regionális éghajlati változások elemzésére is, különböző időtartamok alkalmazásával. A klímátípusok éghajlat-osztályozási módszerek alkalmazásával megmutatott térbeli és időbeli változékonysága nem csak az éghajlati paraméterek változását tükrözi. Az osztályozások szorosan kapcsolódnak a különböző környezeti feltételekhez és ezért felhasználhatók a múltbeli, jelenlegi és jövőbeli éghajlatváltozás környezeti rendszerekre gyakorolt hatásainak vizsgálatára is.

Mint az már fentebb említésre került, Köppen módszertanát több kutató fejlesztette és módosította az elmúlt évtizedekben. Az egyik legfontosabb kiegészítése az eredeti módszertant tárgyaló publikációnak a híres Köppen-Geiger klímaterkép (*Geiger*, 1961). Az éghajlattannal és földtudományokkal foglalkozó területeken leggyakrabban használt éghajlati térképet több tanulmányban aktualizálták (*Kottek et al.*, 2006). Az elmúlt években egy osztrák, Köppennel foglalkozó kutatócsoport korszerűsítette és publikálta a Köppen-Geiger térképet, valamint egy globális adatbázist és animációkat az éghajlatváltozásról (*Kottek et al.*, 2006; *Rubel és Kottek*, 2010; *Rubel és Kottek*, 2011; [1- koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/]). A tanulmányaik során CRU<sup>1</sup> adatokkal dolgoztak. Fontos még megemlíteni *Peel et al.* (2007) munkáját melyben Köppen módszerét már az egyes kontinensekre dolgozta át, majd ebből készített el egy globális szintű klímaterképet. A kutatócsoport egyik legfrissebb munkájában (*Rubel et al.*, 2016) az Alpok éghajlati struktúráját és annak időbeli változását írta le egy háromszáz éves időintervallumra (1800-tól 2100-ig) a HISTALP<sup>2</sup> idősor, továbbá az RCA4<sup>3</sup> regionális éghajlati modell és az RCP 2.6 valamint RCP 8.5 klímaszcenáriók felhasználásával.

---

<sup>1</sup> Climatic Reserarch Unit adatbázis (*Mitchell et al.*, 2004)

<sup>2</sup> Historical Instrumental Climatological Surface Time Series of the Greater Alpine Region

<sup>3</sup> Rossby Centre Regional Atmospheric Model



Az említett kutatócsoport munkája mellett számtalan másik kutatás során alkalmazták Köppen (1918) éghajlat-osztályozását. *Manabe és Holloway* (1975) hőmérséklet és csapadék előrejelzések alapján a Köppen klasszifikációt használták általános klímamodell (GFDL<sup>4</sup>-GCM<sup>5</sup>) valamint éghajlatváltozás szimuláció (CO<sub>2</sub> trendvizsgálattal) verifikációjára (*Rubel et al.*, 2011). További alkalmazási módja az éghajlat-osztályozási módszereknek az általános cirkulációs modellek validációjának vizsgálata. *Lohman et al.* (1993) az ECHAM3<sup>6</sup> modellre alkalmazták Köppent. Továbbá a Köppeni módszer segítségével vizsgálták az üvegházhatású gázok menetén alapuló, felmelegedést szimuláló ECHAM1/LSG és ECHAM3 modell eredmények alapján az éghajlati zónák eltolódását. Ez a kutatás tovább folytatódott melynek eredményei *Kalvová et al.* (2002) tanulmányában olvashatók. A globális térképek térbeli eloszlásának jóságát vizsgálta *Diaz és Eischeid* (2007). Az eredményeik alapján a digitalizált Köppen globális térképek még nem rendelkeznek elég nagy felbontással, például az alpesi tundra területi csökkenésének vizsgálatára.

A teljes Földre vonatkozó Köppen osztályozást tartalmazó szabadon elérhető digitális adatsor [1- koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/] további alkalmazásokra is került. *Mizoguchi et al.* (2009) az USA-ban végzett mikrometeorológiai megfigyelések felülvizsgálata során használta fel. A tanulmány célja a légszennyező anyagok halálzási arányra gyakorolt hatásának elemzése, továbbá a fosszilis növényzet által reprezentált éghajlati típusok azonosítása volt (*Zanobetti és Schwartz*, 2009). *Zhou et al.* (2010) a tanulmányában szintén Köppen alkalmazásával hasonlította össze a megfigyelésekből és a modell eredményekből származó napi felszíni hőmérsékleti trendeket.

Egy másik érdekes alkalmazás a különböző nagyskálájú meteorológiai rendszerek (ENSO, NAO stb.) vizsgálata klímaklasszifikáció segítségével. Az Észak-Atlanti-Oszcilláció, valamint a Déli Oszcilláció 20. század során megfigyelt áthelyeződését vizsgálta *Fraedrich et al.* (2001). Az éghajlatváltozás megjelenítésével kapcsolatban *Jylhä et al.* (2010) jegyezték meg, hogy Köppen módszere mind a kutatók, mind a laikusok számára alkalmas módszertan lehet az egyes éghajlati osztályok eltolódásának ismertetésére.

---

<sup>4</sup> Geophysical Fluid Dynamics Laboratory

<sup>5</sup> General Circulation Models

<sup>6</sup> ECMWF Hamburg Atmospheric Model 5

Alig néhány éves tanulmányokban a Köppen- Trewartha módszert alkalmazták a CMIP5<sup>7</sup> általános cirkulációs modell (GCM) család validációjára (*Halenka et al.*, 2013; *Belda et al.*, 2016). A biofizikai éghajlat-osztályozási módszereket megfelelőnek ítélték a GCM értékelésre hiszen, mint ahogy fentebb említésre került, ezek az osztályozások a vegetációk vagy a különböző ökorégiók zonalitását követik.

Köppen módszertanát az egyes területek éghajlati osztályainak megismerése végett regionális szinten is alkalmazták. Köppen és Thornthwaite módszertanát hasonlította össze *Jones és Bellaire* (1937) Hawaii szigetére vonatkozó hőmérséklet és csapadék adatok alapján. Brazília területére az első köppeni klímaterképet *Sparovek et al.* (2007) készítette majd *Alvares et al.* (2014) megismételte az osztályozást egy finomabb térbeli felbontású adatsor segítségével. *de Oliveira Aparecido et al.* (2016) Brazília egy kisebb régiójára (Paraná államra) alkalmazta a Köppen-Threwartha módszert (*Trewartha és Horn*, 1980) továbbá *Thornthwaite* (1948) osztályozását ECMWF adatok felhasználásával.

Regionális alkalmazást végzett *Mihailović et al.* (2014). A tanulmányban az éghajlatváltozás mezőgazdasági területekre gyakorolt hatását vizsgálták Szerbiai területekre vonatkozóan (ECHAM5<sup>8</sup> és EBU-POM<sup>9</sup> és DSSAT<sup>10</sup> modellek felhasználásával). Megállapításuk szerint a Köppen-módszerrel kapott osztályok területi kiterjedése megváltozik, melegedés és szárazodás várható mely befolyásolja a tenyészidőszak hosszát, valamint a csapadék idő és mennyiségbeli eloszlását.

*Feddema* (2005) módszere rendkívül fiatalnak mondható a közel százéves *Köppen* (1918) módszerhez képest, hiszen alig több mint tíz éve publikálták. Ezért nem meglepő, hogy még csak kevés tudományos kutatás során került alkalmazásra. A *Feddema* alkalmazások jórésze tanszékünk munkásságához köthető.

Nemzetközi szinten *Grundstein* (2008, 2009) munkáját fontos megemlíteni. *Grundstein* (2009) az USA területére vonatkozólag vizsgálta a hőmérsékleti és csapadékmérések trendjének hatását a földfelszín nedvességi viszonyaira (U.S. Climate Divisional adatok felhasználásával). A kutatómunka során a vegetáció és az éghajlat változás kapcsolatának vizsgálata a *Thornthwaite* (1948) által alkalmazott majd *Willmott és Feddema* (1992) munkájában módosított nedvességi index alkalmazásával zajlott. Eközben egy másik

---

<sup>7</sup> Coupled Model Intercomparison Project

<sup>8</sup> ECMWF Hamburg Atmospheric Model 5

<sup>9</sup> Eta Belgrade University-Princeton Ocean Model

<sup>10</sup> Decision Support System for Agrotechnology Transfer model

munkájában *Grundstein* (2008) a teljes Feddema osztályozást alkalmazta az USA területére három 20. századi időszakra. Ebben kiemelte annak fontosságát, hogy a klímaváltozás vizsgálata során ne csak a hőmérsékleti trendet, hanem a hő és nedvesség viszonyok alakulását is vegyük figyelembe. Valamint megállapította, hogy az eredmények interpretációja egyszerűbb és világosabb, mint egy *Köppen* (1918) jellegű módszertan esetén. Továbbá a PET értékek felhasználásából eredően (mely a biológiai produktivitás egyik indikátora) nő osztályzás fizikai tartalma.

Grundstein részvételével tovább folytatódott a Feddema osztályozás alkalmazása az USA egyes területeire. *Elguindi et al.* (2013) kutatása során modell szimulációk és éghajlatváltozással kapcsolatos vizsgálatok során használták *Feddema* (2005) módszerét (a kutatócsoport tagjai között szerepelt Feddema is). A kutatás során alkalmazták az osztályozást globális klímamodellek (32 ensemble tag, CMIP5 GCM) valamint a 21. század végére előrejelzett klímaváltozás (RCP4.5, RCP8.5) értékelésére. A publikáció konklúziója, hogy a Feddema módszertan alkalmasabb a klímátípusok területi áthelyeződésének és időbeli változásának számszerűsítésére, mint a korábbi klímaklasszifikációk.

Az USA területére vonatkozó vizsgálatokat végző kutatócsoport mellett az ELTE TTK Meteorológiai Tanszékének kutató csoportja alkalmazta Feddema osztályozását. Nemzetközi szinten európai területekre történt kutatás a 20. valamint 21. századra, CRU TS 1.2 adatsorok felhasználásával (a Magyarországra vonatkozó területeken végzett kutatások irodalmi áttekintése a következő fejezet tárgya). *Ács et al.* (2014) vizsgálták Európa, továbbá a Pannon-medence éghajlatának változását a XX. század során. E tanulmány célja az éghajlatváltozás vizsgálata mellett Köppen és Feddema módszerének értékelése és összehasonlítása volt. A eredmények alapján látható, hogy Feddema módszere, a Köppen klímaklasszifikációval ellentétben, nem csak a nedvességi karakterisztikák, de a szezonális változásának kimutatására is alkalmas. Feddema klasszifikációjának következő alkalmazása *Takács et al.* (2014,) és *Takács* (2016) munkájában olvasható. A már többször említett CRU TS 1.2 adatbázis felhasználásával osztályozta Svájc és Ausztria éghajlatát. Az eredeti Feddema alkalmazása mellett finomhangolta is az osztályozást az alpesi régió éghajlatának minél pontosabb leírásához.

### 3.3 A biofizikai éghajlat-osztályozások alkalmazásai hazánkban

A Köppen (1918) valamint Feddema (2005) módszereit több tanulmány során alkalmazták a Kárpát-medencén belül Magyarország területére vonatkozólag, melyek az alfejezet során közelítőleg időrendben kerülnek említésre. Az első kísérlet hazánk klímaterképének szerkesztésére Köppen módszerével Réthly (1933) munkájában olvasható. Réthly szerint ezzel a típusú klímaklasszifikációval nehézkesnek bizonyult a magyarországi területek klímaklasszifikációja (Skarbit, 2012). Berényi (1943) Thornthwaite klasszifikációja mellett Köppen módszerének alkalmazásával is vizsgálta Magyarország éghajlati jellemzőit (Ács et al., 2013 Ács et al, 2012; Ács et al., 2013; Ács et al., 2014). Hazánkban Köppen módszerét vizsgálta továbbá Fábrián és Matyasovszky (2010). a CRU TS 1.2, TYN SC 1.0<sup>11</sup> adatsor valamint a HadCM3 modell felhasználásával. Az eredmények alapján hazánk nagyrészt a Cfa (I. táblázat) osztályba tartozik. A vizsgálatok kiértékelésekor Réthly (1933) és Fábrián és Matyasovszky (2010) esetében arra jutottak, hogy a Köppen klasszifikáció nem tudja visszaadni hazánk éghajlatának változatos képét.

Főként más osztályozásokkal összehasonlító elemzések, valamint éghajlatváltozást vizsgáló tanulmányok során alkalmazta Köppen módszerét több ízben Szelepcsényi (2009); Szelepcsényi et al. (2009a, 2009b). és Ács et al. (2010, 2012). A kutatások során a már említett CRU adatokkal továbbá a Kakas-féle adatbázissal dolgoztak (Kakas, 1960). Az eredmények megerősítették a feltételezést, hogy bár globális szinten könnyedén és kényelmesen alkalmazható, Köppen osztályozási rendszere nem alkalmas hazánk változatos klímájának jellemzésére.

