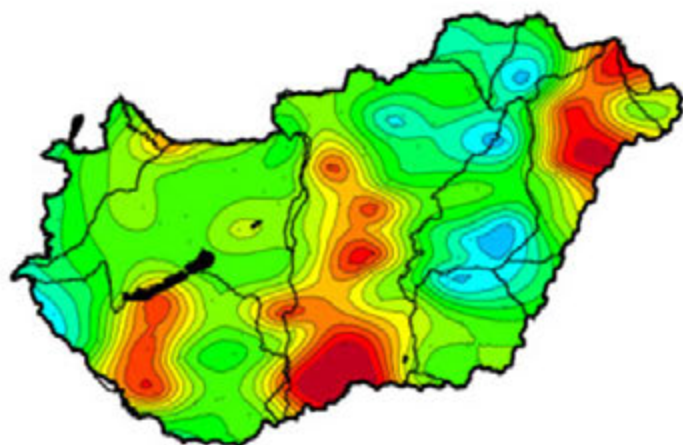




BIOFIZIKAI ÉGHAJLAT- OSZTÁLYOZÁSI MÓDSZEREK

Ács Ferenc
Breuer Hajnalka

Biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek

**Ács Ferenc
Breuer Hajnalka**

Biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek

írta Ács Ferenc és Breuer Hajnalka

lektorálta:

Dr. Makra László

Ács Ferenc - ELTE, Meteorológiai Tanszék, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A., Magyarország; E-mail: acs@caesar.elte.hu

Breuer Hajnalka - ELTE, Meteorológiai Tanszék, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A., Magyarország; E-mail: breuer.hajni@gmail.com

Szerzői jog © 2013 Eötvös Loránd Tudományegyetem

E könyv kutatási és oktatási célokra szabadon használható. Bármilyen formában való sokszorosítása a jogtulajdonos írásos engedélyéhez kötött.

Készült a TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0073 számú, „E-learning természettudományos tartalomfejlesztés az ELTE TTK-n” című projekt keretében. Konzorciumvezető: Eötvös Loránd Tudományegyetem, konzorciumi tagok: ELTE TTK Hallgatói Alapítvány, ITStudy Hungary Számítástechnikai Oktató- és Kutatóközpont Kft.

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség
www.ujszechenyiterv.gov.hu
06 40 638 638



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.



Tartalom

Előszó	v
1. Bevezetés	1
1.1 Éghajlat, éghajlat-osztályozás	1
1.2 Biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek	2
1.2.1 Nemzetközi előzmények	2
1.2.2 Hazai előzmények	2
1.2.3 A vegetáció és az evapotranszpiráció szerepe	3
1.2.4 A talaj szerepe	4
1.2.5 Az osztályozási módszerek komplexitása	4
1.2.6 Célok	4
1.3 Kérdések	5
Felhasznált irodalom	6
2. Anyag és módszer	9
2.1 Adatok	9
2.1.1 Általános szempontok	9
2.1.2 Éghajlati adatok	9
2.1.3 Talajadatok	11
2.2 A Walter-Lieth féle klímadiagram	12
2.3 Biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek	17
2.3.1 Köppen módszere	17
2.3.2 Holdridge módszere	20
2.3.3 Thornthwaite módszere	21
2.3.4 A módosított Thornthwaite féle módszer	28
2.4 Kérdések és feladatok	30
Felhasznált irodalom	32
3. Eredmények	35
3.1 Lamb féle adatbázis	35
3.1.1 Módszertani vizsgálatok	35
3.1.2 Összehasonlító vizsgálatok	37
3.2 A Kakas féle adatbázis	53
3.2.1 Módszertani vizsgálatok	53
3.2.2 A módosított Thornthwaite féle módszer	58
3.3 Kérdések és feladatok	69
Felhasznált irodalom	70
4. Alkalmazások	72
4.1 A jövőbeni éghajlat-változás Köppen tükrében	72
4.1.1 Előzmények	72
4.1.2 Rubel és Kottek (2010) cikkének ismertetése	73
4.1.3 Fábián és Matyasovszky (2010) cikkének ismertetése	74
4.2 A jövőbeni éghajlat-változás Holdridge módszerének tükrében	75
4.2.1 Előzmények	75
4.2.2 Sisneros et al. (2011) cikkének ismertetése	76
4.2.3 A hazai kutatások rövid ismertetése	77
4.3 A jövőbeni éghajlatváltozás Thornthwaite módszerének tükrében	78
4.3.1 Eredeti modell, globális skála – az éghajlat vizsgálata	78
4.3.2 Eredeti modell, regionális skála – az éghajlat vizsgálata	78
4.3.3 Eredeti modell, regionális skála – az éghajlatváltozás vizsgálata	79
4.3.4 Módosított modell, globális skála – az éghajlat vizsgálata	80
4.3.5 Módosított modell, regionális skála – az éghajlat és az éghajlatváltozás vizsgálata	82
4.4 Az alkalmazások összehasonlítása	86
4.4.1 Általános vonatkozások	86
4.4.2 Globális skála	86
4.4.3 Regionális skála	86
4.5 Kérdések	87
Felhasznált irodalom	89

5. Befejezés	93
5.1 Kérdések	94
Felhasznált irodalom	94
6. Életrajzok	96
6.1 Wladimir Köppen (1846-1940) szakmai életrajza	96
6.2 Charles Warren Thornthwaite (1899-1963) szakmai életrajza	97
6.3 Leslie Rensselaer Holdridge (1907-1999) szakmai életrajza	98
6.4 Réthly Antal (1879-1975) szakmai életrajza	99
6.5 Berényi Dénes (1900-1971) szakmai életrajza	100
6.6 Záró gondolatok	101
6.7 Kérdések	102
Felhasznált irodalom	104
7. Táblázatok	106
7.1 A Lamb (1978) féle adatbázis	106
7.2 A Kakas féle adatbázis	120

Előszó

Az éghajlat az éghajlati rendszerösszetevői (atmoszféra, hidroszféra, bioszféra, krioszféra és litoszféra) kölcsönhatásának eredményeképpen létrejövő állapotok egymással egyensúlyban levő sokasága. Ezen állapotsokaságok egyik eleme az adott területre jellemző növénytakaró; a növénytakarások összetétele és tulajdonságai változatossága. Humboldt és Bonpland (1807), valamint Grisebach (1866) felismerték, hogy a hasonló klímákban a növényzet is hasonló. Meggyőződtek arról, hogy ha vannak is különbségek a hasonló klímák növénytakarásai között, ezek a különbségek kisebbek, mint a hasonlóságok. E felismerés alapján az éghajlatok osztályozása és a közöttük levő határok megvonása elvégezhető a vegetáció-típusok csoportosítása és a közöttük levő határok elemzése alapján is. E felismerés a generikus éghajlat-osztályozás alapja. Így lettek az leíró éghajlat és a botanika rokontudományok.

A legismertebb generikus éghajlat-osztályozási módszerek (Köppen, 1936; Holdridge, 1947; Thornthwaite, 1948; Geiger, 1954) a 20. század közepe táján alakultak ki. Köppen és Thornthwaite módszerének első magyar alkalmazásaira nem kellett sokáig várni. Köppen módszerének magyarországi alkalmazhatóságát elsőként Réthly (1933) vizsgálta. Thornthwaite módszerét Magyarországon többen, s több szempont alapján elemezték. Ezen munkák közül megemlíthető Berényi (1943), Szesztay (1958), Kakas (1960) és Szepesiné (1966) tanulmánya. Holdridge (1947) módszerének hazai alkalmazhatóságát elsőként Szelepcsényi és mtsai. (2009b) vizsgálták.

Napjainkban e módszerek a *leíró éghajlat* szerves elemei. A meteorológia és a klimatológia gyors fejlődése következtében e tudománynak – elsősorban leíró volta miatt – már csak tudománytörténeti jelentőséget tulajdonítanak. E szakkönyv ezen az állásponton próbál árnyalni a maga szerény eszközeivel. A módszerek bemutatása, alkalmazása és összehasonlítása mellett – ami magyar nyelvterületen eddig egyedi próbálkozás – arra is törekedtünk, hogy a módszerekkel kapcsolatos sajátos gondolkodást is bemutassuk; így egyfajta történelmi áttekintést is adtunk a leíró éghajlat fejlődéséről. E fejlődést a leíró éghajlat módszereit megalkotó és alkalmazó kutatók életrajzáinak bemutatásával kívántuk színesebbé tenni. A könyv egyúttal a leíró éghajlat témakörével kapcsolatos legújabb hazai ismeretek gyűjteménye is. Itt elsősorban a Thornthwaite (1948) módszerével, valamint a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle modellel kapott klímaképletek területi eloszlásával kapcsolatos megállapításainkra gondolunk.

Mindezek mellett a könyvet alapvetően azért írtuk meg, hogy az oktatásban hasznosítsuk. Az ELTE meteorológiai képzésében ez a *Klimatológia*, az *Ökológiai klimatológia*, és az *Agroklimatológia* tárgyak keretében lehetséges, de a könyv felhasználható minden olyan képzésnél, így a geográfusok képzésében is, ahol a leíró éghajlat szóba kerül akár globális, akár lokális (magyarországi) skálán történő alkalmazásait illetően. E könyv nem született volna meg a BSc, az MSc és a PhD hallgatók aktív közreműködése nélkül. Ezúttal is köszönjük e segítséget. A szakkönyv megírását anyagilag támogatta a TÁMOP pályázati rendszer, amit ezúton megköszönünk. Végül köszönettel tartozunk a könyv lektorának, Dr. Makra Lászlónak a készséges hozzáállásáért, a tényszerű meglátásaiért és a kézirat szakmai lektorálásáért.

Budapest, 2012. szeptember

A szerzők

1. fejezet - Bevezetés

1.1 Éghajlat, éghajlat-osztályozás

Az ember ősidők óta ki van szolgáltatva az időjárás és az éghajlat viszonyosságainak. Az időjárásban és az éghajlatban létalapokat meghatározó hatalmat látott, melynek óriási mérete, szeszélyessége és kiszámíthatatlansága félelmet gerjesztett és tiszteletre intett. Az ősidőkben az ember ezért mindig is alázattal viseltetett környezete iránt. Az alázatos hálaadás egyes közösségi helyszínei manapság is ismertek. Ilyen pl. Göbekli Tepe (köldökhegy) monumentális kultuszhelye, a világ jelenleg ismert legrégebbi templomlétesítménye, ami 12 ezer évvel ezelőttre datálható. Behringer (2010) így ír a könyvében az éghajlatváltozás emberi közösségekre gyakorolt hatásairól: Állandó kultuszhelyek kifestett barlangokkal már évezredekkel korábban is léteztek, de monumentális, kőszerszámokkal megmunkált kőoszlopok felállítása geometrikus, kör alakú elrendezésben a közösségi tevékenység teljesen új formáját jelentette. Valószínűleg a társadalmi szerveződés összetettebb formájára következtethetünk belőle, talán még vallási téren bekövetkező változásokra is, amelyek feltevések szerint közvetlenül összefüggnek a korszak pozitív klímaváltozásával: a Föld hirtelen megváltozott termékenységeért hálát kellett adni az Ég isteneinek. Erre a hegy tetején levő, az ég felé nyitott kultuszhely volt a legalkalmasabb, ahová messziről özönlöttek az emberek. Mintegy 10-11 ezer évvel később (az i.e. 6. században) az emberben tudatosodik az is, hogy a Földön különböző klímák találhatók. A kor filozófusai ezeket rendszerezni próbálták, és a vélemények ütköztetése során a Parmenidesz által képviselt Pythagoras-féle elképzelés győzött. Eszerint a Világ szférikus és a felszínén öt éghajlati zóna fordul elő: egy forró, két mérsékelt és két fagyos. Az elképzelés szerint a forró öv lakhatatlan a Napból érkező direkt sugárzás melegítő hatása miatt. Ezt az elképzelést Arisztotelész (i.e. 4. század) is hirdette, Nagy Sándor (i.e. 4. század) hódításai révén pedig eljutott a keleti civilizációkba is. Érdekes megemlíteni, hogy az ember már Krisztus idejében tudta, hogy mennyire érzékenyek az emberi társadalmak az éghajlatra és annak változásaira. Így pl. Sztrabou (i.e. 63.-i.sz. 23.), görög világutazó és filozófus, számtalan példával ecsetelte a mezőgazdasági kultúrák terméseredményeinek az éghajlattal szembeni érzékenységet (Harley and Woodward, 1987). Sztrabou azt is belátta, hogy az emberi fajkarakterisztikák (pl. a feketék gyapjas haja, vagy kiálló ajkai) éghajlatilag is determináltak. Ptolemaiosz (i.sz. 87.-150.) finomította Pythagoras elképzelését; öt helyett hét klímazónában gondolkodott, de az eredeti Pythagoras féle elképzelés érintetlen maradt. Középkorban Pythagorás eredeti elképzelése a klímák elrendeződéséről megmaradt, azonban a kontinensek térképes ábrázolásánál elterjedt az ún. T-O típusú térkép. Az elnevezés az európai, ázsiai és afrikai kontinensek sajátos, sematikus ábrázolására utal. Az első mérőműszerek megjelenésével (18. század vége) elkezdődött az éghajlat-megfigyelés. Dove, német botanikus, a csapadék első világtérképét 1848-ban, míg a hőmérséklet első világtérképét 1853-ban publikálta. Ugyanebben az időszakban, tehát a 19. század közepén, Alexander von Humboldt-ban tudatosodik, hogy a klíma és a vegetáció-típusok között szoros a kapcsolat. E gondolat ösztönzően hatott az ún. biofizikai éghajlat-osztályozások megjelenésére, amiről majd több szó esik a következő fejezetben.

A 19. század végén és a 20. század folyamán számos éghajlat-osztályozási módszer született. Ezek két csoportba, nevezetesen az empirikus és az egzakt, számszerűsítő eljárásokon alapuló módszerek közé sorolhatók. Az empirikus módszerek tovább csoportosíthatók ún. generikus, genetikus, valamint kifejezetten praktikus célokat szolgáló módszerekre. A módszerek részletes bemutatásától ezúttal eltekintünk, de egészen röviden a következőket mondhatjuk róluk. A generikus módszerek egyszerűek, a klímát leíró módon, de sokszor számszerűen is jellemzik. Gyakran mindössze egy elemre koncentrálnak, s kisebb-nagyobb súllyal számításba veszik a növényföldrajzi adottságokat. Közülük több módszer az éghajlat-osztályozások kezdeti időszakában született. E csoportba tartoznak a biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek is, melyek közül Köppen (1936) módszere a legismertebb. A genetikus módszerek alapfeltételezése az, hogy az éghajlatot szinte kizárólag a légköri folyamatok határozzák meg. Ezért e módszerek az általános légköri megfigyeléséből indulnak ki, értelemszerűen nagy hangsúlyt fektetnek az időjárás követésére, és az időjárást alakító folyamatok (pl. a légtömegek elhelyezkedése és tulajdonságaik, a frontok típusai és gyakoriságuk, a ciklonok, anticiklonok gyakorisága, vagy a ciklonpályák vonulási iránya, stb.) gyakoriságának becslése alapján végzik el az éghajlatok tipizálását. Az egyik legrégebbi, de ismert genetikus módszer a Bergeron-féle módszer. Egy tipikusan ilyen osztályozás Hettner (1930) klímaosztályozása is, mely a Föld szélövezeteit veszi alapul. Értelemszerűen e módszerek igen nagy mértékben helyfüggőek. Az újabb kori klímaosztályozások kifejezetten praktikus célokat szolgálnak. Az osztályozás egy konkrét feladat, vagy cél érdekében történik, amely lehet speciális is. Így pl. elkészíthető a Föld, vagy egy terület éghajlat-osztályozása egy kiválasztott élőlény, pl. a kullancs megjelenése és elterjedése szempontjából. Ehhez nyilván ismerni kell a kiválasztott élőlény hő, nedvesség, vagy valamilyen más tulajdonság iránti igényét. Az ilyen jellegű klímaosztályozás nyilván nemcsak élőlényekre alkalmazható. A Földön lévő éghajlatok rendszerezhetőek, pl. egy kiválasztott mezőgazdasági termék tárolhatósága,

vagy egy fémárucikk korrózióveszélye szempontjából is. Ehhez persze ismerni kell az adott folyamatok klímatis tényezőktől való függését. A praktikus célú klímaosztályozások gyakorlati haszna nagy, ugyanakkor túl specálisak és az éghajlat általános elemzése során nem hasznosíthatók. Az egzakt, számszerűsítésen alapuló módszerek matematikai apparátusa a sajátvektor analízis és a klaszterezés módszertana. E módszerek alapján becsülhető a kiválasztott, klímát reprezentáló elemek tér- és időbeli változékonysága, majd ez alapján – szintén egzakt eszközökkel – elvégezhető a csoportosítás is. E módszerek ugyan egzaktak, e vonatkozásban tudományosan megalapozottak, de e módszerek alkalmazásánál ügyelni kell arra, hogy a matematizálás ne legyen fontosabb a meteorológiai szempontoknál.

A következőkben csak a generikus, leíró jellegű biofizikai éghajlat-osztályozási módszerekkel fogunk foglalkozni.

1.2 Biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek

1.2.1 Nemzetközi előzmények

A biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek megszületése és kialakulása szorosan kapcsolódik Alexander von Humboldt, a növényföldrajz, vagy biogeográfia atyjának nevéhez. Humboldt and Bonpland (1807) észrevették, hogy az egymástól területileg távol eső, de hasonló klímákban a vegetáció típusok is hasonlóak. E gondolatot Grisebach (1838) és maga von Humboldt is továbbfejlesztette a vegetáció típusok határainak becslésére. További számos évbe telt, mire Humboldt gondolata az éghajlat-osztályozásban alkalmazásra került. Az első olyan próbálkozások, amelyek a vegetáció-határokhöz valamiféle klíma-határokat is hozzárendelni próbáltak, a 20. század első felében jelentek meg. Ezek közül Köppen éghajlat-osztályozása (Köppen, 1900; 1936) volt az első. Köppen (1900) saját rendszerét Grisebach (1866) globális vegetáció-térképe és de Candolle (1874) vegetáció-típusai alapján készítette el. E vegetáció-típusok a Föld fő, többé-kevésbé zonális eloszlású éghajlati övezeteihez tartoztak. Köppen de Candolle típusú növényzetét a forró égövben A-val, a mérsékelt égövben C-vel, a hideg és fagyos égövben D-vel és E-vel, míg a száraz övezetekben B-vel jelölte. Így Köppen (1936) klímarendszerezése gyakorlatilag követi az öt klímazonában gondolkodó görög elképzelést, melynek forrásai visszanyúlnak egészen Pythagorasis, azaz i.e. a 6. századig. Itt említjük meg azt is, hogy Köppen osztályozásának legújabb alkalmazását Kottek és mtsai. (2006), valamint Peel és mtsai. (2007) munkáiban láthatjuk. Napjainkban Köppen rendszerét a klímaváltozással kapcsolatos kutatásokban használják (Lohman és mtsai., 1993; Kalvová és mtsai., 2003; Gao and Giorgi, 2008; Roderfeld és mtsai., 2008) az eredmények kiértékelése során. A további módszerek már komplexebbek. Ezek közül megemlíthető Thornthwaite (1931, 1933, 1948), Holdridge (1947), Troll és Paffen (1964), valamint Box (1978) módszere. Mindezek közül Köppen (1936), Holdridge (1947) és Thornthwaite (1948) módszere a legismertebb. E három módszer között ugyanakkor jelentős komplexitásbeli különbségek is vannak.