További vizsgálatok során hazánkra és a Pannon-medencére vonatkozó éghajlat-osztályozással és éghajlatváltozással kapcsolatos tanulmányokban került összehasonlításra több más klímaklasszifikációval együtt Köppen (1918) és Feddema (2005) munkája a CRU TS 1.2 adatbázis felhasználásával (Ács et al., 2012; Ács et al., 2013; Ács et al., 2015).

Az összehasonlító vizsgálatok interpretációja során arra a következtetésre jutottak a kutatók, hogy hazánk változatos éghajlatát Köppen klasszifikációja nem képes visszaadni, Feddema módszere azonban alkalmas a klímák mezoléptékű struktúráinak jellemzésére.

---

<sup>11</sup> Tyndall Centre for Climate Change Reserarch adatbázis (Mitchell et al, 2004)

## 4. Anyag és módszertan

A vizsgálat során a fentebb ismertetett leíró jellegű klímaklasszifikációk közül Köppen (1918) valamint Feddema (2005) módszerét alkalmaztam a Kárpát-medencére vonatkozó kutatásom során. A következőkben bemutatom ezen két osztályozás feltételrendszerét valamint az finomhangolás lehetőségét és módszertanát.

### 4.1 A CarpatClim adatbázis

A kutatásom során a CarpatClim adatbázissal dolgoztam. A CarpatClim az Országos Meteorológiai Szolgálat által biztosított, több Közép-Európai kutatóintézet és szervezet közreműködésével létrejött nagy felbontású, egységes adatbázis Kárpát-medence régiójára [2-carpatclim-eu.org.]. Az adatbázis 16 változó napi idősorait (valamint 37 mutató havi idősorait) tartalmazza  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  felbontásban (közelítőleg 10 km x 10 km-es rácsháló). Az interpolált (MISH módszerrel) és homogenizált (MASH módszerrel) adatok az 1961–2010 közötti időszakra érhetők el [2-carpatclim-eu.org.].

A vizsgálat során az adatsor hőmérséklet és csapadék értékeiből képeztem 15 és 30 éves átlagokat. Ezeket a feldolgozott értékeket használtam fel a tárgyalt osztályozási módszerek alkalmazása során. A Köppen és az eredeti Feddema módszer alkalmazása során a teljes kivágással dolgoztam, mely az északi szélesség  $44^\circ$  és  $55^\circ$  valamint a keleti hosszúság  $17^\circ$  és  $27^\circ$  közötti területet fedi le. A Feddema módszer mezoléptékű alkalmazása során pedig három kisebb területre végeztem számításokat, melyek később, a 4.4 alfejezetben kerülnek bemutatásra.

### 4.2 Köppen éghajlat-osztályozási módszere

Köppen az éghajlat-osztályozás kidolgozása során a növénytakaró típusától függően különítette el a csoportokat. A vegetáció típusokhoz izoterma vonalakat rendelt és ez alapján meg tudta határozni az egyes övek területi kiterjedését (Sanderson, 1999). A vizsgálat során különböző hőmérsékleti és csapadék értékek ismeretében csoportokba sorolta a régiókat bizonyos határfeltételeknek megfelelően (Ács és Breuer, 2013). Mivel egyszerű kritériumok

határozzák meg az osztályokat, melyek jellemzése klímaképletekkel történik, ezért alkalmazása világszerte elterjedt. A kutatásom során *Peel et al.* (2007) módosított Köppen féle éghajlat-osztályozási rendszerrel dolgoztam, melynek feltételrendszere látható az 1. táblázatban.

A 1. táblázatban az eredeti **A, B, C, D, E** főcsoportok és ezek alcsoportjai helyett csak a **C, D** és **E** kategóriák szerepelnek. Ennek oka, hogy kutatásom során csupán a Kárpát-medence területére végeztem vizsgálatokat, ahol az **A** jelzésű trópusi és a **B** jelzésű száraz klímaövek nem jelentek meg a vizsgált időszak során.

*1. táblázat A Köppen-féle osztályozás klímatispusai Peel et al. (2007) alapján. Magyarázat: A nyári és téli hónapok a rendszer definíciója szerint attól függenek, hogy melyik félév a melegebb/hidegebb. Tmeleg-legmelegebb hónap átlaghőmérséklete. Thideg-leghidegebb hónap átlaghőmérséklete. Thó10-azon hónapok száma, amelyek átlaghőmérséklete +10 °C feletti.*

*Pszáraz-a legszárazabb hónap csapadékösszege. Pnyszáraz-a legszárazabb nyári hónap csapadékösszege. Ptszáraz-legszárazabb téli hónap csapadékösszege. Pnyedves-legnedvesebb nyári hónap csapadékösszege. Ptnedves-legnedvesebb téli hónap csapadékösszege. A hőmérséklet °C-ban, a csapadék mm-ben értendő*

<b>Betűk</b>			<b>Számszerű kritériumok</b>		
1.	2.	3.	1.	2.	3.
<b>C</b>	s	a	$-3 < T_{hideg} < 18$ és $T_{meleg} > 10$	$P_{nyszáraz} < 40$ és $P_{nyszáraz} < P_{tnedves} / 3$	$T_{meleg} \geq 22$
	w	b		$P_{tszáraz} < P_{nyedves} / 10$	$T_{meleg} < 22$ és $T_{hó10} \geq 4$
	f	c		se nem (s), se nem (w)	$T_{meleg} < 22$ és $1 \leq T_{hó10} < 4$
<b>D</b>	s	a	$T_{hideg} \leq -3$ és $T_{meleg} > 10$	$P_{nyszáraz} < 40$ és $P_{nyszáraz} < P_{tnedves} / 3$	$T_{meleg} \geq 22$
		b			$T_{meleg} < 22$ és $T_{hó10} \geq 4$
	w	c		$P_{tszáraz} < P_{nyedves} / 10$	nem (a) vagy (b), $T_{hideg} \geq -38$
	f	d		se nem (s), se nem (w)	nem (a) vagy (b), $T_{hideg} < -38$
<b>E</b>	T		$T_{meleg} < 10$	$T_{meleg} > 0$	
	F			$T_{meleg} \leq 0$	

Mint ahogy az már fentebb említésre került, Köppen éghajlat-osztályozása egy többlépcsős feltétel rendszer mely a terület hőmérséklet és csapadék viszonyain alapul. A **C** jelű csoport a meleg-mérsékelt klímaövet jelzi, a **D** a boreális övet, míg az **E** a poláris övet. Az említett főcsoportok mellett a többlépcsős feltételrendszer felépítése alapján a második

betű ad információt a szezonálisról a csapadék adatok alapján. A harmadik betű az extrémebb típusú klímával rendelkező területek megkülönböztetésére szolgál. A klímaképletek részletesebb leírása megtalálható *Ács és Breuer (2013)*-ban.

### 4.3 Feddema éghajlat-osztályozási módszere

Mint ahogy az már fentebb tárgyalásra került, Feddema éghajlat-osztályozási módszere a Thornthwaite féle osztályzás egy módosított változata. Az egyszerűbb és közérthetőbb Feddema osztályzás négy mutató segítségével ad információt az egyes területek hő- és vízellátottságáról, valamint a szezonális változásokról.

A **hőellátottság** meghatározása a potenciális evapotranszpiráció (PET) értékek alapján történik (*Feddema, 2005*). A kategóriák 300 mm-es intervallumokban változnak a fagyos hőellátottságú területektől a forrókig (*2. táblázat*).

2. táblázat Hőellátottság kategóriák Feddema (2005) alapján.

<i>Hőellátottság</i>	<i>Éves PET (mm)</i>
forró	>1500
nagyon meleg	1200–1500
meleg	900–1200
hűvös	600–900
hideg	300–600
fagyos	0–300

A **vízellátottság** meghatározása az úgynevezett nedvességi index ( $I_m$ ) értékei alapján történik. A rendelkezésre álló vízkészletet mennyiségén alapuló index a *Thornthwaite (1948)*-ban használt formula egy korszerűbb, használhatóbb módosulata (*1. egyenlet*) mely Feddema egy korábbi munkájában szerepelt először (*Willmott és Feddema, 1992*). A nedvességi index értékei -1 és 1 között változhatnak a PET és a csapadék (P) értékek alapján, és a 0 érték jelöli, ha az éves P és PET értékek megegyeznek. Az  $I_m$  nedvességi index értékeihez kapcsolódóan a módszertan három nedves és három száraz kategóriát tartalmaz (*3. táblázat*).

$$I_m = \begin{cases} 1 - \frac{PE}{P}, & \text{ha } P > PE \\ 0, & \text{ha } P = PE = 0 \\ \frac{P}{PE} - 1, & \text{ha } P \leq PE \end{cases} \quad (1)$$

3. táblázat *Vizellátottság kategóriák Feddema (2005) alapján.*

<i>Vizellátottság</i>	<i>Nedvességi index (<math>I_m</math>)</i>
nagyon nedves	0,66–1,00
nedves	0,33–0,66
nyirkos	0,00–0,33
száraz	- 0,33–0,00
szemiarid	-0,66– (-0,33)
arid	-1,00– (-0,66)

A **szezonalitás mértéke** a *Thornthwaite* (1948) osztályozáshoz képest jelentősen egyszerűbb *Feddema* értelmezésében, ugyanis módszertanában felhasználta azt a feltételezést, miszerint a száraz és nedves időszakok intenzitásának mértéke megfelelőbben reprezentálja ezt a mutatót, mint az évszakokhoz való igazodás (*Carter és Mather, 1966*). A fentebb leírt  $I_m$ , mind a  $P$ , mind a  $PET$  értékek változatosságát figyelembe veszi, ezért alkalmas a szezonalitás mértékének meghatározására (*Feddema, 2005*). A szezonalitás négy kategóriába eshet kicsitől az extrémig (*4. táblázat*). A havi  $I_m$  értékek éves alakulása alapján kicsi a szezonalitás, ha a potenciális evapotranspiráció átlagosan közel nulla, míg extrém, ha egy év során egy hónapban egyáltalán nem fordul el csapadékvevényesség (*Feddema, 2005*).

4. táblázat *A szezonalitás mértéke Feddema (2005) alapján.*

<i>Szezonalitás mértéke</i>	<i>Éves <math>I_m</math> változás (mm)</i>
extrém	1,5–2,0
nagy	1,0–1,5
közepes	0,5–1,0
kis	0,0–0,5



A **szezonalitás típusának** meghatározása a *P* és a *PET* arányának alapján történik. A Feddema osztályzás három típust különít el az alapján, hogy a hőmérséklet és a csapadék változékonysága milyen arányban befolyásolja a szezonalitást (5. táblázat).

5. táblázat A szezonális típusa Feddema (2005) alapján.

<i>Szezonalitás típusa</i>	<i>Éves P változás/Éves PET változás</i>
hőmérséklet	<0,5
hőmérséklet és csapadék	0,5–2,0
csapadék	>2,0

#### 4.4 A finomhangolt Feddema

*Feddema* (2005) módszere, mely *Thorntwaite* (1948) módszerének könnyebben értelmezhető, módosított verziója, Köppen módszeréhez képest jóval összetettebb, ugyanis csapadék és hőmérséklet értékek mellett a *PET* értékeit is becsülte. *Feddema* (2005) klímaklasszifikációjában a hő- és vízellátottság, valamint a szezonális mértéke egyszerűbben megadható, mint a korábbi osztályozásokban.

A finomhangolás lényege, hogy az eredeti osztályozásban meghatározott éghajlati osztályok száma növekedjen, ezáltal a módszertan az adott terület mezoklíma szerkezetének reprodukálására alkalmazható legyen. A finomhangolás során tehát az esetek szétszétásával az eredeti intervallumokon belül al-intervallumokat hozok létre. Ez Feddema esetében lehetséges hiszen a módszertan intervallumokkal van felépítve. Köppen módszere esetén azért nem lehetséges a finomhangolás, mert, mint fentebb láthattuk, határértékek segítségével osztályoz. A határértékek eltolhatók, viszont ezeket a küszöbértékeket tovább bontani nem lehet.

Természetesen az osztályozás módosítása mellett egy finomabb felbontású adatsor is alkalmas lehet egy finomabb skálán értelmezett éghajlati jellemzők visszaadására. Az *Orlanszki* (1975) féle karakterisztikus hossz skála alapján a mezoskála a 2-2000 km közötti tartomány. Bár ezen a skálán, mint ahogy az a 6. fejezetben is látható, Köppen is jellemzi a területet, azonban a változékonyságot, valamint a mezo-  $\gamma$  (2-20 km közötti karakterisztikus mérettartomány) skálán jellemző heterogenitást megmutatni nem képes. A Feddema

finomhangolásával viszont a klíma területi és időbeli változékonysága lokálisan, a továbbiakban mezoskálaként használt mezo-  $\gamma$  skálára vonatkozóan is megmutatható.

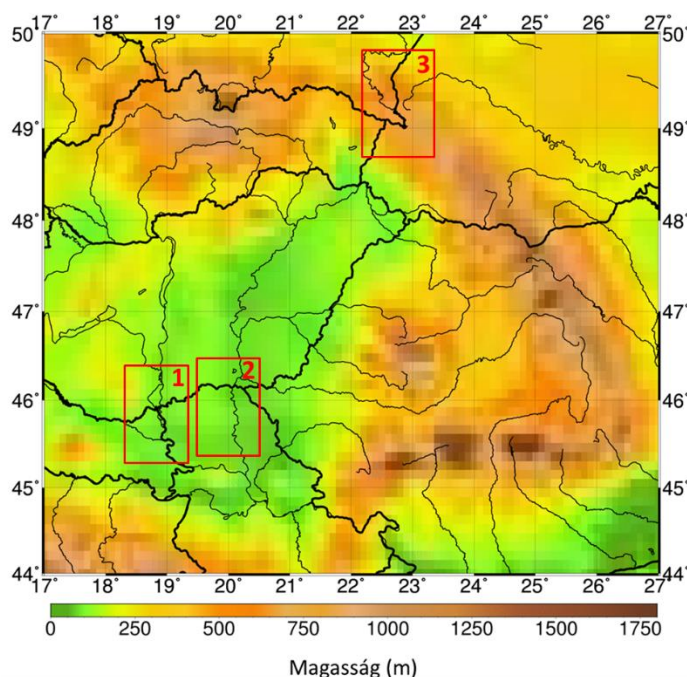
Az eredeti kritériumrendszer módosításakor, a finomhangolt kritériumrendszer esetén arra kell törekedni, hogy az adott területre készített finomhangolás során, a különböző kategóriába tartozó esetek gyakorisága közel azonos nagyságú legyen. Ez nagyobb területek esetén, mint Magyarország (Acs *et al.*, 2013) vagy az alpesi régió (Takács *et al.*, 2014; Takács, 2016) a számított indexek gyakorisága alapján az intervallumok helyenkénti megfelelésével is megvalósítható. Olykor azonban pl. a *PET* intervallum határok mindössze néhány mm-es eltolása is jelentős változást okoz az eredmények térképen való megjelenítése során.

A Kárpát-medence egyes régióira való finomhangolás kidolgozásához, először kiszámítottam a Feddema eredeti éghajlat-osztályozásához szükséges tényezőket (hő- és vízellátottság, valamint a szezonális mértéke és típusa). Ezek után a Köppen, valamint az eredeti Feddema osztályozás eredményeinek segítségével kijelöltem három alterületet, amelyek az alkalmazott eredeti osztályozások alapján erősen homogén klímával rendelkeznek (Szabó *et al.*, 2016). Két alföldi, valamint egy hegyvidéki alterületet vizsgáltam. A Feddema osztályozás módszertanának, valamint az orográfia éghajlatra gyakorolt hatásának ismeretében mindhárom alterületre vonatkozólag az volt a feltételezés, hogy a Feddema módszertan finomhangolásával megmutatható a területek lokális hatásokból eredő heterogén klímaeloszlása. Az alterületek a következők:

1. alterület: északi szélesség  $45,3^\circ$  és  $46,4^\circ$  valamint keleti hosszúság  $18,3^\circ$  és  $19,4^\circ$  között. A Dunántúli-dombság déli részén, a Duna és a Dráva találkozásánál fekszik. Magyarországot, Horvátországot és Szerbiát érintő alterület. Domborzatát tekintve nagyrészt síkság, az észak-nyugati széle a Mecsek lábánál helyezkedik el (1. ábra). Klímatológiai szempontból emiatt igen izgalmas, hiszen a hegyvidéki területek felől a Dráva mentén keletnek haladva egyre csökken a csapadék, az éves átlagos mennyisége 600 mm. A legnagyobb gradiensek nyáron jellemzők. A hőmérséklet nyáron kelet felé az év nagy részében azonban dél felé haladva csökken [1-carpatclim-eu.org].
2. alterület: északi szélesség  $45,4^\circ$  és  $46,5^\circ$  valamint keleti hosszúság  $19,4^\circ$  és  $20,5^\circ$  között. Az alterület Alföld déli részétől indul és nyúlik át Szerbiába továbbá Románia néhány négyzetkilométerét is magába foglalja. A domborzati viszonyok nem túl változatosak, az alterületet a Tisza keresztezi észak-déli irányban. A

hőmérséklet a három alterület közül ezen a vidéken éri el a legmagasabb értékeket. A gradiens nyáron alacsony, a hőmérsékleti értékek eloszlása homogén képet ad. Az év többi részében a hőmérséklet északról dél felé csökken. A csapadék területi eloszlása heterogénebb, az éves átlag körülbelül 500 mm.

3. alterület: északi szélesség  $48,7^\circ$  és  $49,8^\circ$  valamint keleti hosszúság  $22,2^\circ$  és  $23,3^\circ$  között. Ez a régió az Északkeleti-Kárpátok egy részén terül el, Lengyelország, Szlovákia és Románia határainak találkozásánál. Az előző két alterülettel ellentétben ez egy hegyvidéki terület, ennek megfelelően a hőmérséklet a magassággal csökken. A legtöbb csapadék nyáron jellemző, az éves átlagos mennyisége 800-1000 mm.



1. ábra A Kárpát-medence domborzati térképe (adatok forrása: Danielson and Gesch, 2011).

Kiszűrtem a számított mutatókat (éves  $PET$ ,  $I_m$ ,  $P$  és  $PET$  aránya) a három kijelölt terület koordinátáinak megfelelően. Ezután megvizsgáltam az egyes értékek gyakoriságát majd bevezettem egy módosított kritériumrendszert a mezoléptékű éghajlat-osztályozáshoz. A finomhangolt osztályozásban az adott alterületre vonatkozólag szerepelnek a módosított tartomány határok oly módon, hogy a különböző intervallumokba eső esetek száma közel azonos eloszlást adjon (6-9. táblázat).

A finomhangolás során az eredeti hő- és vízellátottsági intervallumot, továbbá a szezonális mértékét meghatározó intervallumot két féle módon osztottam al-

intervallumokra. Az első felosztás szerint négy, majd ellenőrzés céljából három, közel egyenlő esetszámot tartalmazó, al-intervallumot hoztam létre. A finomhangolás során kapott új kategóriákat és a hozzájuk tartozó gyakoriságokat tartalmazó táblázatok közül az 1. és 2. alterület esetén a négy majd a 3. alterület esetén a négy, valamint három al-intervallumra vonatkozó is megtekinthetők a dolgozatban. Továbbá az ezen táblázatokhoz tartozó eredmények térképes formában is megjelennek majd a 6. fejezetben.

6. táblázat Az 1. alterületre finomhangolt Feddema kategóriái és az egyes intervallumokra vonatkozó gyakoriság (négy intervallum esetén)

<b>Hőellátottság</b>		<b>Vízellátottság</b>		<b>Szezonális mértéke</b>	
Éves PET (mm)	Gyakoriság	Nedvességi index ( $I_m$ )	Gyakoriság	Éves $I_m$ változás (mm)	Gyakoriság
690–730	852	0,02–0,33	626	1,57–1,7	680
682–690	863	-0,075–0,02	703	1,55–1,57	708
675–682	652	-0,125–(-0,075)	706	1,52–1,55	856
625–675	657	-0,33–(-0,125)	989	1,2–1,52	780

7. táblázat A 2. alterületre finomhangolt Feddema kategóriái és az egyes intervallumokra vonatkozó gyakoriság (négy intervallum esetén).

<b>Hőellátottság</b>		<b>Vízellátottság</b>		<b>Szezonális mértéke</b>	
Éves PET (mm)	Gyakoriság	Nedvességi index ( $I_m$ )	Gyakoriság	Éves $I_m$ változás (mm)	Gyakoriság
700–740	749	-0,16–0	780	1,62–1,7	451
694–700	731	-0,19–(-0,16)	771	1,6–1,62	830
686–694	766	-0,225–(-0,19)	742	1,58–1,6	932
660–686	778	-0,33–(-0,225)	731	1,5–1,58	811

8. táblázat A 3. alterületre finomhangolt Feddema kategóriái és az egyes intervallumokra vonatkozó gyakoriság (négy intervallum esetén)

<b>Hőellátottság</b>		<b>Vízellátottság</b>		<b>Szezonális mértéke</b>	
Éves PET (mm)	Gyakoriság	Nedvességi index ( $I_m$ )	Gyakoriság	Éves $I_m$ változás (mm)	Gyakoriság
595–700	731	0,48–0,7	735	1,25–1,55	1452
570–595	725	0,38–0,48	694	1,1–1,25	1339
540–570	829	0,25–0,38	753	0,95–1,1	1259
460–540	739	-0,165–0,25	781	0,6–0,95	1134

9. táblázat A 3. alterületre finomhangolt Feddema kategóriái és az egyes intervallumokra vonatkozó gyakoriság (három intervallum esetén).

<b>Hőellátottság</b>		<b>Vízellátottság</b>		<b>Szezonális mértéke</b>	
Éves PET (mm)	Gyakoriság	Nedvességi index ( $I_m$ )	Gyakoriság	Éves $I_m$ változás (mm)	Gyakoriság
585–700	1050	0,45–0,7	955	1,2–1,55	1059
550–585	985	0,3–0,45	1016	1,02–1,2	986
460–550	989	-0,165–0,3	992	0,6–1,02	979

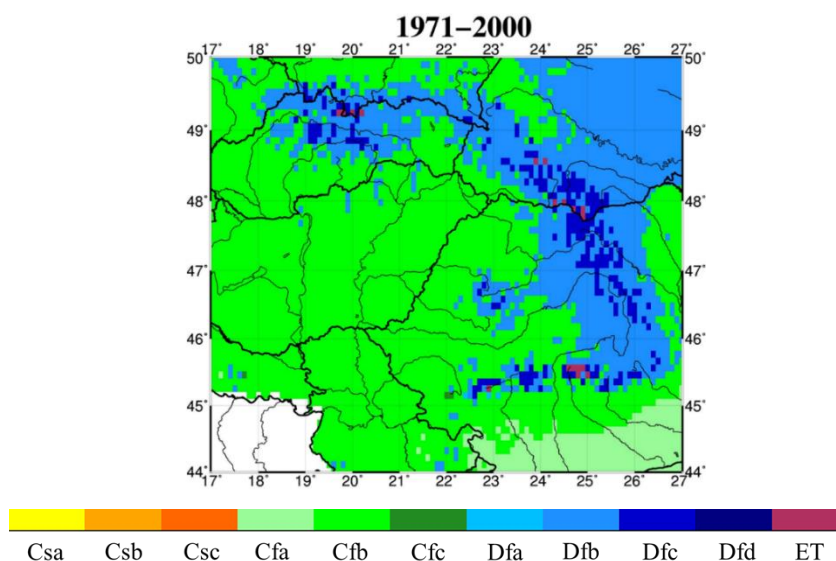
## 5. Eredmények

A kutatás során Köppen (1918) valamint Feddema (2005) módszerét alkalmaztam Kárpát-medencére vonatkozólag a CarpatClim adatbázis felhasználásával. Az eredményeket térképes formában jelenítettem meg. A teljes régióra vonatkozó térképeken megjelenő fehér terület a még fejlesztés alatt álló adatbázis hiányos része.

A vizsgálat során 15 és 30 éves átlagok alapján is elvégeztem a finomhangolást. A dolgozat során csak az éghajlatkutatásban standard 30 éves átlagokból számított eredmények kerültek megjelenítésre. Ennek oka az eredmények átláthatóságára való törekvés. A 15 éves átlagok eredményei, bár hasonlóak a 30 éves átlagokból képzett eredményekhez, az időbeli változékonyság sokkal markánsabban jelenik meg az időszak első és második felének összevetése során. Az eredmények általános leírása és elemzése során az 1971–2000-es időszak eredményei kerülnek bemutatásra. Az interpretáció során említett domborzati adatok láthatók az 1. ábrán.

### 5.1 Köppen és Feddema alkalmazása a Kárpát-medencére

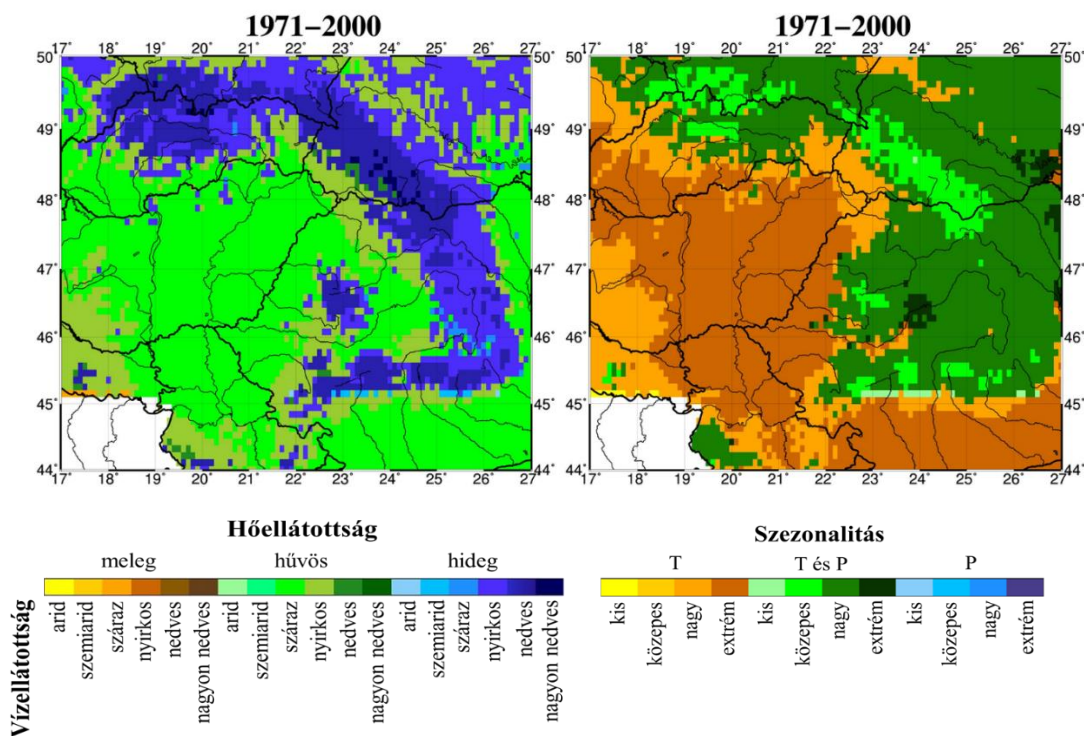
A Kárpát-medence Köppen, valamint Feddema eredeti (nem finomhangolt) módszerével kapott éghajlati térképe a 2-3. ábránkon látható. Az egyes éghajlati kategóriák százalékos területi aránya a teljes kivágathoz képest pedig a 10. táblázatban olvasható.