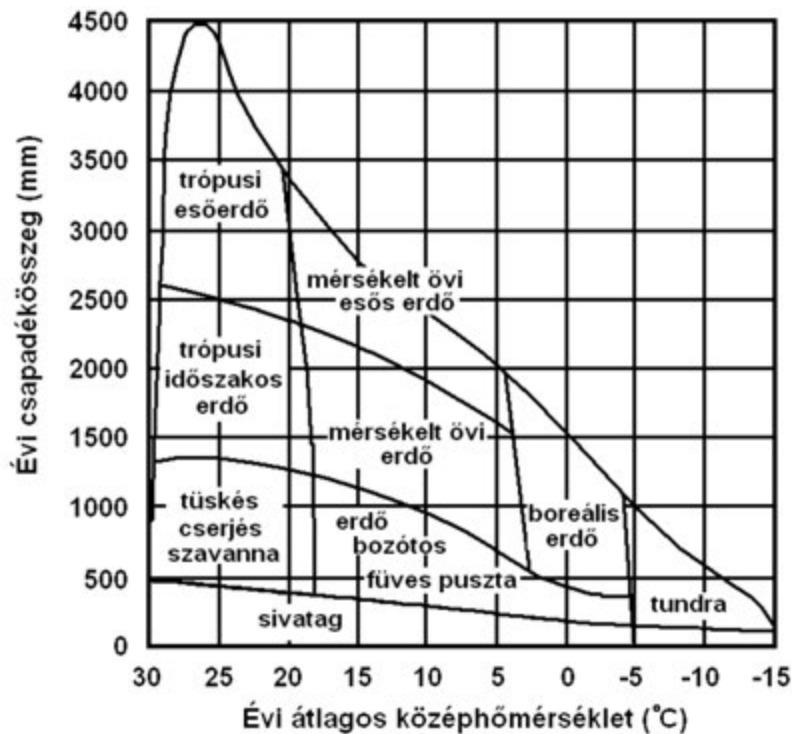
1.2.2 Hazai előzmények

Hazánkban a biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek közül Köppen (1936), Holdridge (1947) és Thornthwaite (1948) módszerét alkalmazták. Köppen módszerét Réthly (1933) elemezte. Eredményei alapján Köppen módszere hazánkra nem alkalmazható (Péczely, 1979). Köppen szerint ugyanis Kárpát-medence klímája többé-kevésbé homogén, azaz a területi változatossága kicsi. Holdridge (1947) módszerét hazánkban legelőször Szelepcsényi és mtsai. (2009a, 2009b) vizsgálták. Ez Köppen és Thornthwaite módszereivel való összehasonlítás kereteiben történt. Ez esetben a klíma területi változatossága már észrevehető volt. Az országot jellemző hideg-mérsékelt klíma a Dunától nyugatra, valamint az ország északi részeitben nedvesebb, míg az Alföld szívében szárazabb. A Thornthwaite módszerrel kapcsolatos vizsgálatok a legszéleskörűbbek. Thornthwaite módszerét Magyarországon először Berényi (1943), majd Kakas (1960) és Szesztay (1958) alkalmazta. Szesztay hidrológiai szempontból elemezte a módszert és alkalmazásai kisebb vízgyűjtő területekre vonatkoztak. Itt említhető még Szepesiné (1966) Kárpát-medencére vonatkozó tanulmánya is, amelyben a szerző egyes állomások energiaháztartását is bevonta a vizsgálatba. E számításokban a talaj hasznos vízkészlete 300 mm volt és területileg állandó. Thornthwaite módszerét Szász (1963) is alkalmazta. Vizsgálataiban a vízháztartási összetevők és a hasznos vízkészlet kapcsolatát elemezte, de csak egyes állomásokra vonatkozóan. Thornthwaite módszerét más módszerekkel összehasonlítva Szelepcsényi és mtsai. (2009b) elemezték. E vizsgálatok alapján bebizonyosodott, hogy Thornthwaite módszere alkalmas Magyarország mezoliptéku klímatis változatosságának jellemzésére. Az előbbi munkákban a talaj klímára gyakorolt hatásait nem elemezték. A klíma és a talaj kapcsolatát – a talaj hasznos vízkészlete területi változatosságának számításba vétele alapján – először Druca és Ács (2006), Ács és mtsai. (2007), valamint Breuer (2007) elemezték. E Thornthwaite (1948) típusú biofizikai modellek biogeokémiai modellekké bővíthetők. Az

első ilyen próbálkozások Ács és Breuer (2006), valamint Breuer (2007) nevéhez fűződnek. E modellek már az adott terület szénegyenlegének becslésére is alkalmasak (Szász és mtsai., 2007).

1.2.3 A vegetáció és az evapotranszspiráció szerepe

Vida (2001) az alábbi módon írja le, hogy a vegetáció a környezet indikátora, és hogy szinte mérőműszerként is alkalmazható a klimatológiai skálán. "A talaj összetételét, savas vagy lúgos jellegét (pH-ját), vízháztartását a növényzet alapján biztosabban lehetett megállapítani, mint az e célra szerkesztett mérőműszereinkkel. Ez utóbbiakkal ugyanis csak az adott pillanatban és egyetlen ponton mérhettünk, míg a növényzet sokéves, olykor évszázados vagy még hosszabb hatásokat is regisztrál."



1.1 ábra. A Föld fő vegetáció-típusai és az évi csapadékösszeg, valamint az átlaghőmérséklet közötti kapcsolat

E tény az emberiség már a 19. század közepén egyértelműen felismerte. Emellett megállapították azt is, hogy a két legfontosabb éghajlati elem a hőmérséklet (T) és a csapadék (P). Whittaker (1975) szerint e két elem és a Föld fő vegetáció-típusainak kapcsolata az 1. ábra szerint jellemezhető. Az ábrán számszerűsített formában láthatjuk a fő vegetáció típusokhoz tartozó P-T értéktartományokat. A csapadék és a hőmérséklet integrált mutatója az evapotranszspiráció (Holdridge, 1959). Így az evapotranszspiráció az adott terület éghajlatának fontos jellemzője (Woodward, 1987; Stephenson, 1990). Az evapotranszspiráció lehet potenciális és tényleges. Mivel a potenciális evapotranszspiráció csak a légkör állapotától függ, ezért kiemelt fontosságú. Számítása ugyanakkor egyszerű, ezért el is terjedt a használata a biofizikai éghajlat-osztályozásokban. A tényleges evapotranszspiráció mind a légkör, mind a talaj állapotának a függvénye. Becslése nehéz feladat, ezért nem is alkalmazzák a biofizikai éghajlat-osztályozásokban. Ugyanakkor ez a folyamat jellemzi és határozza meg a növényi lét igazi titkait. Ezeket Hamvas (1988) a következőképpen foglalta össze.

„ Minden növény tulajdonképpen géniusz, vagyis angyal, s ezt a kis daimont alakjáról, vagy színéről, vagy virágáról, vagy gyümölcséről is felismerhetem, de nem közvetlenül, hanem csak absztraktul, ahogy a szem valamit fel képes ismerni. Közvetlenül az élő növényről csak az orr szerezhet tapasztalatot, mert a legmélyebbet benne az élő olaj mondja meg. Az illat a növényi lét titka. ”

A növényi gázcseré legfontosabb összetevői azonban a szén-dioxid és a vízgőz. A növényzet ezek arányát is sajátos módon szabályozza: egy liter elpárologtatott víz után 1–5 g növényi tömeg (biomassza) képződik. Ez egy létalapunkat jellemző és meghatározó adat (Bonan, 2002).

Mint már említettük, Köppen (1936) éghajlat-osztályozási módszere a növényzet területi eloszlását veszi alapul; a természetes vegetáció megfigyelt eloszlásából indul ki. A módszer nem becsül evapotranszspirációt, s – többek között – ezért is igen egyszerű. Holdridge és Thornthwaite viszont felismerték az evapotranszspiráció becslésének fontosságát. Holdridge (1947, 1959) e tényező hatását a lehető legegyszerűbb módon, az évi potenciális evapotranszspiráció számításával értékelte. Az évi potenciális evapotranszspiráció értékét a havi hőmérsékleti értékek alapján számította. Az így kapott rendszerezés gyakorlatilag életformákban és az adott életformákhoz tartozó tipikus ökológiai egységekben gondolkodik. Ugyanúgy mint Köppen (1923), a Holdridge-féle rendszerezés is egzakt és – tekintettel arra, hogy a Föld komplex ökoszisztémáját jellemzi – egyszerű. Thornthwaite (1948) módszere szintén becsüli a potenciális evapotranszspirációt. Thornthwaite ezt a léghőmérséklet és a nappalok hosszának ismerete alapján értékelte. Emellett Thornthwaite a terület vízháztartását is becsülte.

1.2.4 A talaj szerepe

Köppen (1936) és Holdridge (1947) módszere nem használ fel semmilyen talajinformációt. Thornthwaite (1948) esetében ez azonban nem áll fenn. Thornthwaite a terület vízháztartását a lehető legegyszerűbb módon: a csapadék és a potenciális evapotranszspiráció mérlege alapján becsülte, ami feltételezi a talaj hasznos vízkészletének ismeretét is. A Thornthwaite (1948) féle módszerben a talaj hasznos vízkészlete $100 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$ és területileg állandó.

Thornthwaite éghajlat-osztályozása tehát nem taglalta a talaj és a klíma kapcsolatát. A módszer azonban könnyen kiegészíthető a talajra vonatkozó legfontosabb információkkal, pl. a talaj fizikai féleségének megadásával. A módszer nyilván ekkor is alkalmazható, a kérdés az, hogy milyen célokra, mekkora sikerrel. Az említett szemléltetése végett egy ún. módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle módszert is ismertetni fogunk.

1.2.5 Az osztályozási módszerek komplexitása

A három éghajlat-osztályozási módszer komplexitása különböző. A komplexitás mértékét három tulajdonság alapján ítéltük meg, melyek a következők: (1) a vegetációhoz való viszony, (2) a potenciális evapotranszspiráció (PET) becslése, (3) a talaj tulajdonságainak számításba vétele. Ezen elvek figyelembe vétele alapján Köppen (1936), Holdridge (1947) és Thornthwaite (1948) módszerének komplexitása megítélhető és a módszerek komplexitási sorrendbe is állíthatók. Ezt szemlélteti az 1.1. táblázat.

1.1 táblázat: *A biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek komplexitása a vegetációhoz való viszony, a potenciális evapotranszspiráció szimulálása és a talaj tulajdonságainak számításba vétele alapján (a komplexitás a plusz jelek számával arányos) (PET-potenciális evapotranszspiráció).*

<i>Osztályozási rendszerek</i>	<i>vegetáció</i>	<i>PET</i>	<i>talaj</i>
Köppen (1936)	+	–	–
Holdridge (1947)	+	+	–
Thornthwaite (1948)	+	+	+

Látható, hogy mindhárom módszer kapcsolódik a vegetációhoz. Köppen egyes klímák határait a vegetáció-határok alapján definiálta. Holdridge potenciális életformákat definiált származtatott klimatikus index-érték tartományokhoz (Lugo és mtsai., 1999). Thornthwaite pedig számításba vette a természetes növénytakaró eloszlását a nedvességi tartományok definiálása során (Péczely, 1979). Köppen (1900) nem becsült potenciális evapotranszspirációt, azonban már valamelyest jellemezte a párolgás folyamatát a száraz klímák definiálására szolgáló, érték-összehasonlító kritériumaival. Holdridge a létező legegyszerűbb módon számította a potenciális evapotranszspirációt (Prentice, 1990). Thornthwaite potenciális evapotranszspiráció számítására szolgáló módszere komplexebb, mint Holdridge-é, mivel a PET-et a sugárzás alapján becsülte. Emellett a vízháztartási összetevők becslésére csöbör modellt használt. A csöbör modell révén – a légköri tényezők mellett – egy fontos talajtényezőt is számításba vett: a talaj hasznos vízkészletét. Köppen és Holdridge módszerében a talaj viszont egyáltalán nincs számításba véve.

1.2.6 Célok

E könyv céljai a következők:

- a legismertebb biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek leírása és ismertetése,
- a módszerek alkalmazása és összehasonlító vizsgálata egy globális és egy lokális léptékű adatbázison. A módszerek alkalmazásával kapcsolatos számításokat Budapest adatain fogjuk illusztrálni. A módszerek tudományos célú alkalmazásait, melyek a jövőbeni éghajlatváltozás kérdéskörét érintik, szintén ismertetni fogjuk.
- Végül a Thornthwaite (1948) féle módszer éghajlat-osztályozási és agroklimatológiai célú alkalmazásainak rövid ismertetésére és elemzésére is sor kerül.

Mielőtt rátérünk e módszerek ismertetésére, a Walter-Lieth (1960) féle klímadiagrammal is megismerkedünk. Ez egy egyszerű éghajlat-meghatározó módszer, melyben a növényzet, mint tényező ugyan szerepel, de a lehető legegyszerűbb formában. A tematika ismertetése mellett a tárgykör néhány jelentős kutatójának életrajzát is bemutatjuk, azokat objektíven összehasonlítjuk.

A könyv hét fejezetre tagolódik. A bevezetésben (első fejezet) részletesen ismertetjük az éghajlat-osztályozás történelmi hátterét, ezen belül a biofizikai éghajlat-osztályozás rövid történetét, majd rátérünk a három legismertebb és talán legfontosabb biofizikai éghajlat-osztályozási módszer, a Köppen (1936), a Holdridge (1947) és a Thornthwaite (1948) féle módszer tulajdonságainak összehasonlító bemutatására a vegetáció, az evapotranszspiráció és a talaj szerepe szempontjából. A második fejezetben az adatokkal és a módszerek ismertetésével foglalkozunk. Először az adathasználat elvi kérdéseit érintjük, majd rátérünk az általunk használt éghajlati- és talajadatok bemutatására. Mielőtt ismertetjük a biofizikai módszereket, a Walter-Lieth (1960) féle klímadiagrammal is megismerkedünk. Köppen, Holdridge és Thornthwaite módszerének alkalmazását Budapest adatain is szemléltetjük. Mindezek után bemutatjuk az ún. módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle modellt is. A harmadik fejezetben az eredmények bemutatására kerül sor, ahol a vizsgálat összehasonlító jellegére helyezzük a hangsúlyt. Itt lesz először alkalmunk jellemezni Magyarország éghajlatát a Köppen (1936), Holdridge (1947) és Thornthwaite (1948) féle éghajlat-osztályozások tükrében. Emellett részletesen ismertetjük a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle modellel kapott évi és havi tényleges evapotranszspiráció és talaj vízkészlet mezőket. A negyedik fejezetben Köppen, Holdridge és Thornthwaite módszerének egyes tudományos célú alkalmazásait ismertetjük. Az ötödik fejezetben a rövid összefoglalás mellett levonjuk a legfontosabb következtetéseket, majd egy rövid kitekintést adunk a további lehetőségekről. A hatodik fejezetben ismertetjük Köppen, Holdridge, Thornthwaite, Réthly és Berényi szakmai életrajzeit, majd ezeket röviden összehasonlítjuk a kiválasztott szempontok szerint. Minden egyes fejezet végén vannak kérdések és/vagy feladatok találhatóak, melyeket a felhasznált irodalom követ. Az utolsó hetedik fejezet didaktikai célokat szolgál. Ez táblázatos formában tartalmazza a használt globális (Lamb (1978) féle adatok) és lokális (Kakas (1960) féle adatok) léptékű adatbázis legfontosabb adatait. Mindezek alapján a könyv egy alapvető segédletként használható az elméleti ismeretek gyakorlati elsajátításához.

1.3 Kérdések

1. Ismertessük a Parmenidesz által képviselt Pythagoras féle elképzelést a Föld klímáiról!
2. Ki volt az a filozófus, aki felismerte a mezőgazdaság, így az ókori társadalmak érzékenységet is az éghajlat változásaira? Vázoljuk röviden gondolatait!
3. Hogyan módosult a Pitagorász féle elképzelés a Föld klímáiról a középkorban?
4. Ki volt az, aki felismerte a Föld klímái és vegetáció-típusai közötti kapcsolatot?
5. Mutassuk be az éghajlat-osztályozási módszereket! Jellemezzük röviden a módszerek egyikét!
6. Hogyan viszonyul Köppen (1936) éghajlat-osztályozása a Föld klímáira vonatkozó Pythagorász-féle elképzelésekhez?
7. Soroljunk fel legalább három olyan globális éghajlat-osztályozási módszert, melyek összetettebbek, mint Köppen (1936) módszere!
8. Ki alkalmazta elsőként Magyarországon Köppen módszerét? Mit állapított meg a Köppen-módszer alkalmazhatóságát illetően?

9. Mely biofizikai éghajlat-osztályozási módszert alkalmazták eddig a legtöbb alkalommal Magyarországon? Mivel indokolható, hogyan magyarázható a módszer népszerűsége?
10. Melyik biofizikai éghajlat-osztályozási módszer használ talajadatot is? Konkrétan milyen adatról van szó?
11. Az éghajlat-osztályozás szempontjából mely vízmérleg-elem a fontosabb: a potenciális, vagy a tényleges párolgás? Indokoljuk meg a választást!
12. Mit nevezünk potenciális evapotranszpirációnak? Jellemezzük a folyamatot leíró fogalom mindkét szavát külön-külön!
13. Ídézzük fel Hamvas gondolatait a növényi lét titkairól! Értelmezzük meteorológiai szempontból e filozófikus gondolatokat!
14. Hasonlítsuk össze Köppen, Holdridge és Thornthwaite módszerét az evapotranszpiráció meghatározása szempontjából!
15. Hasonlítsuk össze Köppen, Holdridge és Thornthwaite módszerét komplexitásuk szempontjából, adjunk elemzést erről! A komplexitás a vegetációhoz való viszony, a potenciális evapotranszpiráció szimulálása, valamint a talaj tulajdonságainak számításba vétele alapján ítélhető meg.

Felhasznált irodalom

- Ács, F. és Breuer, H.. 2006. *Modelling of soil respiration in Hungary*. Agrokémia és Talajtan. Vo. 55. No. 1. 59-68.
- Ács, F., Breuer, H., és Szécs, G.. 2007. *A tényleges párolgás és a talaj vízkészlet becslése tenyészidőszakban*. Agrokémia és Talajtan. Vo. 56. 217-236.
- Behringer, W.. 2010. *A klíma kultúrtörténete. A jégkorszaktól a globális felmelegedésig*. Corvina Kiadó Kft, Budapest. 343 pp. ISBN 978 963 13 58834.
- Berényi, D.. 1943. *Magyarország Thornthwaite rendszerű éghajlati térképe és az éghajlati térképek növényföldrajzi vonatkozásai*. Időjárás. 47. (5-6). 81-91. (7-8). 117-125.
- Bonnan, G.. 2002. *Ecological Climatology. Concepts and applications*. Cambridge University Press, Cambridge. 678 pp. ISBN 0 521 80032 3.
- Box, E.. 1978. *Ecoclimatic determination of terrestrial vegetation physiognomy, PhD Dissertation*. University of North Caroline, Chapel Hill. 381 pp.
- Breuer, H.. 2007. *A párolgás, a talajvíztartalom és a talajlégzés klimatológiai modellezése Magyarországon, MSc diplomamunka*. ELTE, Budapest. 93 pp.
- de Candolle, A.. 1974. *Constitution dans le regne vegetal des groupes physiologiques applicables a la geographie botanique ancienne et moderne*. Arch. Sci. Phys. Nat.. 50. 5-42.
- Drucza, M. és Ács, F.. 2006. *Relationship between soil rexture and near surface climate in Hungary*. Időjárás. Vo. 110. No. 2. 135-153.
- Gao, X.. 2008. *Increased aridity in the Mediterranean region under greenhouse gas forcing estimated from high resolution simulations with a regional climate model*. Global. Planet. Change. Vo. 62. 195-209.
- Geiger, R.. 1954. *Klimaklassifikation der Klimate nach W. Köppen [in Landolt Börnstein (eds.) Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik, alte Serie Vol. 3]*. Springer, Berlin. 603-607.
- Grisebach, A.. 1838. *Ueber den Einfluss aud die Begraenzung der natuerlichen Floren*. Linnaea. Vo. 12. 159-200.