2. ábra A Kárpát-medence éghajlata Köppen éghajlat-osztályozása alapján az 1971–2000-es időszakra vonatkozóan. A sárgás színárnyalat a Cs, a zöldes a Cf, a kékes a Df míg a lila az ET kategóriákat jelöli.

A Köppen módszer eredményeit ábrázoló térképen láthatók a **C**, **D** és **E** csoportokhoz és ezek Kárpát-medencében előforduló alcsoportjaihoz tartozó színekódok (2. ábra). Az egyes főcsoportok a fő színekkel vannak jelölve (sárga, zöld, kék, lila), a Köppeni klímaképletek második és harmadik betűit pedig a színárnyalatok különböztetik meg.

A vizsgált régióban leggyakrabban előforduló klímatispus a terület 56,88 %-ra jellemző **Cfb** a Köppen-féle klímaklasszifikáció szerint. Ez a típus a régió alföld és dombság jellegű területein fordul elő. A Román-alföld világoszölddel jelölt **Cfa** klímaképlettel a legszárazabb és legmelegebb terület (2,09 %). A kékes színárnyalatú **Dfb** (37,07 %) és **Dfc** (3,55 %) területek a Kárpátok vonulatát rajzolják ki, továbbá az Ukrajna területén elhelyezkedő Podóliai-hátságot. A poláris fő övet jelző lila szín (**ET** kategória) csak a Kárpátok vonulatának legmagasabb pontjain jelenik meg, a teljes kivágat mindössze 0,41 %-án (Magas-Tátra, Máramarosi-havasok, Fogarasi-havasok).



3. ábra A Kárpát-medence éghajlata Feddema éghajlat-osztályozása alapján az 1971–2000-es időszakra vonatkozóan. A bal oldali térképen látható a hő- és vízellátottság, a jobb oldalin a szezonális mértéke és típusa.

Kárpát-medence éghajlatát Feddema éghajlat-osztályozása alapján is vizsgáltam (3. ábra). A 10. táblázat összesíti az éves és szezonális tulajdonságok által meghatározott klímatispusok területi eloszlását. A Feddema módszer négy mutatója közül a hő- és vízellátottság az éghajlat éves tulajdonságait, míg a szezonális mértéke és típusa az éghajlat évszakos tulajdonságait mutatja meg. Ennek megfelelően ezek külön kerültek ábrázolásra. A bal oldali térkép a hő- és vízellátottsági viszonyokat ábrázolja. A színskála a

következőképp értelmezendő: a fő színek (sárga, zöld, kék) a hőellátottságot, míg a színárnyalatok a vízellátottságot reprezentálják. A jobb oldali térkép a szezonális mértékéről és típusáról ad információt. A színskálán a fő színek a szezonális típusát mutatják meg, miszerint a hőmérséklet (T), a csapadék (P) vagy ezek kombinációja dominál a szezonálisban. A színárnyalatok a szezonális mértékét ismertetik. Ahogy az a 3. ábrán könnyedén látható, az éves tulajdonságok csoportjai nem minden esetben kapcsolódnak egy adott szezonális típushoz. Az eltérések alapján az éves tulajdonságokhoz kapcsolódó különböző szezonális jellemzőkkel további klímátípusokat kaphatunk.

Bár Feddema osztályozása más logikájú, mint Köppené – Köppennel szemben nem többlépcsős határértékekre épülő kritériumalapú, hanem intervallumokon, tartományokon alapuló –, a két osztályozás regionálisan, a Kárpát régióra vonatkozólag éghajlati szempontból hasonló nagy térségeket különít el. A sík vidékeken jellemző **Cfb** területek, Feddema esetében a kivágat 20,82 %-án világos zölddel jelölt **hűvös-nyirkos** és a körülbelül 46,01 %-ban előforduló élénk zölddel jelölt **hűvös-száraz** klímátípusokkal jellemezhetők. **Hűvös-nyirkos** klíma jellemzi például a Kemeneshát, valamint a Dunántúli-dombság vidékét, továbbá a Beregi-síkságot vagy a Duna és a Morava között elterülő dombságot Szerbia területén. Ezekhez a területekhez jellemzően **nagy szezonális** tartozik (Ez a kategória a kivágat összesen 18,93 %-án jellemző). A **hűvös-száraz** részeken, mint például a Csallóköz, Alföld, Vajdaság, Bánság, Román-alföld, fordul elő leginkább **T extrém szezonális**. A vizsgált terület összesen 32,3 % jellemző ez a kategória. Feddema alapján hazánk területén szinte mindenhol a **T szezonális** meghatározó, Kivételt képez a Bükk, az Aggteleki-karszt és a Zempléni-hegység. Ezekben a hegységekben, valamint a Kárpátok vonulatában a **T és P szezonális** együttesen van jelen. A Romániában előforduló **Cfa** esetében Feddemánál szintén a **hűvös-száraz extrém szezonális** kategória tűnik fel, és évközi változékonyságát tekintve a **T extrém szezonális** jellemző. A hegyvidéki területek a Feddema módszerrel kirajzolt heterogenitás miatt már jóval kevésbé összevethetők Köppen kevésbé komplex módszerével. A magassággal a Kárpátokban növekszik a vízellátottság mértéke. Ennek megfelelően a **Dfb** és **Dfc** kategóriákkal jelölt területen Feddema esetében a következő klímátípusok fordulnak elő: **hideg-száraz**, **hideg-nyirkos** és **hideg-nedves** 0,54 %, 19,8 % és 11,93 %-ban. A Köppeni poláris (**ET**) kategóriába eső hegycsúcsok Feddema esetében a **hideg-nagyon nedves** területek (0,39 %).



10. táblázat A Köppen, valamint Feddema éghajlat-osztályozás klímátípusainak százalékos aránya a Kárpát-medencére vonatkozólag.

<i>Köppen</i>		<i>Feddema éves</i>		<i>Feddema szezonális</i>	
<i>Cfa</i>	2,09 %	<i>hűvös-száraz</i>	46,01 %	<i>közepes T</i>	0,02 %
<i>Cfb</i>	56,86 %	<i>hűvös-nyirkos</i>	20,82 %	<i>nagy T</i>	18,93 %
<i>Cfc</i>	0,02 %	<i>hűvös-nedves</i>	0,51 %	<i>extrém T</i>	34,3 %
<i>Dfb</i>	37,07 %	<i>hideg-száraz</i>	0,54 %	<i>kis T és P</i>	0,02 %
<i>Dfc</i>	3,55 %	<i>hideg-nyirkos</i>	19,8 %	<i>közepes T és P</i>	6,43 %
<i>ET</i>	0,41 %	<i>hideg-nedves</i>	11,93 %	<i>nagy T és P</i>	38,86 %
		<i>hideg-nagyon nedves</i>	0,39 %	<i>extrém T és P</i>	1,44 %

Mint, ahogy azt az összefoglaló 10. táblázat mutatja, Feddema több kategóriát ad, ezáltal jóval heterogénebb éghajlatot feltételez a Kárpát régióban, mint Köppen. Feddema az éves tulajdonságok (hő- és vízellátottság) alapján hét klímátípust különít el, míg Köppen csak hatot. Továbbá Feddema szezonális indexének figyelembe vétele tovább növeli a heterogenitást. Köppen globális skálára lett optimalizálva, ezért nem képes a vizsgált régió lokális éghajlati viszonyainak elkülönítésére. Hazánk területére vonatkozóan például a Mátra a Bükk és a Zempléni hegység továbbá a Dunakanyar legmagasabb pontjai (Pilis és Csóványos) megjelennek, mint **Dfb** kategória. Azonban más Dunántúli, lokálisan eltérő klímával rendelkező területek, mint a Bakony, Vértes vagy Mecsek, nem mutathatók meg ezzel a módszerrel.

A Feddema térképek jóval heterogénebb képet adnak a vizsgált régióra vonatkozóan. Az eredményekből látható, hogy ez a módszer, más globális skálára szerkesztett globális osztályozásokhoz képest, alkalmas a domborzati és egyéb lokális hatásokból eredő éghajlati különbségek megjelenítésére. A következőkben említésre kerülnek olyan területek, melyeket Köppen nem vagy csak részben képes elkülöníteni. Hazánk területén a hő- és vízellátottság alapján a Dunazug, Vértes, Börzsöny, Mátra, Bükk, Aggtelek, Zempléni-hegység, Bakony és a Mecsek területileg elkülönülnek (3. ábra). Érdekes még megemlíteni a Száva folyó mentén a **meleg-száraz, T kis szezonálisával** kirajzolt területet, mely az orográfiai hatás következménye (lee oldal). Ugyanez a hatás jelenik meg a Déli-Kárpátok déli oldalán. A **hideg-nedves, T és P nagy szezonálisával** jellemzett kategória a hegy oldalában átmegy a **hideg-szemi-arid, T és P kis szezonálisát** mutató tartományba. Fontos eredmény még, hogy Feddema érzékeny az olyan helyi lokális tényezőkre, mint a folyók-folyóvölgyek módosító hatása. Ukrajna területén a Dnyeszter folyó mentén a **hideg-nyirkos**



klíma **hűvös nyirkos**-ba megy át. Szerbiában a Száva folyó vonalában **hűvös-nyirkos** klíma vált át **hűvös szárazba**.

Érdekes és izgalmas eredmény továbbá, hogy a PET-en alapuló Feddema nemcsak a hegyvonulatot és az alföldet képes elkülöníteni, hanem hegységek különböző magassági szintjeit is megjeleníti (3. ábra, 10. táblázat). Példaként említhető az Északi-középhegység, ahol mindkét osztályozás elkülöníti a Mátrát, a Bükköt és a Zempléni-hegységet. Azonban a Köppen-módszer csak az említett hegységek legmagasabb részeit érzékeli, míg a Feddema, a klímastruktúrák magasság szerinti változását is megmutatja már az eredeti – nem finomhangolt –, módszertan esetében is.

Az alfejezet során az 1971–2010-es 30 éves időszak átlagolása alapján számított eredmények kerültek bemutatásra Köppen és Feddema éghajlat-osztályozása alapján. Ha a teljes 50 éves időszakot elemezzük, az eredményekből láthatóvá válik a fél évszázados periódus alatt bekövetkező melegedés és szárazodás is.

Köppen esetében, a vizsgált időszak során a **Dfb** kategóriák területi kiterjedése csökken. Érdekes azonban, hogy a legmagasabb területek klímátípusai (**Dfc** és **ET**) nem változnak, az éghajlat változása csak az alacsonyabb, körülbelül 1000 m alatti területeken jelenik meg. A melegedés következtében a vizsgált időszak második felétől kezdve **Cfb** klímátípus **Cfa**-ra változik a következő területeken: a Duna-Tisza köze nyugati és keleti részén, a Nagykunság és a Körös-Maros közén, a Bánság és a Vajdaság vidékén, továbbá a Román-alföldön.

Érdekes eredmény továbbá, hogy a fentebb felsorolt klímátípus változások Feddema eredeti osztályozása alapján csak jóval kisebb mértékben vagy más területeken jelennek meg. A leginkább szembetűnő melegedés a Podóliai-hátság vidékén figyelhető meg, ahol az időszak kezdetétől fokozatosan csökken a **hideg-nyirkos** klíma területe a **hűvös-nyirkos** javára. Szárazodás jellemző Erdélyben a Szilágyság, Mezőség és Erdőhát vidékén, ahol a Gyulai-havasok, valamint a Kárpátok magaslataitól az alföldek irányába haladva a **hűvös-nyirkos** klímátípus területét felváltja a **hűvös-száraz** típus. Ugyanilyen irányú változás játszódik le még Erdélyben a szezonális jellemzők esetén. A **T** és **P nagy szezonálisával** leírt területek az időszak második felére a **T nagy szezonálisával** jellemzett kategóriába kerülnek át.

Mint ahogy az fentebb említésre került, az említett változások az éghajlati osztályok területi eloszlásában jóval markánsabb mértékűek, de irányukat tekintve (szárazodás és melegedés) a 15 éves átlagok értékeiből számított mutatók alapján. Ez igaz továbbá a finomhangolással kapott kategóriák esetén kapott változékonyságra is.

## 5.2 A finomhangolt Feddema módszer

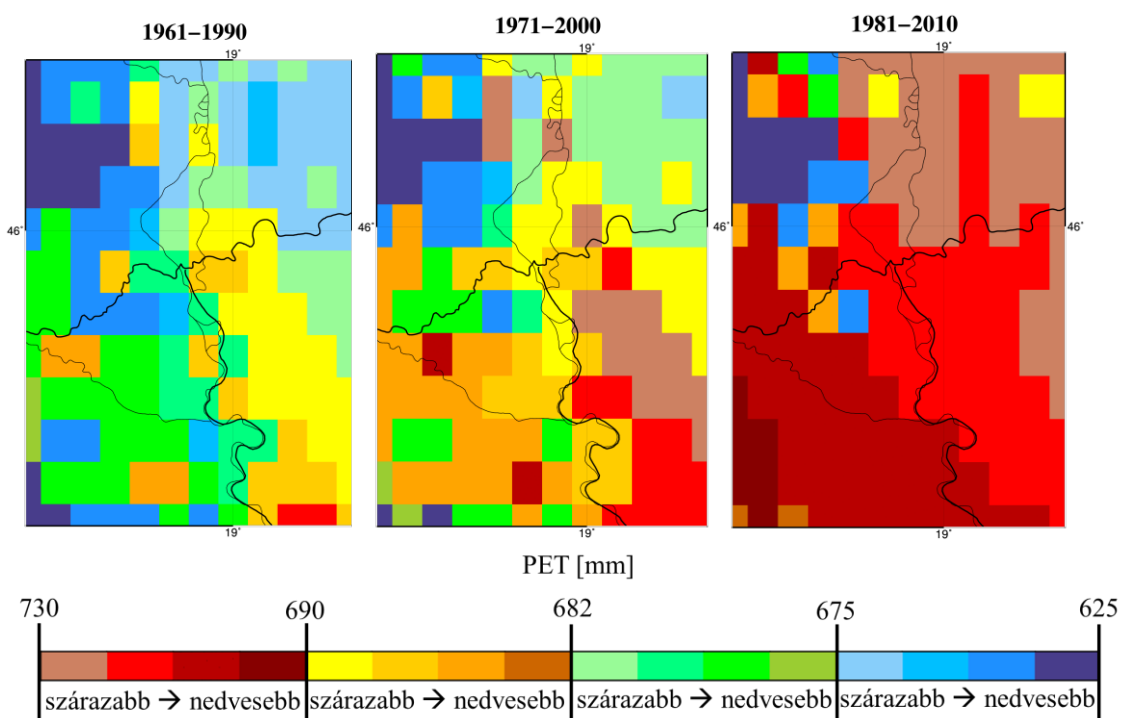
Az eredmények alapján látható, hogy Feddema jobb eredményeket ad a Kárpát-medence éghajlat-osztályozása során, mint Köppen. Feddema pontosabb képet ad a vizsgált terület éghajlati struktúrájáról. Mint, ahogy az már fentebb említésre került, Feddema módszertanának kidolgozásakor nem határértékekben gondolkozott, hanem intervallumokban. Ezek az intervallumok módosíthatók, és al-intervallumok hozhatók létre. A régió domborzatának és lokális éghajlati viszonyainak ismeretében a finomhangolás módszerével megmutatható az egyes homogén területek mezoskálán jellemző heterogén klímastruktúrája. A Feddema módszer három, a módszertani fejezetben már bemutatott, területre lett finomhangolva. A három kijelölt alterületre, a finomhangolás során létrehozott új intervallumok alapján készült éghajlat-osztályozási térképek láthatók a *4-10. ábrákon*.

Az alfejezetben bemutatásra kerül a régió domborzatának és lokális éghajlati viszonyainak ismeretében, az egyes globális skálán homogén területek mezoskálán jellemző heterogén klímastruktúrája. A finomhangolás eredményeként kapott klímátípusok a Feddema által definiált fő klímátípusok adott alterületekre vonatkozó altípusai. Ezért ezek az eredeti osztályozás alapján a területre jellemző fő klímátípus megnevezése után leíró jelleggel kerülnek bemutatásra. Az új intervallumok által kapott éghajlati alosztályok a vizsgált mezoskálájú alterületekre definiált mezoklíma típusok.

### 5.2.1 1. alterület

Az 1. alterület Feddema eredeti osztályozása alapján főként **hűvös-száraz** klímájú és a **T extrém szezonalitása** jellemző rá (3. ábra). Északnyugati sarkában már a Mecsek lokális hatása miatt **hűvös-nyirkos** klíma van jelen a **T nagy szezonalitásával**. Összesen tehát az eredeti osztályozás alapján két klímátípus jellemző. A 4. ábrán a hő- és vízellátottsági főtípusok finomhangolásának eredményei láthatók az 1. alterületre vonatkozóan. Ahogy az a jelmagyarázathoz tartozó színskálán is látható, ennél az esetről a vizsgált mutatók területre jellemző kategóriáit négy al-kategóriára bontottam. Látható, hogy a Feddema módszer finomhangolásával megmutathatóvá váltak az alterületre jellemző lokális hatásokból eredő mezoklíma típusok. A 4. ábra térképein látható, hogy az alterület északnyugati része, a Mecsek lankásabb területeinek és a Baranyai dombság hatásának következtében, nedvesebb és hűvösebb, mint az 1. alterület többi része. Szembetűnő továbbá, hogy északnyugat-délkelet irányban haladva enyhébb és szárazabb mezoklíma típusok váltják fel a hegység

elhelyezkedéséből adódó hűvösebb-nedvesebb klímát. Hasonló eredmény figyelhető meg Bácska vidékén, mely a domborzati hatásból kifolyólag (100-200 méterrel magasabb terület) lokálisan elkülönül környezeténél enyhébb (kevésbé hűvös), szárazabb klímátípusával.



4. ábra Az 1. terület hő- és vízellátottság típusai a finomhangolt Feddema éghajlatosztályozása alapján 1961–1990, 1971–2000 és 1981–2010-es időszakokra vonatkozóan. A PET értékek a hőellátottsági kategóriák határánál mm-ben értendők.

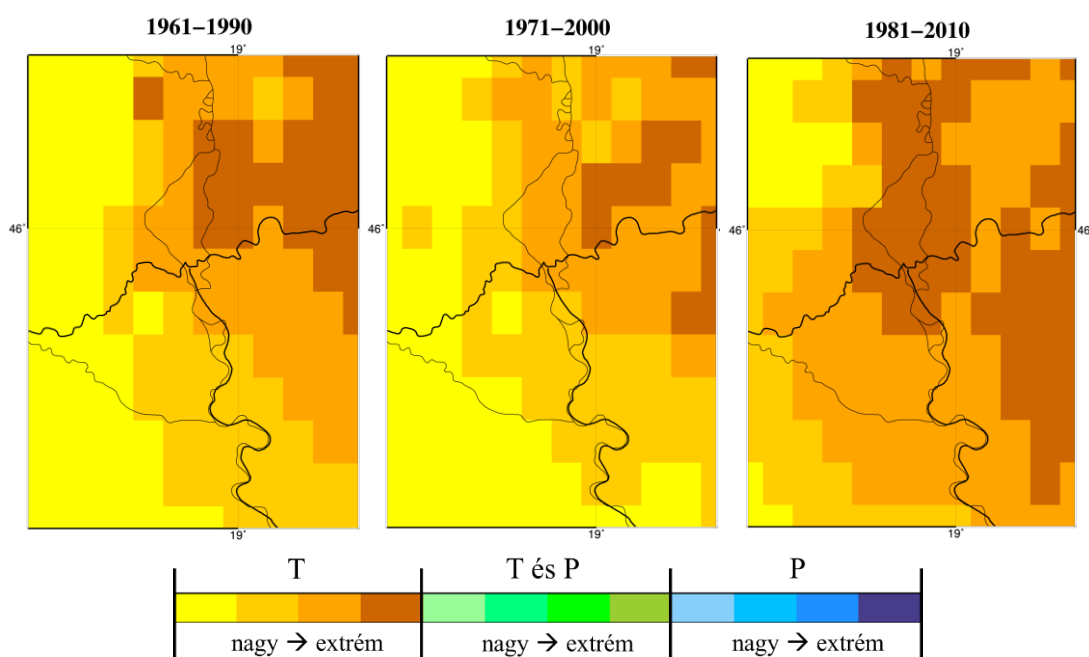
Az 1. terület eredményeinek interpretációja során vizsgáltam azt a feltételezést, miszerint a finomhangolással az éghajlat és a különböző környezeti tényezők (pl.: talajtextúra) kapcsolata is megmutatható. Látható, hogy a Drávaköz és Bácska között jól kivehetően elkülönül az 1961–1990-es időszak során halványsárgával, 1971–2000 estén halványpirossal jelölt száraz, kevésbé hűvös alklimatípus. Az említett éghajlati típus területe egybeesik az úgynevezett chernozjom-gleysol <sup>12</sup>által borított területtel (FAO, 2014). A finomhangolás eredményeképp tehát, az egyes talajtextúra viszonyok és az éghajlat szoros kapcsolata is megmutatható.

Mivel a céloom egy minél pontosabb, és valóságszerűbb finomhangolás elkészítése volt, megvizsgáltam az eredményeket oly módon is, hogy az egyes fő klímátípusokat

<sup>12</sup> Gleysol-Mélyen fekvő vagy felszínhez közeli talajvíz mellett kialakult talajok, általában hosszú időszakra vízzel telítettek. Chernozem-Füves puszták kevésbé száraz, magas növésű füvekkel borított, tipikus, sötét színű általában löszön kialakult taljai. (Stefanovits et al, 2011).

mindössze három altípusra osztottam. Azonban ez a finomhangolás már nem bizonyult kedvezőnek, mert a talajtextúrával való kapcsolat kimutatására már nem volt alkalmas.

A jobb, megfelelőbb eredményeket adó, négy altípussal számító finomhangolás esetén, a szezonális mértékét és típusát megjelenítő térképeken (5. ábra) az eltérő talajtextúrához tartozó szezonális klímatiszint nem különül el. Ennek oka, hogy a talajképződés és lepusztulás folyamatát az évszakos változások befolyásolják. Az éghajlat szezonális tulajdonságainak talajmódosító hatásához a Kárpát-medence általános, mérsékelt övi klímájánál jóval extrémebb hatásokra lenne szükség.



5. ábra Az 1. alterület szezonális mértéke és típusai a finomhangolt Feddema éghajlat-osztályozása alapján 1961–1990, 1971–2000 és 1981–2010-es időszakokra vonatkozóan.

Fontos eredmény továbbá a fél évszázados időszak alatt megfigyelhető melegedés megjelenése az alterületre finomhangolt Feddema osztályozás esetén is. A 4 ábrán, mint látható, a 30 éves átlagolásból készült időszakok első, középső, valamint utolsó eredményei szerepelnek. Míg a Baranyai-dombság az alterület leghűvösebb-legnedvesebb része a teljes 50 éves periódus során, addig melegedés látható például a Drávamellék keleti részén a Villányi-hegységtől délre továbbá Szlavóniában. Az említett vidékek hőellátottságot jelölő főszínek közül az első időszak során még zöld, majd a második időszakra sárga, végül a legkevésbé hűvös piros kategóriába tartoztak. Melegedés figyelhető meg továbbá Bácska vidékén, ahol a legszárazabb-leghűvösebb mezoklíma típus a legszárazabb, legkevésbé hűvös alosztályba megy át az időszak végére. Fontos megemlíteni, hogy a területek a finomhangolt Feddema klímaklasszifikáció alapján csak a hőellátottsági kategóriák esetében változtak, a vízellátottság mértékében nem.