- Grisebach, A.. 1866. *Catalogus plantarum cubensium exhibens collectionem Wrightianum aliasque minores ex insula Cuba missas*. Apud Guilielmum Engelmann, Leipzig.
- Hamvas, B.. 1988. *Az öt génusz. A bor filozófája*. Életünk Könyvek, Budapest. 177 pp. ISBN: 9630255227.
- Harley, J.B. és Woodward, D.. 1987. *The History of Cartography, Volume 1.* University of Chicago Press, Chicago. 599 pp. ISBN-10: 0226316335.
- Hettner, A.. 1930. *Die Klimate der Erde*. B.G. Teubner, Leipzig and Berlin. 115 pp. ASIN: B004B5WPZI.
- Holdridge, L.R.. 1947. *Determination of world formulations from simple climatic data*. Science. Vo. 105. 367-368.
- Holdridge, L.R.. 1959. *Simple method for determining potential evapotranspiration from temperature data*. Science. Vo. 130. 572.
- Humboldt, A. és Bonpland, A.. 1807. *Ideen zu einer Geographie der Pflanzen nebst einem Naturgemalde der Tropenlander*. J.G. Cotta, Tübingen, Paris. 182 pp.
- Kakas, J.. 1960. *A lehetséges évi evapotranszspiráció. Az évi vízfölösleg. Az évi vízhiány*. In: *Magyarország Éghajlati Atlasza*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 46/2-4 térkép.
- Kalvová, J.T., Bezpalcová, H.K., és Nemesova, I.. 2003. *Köppen climate types in observed and simulated climates*. Stud. Geophys. Geod.. Vo. 47. 185-202.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., és Rubel, F.. 2006. *World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated*. Meteorol. Z.. Vo. 15. No. 3. 259-263.
- Köppen, W.. 1900. *Versuch einer Klassifikation der Klimata, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzen*. Geograph. Zeitschr.. Vo. 6. 593-611, 657-697.
- Köppen, W.. 1923. *Die Klimate der Erde, Grundriss der Klimakunde*. Walter de Gruyter, Berlin. 369 pp.
- 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 pp.
- Lohman, U., Sausen, R., Bengtsson, L., Cubash, U., Perlwitz, J., és Roeckner, E.. 1993. *The Köppen climate classification as a diagnostic tool for general circulation models*. Clim. Res.. Vo. 3. 177-193.
- Lugo, A.E., Brown, S.L., Dodson, R., Smith, T.S., és Shugart, H.H.. 1999. *The Holdridge Live Zones of the conterminous United States in relation to ecosystem mapping*. Journal of Biogeography. Vo. 26. 1025-1038.
- Péczely, Gy.. 1979. *Éghajlattan*. Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest. 336 pp. ISBN 963 17 4411 6.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L., és McMahon, T.A.. 2007. *Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification*. Hydrol. Earth Syst. Sci.. Vo. 11. 1633-1644.
- Prentice, K.C.. 1990. *Bioclimatic distribution of Vegetation for General Circulation Model Studies*. J. Geophys. Res.. 95. No. D8. 11,813-11,830.
- Réthy, A.. 1933. *Kísérlet Magyarország klímaterképének szerkesztésére a Köppen-féle klímabeosztás értelmében*. Időjárás. IX évf.. 105-115.
- Roderfeld, H., Blyth, E., Dankers, R., Huse, G., Slagstad, G., Ellingsen, I., Wolf, A., és Lange, M.A.. 2008. *Potential impact of climate change on ecosystems on the Barents sea region*. Climatic Change. Vo. 87. 283-303.
- Stephenson, N.L.. 1990. *Climatic control of vegetation distribution: the role of the water balance*. American Naturalist. Vo. 135. 649-670.

- Szász, G.. 1963. *A vízháztartás klimatikus tényezőinek vizsgálata Magyarországon*. Debreceni Agrártudományi Főiskola Tudományos Közleményei. 49-71.
- Szász, G., Ács, F., és Breuer, H.. 2007. *Estimation of surface energy and carbon balance components in the vicinity of Debrecen using Thornthwaite's bucket model*. Időjárás. Vo. 111. No. 4. 239-250.
- Szelepcsényi, Z., Breuer, H., Ács, F., és Kozma, I.. 2009a. *Biofizikai klímaklasszifikációk. 1. rész: a módszerek bemutatása*. Légkör. 54 évf.. 3. szám. 21-27.
- Szelepcsényi, Z., Breuer, H., Ács, F., és Kozma, I.. 2009b. *Biofizikai klímaklasszifikációk. 2. rész: magyarországi alkalmazások*. Légkör. 54 évf.. 4. szám. 18-24.
- Szepesiné, L.A.. 1966. *A Kárpát-medence hidroklimájának jellemzői*. Beszámolók az 1965-ben végzett tudományos kutatásokról. Az Országos Meteorológiai Intézet hivatalos kiadványai. XXIX.. 86-114.
- Szesztay, K.. 1958. *Estimation of water balance of catchment areas in Hungary*. Időjárás. Vo. 62. 313-328.
- Thornthwaite, C.W.. 1931. *The climates of North America according to a new classification*. Geogr. Rev.. Vo. 21. 633-655.
- Thornthwaite, C.W.. 1933. *The climates of the Earth*. Geogr. Rev.. Vo. 23. 433-440.
- Thornthwaite, C.W.. 1948. *An approach toward a rational classification of climate*. Geogr. Rev.. XXXVIII. 55-93.
- Troll, C. és Paffen, H.. 1964. *Karte der Jahreszeitenklimate der Erde*. Erkund. Arch. Wiss. Geogr.. Vo. 18. 5-28.
- Vida, G.. 2001. *Helyünk a bioszférában*. Typotex Elektronikus Kiadó, Budapest. 128 pp. ISBN 963 9326 12 7.
- Walter, H. és Lieth, H.. 1960. *Klimadiagramm-Weltatlas*. Fischer, Jena. 130 pp.
- Whitaker, R.H.. 1975. *Communities and Ecosystems*. MacMillan Publishing Company, 2nd edition, New York. 385 pp. ISBN 0024273902.
- Woodward, F.I.. 1987. *Climate and Plant Distribution*. Cambridge University Press, Cambridge. 167 pp. ISBN 0-521-28214-4.

2. fejezet - Anyag és módszer

2.1 Adatok

2.1.1 Általános szempontok

A növénytakaró területi eloszlását a Földön nemcsak az éghajlat (hő- és vízellátottság, valamint a légkör CO₂-tartalma), hanem a rendelkezésre álló tápanyag és a geológiai viszonyok is (pl. a topográfia és a kőzetek összetétele) meghatározzák (Woodward, 1987; Stephenson, 1990; Prentice et al., 1992). Ez alapján az lenne a logikus, hogy a növényzet területi eloszlását szimuláló modellek – tehát a generikus éghajlat-osztályozási modellek is – az éghajlati adatok mellett talaj- és geológiai adatokat is használjanak. Ha arra törekszünk, hogy minél kevesebb bemenő adatot használjunk, akkor a tápanyag-ellátottságot jellemző talajadatok, valamint a geológiai adatok használata mellőzendő, ugyanis ezek kevésbé fontosak, mint az éghajlati adatok. Az is egyértelmű, hogy az éghajlatot jellemző hő- és vízellátottsági adatok közül a csapadék (P) és a léghőmérséklet (T) a legfontosabb. Ennek magyarázata a következő. A csapadék a szárazföldi felszín vízháztartásának legfontosabb bevételi eleme, emellett egyszerűen és elfogadható pontossággal is mérhető. A vízháztartás meghatározó összetevője, ugyanakkor fontos kiadási komponense az evapotranszspiráció is. Mivel a légköri hatást a potenciális evapotranszspiráció tükrözi, a módszerek – ha becsülnek evapotranszspirációt – csak ezen összetevő becsülésére szorítkoznak. A potenciális evapotranszspiráció mérése meglehetősen körülményes, ezért azt modellek alapján becsüljük, melyek sokszínűsége óriási. Ha az adott éghajlat-osztályozási módszer a csapadék mellett a potenciális evapotranszspirációt is felhasználja, akkor ez – szinte kizárólag – léghőmérsékleti adatok alapján becsülendő (pl. Thornthwaite, 1948; Hamon, 1961; Blaney-Criddle, 1959). Ebből is látszik, hogy a léghőmérséklet alapvető fontosságú állapothatározó, emellett egyszerűen és elfogadható pontossággal mérhető. Az éghajlat-osztályozási módszerekben használt P-T-adatok lehetnek évi, vagy havi átlagok, átlagos havi minimumok, vagy maximumok; vagy akár abszolút évi, vagy havi minimumok, illetve maximumok. A lehetőségek tárháza nagy, de egy adott módszer annál jobb, minél kevesebb bemenő adatot igényel. A legtöbbjükben általában csak a csapadék (P) és a hőmérséklet (T) havi és évi átlagai szerepelnek. Ez alól persze vannak kivételek is, ilyen pl. a Walter-Lieth (1960) féle klímadiagram ábrázolási módszertana.

Mi ezúttal az éghajlati adatok mellett talajadatokat is használunk majd. Az éghajlati adatokat csapadék és hőmérsékleti adatok, míg a talajadatokat a talaj hasznos vízkészletének becsüléséhez szükséges adatok alkotják.

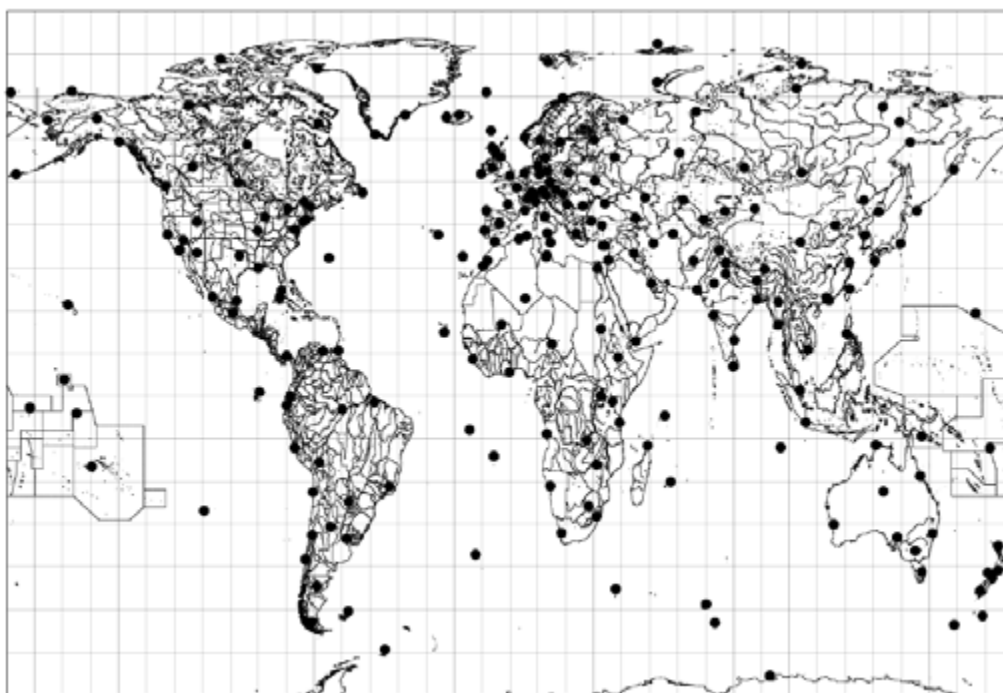
2.1.2 Éghajlati adatok

Az éghajlati adatokat a csapadék és a hőmérséklet évi és havi értékei képezik. A globális, illetve a lokális léptékű vizsgálódásainkhoz két különböző adatbázist használtunk. A globális léptékű adatok a Földre, míg a lokális léptékű adatok Magyarországra vonatkoznak. Vegyük szemügyre kicsit részletesebben mindkét adatbázist!

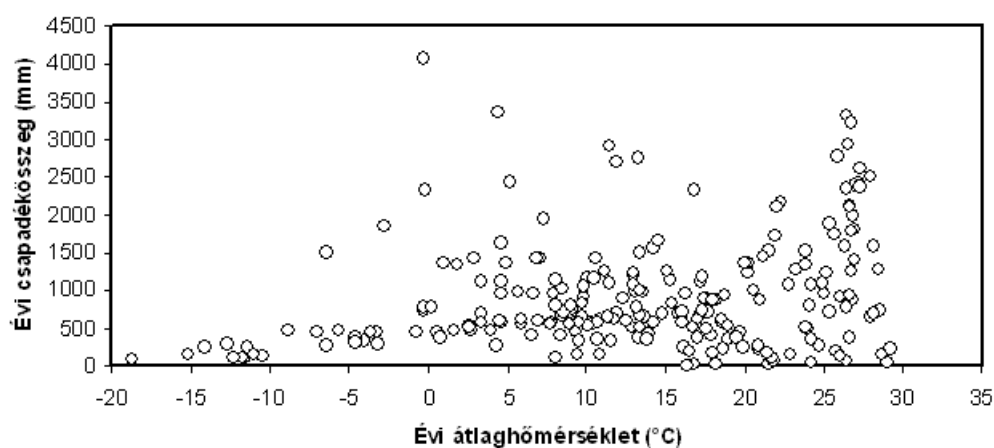
A Lamb féle adatbázis

A globális léptékű adatokat 230 állomás P-T adatai alkotják. Ezek Lamb (1978) könyvében, az a "World Climatic Table" c. fejezetben található. Ezen adatok mellett e könyvfejezet más klímaadatokat is tartalmaz, azonban ezeket könyvünkben nem használtuk fel. Az állomások területi eloszlása a 2. ábrán látható.

Területi eloszlásuk nem egyenletes, azonban a Föld összes klímáit lefedik. A 230 állomás közül kb. 30 állomás az óceáni térség kisebb szigetein található. Megemlítendő, hogy az állomások adatai eltérő hosszúságú időszakokra vonatkoznak. A 230 állomás P-T diagramja a 2.2. ábrán látható.



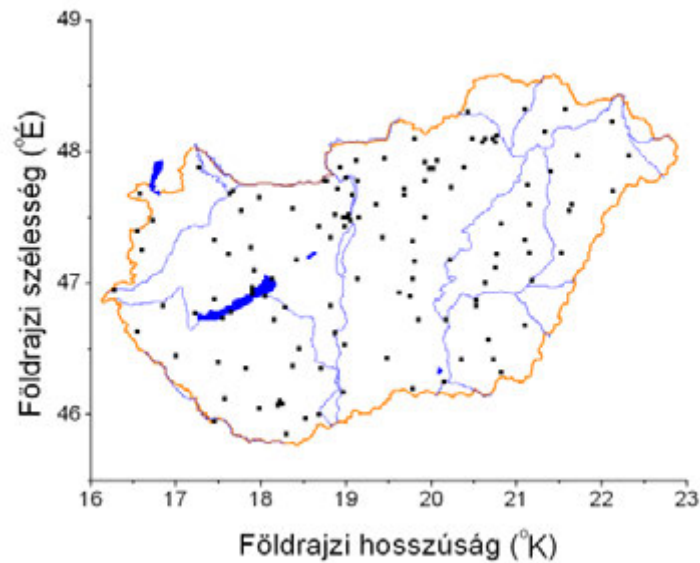
2.1. ábra. A Lamb-féle adatbázis állomásainak területi eloszlása



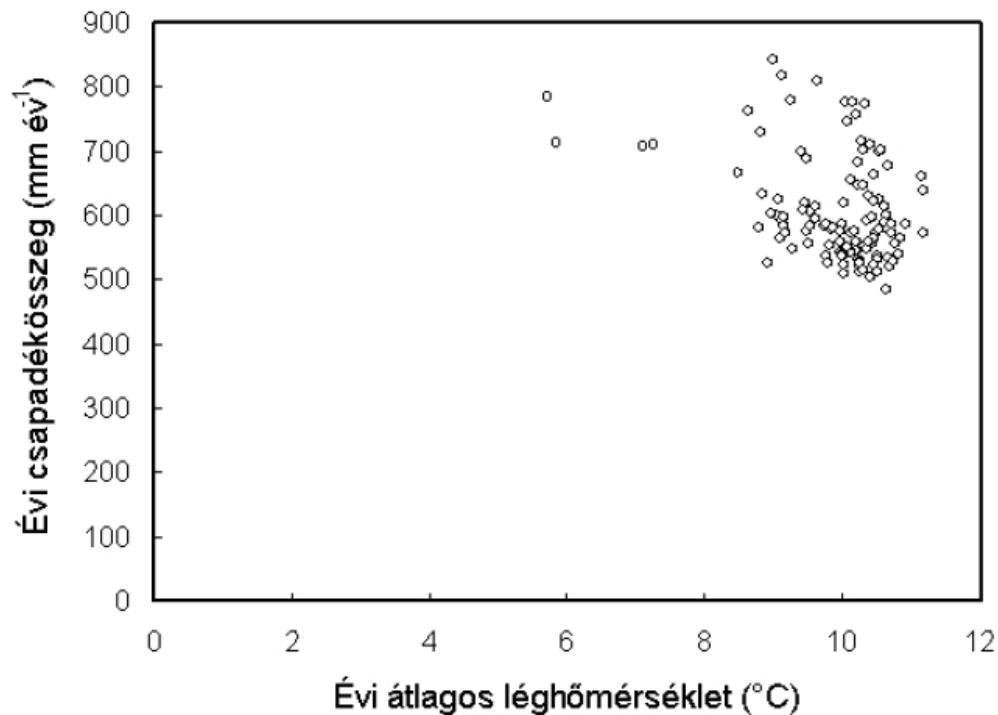
2.2. ábra. A Föld klímáit jellemző 230 állomás P-T diagramja

A Kakas féle adatbázis

Az éghajlati adatokat 115 éghajlati állomás P-T adatai alkotják. Az adatok megtalálhatók Magyarország Klíma Atlaszában (Kakas, 1960) az 1901-1950 közötti időszakra vonatkozóan. Megjegyzendő, hogy a csapadék és hőmérsékleti mezők jó egyezést mutatnak a legújabb csapadék és hőmérsékleti mezőkkel (Magyarország Klíma Atlasza, 2000). Az állomások területi eloszlása és P-T diagramja a 2.3. és a 2.4. ábrán látható.



2.3. ábra. A Kakas (1960) féle adatbázisban szereplő állomások területi eloszlása

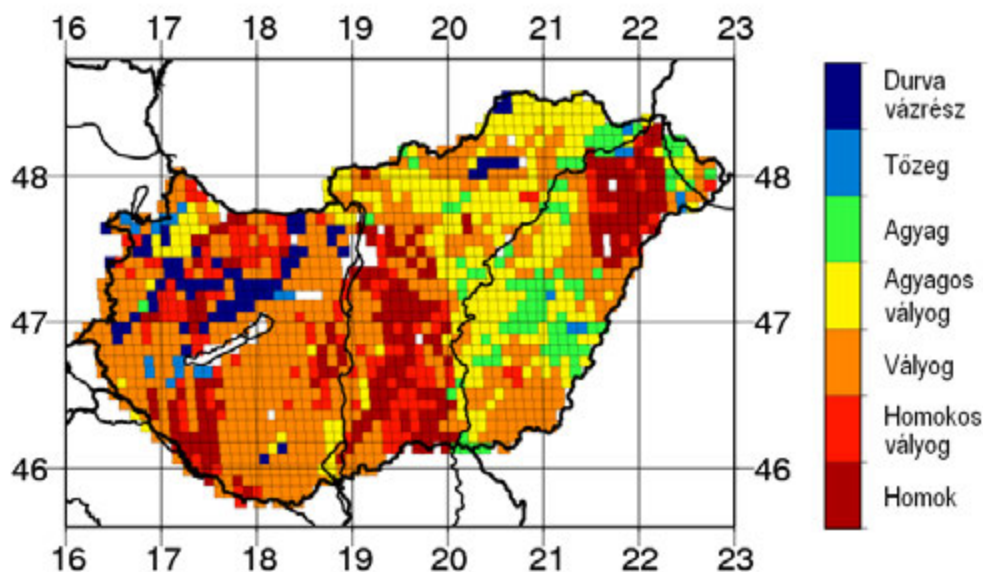


2.4. ábra. A felhasznált 115 éghajlati állomás P-T diagramja

2.1.3 Talajadatok

Talajadatok a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle módszer alkalmazásaihoz szükségesek. Mivel e könyvben ennek a módszernek csak hazai alkalmazásaival foglalkozunk, a szükséges talajadatokat csak Magyarországra vonatkozóan ismertetjük. A szükséges talajadatok: a talaj fizikai féleségének területi eloszlása, valamint az adott fizikai féleségekhez tartozó hidrofizikai paraméterek. A hidrofizikai paraméterek: a hervadáspont (θ_w) és a szabadföldi vízkapacitás (θ_f). θ_w és θ_f függ a talaj fizikai féleségétől (a talaj fizikai félesége kifejezés helyett gyakran használják a talajtextúra kifejezést is), valamint attól is, hogy miként definiáljuk a θ_w -t és a θ_f -t. Magyarországon öt fő talajfizikai féleséget különböztetünk meg. Ezek a homok, a homokos vályog, a vályog, az

agyagos vályog, valamint az agyag. Az éghajlati állomások talajtextúráit Várallyay és mtsai. (1980) alapján határoztuk meg. Az e munkában használt talajtextúra területi eloszlást a 2.5. ábrán láthatjuk.



2.5. ábra. A talaj fizikai féleségének területi eloszlása Magyarországon (Várallyay és mtsai. (1980) nyomán)

A Θ_w és a Θ_f értékeket a van Genuchten (1980) féle parametrizáció alapján állapítottuk meg. Az e parametrizációban használt paraméter értékeket Nemes (2003) munkájából vettük. A magyar és az USDA klasszifikációk közötti összefüggéseket Filep és Ferencz (1999) tanulmánya alapján állapítottuk meg. A hervadásponthoz tartozó talaj vízkészlet értéket a $pF=4,2$, míg a szabadföldi vízkapacitáshoz tartozó talaj vízkészlet értéket a $pF=2,5$ feltétel alapján számítottuk. Ezeket az értékeket 2.1. táblázat tartalmazza.

2.1. táblázat Magyarország talajainak a hervadásponthoz és a szabadföldi vízkapacitáshoz tartozó talajvízkészlet értékei különböző fizikai féleségek esetén

Paraméterek ($\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}$)	Fizikai talajféleségek				
	Homok	Homokos vályog	Vályog	Agyagos vályog	Agyag
Θ_w	15,2	104,7	135,5	175	271,9
Θ_f	79,9	273,8	331,7	386,9	485,4

Említsük meg azt is, hogy az értékek hasonlósága ellenére különbség van a talajnedvesség-tartalom (mértékegysége: $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) és a talajvízkészlet (mértékegysége ($\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}$)) között. Ezúttal a talaj vízkészletet 1 m mélységű talajszelvényre vonatkoztatva fejeztük ki. A talajszelvény mélysége önkényesen választható, így pl. lehet 0,5 m, vagy akár 0,1 m mélységű. A talajoszlop alapterülete ezzel szemben mindig 1 m^2 . Ha 1 m mélységű talajoszlopot veszünk, a talaj vízkészlet értéke a talajnedvesség-tartalom értékének ezerszerese.

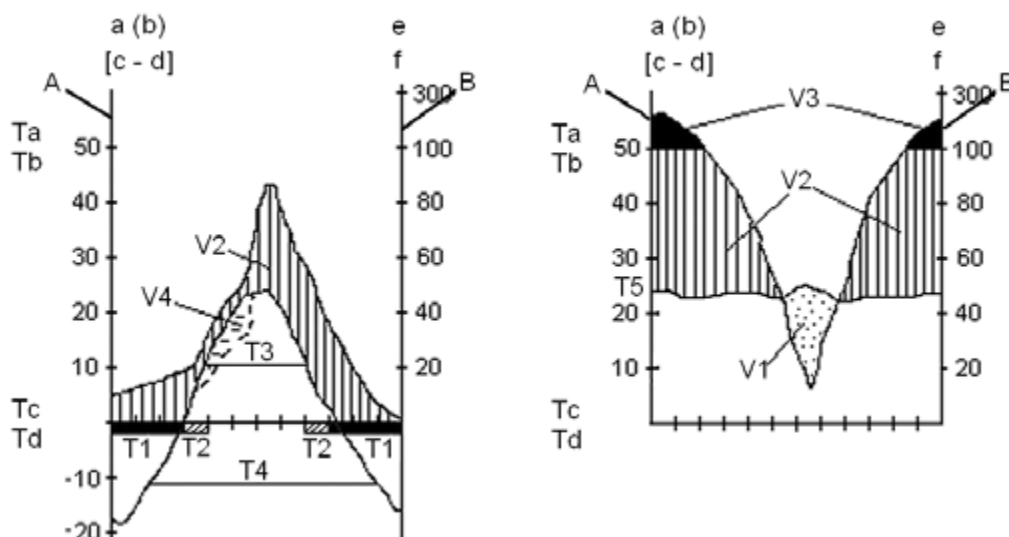
A homok – mint a legnagyobb szemcseméretű talajtextúra – rendelkezik a legalacsonyabb Θ_w és Θ_f talajvízkészlet értékekkel. Látható az is, hogy a szemcseméret csökkenésével növekszik a Θ_w és a Θ_f értéke. A növekedés mértéke a homok és a homokos vályog között a legnagyobb.

2.2 A Walter-Lieth féle klímadiagram

Mielőtt rátérnénk a biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek ismertetésére, bemutatjuk az ismert Walter-Lieth (1960) féle klímadiagramot, ami éghajlat-meghatározó módszernek tekinthető. Walter és Lieth felismerték, hogy az adott terület éghajlata nem jellemezhető kellő pontossággal a potenciális evapotranszspiráció (PET) becslése nélkül. Azt is megállapították, hogy a PET-et a léghőmérséklet alapján kell becsülniük, méghozzá a lehető legegyszerűbb módon. Úgy döntöttek, hogy a PET értékét ki sem számítják pontosan, hanem a hőmérsékleti görbe

menete alapján közelítik. Ezért a léghőmérséklet (T) évi menetének ábrázolása során pontosan definiált skálabeosztást használtak. Ahhoz, hogy a feltételezett PET és az ismert csapadék (P) értékeket összevessék, a P évi menetét is egy pontosan definiált, a hőmérsékleti skálabeosztással egy meghatározott arányban levő skálabeosztásban rajzolták meg. Így, a P és a T évi meneteinek összehasonlítása alapján az adott terület vízellátottságának időbeli változásaira [pl. víztöbbletre ($P > PET$), vagy vízhiányra ($P < PET$)] is következtethettek. A vízhiány és a víztöbblet évi menetéből pedig képet nyerhettek az éghajlatról, valamint a tipikus növényzetről. Walter és Lieth (1960) e diagramokat sok ezer állomásra készítették el, azaz a módszerüket globális léptékben használták. A könyvben nem csupán az egyes állomásokhoz tartozó éghajlati diagramok, hanem a diagramok alapján megállapított éghajlati osztályok területi eloszlása is megtalálható.

Most tekintsük át, hogyan épül fel az egységes Walter-Lieth (1960) féle klímadiagram (2.6. ábra)!



2.6. ábra. A Walter-Lieth (1960) féle klímadiagram elemei, kitalált adatsorra

A diagram egy x és két y tengellyel rendelkezik. Az x tengelyen a hónapok, a bal oldali y tengelyen (A) a hőmérséklet, míg a jobb oldalán (B) a csapadék található. A diagram bal felső sarkába kerül az állomás neve (a), alá vagy zárójelben mögé a tengerszint feletti magassága (b) m-ben kifejezve. Az állomás neve alatt szögletes zárójelben – ha rendelkezésre áll – feltüntetjük azon időszakok hosszát, amelyre vonatkoznak a hőmérséklet (c) és csapadék adatok (d). Ha a két elem különböző hosszúságú időszakokból származik, akkor mind a kettőt odaírjuk. A jobb felső sarokba kerül az évi középhőmérséklet $^{\circ}\text{C}$ -ban kifejezve (e), alá pedig az évi csapadékösszeg mm-ben (f). Egyik esetben sem írjuk ki a mértékegységet. Ha az adott adatsor az északi félgömből származik, akkor a január, míg ha a déli félgömből, akkor a július a kezdő hónap. A hónapok rövidítéseit, kezdőbetűit nem tüntetjük fel. Az egyes hónapokra vonatkozó adatokat úgy ábrázoljuk, hogy a hónapot jelölő intervallum közepére vesszük fel a pontokat, melyeket azután összekötünk. Mint már említettük, a megfelelő skálabeosztással elérhetjük, hogy a hőmérséklet – ezáltal a potenciális evapotranszspiráció – és a csapadék között egyértelmű kapcsolat legyen. Walter és Lieth (1960) e tekintetben azzal a közelítéssel éltek, hogy 10°C havi átlaghőmérséklet mellett a növényzet 20 mm vizet párologtat el havonta. Így a hőmérséklet skálája 10°C beosztású, a 0°C pedig az x és az y tengely metszéspontjában van. A csapadék skálabeosztása 20 mm a 0-tól 100 mm-ig terjedő tartományban. A 0 mm szintén az x és az y tengelyek metszéspontjában található. 100 mm felett a skálabeosztás megváltozik: a korábbi 20 mm-ről 200 mm-re nő. Ez azzal indokolható, hogy a Föld azon területein, ahol az átlagos havi csapadékösszeg nagyobb, mint 100 mm, a havi átlag alig nagyobb 100 mm-nél, vagy annak többszöröse.

A két görbe fekvése és menete alapján 4 nedvességi osztály különíthető el. Ha a csapadékgörbe a hőmérsékleti görbe alatt húzódik, akkor a potenciális evapotranszspiráció nagyobb, mint a csapadék, és a növényzet vízhiányban szenved. Ez az ún. arid időszak, amit meg is jelölünk a hőmérséklet- és a csapadékgörbe közötti terület kipöttyöztetésével (V1). Ha a csapadékgörbe a hőmérsékleti görbe felett található, de nem éri el a 100 mm-t, víztöbblet keletkezik a területen. Ez az ún. humid időszak, a két görbe közötti területet pedig függőleges vonalakkal jelöljük (V2). Ha a havi csapadékösszeg 100 mm feletti, a vízbőség nagy, és a csapadék jelentős része lefolyik. Az ilyen időszakokban a két görbe között 100 mm feletti területet feketével jelöljük (V3). A száraz (arid) és a nedves (humid) időszakok között egy átmeneti nedvességtartomány is jelentkezhet, amit aszályra hajló időszaknak is értelmezhetünk.

Ha a hőmérséklet és a csapadék görbéje közel fut egymás mellett, akkor meg kell vizsgálni, hogy ha a havi csapadékösszeg kétharmadát ábrázoljuk, az hol halad a hőmérsékleti görbéhez képest. Ha a csapadékgörbe kétharmaddal csökkentett értéke a hőmérsékleti görbe alatt húzódik, akkor ezt az időszakot vízszintesen szaggatott vonalakkal jelöljük (V4). Ha elő is fordul arid időszak, az aszályt csak akkor jelöljük, ha az arid időszakot megelőző és követő hónapokban is teljesül az aszályosság feltétele. Rajzolás nélkül is elvégezhetjük a hónapokra a vizsgálatot. Figyelembe véve, hogy a hőmérséklet és csapadékskála között kétszeres szorzó van, azt vizsgáljuk, hogy a $P \cdot (\% / 2) = P \cdot 1/2$ kisebb-e, mint a hőmérséklet az adott hónapban.

Walter & Lieth jelölték a hőmérséklet egyes szélső értékeit is. Azokban a hónapokban, amikor a napi minimum hőmérséklet átlaga 0°C -nál kisebb, az x tengelyt megvastagítjuk (T1). Ha csak az abszolút minimum hőmérséklet (a mérési időszak alatt előforduló legalacsonyabb minimum hőmérséklet) fagypont alatti, akkor az adott időszakot az x tengelyen átlós sráfozással jelöljük (T2). E jelölésekkel a potenciális fagyvesztés időszakát jelezték. A magasabb földrajzi szélességeken a növényzet számára a nyári időszakok és a tartósan fagyos időszakok hossza a meghatározó. Ezért, ahol legalább az év felében fagypont alatti a havi középhőmérséklet, feltüntetjük a napi középhőmérséklet alapján a $+10^{\circ}\text{C}$ feletti, illetve a -10°C alatti napok számát is. Ezt úgy tesszük, hogy a hőmérsékleti görbe alatt a $+10^{\circ}\text{C}$, illetve a -10°C mentén egy-egy egyenest húzunk, majd ráírjuk azokra ezen időszakok napokban kifejezett hosszát (T3, T4). Az Egyenlítő környéki klímákra ezzel szemben a kiegyenlített évi menet a jellemző. Ezekben a területeken a hőmérséklet mellett a napi hőmérsékleti ingás évi átlaga is szerepel. Ezt az értéket (T5) a bal oldali y tengelyhez írjuk a hőmérsékleti görbe mellé. A hőmérsékleti szélsőségeket szintén a hőmérsékleti tengely bal oldalán jelöljük. Felülről lefelé haladva a következő mennyiségeket vesszük figyelembe: abszolút hőmérsékleti maximumot (T_a), a legmelegebb hónap átlagos napi maximumát (T_b), a leghidegebb hónap átlagos napi minimum hőmérsékletét (T_c), valamint az abszolút hőmérsékleti minimumot (T_d). A hőmérsékleti maximumokat az 50°C értékhez, a minimumokat a 0°C értékhez írjuk (2.6. ábra). A gyakorló feladatokban csak azokat az értékeket tüntetjük fel, amelyek adottak. Mivel a könyv adatbázisában (7. fejezetet) a szélsőséges hőmérsékletek hiányoznak, ezeket nem tudjuk jelölni.

A Walter-Lieth (1960) féle klímadiagram hátrányai elsősorban abból adódnak, hogy egy egységes és egyszerű jelölési rendszert alkalmaztak. Ha vesszük a skálabeosztást, a $10^{\circ}\text{C}=20\text{ mm}$ közelítés csak bizonyos esetekben alkalmazható, mivel a potenciális evapotranszpiráció nem-lineáris függvénye a hőmérsékletnek. A PET logaritmikusan változik a hőmérséklet függvényében kb. $+15^{\circ}\text{C}$ -tól kezdődően, továbbá e függés növény-specifikus. Minden bizonnyal realisabb képet nyerhetünk a PET értékéről, ha a terület növényborítottságának és a növényzet tulajdonságainak ismerete alapján megváltoztatjuk a konstans, 2-es szorzót.

Példák

Az alábbi példák keretében néhány tipikus Walter-Lieth (1960) féle klímadiagramot fogunk bemutatni és elemezni. A klímadiagramok Fort Nelson (északi félgömb), Cape Don (déli félgömb), Malaga (északi félgömb) és Pécs helységekre vonatkoznak. E 4 állomás éghajlati adatai a 2.2a., 2.2b. táblázatban találhatók.

2.2a. táblázat A példákban szereplő állomások klimatológiai adatai a GHCN adatbázis alapján (tszfm.: tengerszint feletti magasság, $T_{\text{átl}}$: átlaghőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$), $P_{\text{átl}}$: átlagos csapadékösszeg (mm), $T_{\text{min}}/T_{\text{max}}$: átlagos minimum/átlagos maximum hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$), $T_{\text{abszmin}}/T_{\text{abszmax}}$: abszolút minimum/abszolút maximum hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$), ϕ =földrajzi szélesség ($^{\circ}$) (a pozitív előjel északi, a negatív előjel déli szélességet jelöl), λ =földrajzi hosszúság ($^{\circ}$) (a pozitív előjel keleti, a negatív előjel nyugati hosszúságot jelöl)).

Fort Nelson	$\phi = 58.83^{\circ}$			$\lambda = -122.58^{\circ}$			tszfm.=382 m			mérési időtartam: T = 74 év, P = 74 év				
	jan.	febr.	márc.	ápr.	máj.	jún.	júl.	aug.	szept.	okt.	nov.	dec.	évi	
$T_{\text{átl}}$	-21,8	-16,4	-8,6	2,2	9,8	14,7	16,8	14,9	9,1	1	-12,4	-20	-0,9	
$P_{\text{átl}}$	23,1	19,4	21,1	18,2	43,7	65,9	77	61,7	39,1	28,3	25,9	21,4	444,8	
T_{min}	-17,5	-10,8	-2	8,7	16,4	21,1	23,1	21,2	15,1	5,9	-8,4	-16	4,7	
T_{max}	-26,2	-22	-15,1	-4,2	3,1	8,3	10,6	8,5	3	-3,9	-16,5	-24	-6,5	
T_{abszmax}	10,7	15	17,8	27,3	32,1	33,9	36,7	34,4	32,8	26,7	18,3	10,7	36,7	
T_{abszmin}	-51,7	-48,3	-39,4	-34,4	-15	-1,5	1,1	-4,5	-16,7	-28,6	-41,1	-47,8	-51,7	
Cape Don	$\phi = -11.32^{\circ}$			$\lambda = 131.77^{\circ}$			tszfm.=19 m			mérési időtartam: T = 33 év, P = 73 év				
	jan.	febr.	márc.	ápr.	máj.	jún.	júl.	aug.	szept.	okt.	nov.	dec.	évi	
$T_{\text{átl}}$	28,3	28	28	28,3	27,4	25,7	24,9	25,5	26,8	28,2	29,2	29,1	27,4	
$P_{\text{átl}}$	281,7	233,1	280,9	130,2	24	3	3	1,2	4	24,4	105,5	220,8	1311,7	
T_{min}	31,3	30,8	30,9	31,4	30,5	28,8	28,2	28,9	30,4	31,6	32,4	32,2	30,6	
T_{max}	25,4	25,2	25	25,1	24,2	22,5	21,6	22,1	23,3	24,9	26	26,1	24,3	
T_{abszmax}	36,1	35,2	36,4	34,7	34,5	32,8	32,3	33,3	35,8	37,8	36,7	36,2	37,8	
T_{abszmin}	15	16,7	16,1	19,8	14,4	15,1	15	18,3	14,4	21,1	18,2	20,8	14,4	

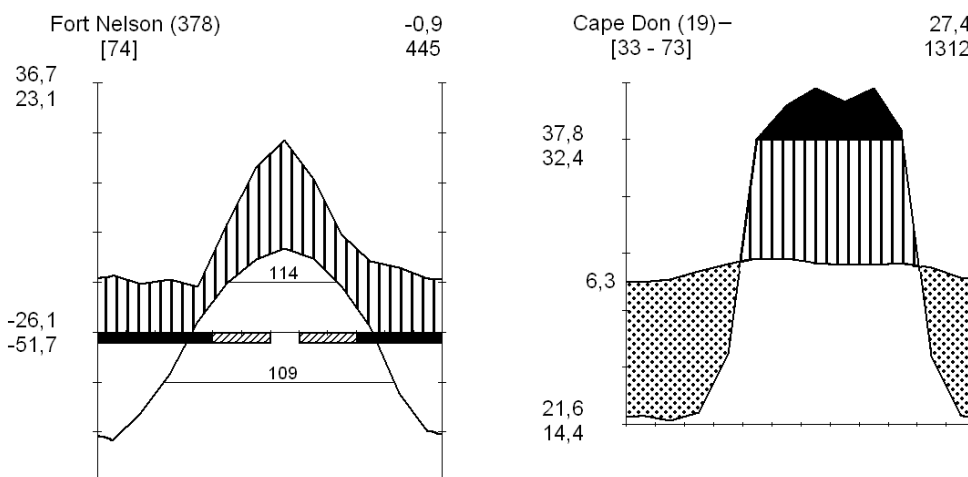
2.2b. táblázat A példákban szereplő állomások klimatológiai adatai a GHCN adatbázis alapján (a jelölések megegyeznek 2.2a. táblázatban használt jelölésekkel)

Malaga		$\phi = 36.67^\circ$		$\lambda = -4.49^\circ$		tszfm.=7 m		mérési időtartam: T = 69 év, P = 69 év					
	jan.	febr.	márc.	ápr.	máj.	jún.	júl.	aug.	szept.	okt.	nov.	dec.	évi
$T_{\text{átl}}$	12,1	12,8	14,4	16	19	22,5	25	25,6	23,2	19,2	15,4	12,9	18,2
$P_{\text{átl}}$	75,2	67,6	63,1	41,1	24,7	8,4	1,4	5	23,9	52,3	92	95,2	549,9
T_{min}	16,5	17,4	19,2	21,1	24,1	27,6	30,1	30,5	27,9	23,8	19,8	17,1	22,9
T_{max}	7,7	8,2	9,6	11	13,9	17,5	20	20,7	18,5	14,8	11,1	8,7	13,5
T_{abszmax}	26,8	30	31,4	33	35	41	44,2	44	40	36	30,4	24,6	44,2
T_{abszmin}	-2,6	-1,6	-1,2	2,8	5	9,8	10	12,2	10,2	5,6	1	-0,8	-2,6
Pécs		$\phi = 46^\circ$		$\lambda = 18.23^\circ$		tszfm.=201 m		mérési időtartam: T = 101 év, P = 39 év					
	jan.	febr.	márc.	ápr.	máj.	jún.	júl.	aug.	szept.	okt.	nov.	dec.	évi
$T_{\text{átl}}$	-0,5	1,6	6,4	11,3	16,2	19,3	21,3	20,9	17,1	11,7	5,8	1,3	11
$P_{\text{átl}}$	30,2	24,6	26,4	45,5	50,7	64,8	53,3	51,5	59,6	45	50,7	40,2	542,5
T_{min}	2,5	5,2	10,9	16,4	21,5	24,7	26,9	26,6	22,4	16,4	9,1	3,9	15,5
T_{max}	-3,4	-2,1	1,8	6,2	10,9	14	15,7	15,2	11,7	7	2,6	-1,4	6,5
T_{abszmax}	17	21,8	26,8	29,9	33,8	38,9	41,3	39,6	35,2	29,4	24,4	19,5	41,3
T_{abszmin}	-27	-24,1	-16	-6,9	-2,6	0,8	5,4	3,4	0,4	-9	-13	-22,1	-27