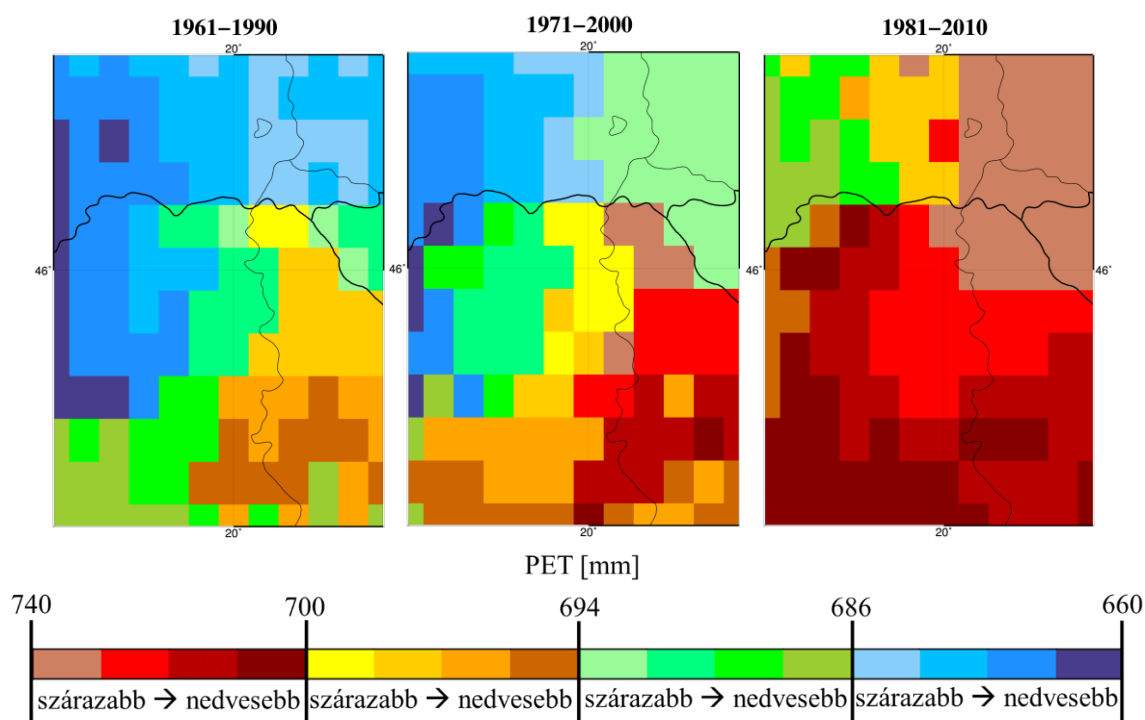
Az alterületre jellemző melegedő tendenciával kapcsolatban fontos még megemlíteni továbbá, hogy a harmadik vizsgált időszakra lecsökken az előforduló alklimatípusok kategóriájának száma (4. ábra). Az alterület változatos domborzati képpel rendelkező, északnyugati részén, az időszak végén is heterogén klímastruktúra jellemző, azonban a déli és keleti területeken csökken a homogenitás. Ennek kapcsán elmondható, hogy az 1. alterület sík részein a melegedés homogenizálja a klímát.

Az szezonális térképek alapján látható, hogy keleten a hőmérséklet szezonális extrémébb, mint nyugaton, és a vizsgált ötven év során, a keleten jellemző extrémébb mezoklíma típusok területi aránya nőtt a kevésbé extrém típusokhoz képest az 1. alterületre vonatkozólag (5. ábra)

### 5.2.2 2. alterület

A hőellátottság ezen az alterületen a legnagyobb, míg a vízellátottság a legkisebb. (3. ábra). Az alterület az eredeti osztályozás alapján a **hűvös-száraz, extrém T szezonális** klímátípusba tartozik.

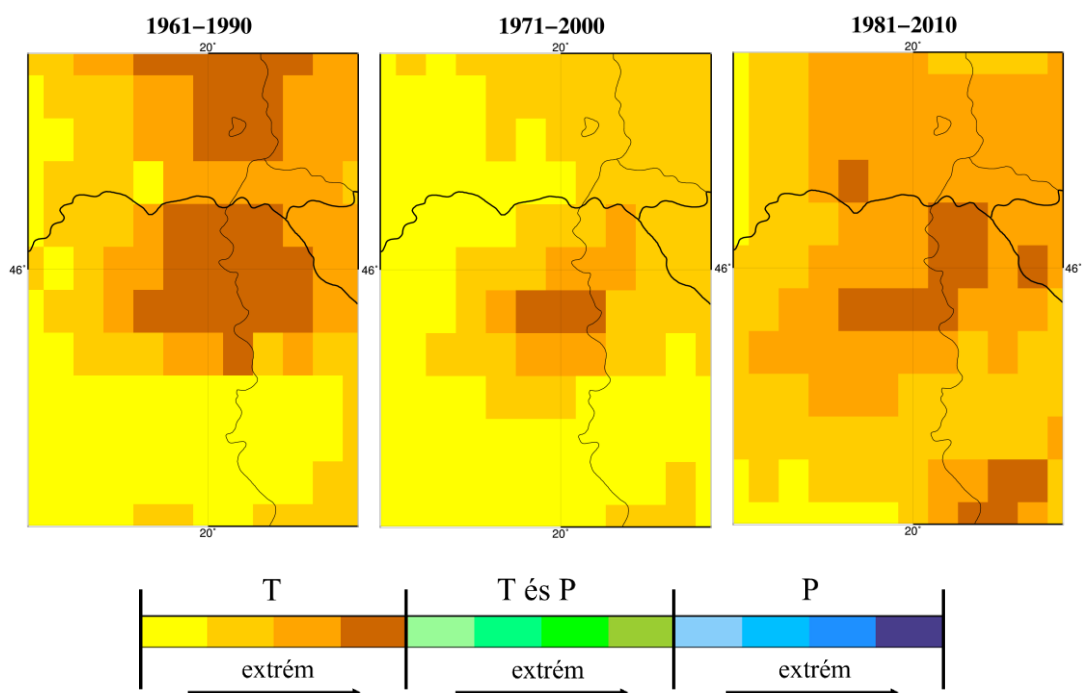
Az alterület nyugati-északnyugati része hűvösebb mezoklíma típusokkal jellemezhető (6. ábra). Ennek oka lehet az alterület keleti feléhez képest magasabb tengerszint feletti magasság, vagy a Duna-Tisza közére jellemző homokos talajtextúra.



6. ábra Az 2. alterület hő- és vízellátottság típusai a finomhangolt Feddema éghajlatosztályozása alapján 1961–1990, 1971–2000 és 1981–2010-es időszakokra vonatkozóan. A PET értékek a hőellátottsági kategóriák határánál mm-ben értendők.

A magyarországi rész keleti fele a harmadik bemutatott időszak végére melegedést mutat, és klímastruktúráját tekintve homogénebb lesz. A nyugati homokos, domboság jellegű terület viszont a melegedést mutató tendencia mellett heterogénebbé vált. Az alterület szerbiai és romániai részein az ötven éves időszak során melegedés figyelhető meg. Az 1971–2000-es időszakban csak a keleti területek, majd az 1980–2010-es időszakra már a teljes déli rész a legkevésbé hűvös al-klímátípusba kerül át. Összességében a teljes alterületen megfigyelhető melegedés és szárazodás azonban nem jellemző.

A szezonális mértékét és típusát megjelenítő 7. ábrán látható, hogy az 1. területhez hasonlóan keletről nyugatra haladva a szezonális mértéke extrémébbé válik. A sárgával jelölt területeket fokozatosan felváltja a rákövetkező okkersárga árnyalat, amely az extrémítás irányát jelzi, az okkersárgát felváltja az aransárga, az utóbbit pedig a barna. A folyamat azonban nem túl markáns a 2. terület esetén.

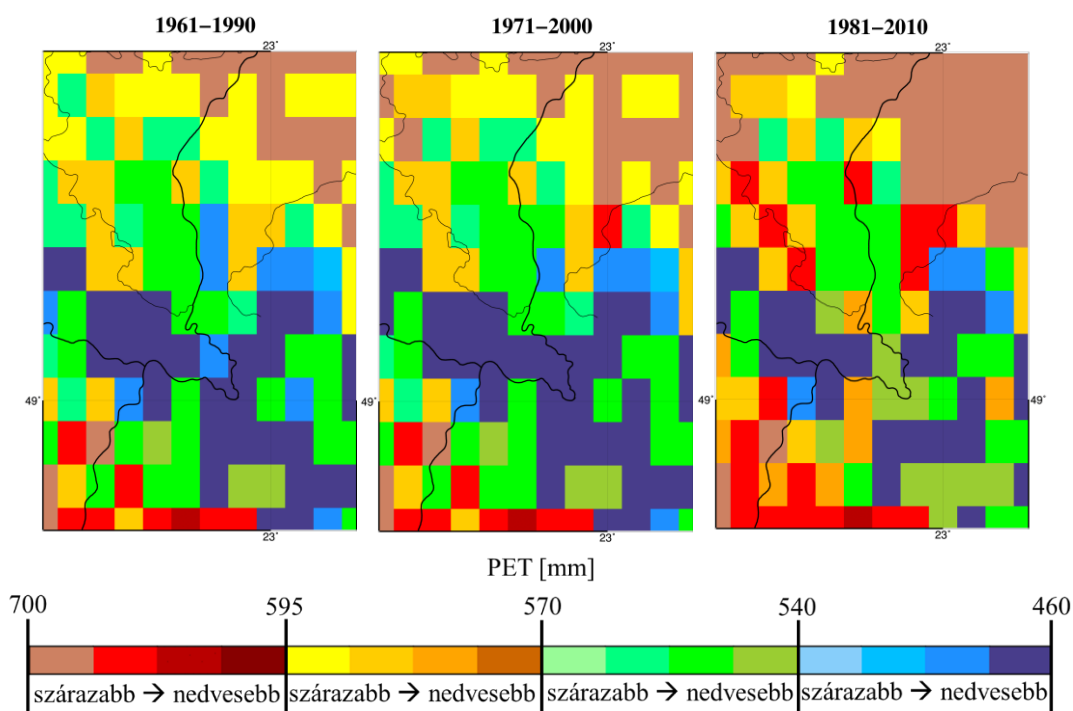


7. ábra A 2. alterület szezonális mértéke és típusai a finomhangolt Feddema éghajlat-osztályozása alapján 1961–1990, 1971–2000 és 1981–2010-es időszakokra vonatkozóan.

### 5.2.3 3. alterület

A 3. alterület az 1. és 2. alterülettel ellentétben topográfiáját tekintve nem alföld vagy domboság, hanem a Kárpátok vonulatának egy részét fedi le. A hő- és vízellátottsági kategóriák erre a területre vonatkozóan a **hűvös és hideg** hőellátottságú és **száraz**,

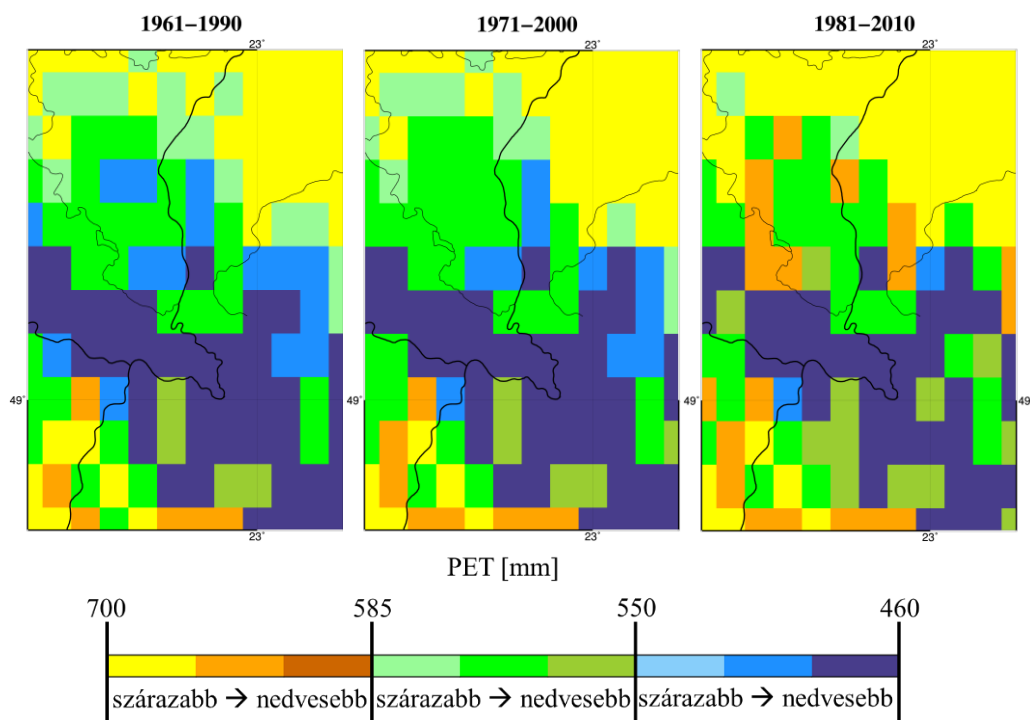
**nyirkos, nedves és nagyon nedves** vízellátottságú főtípusokat bontják tovább (8. ábra). A szezonális mértéke ezen a területen kisebb, főként a **T és P nagy szezonális** jellemző (10. ábra).



8. ábra Az 3. alterület hő- és vízellátottság típusai a finomhangolt Feddema éghajlatosztályozása alapján 1961-1990, 1971-2000 és 1981-2010-es időszakokra vonatkozóan. A PET értékek a hőellátottsági kategóriák határánál mm-ben értendők.

Északnyugat-délkelet irányban az alterület legmagasabb része, a Kárpátok gerince húzódik. Ennek orografikus hatása jól kivehetően meg is jelenik a finomhangolt éghajlati térképeken (8-10. ábra). A sötétkék színnel jelölt leghidegebb-legnedvesebb mezoklíma típus rajzolja ki a hegy vonulatának irányát (8. ábra). Az éves szinten átlagosan jellemző hideg-nedves éghajlathoz **T és P nagy szezonális** kapcsolódik. Megfigyelhető továbbá a vertikális irányú éghajlati övezetesség az alterület mezoklíma típusainak függvényében. A gerinctől délnyugati és északkeleti irányban csökken a szezonális mértéke. A terület legszélén **T és P szezonális** által jellemzett klímátípusokat felváltják a **T szezonálisával** leírt alosztályok. Látható, hogy finomhangolás eredményeként a Keleti-Beszékidek területén kijelölt 3. alterület topográfiai adottságai igen jól kivehetőek pusztán a mezoklíma típusok szemlélésével. Fontos példa erre a 3. alterület lengyelországi részén fekvő San folyó és a Solinai víztározó melyek völgye, mely aransárga színezéssel kirajzolódik az 1961-1991 és 1971-2000-es finomhangolt térképeken.

Fontos megvizsgálni továbbá, a korábbi alterületeknél megfigyelt melegedési folyamatát a hegyvidéki 3. *alterületen* is. A melegedési folyamat hatására a gerinc vonalában nem homogenizálódik a klímasturktúra, viszont megváltoznak az egyes hő- és vízellátottsági osztályok területi arányai. Az első bemutatott időszakban az élénk piros színnel jelölt hűvös és nyirkos területek a Kárpátok vonulatának délnyugati oldalán jelentek meg, míg a harmadik időszakban már az északkeleti oldalon is megjelennek ezek az al-klímátípusok. A hegység északkeleti lengyel és ukrán oldalán a legkevésbé hűvös, száraz a mezoklíma. A melegedés és szárazodás jellemző a már említett San folyó és a hozzá kapcsolódó Solinai víztározó völgyében is. A folyó vonalában az aransárga terület az 1981–2010-es időszak esetén már élénk piros, ami azt jelenti, hogy nem csak melegedés figyelhető meg hanem szárazodás is. Összességében látható, hogy a legmagasabb pontokra ( $\approx 1000$  méter felett) jellemző leghűvösebb, nagyon nedves területek aránya csökken a kevésbé hűvös, alacsonyabb vízellátottságú területek javára.



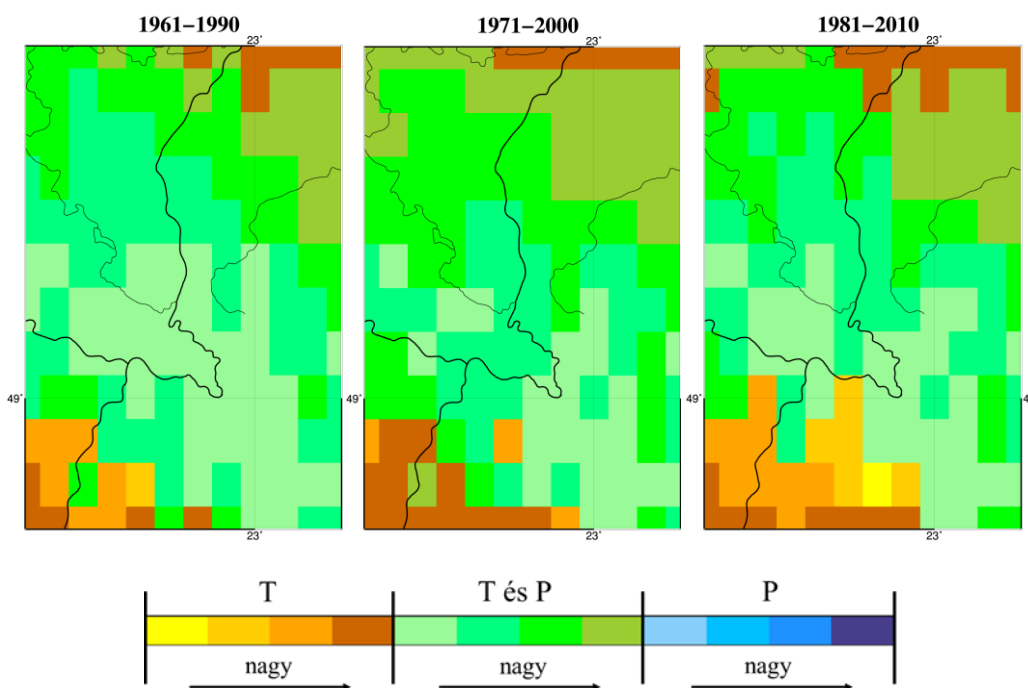
9. ábra 3. *alterület* hő- és vízellátottság típusai a finomhangolt Feddema éghajlatosztályozása alapján 1961–1990, 1971–2000 és 1981–2010-es időszakokra vonatkozóan. A PET értékek a hőellátottsági kategóriák határánál mm-ben értendők.

Látható, hogy a hegyvidéki területre a négy alklimatípusra való finomhangolás igen heterogén képet ad. A heterogenitás empirikusan is indokolható, hiszen a Kárpátok domborzata igen változatos. A Feddema által kidolgozott osztályozásnak azonban fontos szempontja az átláthatóság akár laikusok számára is. Ezért a 9. *ábrán* szintén a terület hő- és vízellátottságáról kaphatunk információt, azonban a finomhangolás módosításával a hő- és



vízellátottság fő típusai már csak három altartományra vannak bontva. A térképeken látható, hogy bár a mezoskálájú klímastruktúrát visszaadja a módosított finomhangolás is, az időbeli változékonyságot már nem.

A vizsgált időszak során tapasztalható melegedés és szárazodás, az 1. és 2. *alterülettel* ellentétben, szezonalitást ábrázoló térképeken is megjelenik (10. ábra). Ennek oka, hogy a 3. *alterületen* a **T és a P szezonalitása** együttesen van jelen. És mivel a hő- és vízellátottság mértéke is változik, ez hatással van a szezonális típusára. Általánosságban a hőellátottság nő és a vízellátottság csökken, ezért **T szezonálisával** jellemzett sárgás területek aránya növekszik a **T és P szezonálisával** által leírt területek ellenében (10. ábra).



10. ábra A 3. *alterült* szezonálisának mértéke és típusai a finomhangolt Feddema éghajlat-osztályozása alapján 1961-1990, 1971-2000 és 1981-2010-es időszakokra vonatkozóan.

## 6. Konklúzió

A kutatásom során Köppen és Feddema éghajlat-osztályozását alkalmaztam a Kárpát-medencére vonatkozóan CarpatClim adatok felhasználásával. Az 1960-tól 2010-ig elérhető adatsor hőmérsékleti és csapadékadataiból 15 és 30 éves átlagokat készítettem, majd Köppen és Feddema klímaklasszifikációjának számítása és megjelenítése után elkészítettem a Feddema módszer finomhangolását három alterületre vonatkozólag. A diplomamunkámban a 30 éves átlagok eredményei kerültek megjelenítésre.

Dolgozatom célja, hogy összehasonlítsam Köppen és Feddema módszerének alkalmazhatóságát a Kárpát-medencére, majd a finomhangolás módszerével elkészítsem és elemezzem három alterület klímájának mezoléptékű struktúráját.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a globális skálára kidogozott Köppen módszer Feddema módszeréhez képest kevésbé alkalmas a Kárpát-medence részletes klímastruktúrájának leírására. A módszertani felépítés miatt Feddema módszere azon túl, hogy globálisan jobb eredményeket ad a régióra, finomhangolható. A finomhangolás segítségével bemutattuk, hogy a Köppen és Feddema eredeti módszerével kapott homogén klímájú alterületek mezoléptékben heterogén klímastruktúrával rendelkeznek.

A finomhangolás eredményeit a 30 éves átlagolás alapján három időszakra mutattam be: 1961–1990, 1971–2000, 1981–2010. A három alterületből az 1. és a 2. alföld és dombvidék jellegű területek, míg a 3. a Kárpátok hegyvidéki területén lett kijelölve.

Az eredmények interpretációja során mindhárom területre bemutatásra került az adott alterületek mezoléptékű éghajlati szerkezete. A fél évszázados időszak során melegedés figyelhető meg mindhárom alterület esetén. A melegedés folyamata a síkságokon a tanulmányozott időszak során heterogén területeken homogenitást generált míg a hegyvidéki területeken növelte az éghajlati szerkezet homogenitását.

Az eredeti Feddema módszernek megfelelően a hő-és vízellátottsági viszonyok mellett a szezonális mértéke és típusa is megjelenítésre került az eredmények során. Az 1. és 2. *alterületek* esetében **T szezonális** volt jellemző. Ezek a területek a melegedés nem vagy csak kis mértékben befolyásolta a szezonális típusát hiszen eleve annak változékonysága volt a domináns. Szárazodás nem volt jellemző. A 3. *alterületen* az időszak elején **T és P szezonális** volt jellemző, majd az időszak második felétől már egyre nagyobb területen a **T szezonális** a jellemző, valamint a melegedés mellett szárazodás is megfigyelhető.

Összességében Köppen és Feddema módszerének összehasonlításából azt a következtetést vonom le, hogy a Kárpát-medence klímájának leírására Feddema módszere megfelelőbb, mint Köppené. Továbbá a Feddema módszertan finomhangolható és ezáltal nem csak a klímák globális, hanem mezoléptékű struktúráinak leírására is alkalmazható. Fontos azonban a finomhangolás pontos céljának megfogalmazása. Ha az éghajlati struktúra és különböző környezeti jellemzők (például talajtextúra) kapcsolatának megmutatása a cél, az elsőre nehezebben értelmezhető, igencsak heterogén képet adó finomhangolás lesz az optimális.

A finomhangolás módszertanát dolgozatomban a mezoléptékű klímastruktúra leképezése végett alkalmaztam. A módszer segítségével megmutathatóvá vált a megfigyeléseink, ismereteink által feltételezett heterogén éghajlati szerkezet a vizsgált területekre vonatkozóan. Az eredmények alapján elmondható, hogy Köppen kifejezetten globális skálára lett megszerkesztve, ezzel szemben Feddema módszere – a potenciális evapotranszspiráció számítása révén – mind globális, mind mezoléptékben alkalmazható, és ha feltételezzük a mikroskálán való alkalmazhatóságát is – amire egyébként semmilyen elvi akadályunk – akkor Feddema módszere skálafüggetlennek tekinthető, ami a 21. századi leíró éghajlat-osztályozás egyik lehetséges és jogos elvárása.

## 7. Kitekintés

Mint ahogyan az irodalmi áttekintésből is látható, a biofizikai éghajlat-osztályozások igen fontos szerepet játszanak a modern meteorológia területén is. Az éghajlatkutatás sokféle területén alkalmazzák ezeket a módszereket, például klímamodellek értékelésére vagy az éghajlatváltozás várható mértékének és irányának leírására.

A jelen dolgozat eredményei alapján látható, hogy a Feddema féle biofizikai éghajlat-osztályozás nem csak, hogy megfelel az osztályozási módszerekkel szemben felállított általános kritériumoknak (*Essenwanger*, 2001) de fejleszthető. A fejlesztés egyik módja a finomhangolás módszere. A finomhangolás egy eszköz arra vonatkozólag, hogy a területek mezoléptékű klímaszerkezetét leképezzük.

A kutatómunkám folytatásaként fontos lehet a Feddema módszernek és finomhangolt változatának verifikálása. Mint láthattuk a finomhangolással megmutatható az egyes környezeti tényezők (pl.: eltérő talajtípus) és az éghajlati struktúra kapcsolata. A talajtextúrával való összefüggés további vizsgálata a verifikáció egy módja lehet.

További módszer lehet a vegetáció mintázatának, esetleges időbeli változásának tanulmányozása a mezoskálájú klímaszerkezet függvényében. Ennek módja lehet különböző növényzeti térképek feldolgozása, valamint a vegetáció vizuális megfigyelése.

A vegetációhoz hasonlóan a domborzati viszonyok is fontos szerepet játszhatnak a mezoskálájú klímátípusok vizsgálata során. Az eredményeim azt engedik feltételezni, az éghajlati osztályok időbeli változásai (változás a területi kiterjedésben, eltolódás másik mezoklíma típusok irányába) csak bizonyos tengerszintfeletti magasságokon fordulnak elő. Ennek vizsgálata azonban szintén további kutatást igényel.

Az említett lehetséges tanulmányozási módok esetén természetesen fontos módszertani lehetőség a helyszíni mérés, amely lehetővé tenné a finomhangolásból kapott mezoklíma típusok pontos verifikációját.

## 8. Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni témavezetőmnek, dr. habil. Ács Ferencnek a lehetőséget, hogy megismertetett az éghajlat-osztályozás szépségeivel és lehetőséget adott a kutatómunkára a témában.

Köszönöm továbbá másik témavezetőmnek, Breuer Hajnalkának, hogy mindig szakított rám időt és meghallgatta új ötleteimet. Sok szórakoztató konzultációt éltünk meg, miközben rengeteget fejlődtem szakmailag a szárnyai alatt.

Köszönöm Imolának és Üzsinek, hogy tartották helyettem a frontot.

És végül szeretném megköszönni családomnak és barátaimnak, hogy a BSc után az MSc alatt is végig támogattak és elviselték, hogy nálam első az iskola. Köszönöm, hogy mindig éreztették velem, milyen büszkék rám és ezzel erőt adtak, hogy soha ne adjam fel.