Az adatokat a GHCN (Global Historical Climatology Network) (Peterson and Vose, 1997; Lawrimore et al., 2011) adatbázisból vettük, ahol az átlagok mellett az egyes extrém értékek¹ is rendelkezésre állnak. A Fort Nelson klímadiagramja a 2.7. ábrán látható. A hőmérsékleti görbéről látható, hogy az fagyponthoz az év felében. Ugyanakkor a csapadékgörbe egész évben a hőmérsékleti görbe felett található, ami víztöbbletet jelent. Áprilisban a két görbe közel kerül egymáshoz, ezért meg kell vizsgálni az aszályosságot is. Az aszályosság feltétele az, hogy a havi csapadék harmada kisebb legyen, mint a hőmérséklet. Áprilisban a csapadék 18,2 mm, ennek harmada kb. 6,1 mm, ez az érték nagyobb, mint a havi középhőmérséklet (2,2°C), tehát az aszályosság jelölésére nincs szükség. A táblázatból láthatjuk, hogy az átlagos minimum hőmérséklet októbertől ápriliséig 0°C alatti, ezért az x tengelyt jelentősen megvastagítottuk. A fennmaradó hónapokban – július kivételével – szárazsággal jelöltük azokat a hónapokat, amelyekben a minimum hőmérséklet fagyponthoz alatti. Az adatbázisból kikerestük azon napok sokévi átlaghőmérsékletét (74 éves átlag), melyek meghaladják a +10°C-ot, illetve nem érik el a -10°C-ot. E napok száma rendre 114 (+10°C felett), illetve 109 (-10°C alatt). A két értéket az $y = \pm 10^\circ\text{C}$ egyeneseken tüntettük fel a hőmérsékleti görbe alatt. Az abszolút maximum hőmérsékletet (36,7°C) a hőmérsékleti tengely 50°C-os értékénél tüntettük fel. Alatta látható a legmelegebb hónap, a július, átlagos maximum hőmérséklete 23,1°C. A 0°C szintjében először a leghidegebb hónap, a január, átlagos minimum hőmérsékletét (-26,1°C), majd alatta az abszolút minimumot (-51,7°C) tüntettük fel. A helyszín ismerete nélkül is elmondhatjuk, hogy Fort Nelson valahol a sarkkörök környékén lehet, valamelyik kontinens belsejében. A hőmérséklet és a csapadék ilyen évi menete csak a kontinensek középső területein fordulhat elő, ahol a telet tipikusan sarki eredetű, hideg légtömegek alakítják, míg nyáron a nedvességet a ritkán előforduló, mérsékelt övi ciklonok biztosítják. Nyáron a hőmérséklet emelkedésével a ciklonok mellett a zivatartevékenység is hozzájárul a nagyobb csapadékmennyiséghez. Ugyanakkor az állomás bizonyosan nem az ázsiai kontinens legbelsőbb területein található, hiszen ott az évi csapadékösszeg nem érheti el a 445 mm-t a hiányzó ciklontevékenység miatt. A napsugárzás energiája nyáron elegendően nagy a 10°C feletti napi átlaghőmérséklet biztosításához, ami a fás szárú növények megmaradásához szükséges. A hőmérséklet évi ingása (az átlagos minimum- és maximum hőmérséklet különbsége) megközelíti az 50°C-ot, ami szintén az erős kontinentális hatás jellemzője. Ilyen jellegű éghajlattal a Föld déli féltekéjén legfeljebb elvétve találkozhatunk, hiszen ott nincsenek nagy kiterjedésű szárazföldi felszínek a sarkkörök környékén. Ha megkeressük Fort Nelson települést a térképen, Kanada nyugati részén a Sziklás-hegység északi vonulatában található, a sarkkörtől mintegy 8°-kal délre.

A következő állomás, Cape Don, lényegesen melegebb környezetben helyezkedik el. A klímadiagramja a 2.7. ábrán látható.

¹A Lamb és a Kakas féle adatbázisokban ezek az extrém értékek hiányoznak.



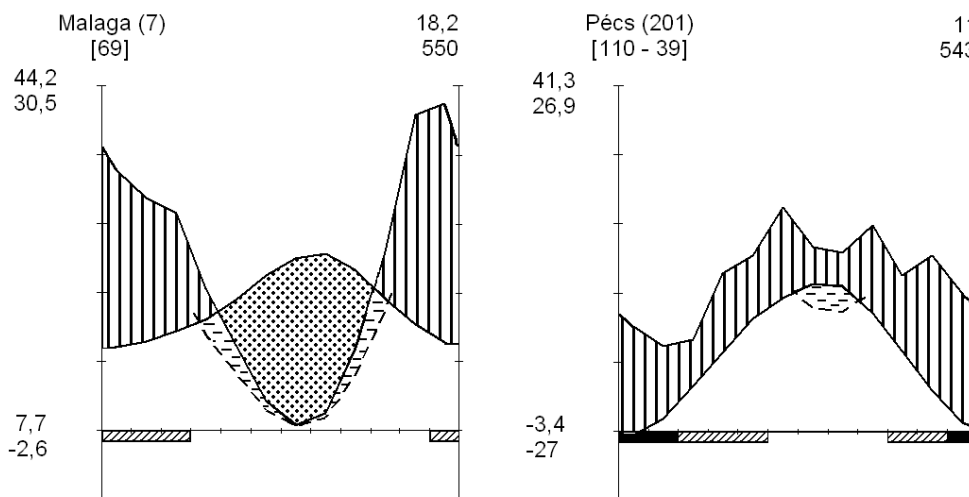
2.7. ábra. Fort Nelson és Cape Don Walter-Lieth típusú klímadiagramja a GHCN adatbázis alapján

Az évi átlaghőmérséklet $27,4^{\circ}\text{C}$, míg az évi csapadékösszeg 1312 mm , ami arra utal, hogy a település az Egyenlítő és a térítő között található. Mivel az állomás a déli félgömbön található, itt az év első hónapja a július, amit az állomás tengerszint feletti magassága (19 m) mellett egy mínusz jellel jelölünk. A hőmérséklet évi menetének két maximuma van, melyek a Nap delelése után általában áprilisban és októberben jelentkeznek, azonban esetünkben áprilisban és novemberben lépnek fel. A csapadék időbeli eloszlása tipikusan félévi száraz és félévi nedves időszakot mutat. Az esős évszakban a csapadékösszeg havi átlaga $200\text{--}300\text{ mm}$. Itt összehasonlításként jegyezzük meg, hogy Magyarországon az évi átlagos csapadékösszeg 660 mm . Az állomás neve alatt két számot találhatunk. Ez azt jelzi, hogy ezen az állomáson 33 év hőmérsékleti, illetve 73 év csapadék adatai álltak rendelkezésre. Fort Nelson esetén megkerestük a $+10^{\circ}\text{C}$ feletti és a -10°C alatti középhőmérsékletű napok számát, amire Cape Don esetében nem volt szükség, hiszen ott az abszolút minimum hőmérséklet ($14,4^{\circ}\text{C}$) igen magas. Mivel Cape Don Egyenlítő környéki állomás, ezért a hőmérsékleti görbe mellett itt fel kell tüntetni a hőmérséklet átlagos évi ingadozását is. Ezt a havi maximum és minimum hőmérsékletek különbségének átlagolásával kapjuk meg, ami esetünkben $6,3^{\circ}\text{C}$. A trópusi esőerdőkben ez az ingadozás mindössze $2\text{--}3^{\circ}\text{C}$, így láthatjuk, hogy az Egyenlítőtől kissé távolabb vagyunk.

A fenti két szélsőséges eset mellett nézzünk meg két további szélsőséges esetet, hogy meggyőződhessünk Földünk éghajlati változatosságáról. Malaga klímadiagramját 2.8. ábra szemlélteti. Az évi középhőmérséklet $18,2^{\circ}\text{C}$, míg az évi csapadékösszeg 550 mm . Fagyos napok csak elvétve fordulnak elő, de volt rá példa a decembertől márciusig tartó időszakban a 69 éves adatsorban. A csapadék télen jelentős, nyáron 20 mm alatti. A nyári szárazság nem szűnik meg olyan hirtelen, mint Cape Don esetében, ezért vizsgáljuk meg, hogy lehet-e számítani aszályos időszakra. Ha előfordul arid időszak, akkor ennek feltételeit az ezt követő és megelőző hónapokra kell megvizsgálnunk. Az arid időszak májustól szeptemberig tart. Áprilisban a havi csapadékösszeg $41,1\text{ mm}$, amelynek harmada $13,7\text{ mm}$, ez kisebb, mint a havi átlaghőmérséklet, ami 16°C . Októberben a $19,2^{\circ}\text{C}$ havi középhőmérsékletéhez $52,3\text{ mm}$ havi csapadékösszeg tartozik. Így látható, hogy a csapadékösszeg harmada szintén kisebb, mint a havi átlaghőmérséklet, következésképp az aszályosság fennáll, amit be is jelöltünk. Ezt megtesszük minden egyes hónapra április és október között, majd az így kapott aszályossági görbe és a csapadékgörbe közötti területet vízszintes csíkozással töltjük ki. Malaga esetében az éghajlat jellemzése igen egyszerű: a nyári szárazság és a téli csapadékos jelleg – melynek köszönhetően az évi csapadékösszeg $500\text{--}600\text{ mm}$ – a mediterrán éghajlatot biztosítja.

Pécs klímadiagramja a 2.8. ábrán látható. Pécs évi csapadékösszege (543 mm) nem különbözik számottevően Malagáétól, annak évi menete azonban markánsan eltér tőle. A csapadékgörbe az év egész év során a hőmérsékleti görbe felett húzódik, ami alapján arra következtethetünk, hogy Pécsen a 11°C -os évi átlaghőmérséklet mellett elegendő nedvesség áll rendelkezésre az év folyamán. Ugyanakkor júliusban és augusztusban kisebb a csapadék, ami miatt meg kell vizsgálnunk az aszály-érzékenységet e két hónapban. A havi középhőmérsékletek ($21,3^{\circ}\text{C}$ és $20,9^{\circ}\text{C}$) magasabbak, mint a havi csapadékok ($53,3\text{ mm}$ és $51,5\text{ mm}$) harmada ($17,8$ és $17,2$), így erre a két hónapra bejelölhetjük az aszályosságot. Ez azt jelenti, hogy egyes években nyaranta nem hullik elegendő csapadék, ami miatt szükséges a mezőgazdasági növények öntözése. Az átlagos minimum hőmérsékletek télen (december-február), míg az abszolút minimum hőmérsékletek az októbertől májusig tartó időszakban vannak fagyponthoz alatti. Fort Nelson esetében azt mondtuk, hogy éghajlatának kontinentális jellegére a csapadék nyári maximuma és a hőmérséklet jelentős ingadozása utal. A hőmérséklet ingadozása Pécsen mindössze 30°C , ami annak tulajdonítható, hogy

alacsonyabb földrajzi szélességen vagyunk. A nyári csapadékmaximum nem olyan karakterisztikus, mint Fort Nelson esetében. Ennek két oka is van. Magyarország időjárását – földrajzi helyzetéből adódóan – nemcsak a kontinentális, hanem az óceáni és a mediterrán térségből érkező légtömegek is befolyásolják. A mediterrán légtömegekkel télen nedvesebb, míg nyáron szárazabb légtömegek érkeznek hazánk fölé. A mérsékelt övi ciklonok tavasszal és ősszel juttatnak el hozzánk nedvesebb légtömegeket. A két hatás eredményeképpen a csapadék évi menete kiegyensúlyozottabb, és a nyári maximum nem olyan markáns.



2.8. ábra. Malaga és Pécs Walter-Lieth típusú klímadiagramja a GHCN adatbázis alapján

2.3 Biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek

2.3.1 Köppen módszere

Köppen – követve Humboldt (Humboldt and Bonpland, 1807) – meg volt győződve, hogy a Föld természetes növénytakarója és éghajlatai között szoros kapcsolat van. A növénytakaró típusokat de Candolle (1874) francia-svájci botanikus csoportosítási szempontjai alapján különböztette meg. de Candolle a vegetáció-típusokat hőigényük és szárazságtűrésük alapján alakította ki. Öt főcsoportot különböztetett meg, ezek a 2.3. táblázatban láthatók.

2.3. táblázat A Föld klímaövei Köppen (1936) és de Candolle (1874) szerint

Öv	K	Köppen	De Candolle	Kvantitatív határok
Fák	A	trópusi	megatermális	a leghidegebb hónap $T > 18^{\circ}\text{C}$
	C	mérsékelt	mezotermális	a leghidegebb hónap $T > -3$ és $T < +18^{\circ}\text{C}$
	D	boreális	mikrotermális	a leghidegebb hónap $T < -3^{\circ}\text{C}$, a legmelegebb hónap $T > +10^{\circ}\text{C}$
Havas	E	poláris	hekistotermális	a legmelegebb hónap $T < +10^{\circ}\text{C}$
Száraz	B	száraz	xerofil	az évi csapadékösszeg értéke kisebb, mint a hőmérséklettől függő kritikus érték

Köppen korszakalkotó ötlete az volt, hogy a de Candolle féle térképeken szereplő vegetáció-típusok határvonalaihoz izoterma vonalakat próbált rendelni (Sanderson, 1999). Így gyakorlatilag számszerűsíteni próbálta az egyes vegetáció-övek kiterjedésének határait. E próbálkozásai során rájött arra, hogy a vegetáció-típusok elterjedése a hőmérséklet és a csapadék bizonyos határértékeihez, pl. a minimális havi középhőmérséklet, vagy csapadékösszeg értékeihez, vagy esetleg egy bizonyos határérték feletti időtartamhosszhoz köthető. Az ilyen „határérték kigondolási” logika alapján, Köppen (1923) öt fő csoportba sorolta a bolygónkon létező klímákat. E fő csoportokat az ábécé nagybetűivel (A - E) jelölte. A második betű beiktatásával az öt főcsoportot tizenegy klímátípussá bővítette. Az egyes klímátípusok részletesebb jellemzésére további betűket vezetett be. Dobosi és Felméry (1994) szerint e

betűjelzések – melyeket gyakran klímaképleteknek nevezünk – az egzakttság benyomását keltették, ez példátlan tudományos tekintélyt biztosított Köppen éghajlatelemző rendszerének.

Mi ezáltal nem tizenegy, hanem tizenkét klímátípust fogunk megkülönböztetni, ahogy az Prentice (1990) munkájában is látható. A tipizálási rendszert a tipikus növénytakaró és a rendszerezés során számításba vett egyes kritériumok feltüntetésével a 2.4. táblázat szemlélteti.

2.4. táblázat A módosított Köppen-féle rendszer klímátípusai (Köppen, 1936). Jelölések: Af - trópusi esőerdő klíma, Am - trópusi monszun klíma, Aw - trópusi szavanna klíma, BS - sztyepp klíma, BW - sivatagi klíma, Cf - meleg-mérsékelt klíma egyenletes évi csapadékeloszlással, Cw - meleg-mérsékelt klíma nyári csapadékkal, Cs - meleg-mérsékelt klíma téli csapadékkal, Df - hideg télű klíma egyenletes évi csapadékeloszlással, Dw - hideg télű klíma nyári bő csapadékkal, ET - tundra klíma és EF - állandóan fagyos klíma.

Klímaövek	Képlet	Elnevezés
Trópusi öv	Af	trópusi esőerdő klíma
	Am	trópusi monszun klíma
	Aw	trópusi szavanna klíma
Száras öv	BS	sztyepp klíma
	BW	sivatagi klíma
Meleg-mérsékelt öv	Cs	mediterrán klíma
	Cf	meleg-mérsékelt klíma egyenletes évi csapadékeloszlással
	Cw	meleg-mérsékelt klíma nyári csapadékkal
Boreális öv	Ds	hideg télű klíma téli csapadékmaximummal
	Df	hideg télű klíma egyenletes évi csapadékeloszlással
	Dw	hideg télű klíma nyári bő csapadékkal
Poláris öv	ET	tundra klíma
	EF	állandóan fagyos klíma

A klímátípusok feltüntetése mellett az adott klímátípusokhoz tartozó tipikus vegetáció is fel van tüntetve. A Köppen féle éghajlat-osztályozás alapvetően egy többlépcsős kritériumrendszer, amelynek módosított és leginkább elfogadott változatát a 2.5. táblázat szemlélteti.

2.5. táblázat A módosított Köppen féle rendszer klímátípusai Peel és mtsai.(2007) alapján. Jelölések: MAP - átlagos évi csapadékösszeg (mm); MAT - évi átlaghőmérséklet (°C); T_{cold} - a leghidegebb hónap átlaghőmérséklete (°C); P_{dry} - a legszárazabb hónap csapadékösszege (mm). A száraz éghajlatok esetén α - a MAP 70%-a téli csapadék; β - a MAP 70%-a nyári csapadék; γ egyik sem. A nyár (tél) aszerint van definiálva, hogy melyik hat hónapos (ONDJFM vagy AMJJAS) periódus a melegebb (hidegebb). T_{hot} - a legmelegebb hónap átlaghőmérséklete (°C); T_{cold} - a leghidegebb hónap átlaghőmérséklete (°C); T_{mon10} - azon hónapok száma, amelyek átlaghőmérséklete +10°C feletti; P_{dry} - a legszárazabb hónap csapadékösszege (mm); P_{sdry} - a legszárazabb nyári hónap csapadékösszege (mm); P_{wdry} - a legszárazabb téli hónap csapadékösszege (mm); P_{swet} - a legnedvesebb nyári hónap csapadékösszege (mm); P_{wwet} - a legnedvesebb téli hónap csapadékösszege (mm).

Betűk			Számszerű kritériumok		
1.	2.	3.	1.	2.	3.
A	f		$T_{cold} \geq 18$	$P_{dry} \geq 60$	
	m			$P_{dry} \leq 60$ és $P_{dry} \geq 100 - \frac{MAP}{25}$	
	w			$P_{dry} \leq 60$ és $P_{dry} \leq 100 - \frac{MAP}{25}$	
B	S	h	$\alpha) MAP < 20 \cdot MAT$	$\alpha) MAP \geq 10 \cdot MAT$	$MAT \geq 18$
	W	k	$\beta) MAP < 20 \cdot MAT + 280$ $\gamma) MAP < 20 \cdot MAT + 140$	$\beta) MAP \geq 10 \cdot MAT + 140$ $\gamma) MAP \geq 10 \cdot MAT + 70$	$MAT < 18$
C	s	a	$-3 < T_{cold} < 18$ és $T_{hot} > 10$	$P_{sdry} < 40$ és $P_{sdry} < \frac{P_{swet}}{3}$	$T_{hot} \geq 22$
	w	b		$P_{wdry} < \frac{P_{swet}}{10}$	$T_{hot} < 22$ és $T_{mon10} \geq 4$
	f	c		se nem (s), se nem (w)	$T_{hot} < 22$ és $1 \leq T_{mon10} < 4$
D	s	a	$T_{cold} \leq -3$ és $T_{hot} > 10$	$P_{sdry} < 40$ és $P_{sdry} < \frac{P_{swet}}{3}$	$T_{hot} \geq 22$ $T_{hot} < 22$ és $T_{mon10} \geq 4$
	w	b		$P_{wdry} < \frac{P_{swet}}{10}$	nem (a) vagy (b), $T_{cold} \geq -38$
	f	c		se nem (s), se nem (w)	nem (a) vagy (b), $T_{cold} < -38$
E	T		$T_{hot} < 10$	$T_{hot} > 0$	
	F			$T_{hot} \leq 0$	

Köppen rendszerének jelenlegi képe hosszú fejlődés eredménye. Geiger (1954) eszközölt legtöbb változtatást rajta tanítómesterének halála után.

Példa

Mutassuk be Köppen módszerének alkalmazását Budapest adataira! Budapest P-T adatait a 2.6. táblázat szemlélteti.

2.6. táblázat Budapest csapadék (mm) és hőmérséklet (°C) adatai

Hónap Komp.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	32	39	35	42	62	69	45	56	39	34	52	40
T	-1,6	2,1	6,5	12,0	16,9	20,0	21,7	21,1	17,2	10,9	4,8	0,4

Mivel Budapesten $-3 < T_{cold} < 18^\circ\text{C}$ (2.6. táblázat), Budapest éghajlata meleg-mérsékelt, azaz a klímaképletének első betűje C. A klímaképlet második betűjének megállapítása végett írjuk össze a szükséges csapadék-értékeket, és vizsgáljuk meg a 2.5. táblázatban leírt feltételeket! Mivel $P_{sdry}=39$ mm (szeptember) és $P_{swet}=52$ mm (november), látható, hogy $(52/3) = 17,3 < P_{sdry} < 40$, így a klíma nem lehet meleg-mérsékelt téli csapadékkal, vagyis az s betű nem szerepelhet 2. betűként. Továbbá, mivel $P_{wdry}=32$ mm (január) és $P_{swet}=69$ mm (július), látható, hogy $P_{wdry} > (69/10)=6,9$ mm, így a klíma nem lehet meleg-mérsékelt nyári csapadékkal, vagyis a w betű sem szerepelhet második betűként. Így módon a klíma értelemszerűen meleg-mérsékelt klíma egyenletes évi csapadékeloszlással, azaz a klímatispus jelölése Cf.

2.3.2 Holdridge módszere

Holdridge az éghajlatot az éghajlatra jellemző vegetáció-típus alapján jellemzi. A vegetáció-típust három klimatikus tényező: a biohőmérséklet (BT), a potenciális evapotranszspiráció és a csapadék közötti arány (PET/P), valamint a csapadék évi értékeinek a függvényében becsüli. Ezentúl a PET/P mennyiséget potenciális evapotranszspirációs aránynak nevezzük. E szám azt mutatja, hogy a csapadék hányad része fordítódik potenciális evapotranszspirációra, ami – főleg ökológiai szempontból – egy meghatározó mutató.

A három tényező közül mindig a biohőmérséklet számítása volt a legkérdésesebb. Holdridge (1947) eredeti munkájában abból indult ki, hogy a biohőmérséklet fogalma a primér produktivitáshoz köthető, ami alapján a biohőmérséklet (BT) tartománya 0-30°C (Lugo és mtsai., 1999). A BT-re nullát vett a negatív, valamint a 30°C feletti hőmérsékleti értékekre. Holdridge (1967) későbbi munkáiban a BT-t már a havonta mért legkisebb pozitív hőmérsékletek átlagából származtatta. A jelenlegi éghajlatváltozással kapcsolatos kutatások a felső 30°C-os határt is rugalmasabban kezelik (Yue és mtsai., 2001; Roy és mtsai., 2006). Jelenleg a BT évi értékét (ABT) a BT-k havi értékeiből (MBT) származtatják, ahogy egyébként Prentice (1990) is tette.

$$ABT = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} MBT_i. \quad (2.1)$$

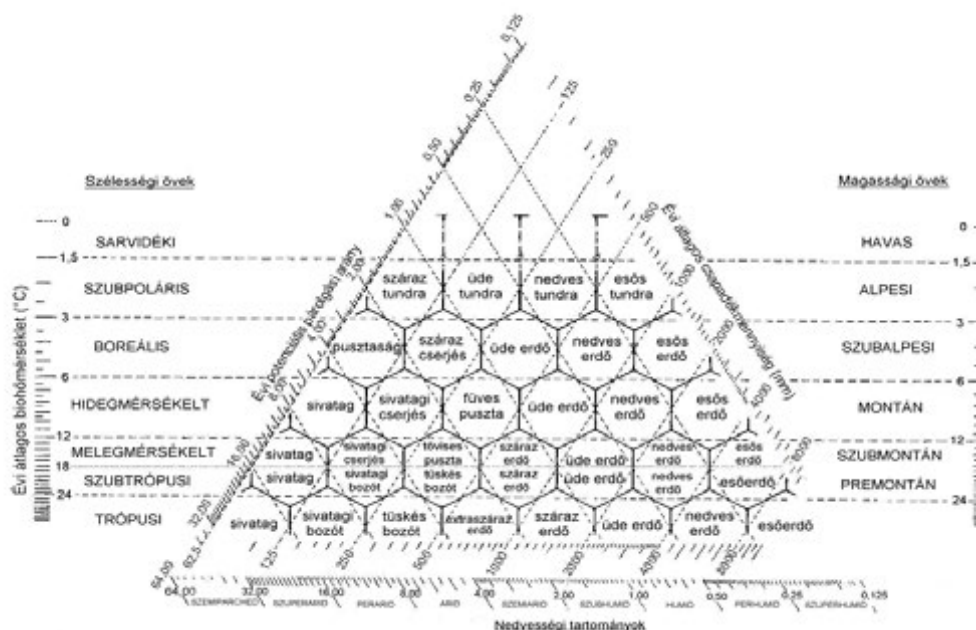
A potenciális evapotranszspirációs arány (PETR) becsléséhez a PET becslése szükséges. Holdridge (1947) a PET évi értékét (APET) az ABT értéke alapján becsülte:

$$APET = 58,93 \cdot ABT. \quad (2.2)$$

A PETR évi értéke a potenciális evapotranszspiráció és a csapadék évi értékeinek (APET, AP) aránya, azaz

$$APETR = \frac{APET}{AP}. \quad (2.3)$$

Az APETR, valamint az AP értékek alapján nedvességi, míg az ABT értékek alapján hőellátottsági kategóriák definiálhatók. E kategóriák az ún. Holdridge féle háromszögdiagramon az x , valamint az y tengelyen vannak feltüntetve. Az egyes klímákat reprezentáló vegetáció-típusok fajtái viszont a háromszögön belül találhatók, ami a vegetáció-típusok hierarchikus típusú elrendeződésének benyomását kelti. Az említett beosztások, azaz a Holdridge-féle háromszögdiagram a 2.9. ábrán látható.



2.9. ábra. A Holdridge (1947) féle háromszögdiagram

A vegetáció-típusokhoz nemcsak klímák, hanem ökológiai egységek, azaz „életformák” is hozzárendelhetők. Emanuel és mtsai. (1985) szerint Holdridge ezen életforma osztályozása a jelenlegi ökoszisztéma rendszer egyik legelfogadhatóbb jellemzése, amely csak hőmérsékleti- és csapadékadatokat használ. Az életformák mindegyike objektív, és empirikusan definiált kritériumok jellemzik őket. A Holdridge-féle háromszögdiagram legszembetűnőbb tulajdonsága az, hogy a definiált mennyiségek logaritmikus skálán vannak ábrázolva (Würtz & Lehmann, 2004), továbbá, hogy az ABT logaritmikus skáláján egy „szakadás” található. Ugyanis Holdridge (1967) a 18°C-os értéknél egy kritikus hőmérsékleti vonalat vezetett be, amely a meleg-mérsékelt és a szubtrópusi klímaövezetek közötti választóvonal. Prentice (1990) ezt a kritikus értéket fagyvonalnak nevezi, hiszen a 18°C-nál magasabb ABT-vel rendelkező klímák esetében már egyáltalán nincs fagy. Holdridge osztályozásának egy másik feltűnő tulajdonsága az, hogy a vegetáció-típusok határai hatszög formájúak. Ez a rendszer folyamatos tökéletesítésének eredménye. Holdridge (1947) eredeti munkájában az életformákat ugyanis még rombuszok formájában jellemezte. Ekkor az ABT logaritmikus skálája még nem volt a háromszögdiagram része (Roy és mtsai., 2006). A szaggatott vonalakkal (melyek az ABT, az APETR és az AP egyes kritikus határértékeinél húzódnak) definiált hatszögeket 45°-kal elforgatva fixálta, majd azokban röviden megjelölte az életforma-típusokat. A Prentice (1990) munkájában bemutatott Holdridge féle háromszögdiagram is már ily módon készült.

Mint már említettük, Holdridge (1967) a klímát a hozzá tartozó vegetáció-típussal jellemzi. A munkáiban használt növényföldrajzi szakkifejezésekhez nem adott részletesebb értelmezést, ezért sok helyütt leíró jellegű definíciókra volt szükségünk a megfelelő elnevezések magyarosítása érdekében. Ezeket a definíciókat 2.7. táblázat tartalmazza.

2.7. táblázat A Holdridge féle háromszögdiagramban használt vegetáció-típusok neve és leírása

Angol	Leírás	Magyar
forest	fák dominálnak viszonylag összefüggő lombkoronaszinttel	erdő
woodland	fás szárú növények dominálnak, de erősen ritkítottak füves területekkel és bozóttal	bozót
scrub	főleg bozótos, de helyenként füves területekkel szabdalt	bozót
bush	cserjés összefüggő cserjeszinttel	cserjés
desert	ritka növényzet, vagy kopár földfelszín	sivatag

Példa

Mutassuk be most Holdridge módszerének alkalmazását Budapest adataira! Az adatok alapján nyilvánvaló, hogy a január BT értéke nulla, így az ABT értéke 11,13°C. A (2.2) képlet alapján az APET értéke 656,1 mm·év⁻¹. Mivel AP=545 mm·év⁻¹, az APETR értéke 656,1/545, azaz 1,20. A Holdridge féle háromszögdiagramban (2.9. ábra) ezen ABT, APETR és AP értékek alapján a vegetáció-típus beosztása a „füves puszta”, a „száraz erdő” és az „üde erdő” vegetáció-típusokkal behatárolt területen található. Budapesthez tehát nem rendelhető egyértelmű vegetáció-típus. Az e beosztáshoz tartozó nedvességi kategória „szubhumid”, míg a hőellátottsági kategória „hideg-mérsékelt”.

2.3.3 Thornthwaite módszere

Thornthwaite (1948) felismerte, hogy a talaj és a növényzet vízforgalma kitűnő klímaindikátor. Felismerte azt is, hogy az éghajlatok egzakt módon rendszerezhetők, ha a klímaindikátort index formájában fejezzük ki. A hidrofizikai index egyszerű tartály-modellel számítható.

A tartály 1 m mély és 1 m² alapterületű talajtömb, melynek hasznos vízkészlete (az a vízmennyiség, amit a növényzet felvehet) 100 mm. A tartályt a csapadék tölti, a potenciális evapotranspiráció pedig üríti. A tartály falain keresztül oldalirányú vízmozgás nincs. Amikor a vízmennyiség eléri a hasznos vízkészlet nagyságát, a tartály megtelik, és ha a csapadék nagyobb, mint a potenciális evapotranspiráció, víztöbblet (S) keletkezik. Ha viszont a tartály teljesen kiürül, és a potenciális evapotranspiráció nagyobb, mint a csapadék, vízhiány (D) keletkezik, ami a mélyebb rétegekből pótlódik. Láthatjuk tehát, hogy a tartály speciális: a tetejéről kaphat is, meg veszíthet is vizet, az aljáról viszont csak kaphat. A modell fizikai jellegét a PET parametrizálása és a tartály alkalmazása, míg biológiai jellegét a hasznos vízkészlet fogalmának bevezetése biztosítja. Thornthwaite nem tesz különbséget a csupasz talaj

és a növényzet között, és nem veszi számításba a talaj fizikai féleségét. A keletkező víztöbblet lefolyásával kapcsolatban sem ad információt.

A vízháztartás elemei

Thornthwaite (1948) modelljében a PET a havi átlaghőmérséklet és a potenciális napfénytartam függvénye. A PET módosított parametrizációja McKenny és Rosenberg (1993) nevéhez fűződik. Ez alapján

$$PET_i = 1,6 \cdot \left(\frac{L_i}{12}\right) \cdot \left(\frac{N_i}{30}\right) \cdot \left(\frac{10T_i}{I}\right)^A, \quad i = 1, \dots, 12 \quad (2.4)$$

ahol L_i a nappalok hosszának havi átlaga (óra), N_i a hónap napjainak száma és T_i a havi átlaghőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$). A PET $\text{cm} \cdot \text{hónap}^{-1}$ dimenzióval rendelkezik. I a hőindex:

$$I = \sum_{i=1}^{12} t_i \quad (2.5)$$

$$t_i = \begin{cases} \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1,514} & , \text{ha } T_i > 0, \\ 0 & , \text{ha } T_i \leq 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

és

$$A = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,792 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239. \quad (2.7)$$

A hasznos talaj vízkészletet (Θ) prognosztikusan becsüljük havi léptékben ($\Delta t = 1$ hónap) a következő egyszerű képlet alapján²:

$$\Theta_{i+1} = \Theta_i + (P_{i+1} - PET_{i+1}) \cdot \Delta t, \quad (2.8)$$

ahol $\Delta\Theta_{i+1} = (P_{i+1} - PET_{i+1}) \cdot \Delta t$, P_{i+1} és PET_{i+1} pedig az $(i+1)$ -dik hónapra vonatkozó csapadékösszeg ($\text{mm} \cdot \text{hónap}^{-1}$) illetve potenciális evapotranspiráció ($\text{mm} \cdot \text{hónap}^{-1}$). Ha $\Theta_i = 100$ -al akkor, $\Delta\Theta_{i+1}$ víztöbblet lesz, ha pedig $\Theta_i = 0$ -val akkor, $\Delta\Theta_{i+1}$ vízhiány alakul, azaz $D_{i+1} = -\Delta\Theta_{i+1}$ -el. A (2.8) egyenlet eredményeit az ún. „egyensúlyi évre” kell vonatkoztatnunk. Természetesen a modell felfutási ideje – azaz amíg az évi ciklusok száma el nem éri az „egyensúlyi évet” – annál rövidebb, minél jobb a Θ_i választott kezdeti értéke. Vegyük észre azt is, hogy Thornthwaite nem a talaj vízkészletével (Θ), hanem a talaj hasznos vízkészletével számol. A talaj hasznos vízkészlete a talaj szabadföldi vízkapacitásához (Θ_f) és hervadáspontjához (Θ_w) tartozó talaj vízkészletek különbsége, azaz $\Theta = \Theta_f - \Theta_w$.

Thornthwaite a víztöbbletet és a vízhiányt az alábbiak szerint parametrizálja:

$$S_i = \begin{cases} P_i - PET_i & , \text{ha } \Theta_i = 100 \text{ mm}, \\ 0 & , \text{egyébként} \end{cases} \quad (2.9)$$

és

$$D_i = \begin{cases} PET_i - P_i & , \text{ha } \Theta_i = 0 \text{ mm}, \\ 0 & , \text{egyébként.} \end{cases} \quad (2.10)$$

²A képletet úgy kapjuk meg, hogy a $\partial\Theta/\partial t$ egyenletre az ún. *explicit forward* numerikus sémát alkalmazzuk.

Láthatjuk, hogy Thornthwaite módszerénél nemcsak a víztöbblet, hanem a vízhiány is pozitív előjelű. Ugyanis amikor víztöbblet van, általában a $P > PET$, és fordítva, amikor vízhiány van, általában a $PET > P$.

A klímaképlet

Thornthwaite (1948) a klímákat klímaképletek formájában jellemzi. A klímaképletet négy betű alkotja. Az első betűt a nedvességi index (I_m), a második betűt a PET, a harmadik betűt a humiditási (I_h) és az ariditási (I_a) indexek, míg a negyedik betűt a nyári (június, július és augusztus) és évi PET értékek aránya határozza meg. A klímaképlet első két betűje az évi, míg az utolsó két betűje az évszakos jellemzőkre utal. Az indexeket a következőképpen határozzuk meg:

$$I_m = I_h - 0,6 \cdot I_a \quad (2.11)$$

ahol

$$I_a = \frac{100 \cdot D}{PET}, \quad (2.12)$$

$$I_h = \frac{100 \cdot S}{PET}. \quad (2.13)$$

D, S és PET a vízhiány, a víztöbblet és a potenciális evapotranszpiráció évi összege ($\text{mm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{év}^{-1}$). Az I_m értéke alapján a klímaképlet első betűi a következők:

2.8. táblázat A klímaképlet első betűjének lehetséges változatai

A klímaképlet első betűje	A vízellátottság jellemzése	I_m
A	perhumid	>100
B ₄	humid	80 - 100
B ₃	humid	60 - 80
B ₂	humid	40 - 60
B ₁	humid	20 - 40
C ₂	nedves szubhumid	0 - 20
C ₁	száraz szubhumid	-20 - 0
D	szemiarid	-40 - -20
E	arid	-50 - -40

A PET értékei alapján a klímaképlet második betűi a következők:

2.9. táblázat A klímaképlet második betűjének lehetséges változatai

A klímaképlet második betűje	A hőellátottság jellemzése	PET ($\text{mm} \cdot \text{év}^{-1}$)
A'	megatermális	>1140
B' ₄	mezotermális	997 - 1140
B' ₃	mezotermális	885 - 997
B' ₂	mezotermális	712 - 855
B' ₁	mezotermális	570 - 712
C' ₂	mikrotermális	427 - 570
C' ₁	mikrotermális	285 - 427
D'	tundra	142 - 285
E'	fagyos	<141

A harmadik betű jelentéseit a 2.10. táblázat tartalmazza.

2.10. táblázat A klímaképlet harmadik betűjének lehetséges változatai

A klímaképlet harmadik betűje	A vízellátottság szezonális jellemzése	
Nedves éghajlatok esetén (A, B, C ₂)		I _a
r	kicsi vagy nincs vízhiány	0 - 16,7
s	közepes nyári vízhiány	16,7 - 33,3
w	közepes téli vízhiány	16,7 - 33,3
s ₂	nagy nyári vízhiány	>33,3
w ₂	nagy téli vízhiány	>33,3
Száras éghajlatok esetén (C ₁ , D, E)		I _h
d	kicsi vagy nincs víztöbblet	0 - 16,7
s	közepes téli víztöbblet	16,7 - 33,3
w	közepes nyári víztöbblet	16,7 - 33,3
s ₂	nagy téli víztöbblet	>33,3
w ₂	nagy nyári víztöbblet	>33,3

A negyedik betű jelentéseit a 2.11. táblázat mutatja.

2.11. táblázat A klímaképlet negyedik betűjének lehetséges változatai

A klímaképlet 4. betűje	A nyári hőellátottság jellemzése	nyári PET/évi PET (%)
a'	megatermális	<48
b' ₄	mezotermális	48 - 51,9
b' ₃	mezotermális	51,9 - 56,3
b' ₂	mezotermális	56,3 - 61,6
b' ₁	mezotermális	61,6 - 68
c' ₂	mikrotermális	68 - 76,3
c' ₁	mikrotermális	76,3 - 88
d'	tundra	>88

A következőkben áttekintjük a klímaképleteket és jelölésüket. A klímaképlet első betűi A-tól E-ig változnak. Az A-klíma a legnedvesebb, az E-klíma a legszárazabb. A nedves és a száraz klímák közötti átmenet a C₂ és C₁ klímák között húzódik. Hasonlóképpen, a klímaképlet második betűi A'-tól E'-ig változnak. Az A'-klíma a legmelegebb, míg az E' klíma a leghidegebb. Az előbbi esethez hasonlóan, a meleg és a hideg klímák közötti átmenet a C'₂ és a C'₁ klímák között található. Ezek után sejthetjük, hogy pl. az AA' kombináció a legnedvesebb és legmelegebb, míg az AE' a legnedvesebb és leghidegebb klímátípust jelentik. Hasonló módon az EA' kombináció a legszárazabb és legmelegebb, míg az EE' a legszárazabb és leghidegebb klímátípusok. A klímaképletek harmadik betűi a nedves éghajlatokban (A - C₂) vízhiányt (jelölések: r, s, w, s₂ és w₂), míg a száraz éghajlatokban (C₁ - E) víztöbbletet (jelölések: d, s, w, s₂ és w₂) jelentenek. A klímaképletek negyedik betűi (jelölésük: a', b'₄, b'₃, b'₂, b'₁, c'₂, c'₁ és d') a nyári hőellátottságot írják le. Továbbá a' a megatermális, míg d' a tundra klímára jellemző nyári hőellátottságot jelöli.