## 9. Irodalomjegyzék

- Anda, A., Kocsis, T., 2010: Agrometeorológiai és klimatológiai alapismeretek, Mezőgazda Kiadó, 362 p.
- Ács, F., Breuer, H., Tarczay, K., Drucza, M., 2005: A talaj és az éghajlat közötti kapcsolat modellezése. *Agrokémia és Talajtan* 54, 3–4, 257–274.
- Ács, F., Szelepcsényi, Z., Breuer, H., 2010: Köppen és Thornthwaite éghajlat-osztályozásának összehasonlító vizsgálata egy globális léptékű adatbázison. *Légekör* 55, 93–101.
- Ács, F., Breuer, H., Skarbit, N., Szelepcsényi, Z., 2012: A biofizikai éghajlat-osztályozások alkalmazása Magyarországon. *Egyetemi Meteorológiai Füzetek* 24, 30–36, ISBN 978-963-284-186-1.
- Ács, F., Breuer, H., 2013: Biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek. Budapest: ELTE TTK. 131 p.
- Ács, F., Breuer, H., Skarbit, N., Krakker, D., 2013: Magyarország éghajlata a XX. században különböző éghajlat-osztályozási módszerek alapján. *Légekör* 58 (3), 106–110.
- Ács, F., Skarbit, N., Breuer, H., 2014: Éghajlatváltozás a Pannon-medencében és Európában a XX. században. *Egyetemi Meteorológiai Füzetek* 2587–90., ISBN 978-963-284-538-8.
- Ács, F., Breuer, H., Skarbit, N., 2015: Climate of Hungary in the twentieth century according to Feddema. *Theor. Appl. Climatology* 119, 161–169.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., G de Moraes, J. L., Sparovek, G., 2014: Köppen's climate classification map for Brazil, *Meteorologische Zeitschrift* 22(6), 711–728.
- Beck, C., Grieser, J., Kotteck, M., Rubel, F., Rudolf, B., 2005: Characterizing Global Climate by means of Köppen Climate Classification, *Klimastatusbericht*, 139–149.
- Belda, M., Holtanová, E., Kalvová, J., Halenka, T., 2016: Global warming-induced changes in climate zones based on CMIP5 projections. *Climate Research* 71, 17–31.
- Berényi, D., 1943a: Az éghajlathatárok és állandóságuk. *Földrajzi Közlemények*, 71(4), 231–248.
- Breuer, H., Ács, F., Skarbit, N., 2015: Climate change in Hungary during the twentieth century according to Feddema. *Theor. Appl. Climatology* 122, 1–11.
- Bonan, G. 2002: *Ecological Climatology*. Cambridge University Press, 678 pp. 1–111.
- Budyko, M. I. 1974: *Climate and life*. Academic Press, Orlando, Florida, USA. 508 p.
- Carter, D. B., Mather, J. R., 1966: Climatic classification for environmental biology. *Publications in climatology* 19(1), 305–395.
- Danielson, J.J., Gesch, D.B., 2011: Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010): U.S. Geological Survey Open-File Report 2011–1073, 26 p.
- 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.

- de Oliveira Aparecido, L. E., de Souza Rolim, G., Richetti, J., de Souza, P. S., Johann, J. A., 2016: Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil, *Clencia e Agrotechnologia* 40(4), 405–417.
- Diaz, H.F., Eischeid, J. K., 2007: Disappearing ‘alpine tundra’ Köppen climatic type in the western United States. *Geophys. Res.* 34
- Drude, O., 1884: Die Florenreiche der Erde (The floristic realms of the Earth). *Petermanns Geogr. Mitt., Ergänzungsheft* 74.
- Elguindi, N., Grundstein, A., Bernardes, S., Turuncoglu, U., Feddema, J., 2014: Assessment of CMIP5 global model simulations and climate change projections for the 21<sup>st</sup> century using a modified Thornthwaite climate classification, *Climatic Change* 122, 523–538.
- Essenwanger, O. M., 2001: Classification of Climates, World Survey of Climatology 1C, *General Climatology*. Elsevier, Amsterdam, 102 pp.
- FAO Regional Office of Europe and Central Asia, 2014: Value chain analysis of region specific organic products in Serbia,
- Fábián, Á. P. and Matyasovszky, I., 2010: Analysis of climate change in Hungary according to an extended Köppen classification system, 1971–2060. *Időjárás* 114(4), 251–261.
- Feddema, J.J., 2005: A revised Thorntwaite-type global climate classification, *Physical Geography* 26, 442– 466.
- Fraedrich, K., Gerstengarbe, F.-W., Werner, P. C., 2001: Climate shift during the last century. *Climate Change* 50, 405–417.
- Geiger, R., 1954: Landolt-Börnstein – Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik, alte Serie Vol. 3, Ch. Klassifikation der Klimate nach W. Köppen. *Springer*, Berlin. 603–607.
- Geiger, R., 1961: Überarbeitete Neuauflage von Geiger, R.: Köppen-Geiger / Klima der Erde. (Wandkarte 1:16 Mill.) Klett-Perthes, Gotha.
- Grisebach, A., 1866: Die Vegetations-Gebiete der Erde, übersichtlich zusammengestellt. *Petermanns Geographische Mitteilungen* 12, 45–53.
- Grundstein, A., 2008: Assessing Climate Change in the Contiguous United States Using a Modified Thornthwaite Climate Classification Scheme, *The Professional Geographer* 60(3), 398–412.
- Grundstein, A., 2009: Evaluation of climate change over the continental United States using a moisture index, *Climatic Change* 93, 103–115.
- Halenka, T., Belda, M., Kalvova, J., Holtanova, E., 2013: Climate classification revisited: From Köppen to Trewartha for models evaluation. *Geophysical Research Abstracts*, 15, EGU2013-13374
- Holdridge, L. R., 1947: Determination of world formulations from simple climatic data. *Science*, 105, 367-368.
- Holdridge, L. R., 1967: Life zone ecology. Tropical Science Center, San Jose, Costa Rica, 206 p.
- Holdridge, L.R., Grenke, W.C., Hatheway, W.H., Liang, T., Tosi, J.A., 1971: Forest Environments in the Tropical Life Zone. Pergamon Press, Oxford.
- Humboldt, A. v. 1807: Ideen zu einer Geographie der Pflanzen nebst einem Naturgemälde der Tropenländer.
- Jones, S. B., Bellaire, R., 1937: The Classification of Hawaiian Climates: A Comparison of the Köppen and Thornthwaite Systems, *Geographical Review* 27(1), 112–119.

- Jylhä, K., Tuomenvirta, H., Ruosteenoja, K., Niemi-Hugaerts, H., Keisu, K., Karhu, J. A., 2010: Observed and projected future shifts of climatic zones in Europe and their use to visualize climate change information. *Wea. Climate Soc* 2, 148–167.
- 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. *Meteorologische Zeitschrift*. 15, 259–263.
- Köppen, W., 1884: Die Wärmezonen der Erde, nach der Dauer der heissen, gemässigten und kalten Zeit und nach der Wirkung der Wärme auf die organische Welt betrachtet. *Meteorologische Zeitschrift* 1, 215–226.
- Köppen, W., 1900: Versuch einer Klassifikation der Klimata, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzen. *Geograph. Zeitschr.* 6, 593–611, 657–697.
- Köppen, W., 1918: Klassifikation der Klimata nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf. *Petermanns Geogr. Mitt.* 64, 193–203, 243–248.
- Köppen, W., 1923: Die Klimata der Erde, Grundriss der Klimakunde. Walter de Gruyter, Berlin, 388 p.
- Köppen W., 1931: Grundriss der Klimakunde. Walter de Gruyter & Co: Berlin.
- Köppen, W., 1936: Das geographische System der Klimata [in: Handbuch der Klimatologie, Eds. W. Köppen und R. Geiger, Band 1, Teil C]. *Gebrüder Borntraeger*, Berlin. 44 p.
- Lohmann U., Sausen R., Bengtsson L., Cubash U., Perlwitz J. and Roekner E., 1993. The Köppen Climate Classification as a Diagnostic Tool for General Circulation Models. *Clim. Res.* 3, 177–193.
- Lugo, A. E., Brown, S. L., Donson, 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, 1025–1038.
- Manabe, S., Holloway, J. L., 1975: The seasonal variation of the hydrologic cycle as simulated by a global model of the atmosphere. *J. Geophys. Res.* 80, 1617–1649.
- Mihailović, D. T., Lalić, B., Drešković, N., Mimić, G., Djurdjević, V., Jančić 2014: Climate change effects on crop yields in Serbia and related shifts of Köppen climate zones under the SRES-A1B and SRES-A2, *International Journal of Climatology*, 35, 3320–3334.
- 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.
- Mizoguchi, Y., Miyata, A., Ohtani, Y., Hirata, R., Yuta, S., 2009: A review of tower flux observation sites in Asia. *J. For. Res.* 14, 1–9.
- Orlanski, I., 1975: A Rational Subdivision of Scales of Atmospheric Processes. *B. Am. Meteor. Soc.* 56, 527–530.
- 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.
- Péczely, Gy., 1979: Éghajlattan. *Tankönyvkiadó Vállalat*, Budapest, 336 p.



- Réthy, A., 1933: Kísérlet Magyarország klímaterképének szerkesztésére a Köppenféle klímabeosztás értelmében. *Időjárás* 9, 105–115.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F., 2006: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263.
- Rubel, F., Kottek, M., 2010: Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift*. 19, 135–141.
- Rubel, F., Kottek, M., 2011: Comments on: "The thermal zones of the Earth" by Wladimir Köppen (1884), *Meteorologische Zeitschrift*, 20(3), 3661–365.
- Rubel, F., Brugger, K., Haslinger, K., Auer, Ingeborg, 2016: The climate of the European Alps: Shift of very high resolution Köppen-Geiger climate zones 1800–2100, *Meteorologische Zeitschrift*,
- Sanderson, M., 1999: The classification of climates from Pythagoras to Köppen. *American Meteorological Society*, 80: 667–673.
- Skarbit, N., 2012: Magyarország éghajlata a XX. században Feddema módszere alapján. BSc szakdolgozat, ELTE, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 35 p.
- Skarbit, N., 2014: Európa éghajlatának alakulása a XX. és XXI. században Feddema módszere alapján. MSc diplomamunka, ELTE, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 59 p.
- Skarbit, N., Ács, F., Breuer, H., Krakker, D., 2014: Magyarország éghajlatának változásai a 20. században (Péczely Györs osztályozási módszere alapján), *Földrajzi Közlemények* 138(4), 261–276.
- Sparovek, G., Q. Jong Van Lier, D. Dourado Neto, 2007: Computer assisted Köppen climate classification: a case study for Brazil., *Int. J. Climatol.* 27, 257–266.
- Stefanovits, P., Filep, Gy., Füleky, Gy., 2011: Talajtan. Mezőgazda Kiadó, 433 p.
- Supan, A., 1879: Die Temperaturzonen der Erde (The temperature zones of the Earth)., *Petermanns Geogr. Mitt.* 25, 349–358.
- Szabó, A. I., Ács, F., Breuer, H., 2016: Climate of the Carpathian Basin according to Feddema using the CarpatClim dataset. *Abstract Book 2<sup>nd</sup> Pannex Workshop*, 44 pp.
- Szelepcsényi, Z., Breuer, H., Ács, F., Kozma, I., 2009a: Biofizikai klímaklasszifikációk. 1. rész: a módszerek bemutatása. *Légkör* 54(3), 21–27.
- Szelepcsényi, Z., Breuer, H., Ács, F., Kozma, I., 2009b: Biofizikai klímaklasszifikációk. 2. rész: magyarországi alkalmazások. *Légkör* 54(4), 18–24.
- Szelepcsényi, Z., 2012: A Kárpát-medence várható éghajlata ENSEMBLES szimulációk korrigált adatsorai alapján Thornthwaite szerint, MSc diplomamunka, ELTE, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 59 p.
- Takács, D., Ács, F., Breuer, H., 2014: Az Alpok és a Pannon-alföld térségének éghajlata Feddema alapján, 40. Meteorológiai Tudományos Napok
- Takács, D., 2016: A hegyi éghajlat regionális osztályozása Feddema alapján: közép-európai alkalmazások. Diplomamunka, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest (témavezető: Ács Ferenc, Beuer Hajnalka). 74 p.
- Thornthwaite, C. W., 1931: The climates of North America according to a new classification. *Geogr. Rev.*, 21, 633–655.
- Thornthwaite, C. W., 1933: The climates of the Earth. *Geogr. Rev.* 23, 433–440.

Thornthwaite, C. W., 1948: An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.*, 38, 5–94.

Trewartha, G.T., HORN, L. H., 1980: An Introduction to Climate (5th edition), McGraw-Hill, New York, 416 p.

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.

Zanobetti, A., Schwartz, J., 2009: The effect of fine and coarse particulate air pollution on mortality: A national analysis. – *Environ. Health Perspect.* 117, 898–903.

Zhou, L., Dickinson, R. E., Dai, A., Dirmeyer, P., 2010: Detection and attribution of anthropogenic forcing to diurnal temperature range changes from 1950 to 1999: Comparing multi-model simulations with observations. – *Climate Dynam.* 35, 1289–1307.

#### **Internetes hivatkozások:**

[1- [koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/](http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/)]

[2-[carpatclim-eu.org.](http://carpatclim-eu.org)]