Példa

A továbbiakban bemutatjuk Thornthwaite módszerének alkalmazását Budapest adataira. Látható, hogy a PET számítása nem olyan egyszerű, mint a Holdridge (1947) féle módszernél. A PET_i értéke (2.4. formula) függ a nappalok hosszától és a havi középhőmérséklettől. Az L_i számításához ismernünk kell a helyszín földrajzi szélességét (ϕ) és a kiválasztott napra/napokra vonatkozó napdeklínáció szögét (δ). Mi a következő egyenleteket használtuk:

$$\delta = 23,5^\circ \cdot \sin[\text{nap} \cdot \left(\frac{360}{365}\right)] \quad (2.14)$$

és

$$L_i = \frac{24}{180} \cdot \arccos[-\tan(\phi) \cdot \tan(\delta_i)]. \quad (2.15)$$

A (2.14) egyenletben szereplő *nap* egy változó, a kiválasztott nap és a március 21.-ei nap (ekkor $\delta = 0^\circ$) közötti napok számát jelenti. L_i az i -edik hónapban levő napok nappali szakaszainak átlaga. Feltételezésünk szerint ezen átlag alig tér el a hónap középső napjára eső nap nappali szakaszának hosszától, ezért csak e napokra vonatkozóan végezzük el a számításainkat. Ezeket egy nyári, valamint egy téli félévre eső nap példáján mutatjuk be. Legyen e két nap május 15.-e, illetve november 15.-e.

$$\delta = 23,5^\circ \cdot \sin\left[55 \cdot \left(\frac{360}{365}\right)\right] = 23,5 \cdot 0,811 = 19,07^\circ \quad (2.16)$$

és

$$\delta = 23,5^\circ \cdot \sin\left[239 \cdot \left(\frac{360}{365}\right)\right] = 23,5 \cdot (-0,826) = -19,4^\circ. \quad (2.17)$$

Budapesten ($\phi=47,5^\circ$) e napokon a nappalok hossza:

$$L_5 = \frac{24}{180} \cdot \arccos[-\tan(47,5^\circ) \cdot \tan(19,07^\circ)] = 14,95 \text{ óra.} \quad (2.18)$$

$$L_{11} = \frac{24}{180} \cdot \arccos[-\tan(47,5^\circ) \cdot \tan(-19,4^\circ)] = 8,98 \text{ óra.} \quad (2.19)$$

A PET_i értékek kiszámításához az I [(2.5) és (2.6) egyenlet] és az A [(2.7) egyenlet] meghatározása is szükséges. Ezek alapján

$$I = \left(\frac{2,1}{5}\right)^{1,514} + \left(\frac{6,5}{5}\right)^{1,514} + \left(\frac{12,0}{5}\right)^{1,514} + \dots + \left(\frac{0,4}{5}\right)^{1,514} = 48,76. \quad (2.20)$$

$$A = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot 48,76^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot 48,76^2 + 1,792 \cdot 10^{-2} \cdot 48,76 + 0,49239 = 1,258. \quad (2.21)$$

Mindezek alapján láthatjuk, hogy

$$PET_5 = 1,6 \cdot \frac{14,95}{12} \cdot \frac{31}{30} \cdot \left(\frac{10 \cdot 16,9}{48,76}\right)^{1,258} = 98 \text{ mm} \cdot \text{hónap}^{-1} \quad (2.22)$$

és

$$PET_{11} = 1,6 \cdot \frac{8,98}{12} \cdot \frac{30}{30} \cdot \left(\frac{10 \cdot 4,8}{48,76}\right)^{1,258} = 11,8 \text{ mm} \cdot \text{hónap}^{-1}. \quad (2.23)$$

A PET értékek kiszámítása után könnyen becsülhetők a Θ_{i+1} , a $\Delta\Theta_{i+1}$, az S_{i+1} és a D_{i+1} értékek minden egyes hónapra külön-külön. Ezen értékeket a 2.12. táblázat tartalmazza.

2.12. táblázat Budapest vízháztartás-elemei Thornthwaite (1948) módszere és az explicit forward numerikus séma alkalmazása alapján. Az összetevők mértékegységei: PET, P, D és S (mm·hónap⁻¹); $\Delta\Theta$ és Θ (mm·m⁻¹).

Hónap Komp.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J
PET	0	4,3	22,9	55,6	98,0	123,7	137,9	121,6	79,7	39,7	11,8	0,5	0
P	32	39	35	42	62	69	45	56	39	34	52	40	32
$\Delta\Theta$		34,7	12,1	-13,6	-36	-54,7	-92,9	-65,6	-40,7	-5,7	40,2	39,5	32
Θ	100	100	100	86,4	50,4	0	0	0	0	0	40,2	79,7	100
D		0	0	0	0	4,3	92,9	65,6	40,7	5,7	0	0	0
S		34,7	12,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,7

A következőkben részletesen elemezzük a 2.12. táblázatot. Kezdjük a januári hónappal. Θ_i értéke kezdeti érték és a tapasztalatunk alapján választjuk. Mivel minden téli hónapban $P > PET$, a talaj telítettnek tekinthető. Ezért logikus, hogy $\Theta_1 = 100 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$, míg $S_{i+1} = P_{i+1} - PET_{i+1}$. A D_{i+1} értéke értelemszerűen 0. Ez így van márciusban is, s mindaddig, míg $P > PET$. Áprilisban, amikor már $PET > P$, akkor $\Delta\Theta_4 = 13,6 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$, ami értelemszerűen lecsökkenti a Θ értékét ($\Theta_4 = 86,4 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$). Májusban $\Theta_5 = 50,4 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$. Június hónapban $\Delta\Theta_6 = (P_6 - PET_6) = 54,7 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$, azaz $|\Delta\Theta_6| > \Theta_5$. Ily módon $\Theta_6 = 0$, és még létre is jön egy júniusi vízhiány ($4,3 \text{ mm} \cdot \text{hó}^{-1}$) a tömegmegmaradás törvénye miatt. A tömegmegmaradás törvényének érvényesülésére mindig vigyáznunk kell! Júniust követően júliusban, augusztusban, szeptemberben és még októberben is, amíg $PET > P$, vízhiány keletkezik, a víztöbblet pedig értelemszerűen egyenlő nullával. Novemberben egy újabb fordulat lép fel. Ekkor $P > PET$ ($\Delta\Theta_{11} = 40,2 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$), ez látható is Θ_{11} értékében. Az ismételt januári Θ érték – a $111,7 (79,7 + 32) \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$ érték helyett – értelemszerűen csak $100 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$, a maradék $11,7 \text{ mm}$ víz pedig a januári víztöbblet. A módszertani leírásban emlegetett „egyensúlyi év” az az év, amelyre vonatkozóan ez a különbség kisebb vagy egyenlő egy meghatározott határértéknél, pl. az $1 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$ értéknél (ez $0,001 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ talajnedvesség-tartalom értéket jelent). Láthatjuk, hogy a számításunk során ez a feltétel teljesült, azaz a bemutatott vízháztartási elemek az ún. „egyensúlyi évre” vonatkoznak.

A PET_i , S_i és D_i értékekből kiszámítható a PET, S és a D évi összege. Így az I_h , az I_a és az I_m értékek a következők:

$$I_h = \frac{100 \cdot 46,8}{695,7} = 6,72, \quad (2.24)$$

$$I_a = \frac{100 \cdot 209,2}{695,7} = 30,07 \quad (2.25)$$

és

$$I_m = 6,72 - 0,6 \cdot 30,07 = -11,32. \quad (2.26)$$

A kapott I_m érték alapján a klímaképlet 1. betűje tehát C_1 . Budapest vízellátottsága „száraz szubhumid” kategóriájú. Mivel $PET = 695,7 \text{ mm} \cdot \text{év}^{-1}$, Budapest hő-ellátottsága „mezotermális”, és B'_1 betűvel jellemezhető. Mivel C_1 az első betű, a harmadik betűvel kapcsolatban az I_h indexet kell néznünk. Értéke alapján a területen kicsi a víztöbblet, vagy egyáltalán nincs. Ezt d-vel jelöljük. A negyedik betű megítéléséért a PET nyári (június, július és augusztus) és évi értékének %-ban kifejezett arányát kell megbecsülnünk. Ez $(383,2/695,7) \cdot 100 = 55,08 \%$. E nyári hőellátottság szintén „mezotermális”, és b'_3 betű a jelölése. Mindezek alapján Budapest klímaképlete Thornthwaite (1948) módszere alapján: $C_1 B'_1 d b'_3$.

A Θ előrejelzését az ún. explicit forward séma alapján végeztük [(2.8) egyenlet]. Itt a Θ_{i+1} értéket az áramok (i+1)-edik hónapra vonatkozó értékei alapján becsültük. Mi lenne akkor, ha a Θ előre jelzését az ún. implicit backward séma alapján végeznénk? Mivel mind a P, mind a PET³ Θ -független, könnyen megmutatható, hogy ebben az esetben

³A PET a nap hosszától és a hőmérséklettől függ.

$$\Theta_{i+1} = \Theta_i + (P_i - PET_i) \cdot \Delta t, \quad (2.27)$$

azaz Θ_{i+1} csak az i -edik hónapra vonatkozó értékektől függ. Nézzük meg, módosul-e majd a klímaképlet e változtatás hatására? E számítások eredményeit a 2.13. táblázat szemlélteti.

2.13. táblázat Budapest vízháztartás-elemei Thornthwaite módszere és az implicit backward numerikus séma alkalmazása alapján – 1. év. Az összetevők mértékegységei: PET, P, D és S (mm-hónap⁻¹); $\Delta\Theta$ és Θ (mm·m⁻¹).

Hónap Komp.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J
PET	0	4,3	22,9	55,6	98,0	123,7	137,9	121,6	79,7	39,7	11,8	0,5	0
P	32	39	35	42	62	69	45	56	39	34	52	40	32
$\Delta\Theta$	32	34,7	12,1	-13,6	-36	-54,7	-92,9	-65,6	-40,7	-5,7	40,2	39,5	32
Θ	100	100	100	100	86,4	50,4	0	0	0	0	0	40,2	79,7
D	0	0	0	0	0	4,3	92,9	65,6	40,7	5,7	0	0	0
S	32	34,7	12,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,7

Az előbbi esethez hasonlóan, a januári hónapra vonatkozó kezdeti Θ_i -érték 100 mm·m⁻¹, mivel a talaj telített. Ezért a Θ_{i+1} februári értéke 100 mm·m⁻¹, ugyanakkor januárban $S_i=32$ és $D_i=0$ mm. A Θ_{i+1} áprilisig bezárólag változatlan, azaz 100 mm·m⁻¹. Mivel áprilisban a $P_i-PET_i=13,6$ mm, a május hónapra vonatkozó Θ_{i+1} érték 86,4 mm·m⁻¹, míg az áprilisi S_i és D_i rendre egyenlő 0-val. Ugyanez a helyzet májusban is, hiszen $|P_i-PET_i|<86,4$. Mivel júniusban $|P_i-PET_i|=54,7>\Theta(=50,4)$, a Θ júliusi értéke 0 lesz, emellett júniusban még vízhiány is fellép (4,3) a tömegmegmaradás törvénye miatt. A Θ_{i+1} mindaddig 0 marad, amíg a $P_i-PET_i<0$. Mivel novemberben $P_i-PET_i=40,2$, a Θ_{i+1} decemberi értéke 40,2 lesz, míg az S_i és D_i értéke értelemszerűen 0. A Θ_{i+1} januári értéke 79,7 mm·m⁻¹, ami jelentősen eltér a kezdeti 100 mm értéktől, azaz az év *nem-egyensúlyi* év. Ezért a számításokat tovább kell folytatni még egy évre vonatkozóan. Ezeket az eredményeket 2.14. táblázatban láthatjuk.

2.14. táblázat Budapest vízháztartás-elemei Thornthwaite módszere és az implicit backward numerikus séma alkalmazása alapján – 2. év. Az összetevők mértékegységei: PET, P, D és S (mm-hónap⁻¹); $\Delta\Theta$ és Θ (mm·m⁻¹).

Hónap Komp.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J
PET	0	4,3	22,9	55,6	98,0	123,7	137,9	121,6	79,7	39,7	11,8	0,5	0
P	32	39	35	42	62	69	45	56	39	34	52	40	32
$\Delta\Theta$	32	34,7	12,1	-13,6	-36	-54,7	-92,9	-65,6	-40,7	-5,7	40,2	39,5	32
Θ	79,7	100	100	100	86,4	50,4	0	0	0	0	0	40,2	79,7
D	0	0	0	0	0	4,3	92,9	65,6	40,7	5,7	0	0	0
S	11,7	34,7	12,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,7

Mivel a januári Θ_i érték 79,7 mm·m⁻¹, a januári víztöbblet ezúttal csak 11,7 mm lesz. A további számítások azonban teljes egészében megegyeznek az 1. év számításaival (lásd: 2.13. táblázatot), így a következő 3. év januárjában a $\Theta_i=79,7$ mm·m⁻¹. Mivel a két egymás után következő januári Θ_i érték megegyezik, a 2. év egyensúlyi év. Ebben az esetben az I_h , az I_a és az I_m értékek a következők:

$$I_h = \frac{100 \cdot 58,5}{695,7} = 8,41, \quad (2.28)$$

$$I_a = \frac{100 \cdot 209,2}{695,7} = 30,07 \quad (2.29)$$

és

$$I_m = 8,41 - 0,6 \cdot 30,07 = -9,63. \quad (2.30)$$

A klímaképlet 1. betűje tehát változatlanul C_1 . A klímaképlet 2. betűje értelemszerűen változatlan maradt, így a hőellátottság B'_1 „mezotermális”. Az I_h index ugyan változott, de keveset, így a klímaképlet 3. szimbóluma is

ugyanaz maradt, csakúgy, mint a 4. szimbólum. Láthatjuk tehát, hogy a klímaképlet ugyan módosulhat a numerikus séma megváltoztatásával, azonban ez ebben az esetben nem történt meg.

2.3.4 A módosított Thornthwaite féle módszer

A tartály most is 1 m mély és 1 m² alapterületű talajtömb. E talajtömb vízkészlete (nem a hasznos vízkészlete!) függ a talaj fizikai féleségétől és a szabadföldi vízkapacitás, valamint a tényleges és a potenciális evapotranszpiráció parametrizálásától. A tartály oldalfalain át nincs vízmozgás. A tartály töltődése ugyanúgy történik, mint az előbbi esetben. Amikor a vízkészlet eléri a szabadföldi vízkapacitáshoz tartozó vízkészlet-értéket, a tartály megtelik, ha a csapadék nagyobb, mint a tényleges evapotranszpiráció, akkor víztöbblet keletkezik. A vízhiány becslését ugyanúgy végezzük, mint a Thornthwaite (1948) módszer esetében. Ha tehát a vízkészlet a hervadásponthoz tartozó vízkészlet-érték alá süllyed, és a potenciális evapotranszpiráció nagyobb, mint a csapadék, akkor vízhiány keletkezik. Látható, hogy a víztöbblet a tényleges, míg a vízhiány a potenciális evapotranszpiráció függvénye. Ezt azzal magyarázhatjuk, hogy a tényleges evapotranszpiráció nem okozhat vízhiányt, mivel a θ csökkenésével az $ET(\theta)$ is annyira lecsökken, hogy a vízhiány létre sem jön.

A módszer, ami gyakorlatilag egy modell, nem tesz különbséget a csupasz talaj és a növényzet között. A modell számításba veszi a talaj fizikai féleségei közötti különbségeket, de nem tesz különbséget a szikes és a nem szikes talajok között. A téli évszak folyamatait sem szimulálja, azaz nem becsüli a hótakaró és/vagy a talajjég olvadását, valamint a talajvíz fagyását. A víztöbblet parametrizálásánál nem veszi számításba sem a domborzati viszonyokat, sem a talajvíz mélységét. A modell a keletkező víztöbblet lefolyásával kapcsolatban sem ad információt, mert nem rendelkezik a víztöbblet összegyülekezését és lefolyását becsülő modullal.

Mindezek ellenére a modell előrelépést jelent az eredeti Thornthwaite (1948) féle módszerhez képest, mivel lehetővé teszi a tényleges evapotranszpiráció és a talaj-karakteristikák közötti kapcsolatok mezoklimatológiai becslését és elemzését (Ács és mtsai., 2007). A módosított Thornthwaite-féle modell (Ács és mtsai., 2007) a biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek közül a legösszetettebb, míg az éghajlati modellekben használt biofizikai SVAT (Soil Vegetation Atmosphere Transfer) modellek közül a legegyszerűbb. Thornthwaite eredeti modelljét két vonatkozásban módosítottuk:

- a potenciális evapotranszpiráció mellett a tényleges evapotranszpirációt is számítjuk, valamint
- a talaj vízkészletének kiszámításában a talaj fizikai féleséget is figyelembe vesszük.

Az első módosítással megváltoztattuk az eredeti Thornthwaite (1948) féle parametrizációt (pl. a víztöbblet parametrizálása), ezzel – remélhetőleg – növeljük majd a modell mezoskálájú alkalmazhatóságát. A második módosítással számításba vesszük a talaj fizikai félesége területi eloszlásának a tényleges evapotranszpirációra gyakorolt hatását.

A következőkben röviden ismertetjük a módosított Thornthwaite-féle módszer vízháztartási elemeinek parametrizálását.

A vízháztartás elemei

A tényleges evapotranszpirációt (ET_i) (i a hónapot kifejező index) a potenciális evapotranszpiráció (PET_i) alapján becsüljük,

$$ET_i = \beta_{i-1} \cdot PET_i, \quad i = 1, \dots, 12. \quad (2.31)$$

β_{i-1} az $(i-1)$ -edik hónapra vonatkozó tényleges és potenciális evapotranszpiráció aránya. A PET_i -t a (2.4.) egyenlettel számítjuk. A β_i függvény többféleképpen parametrizálható. E könyvben β_i lineáris függvénye θ_i -nek a talaj hasznos vízkészletének tartományában, ami a hervadásponthoz (θ_w , (mm·m⁻¹)) és a szabadföldi vízkapacitáshoz (θ_f , (mm·m⁻¹)) tartozó talajvízkészletek közötti tartomány, azaz

$$\beta = \frac{\theta - \theta_w}{\theta_f - \theta_w}. \quad (2.32)$$

E parametrizáció figyelembe veszi mind a növényzet, mind a talaj tulajdonságait. A β növény-specifikus függvény, melynek fenti alakja a füves területekre jellemző. Látható, hogy az ET – a β -án keresztül – a talaj fizikai féleségétől is függ.

A talaj vízkészletét (Θ) a hasznos vízkészlet tartományában ($\Theta_f - \Theta_w$) szintén prognosztikusan becsüljük havi léptékben ($\Delta t = 1$ hónap) a következő egyszerű képlet alapján:

$$\theta_{i+1} = \theta_i + (P_{i+1} - ET_{i+1}) \cdot \Delta t, \quad (2.33)$$

ahol $\Delta\theta_{i+1} = (P_{i+1} - ET_{i+1}) \cdot \Delta t$, P_{i+1} , és ET_{i+1} pedig az $(i + 1)$ -edik hónapra vonatkozó csapadékösszeg ($\text{mm} \cdot \text{hónap}^{-1}$) illetve tényleges evapotranspiráció ($\text{mm} \cdot \text{hónap}^{-1}$).

A víztöbblet és a vízhiány parametrizálása szintén módosult, így

$$S_i = \begin{cases} P_i - ET_i & , \text{ha } \theta_i \geq \theta_f, \\ 0 & , \text{egyébként} \end{cases} \quad (2.34)$$

és

$$D_i = \begin{cases} PET_i - P_i & , \text{ha } \theta_i \leq \theta_w, \\ 0 & , \text{egyébként.} \end{cases} \quad (2.35)$$

A klímaképletek definíciói nem változtak.

Példa

A következőkben bemutatjuk az általunk módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle módszer alkalmazását Budapest adataira. Tegyük fel, hogy Budapest területén a talaj vályogos textúrájú. A vályog általunk becsült θ_f -és θ_w értéke rendre 331,7 és 135,5 $\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}$. A számításokat a 2.15. táblázatban láthatjuk.

2.15. táblázat Budapest vízháztartás-elemei a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle módszer alapján (lineáris β). Az összetevők mértékegységei: PET, ET, P, D és S ($\text{mm} \cdot \text{hónap}^{-1}$); $\Delta\theta$, Θ ($\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}$) és β dimenziótlan.

Hónap Komp.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J
PET	0	4,3	22,9	55,6	98,0	123,7	137,9	121,6	79,7	39,7	11,8	0,5	0
ET	0	4,3	22,9	55,6	91,2	96,7	88,3	51,1	35,5	18,4	6,4	0,4	0
β	1	1	1	0,93	0,78	0,64	0,42	0,44	0,46	0,54	0,78	0,98	1
P	32	39	35	42	62	69	45	56	39	34	52	40	32
$\Delta\theta$	0	0	0	-13,6	-29,2	-27,7	-43,2	4,9	3,5	15,6	45,6	39,6	32
θ	331,7	331,7	331,7	318,1	288,9	261,2	217,9	222,8	226,3	241,9	287,5	327,1	331,7
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	32	34,7	12,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27,4

A számítás mindig a Θ kezdeti értékének megadásával kezdődik. Mivel télen $P > ET$, a talaj telített, tegyük fel, hogy a Θ januári értéke megegyezik a θ_f -értékével, azaz $\Theta = \theta_f = 331,7 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$. Mivel $\Theta \geq \theta_f$ -el, $\beta = 1$, ugyanakkor $ET = 0$, mivel $PET = 0$. Februárban és márciusban, azaz mindaddig amíg $P > ET$, $S = P - ET$ nagyságú víztöbbletek keletkeznek.

Áprilisban már nincs víztöbblet, mivel ekkor $ET > P$. A β értéke júliusban a legkisebb (0,42), csakúgy, mint a θ értéke is (217,9 $\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}$). A legkisebb júliusi β érték azonban jelentősen lecsökkenti az ET augusztusi értékét. Így augusztusban a $P - ET$ különbség már pozitív. Emiatt a θ is valamelyest megnövekszik, e növekedés egyenletes egészen a következő év januárjáig. Áprilistól decemberig nincs sem víztöbblet, sem vízhiány. Januárban ismét $\Theta = \theta_f$, a keletkező víztöbblet pedig 27,4 $\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}$.

Nézzük mindezek alapján a klímaképlet alakját! Mivel $D = 0$, ezért $I_a = 0$. $S = 78,8 \text{ mm} \cdot \text{év}^{-1}$, így $I_h = 11,3$. Ez alapján $I_m = 11,3$, azaz a klímaképlet 1. betűje C_2 (nedves szubhumid). A klímaképlet 2. betűje B'_1 , mivel az évi potenciális

evapotranszspiráció értéke $695,7 \text{ mm} \cdot \text{hónap}^{-1}$. Mivel a klímaképlet 1. betűje C_2 , s $I_a=0$, a klímaképlet 3. betűje r (kicsi a vízhiány, vagy egyáltalán nincs). A klímaképlet 4. betűje független az S -től és a D -től, így megegyezik az eredeti Thornthwaite (1948) féle módszer esetében kapott b'_3 -el. Mindezek alapján Budapest klímaképlete a módosított Thornthwaite-féle módszer alapján: $C_2 B'_1 r b'_3$.

A Thornthwaite módszernek a numerikus sémák használatával kapcsolatos érzékenységet egy korábbi példában már láthattuk. A módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle módszer hasonló módon érzékeny lehet a β parametrizálására. Mi ezúttal a $\beta(\Theta)$ függvény lineáris alakját használtuk, de a $\beta(\Theta)$ függvény lehet konkáv, vagy konvex alakú is (Mintz és Walker, 1993; Horváth és mtsai., 2009; Ács és Szinyei, 2008). Nézzük meg mi történik a $\beta = 1 - \exp[-6,8 \cdot (\Theta - \Theta_w) / (\Theta_f - \Theta_w)]$ esetén! Megváltozik-e a klímaképlet? A számítások eredményeit a 2.16. és a 2.17. táblázat szemlélteti.

2.16. táblázat Budapest vízháztartás-elemei a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle módszer alapján – (nem-lineáris β , az 1. év szimulációja). Az összetevők mértékegységei: PET, ET, P, D és S ($\text{mm} \cdot \text{hónap}^{-1}$); $\Delta\Theta$, Θ ($\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}$) és β dimenzió nélküli.

Hónap Komp.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J
PET	0	4,3	22,9	55,6	98,0	123,7	137,9	121,6	79,7	39,7	11,8	0,5	0
ET	0	4,29	22,88	55,54	97,82	122,93	132,4	20,67	60,24	19,38	8,17	0,47	0
β	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,96	0,17	0,76	0,49	0,69	0,93	0,98	
P	32	39	35	42	62	69	45	56	39	34	52	40	32
$\Delta\Theta$		34,7	12,1	-13,5	-35,8	-53,9	-87,4	35,3	-21,2	14,6	43,8	39,5	32
Θ	331,7	331,7	331,7	318,1	282,3	228,4	141,0	176,3	155,1	169,7	213,5	253,0	285,0
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	34,7	12,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.17. táblázat Budapest vízháztartás-elemei a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle módszer alapján – (nem-lineáris β , a 2. év szimulációja). Az összetevők mértékegységei: PET, ET, P, D és S ($\text{mm} \cdot \text{hónap}^{-1}$); $\Delta\Theta$, Θ ($\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}$) és β dimenzió nélküli.

Hónap Komp.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J
PET	0	4,3	22,9	55,6	98,0	123,7	137,9	121,6	79,7	39,7	11,8	0,5	0
ET	0	4,29	22,88	55,54	97,82	122,93	132,4	20,67	60,24	19,38	8,17	0,47	0
β	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,96	0,17	0,76	0,49	0,69	0,93	0,98	
P	32	39	35	42	62	69	45	56	39	34	52	40	32
$\Delta\Theta$		34,7	12,1	-13,5	-35,8	-53,9	-87,4	35,3	-21,2	14,6	43,8	39,5	32
Θ	285,0	319,7	331,7	318,1	282,3	228,4	141,0	176,3	155,1	169,7	213,5	253,0	285,0
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ezúttal csak a legfontosabb eredményekkel foglalkozunk. Mivel az 1. és a 2. év januári Θ értékei különböznek (331,7 és 285), az 1. év nem-egyensúlyi év. Ugyanakkor látható, hogy a 2. év már egyensúlyi év, mivel a 2. és a 3. év januári Θ értékei megegyeznek. A 2. évben $D(\text{mm} \cdot \text{év}^{-1})=0$, míg $S(\text{mm} \cdot \text{év}^{-1})=0,2$, ami alapján $I_m=0,028$. Ily módon a klímaképlet 1. betűje továbbra is C_2 . A klímaképlet 2. betűjét a módosítás nem érinti, ezért a hőellátottság kategóriája B'_1 . Mivel $I_m>0$, a klímaképlet 3. betűje továbbra is r . A 4. betű szintén független a módosítástól, így nyilvánvaló, hogy a klímaképlet változatlan marad a β módosítására.

2.4 Kérdések és feladatok

1. Mely tényezőktől függ a növénytakaró területi eloszlása a Földön?
2. Mikor mellőzzük a talajadatokat és a geológiai adatokat a növényzet területi eloszlásának leírása során?
3. Mely éghajlati tényezők a legfontosabbak a növényzet számára?
4. Becsülnek-e potenciális evapotranszspirációt a biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek? Ha igen, hogyan, és minek a függvényében?
5. Milyen adatokat használunk leggyakrabban bemenő adatokként a biofizikai éghajlat-osztályozási módszereknél? Indokoljuk meg a választ!

6. Mely határértékek között változnak a P és a T évi értékei a Kakas (1960) féle adatbázisban? Rajzoljuk be e tartományt a Lamb (1978) féle adatbázisra vonatkozó P-T diagramon!
7. Hol vannak hazánkban nagyobb, összefüggő homokos területek?
8. Hol vannak hazánkban nagyobb, összefüggő vályogos területek?
9. Hol vannak hazánkban nagyobb, összefüggő agyagos területek?
10. Vannak-e hazánkban egymással határos homokos és agyagos területek? Ha igen, nevezzük meg ezeket a területeket!
11. Vannak-e hazánkban egymással határos homokos és vályogos területek? Ha igen, nevezzük meg ezeket a területeket!
12. Vannak-e hazánkban egymással határos vályogos és agyagos területek? Ha igen, nevezzük meg ezeket a területeket!
13. Magyarországon mely fizikai féleségnek van a legnagyobb, melynek a legkisebb hasznos vízkészlete?
14. Indokoljuk meg a $10^{\circ}\text{C} = 20 \text{ mm}$ skálabeosztást a Walter-Lieth (1960) féle klímadiagramon!
15. Hogyan különböztetjük meg a hőmérsékleti görbét és a csapadékgörbét a Walter-Lieth (1960) féle klímadiagramon?
16. Hogyan jelöljük a különböző nedvességű időszakokat a Walter-Lieth (1960) féle klímadiagramon?
17. Milyen hőmérsékleti szélsőértékekre alkalmazunk speciális jelöléseket és hogyan ábrázoljuk őket a Walter-Lieth (1960) féle klímadiagramon?
18. Mikor kell az aszályosságot jelölni a Walter-Lieth (1960) féle klímadiagramon?
19. Lehet-e arid és szubhumid jelleg a Walter-Lieth (1960) féle klímadiagramon az aszályosság jelölése nélkül?
20. Melyek azok a tulajdonságok, amelyeket nem tudnánk jelölni Fort Nelson és Cape Don esetében, ha csupán havi átlaghőmérsékletek és csapadékösszegek állnának rendelkezésre?
21. Mire használta fel Köppen a de Candolle-féle térképeken szereplő vegetáció-típusokat és határvonalait?
22. Soroljuk fel a módosított Köppen (1936) féle rendszer klímatispusait! Jellemezzük őket röviden pár szóban!
23. Válasszunk ki két állomást a Lamb (1978) és a Kakas (1960) féle adatbázisból! Jellemezzük az állomások éghajlatát Köppen alapján!
24. Hogyan becsüli Holdridge (1947) módszere a potenciális párolgást?
25. Soroljunk fel legalább öt vegetáció-típust a Holdridge-féle háromszögdiagram hideg-mérsékelt és meleg-mérsékelt öveiből!
26. Válasszunk ki két állomást a Lamb (1978) és a Kakas (1960) féle adatbázisból! Jellemezzük az állomások éghajlatát Holdridge alapján!
27. Jellemezzük röviden Thornthwaite (1948) módszerének fizikáját (a csöbör karakterisztikái, a vízmérleg számítása, használt feltételezések)!
28. Hogyan számítjuk a Thornthwaite (1948) féle nedvességi indexet és mihez szükséges a számítása?
29. Hogyan számítjuk Thornthwaite alapján a potenciális párolgást és mihez szükséges a számítása?
30. Mít jellemez a harmadik betű a Thornthwaite (1948) féle klímaképletben?
31. Mít jellemez a negyedik betű a Thornthwaite (1948) féle klímaképletben?

32. Válasszunk ki két állomást a Lamb (1978) és a Kakas (1960) féle adatbázisból! Jellemezzük az állomások éghajlatát Thornthwaite alapján!
33. Próbáljuk ki legalább egy eseten a klímaképlet érzékenységét a numerikus módszerek használatára!
34. Jellemezzük röviden a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle módszer fizikáját (a csöbör karakterisztikái, a vízmérleg számítása, használt feltételezések)!
35. Hogyan számítjuk a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle módszerben a tényleges párolgást és mihez szükséges a számítása?
36. Válasszunk ki két állomást a Lamb (1978) és a Kakas (1960) féle adatbázisból! Jellemezzük az állomások éghajlatát a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle módszer alapján!
37. Próbáljuk ki legalább egy eseten a klímaképlet érzékenységét a β együttható parametrizálására!
38. Hasonlítsuk össze Köppen, Holdridge és Thornthwaite éghajlat-képeit legalább két állomás esetén! Elemezzük helyességüket az internetről letöltött vegetáció-képek alapján!

Felhasznált irodalom

- Ács, F. és Szinyei, D.. 2008. *A csupasz talaj- és a növényi párolgás összehasonlító vizsgálata*. Légkör. 53. évf. 1. szám. 26-29.
- Ács, F., Breuer, H., és Szász, G.. 2007. *A tényleges párolgás és a talaj vízkészlet becslése tenyészidőszakban*. Agrokémia és Talajtan. Vo. 56. 217-236.
- Blaney, H.F. és Criddle, W.D.. 1959. *Determining water requirements in irrigated areas from climatological irrigation data*, Technical Paper, No. 96. US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, D.C.. 48 pp.
- de Candolle, A.. 1874. *Constitution dans le regne vegetal des groupes physiologiques applicables a la geographie botanique ancienne et moderne*. Arch. Sci. Phys. Nat.. Vo. 50. 5-42.
- Dobosi, Z. és Felméry, L.. 1994. *Klimatológia*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. 500 pp.
- Emanuel, W.R., Shugart, H.H., és Stevenson, M.P.. 1985. *Climatic change and the broad-scale distribution of terrestrial ecosystem complexes*. Climatic Change. Vo. 7. 29-44.
- Filep, Gy. és Ferencz, G.. 1999. *Javaslat a magyarországi talajok szemcseösszetétel szerinti osztályozásának pontosítására*. Agrokémia és Talajtan. Vo. 48. 305-320.
- Geiger, R.. 1954. *Klimaklassifikation der Klimate nach W. Köppen [in: Landolt Börnstein (eds.) Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik, alte Serie Vol. 3]*. Springer, Berlin. 603-607.
- Hamon, W.R.. 1961. *Estimating potential evapotranspiration*. Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Vo. 87. 107-120.
- Holdridge, L.R.. 1947. *Determination of world formulations from simple climatic data*. Science. Vo. 105. 367-368.
- Holdridge, L.R.. 1967. *Live Zone Ecology*. Tropical Science Center, San Jose, Costa Rica. 206 pp. Open Library OL3895575M.
- Horváth, Á., Ács, F., és Breuer, H.. 2009. *On the relationship between soil, vegetation and severe convective storms: Hungarian case studies*. Atmospheric Res.. Vo. 93. 66-81.

- Humboldt, A. és Bonpland, A.. 1807. *Ideen zu einer Geographie der Pflanzen nebst einem Naturgemalde der Tropenlander*. J.G. Cotta, Tübingen, Paris. 182 pp.
- Kakas, J.. 1960. *A lehetséges évi evapotranszspiráció. Az évi vízfölösleg. Az évi vízhiány*. In: *Magyarország Éghajlati Atlasza*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 46/2-4 térkép.
- Köppen, W.. 1923. *Die Klimate der Erde, Grundriss der Klimakunde*. Walter de Gruyter, Berlin. 369 pp.
- Köppen, W.. 1936. *Das geographische System der Klimata* [in: *Handbuch der Klimatologie*, Eds. W. Köppen und R. Geiger, Band 1, Teil C]. Borntraeger, Berlin. 44 pp.
- Lamb, H.H.. 1978. *Climate, present, past and future. Volume 1, Fundamentals and climate now*. Methuen and Co Ltd, Norwich, Norfolk. 613 pp. SBN 416 11530 6.
- Lawrimore, J.H., Menne, M.J., Gleason, B.E., Williams, C.N., Wuertz, D.B., Vose, R.S., és Rennie, J.. 2011. *An overview of the Global Historical Climatology Network monthly mean temperature data set, version 3*. J. Geophys. Res.. Vo. 116. D19121.
- Lugo, A.E., Brown, S.L., Dodson, R., Smith, T.S., és Shugart, H.H.. 1999. *The Holdridge Live Zones of the conterminous United States in relation to ecosystem mapping*. Journal of Biogeography. Vo. 26. 1025-1038.
- McKenney, M.S. és Rosenberg, N.J.. 1993. *Sensitivity of some potential evapotranspiration estimation methods to climate change*. Agric. For. Meteorol.. Vo. 64. 81-110.
- Mersich, I., Práger, T., Ambrózy, P., Hunkár, M., és Dunkel, Z.. (szerk.). 2000. *Magyarország éghajlati atlasza*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest. 107 pp. ISBN 963 7702 830.
- Mintz, Y. és Walker, G.K.. 1993. *Global Fields of Soil Moisture and Land Surface Evapotranspiration Derived from Observed Precipitation and Surface Air Temperature*. J. Appl. Meteorol.. Vo. 32. 1305-1335.
- Nemes, A.. 2003. *Multi-scale hydraulic pedotransfer functions for Hungarian soils, PhD Dissertation*. Wageningen University, Wageningen. 143 pp. ISBN 90-5808-804-9.
- Peterson, T.C. és Vose, R.S.. 1997. *An overview of the Global Historical Climatology Network temperature database*. Bulletin of the American Meteorological Society. Vo. 78 (12). 2837-2849.
- Prentice, I.C., Cramer, W., Harrison, S.P., Leemans, R., Monserud, R.A., és Solomon, A.M.. 1992. *A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate*. J. Biogeogr.. Vo. 19. 117-134.
- Prentice, I.C.. 1990. *Bioclimatic distribution of Vegetation for General Circulation Model Studies*. J. Geophys. Res.. Vo. 95. 11,813-11,830.
- Roy, P.S., Joshi, P.K., Singh, S., Agarwal, S., Yadav, D., és Jegannathan, C.. 2006. *Biome mapping in India using vegetation type map derived using temporal satellite data and environmental parameters*. Ecological Modelling. Vo. 197. No. D8. 145-158.
- Sanderson, M.. 1999. *The Classification of Climates from Pythagoras to Koeppen*. Bull. Amer. Meteor. Soc.. Vo. 80. 669-673.
- Stephenson, N.L.. 1990. *Climatic control of vegetation distribution: the role of water balance*. Am. Nat.. Vo. 135. 321-328.
- Thornthwaite, C.W.. 1948. *An approach toward a rational classification of climate*. Geogr. Review. XXXVIII. 55-93.
- van Genuchten, M.Th.. 1980. *A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*. Soil Sci. Soc. Am. J.. Vo. 44. 892-898.

- Várallyay, Gy., Szűcs, L., Rajkai, K., Zilahy, P., és Murányi, A.. 1980. *Magyarországi talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak kategóriarendszere és 1:100 000 méretarányú térképe*. Agrokémia és Talajtan. Vo. 29. 77-112.
- Walter, H. és Lieth, H.. 1960. *Klimadiagramm-Weltatlas*. Fischer, Jena. 130 pp.
- Woodward, F.I.. 1987. *Climate and Plant Distribution*. Cambridge University Press, Cambridge. 177 pp. ISBN 0-521-28214-4.
- Würtz, F. és Lehmann, D.. 2004. *Vergleich der Klimaklassifikation von Köppen mit der Einteilung von Vegetationszonen nach Whitaker und Holdridge*, <http://fabian.wuertz.org/klima/thesis/klima.pdf>.
- Yue, T., Liu, J., Jorgensen, Z., Gao, Z., Zhang, S., és Deng, X.. 2001. *Changes of Holdridge life zone diversity in all of China over half a century*. Ecological Modelling. Vo. 144. 153-162.

3. fejezet - Eredmények

Az eddigiekben az éghajlat-osztályozási módszerek alkalmazását csak egy-egy példán illusztráltuk. Az eljárásokat azonban a Lamb (1978), és a Kakas (1960) féle adatbázis adatain is teszteljük. Ez alól kivételt képez a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle modell. Ez utóbbi modellt csak a Kakas féle adatbázison futtattuk. Ugyanakkor e futtatások eredményei már túlmutatnak a klasszikus éghajlat-osztályozási módszerek eredményein, mivel Magyarország egyes vízháztartási elemeinek (evapotranszpiráció és a talaj vízkészlete) klimatológiájába adnak betekintést.

A következőkben a módszertani vizsgálatok mellett a klímaképletek összehasonlító elemzésével is foglalkozunk. Az elemzésekben vegetáció-képeket is fogunk használni, egyrészt azért, mert Holdridge rendszere tipikus ökológiai egységekben és az adott egységekhez tartozó tipikus vegetációban gondolkodik, másrészt pedig azért, mert a képek bizonyítékként fognak szolgálni érveléseink során. A vegetáció-képek alkalmazása csak a globális léptékű elemzésekben tanulságos. E szemlélet Magyarországra vonatkozóan nem alkalmazható, mivel a Kárpát-medence legnagyobb része kultúrtájja alakult. A képeket a www.panoramio.com weboldaltól töltöttük le.

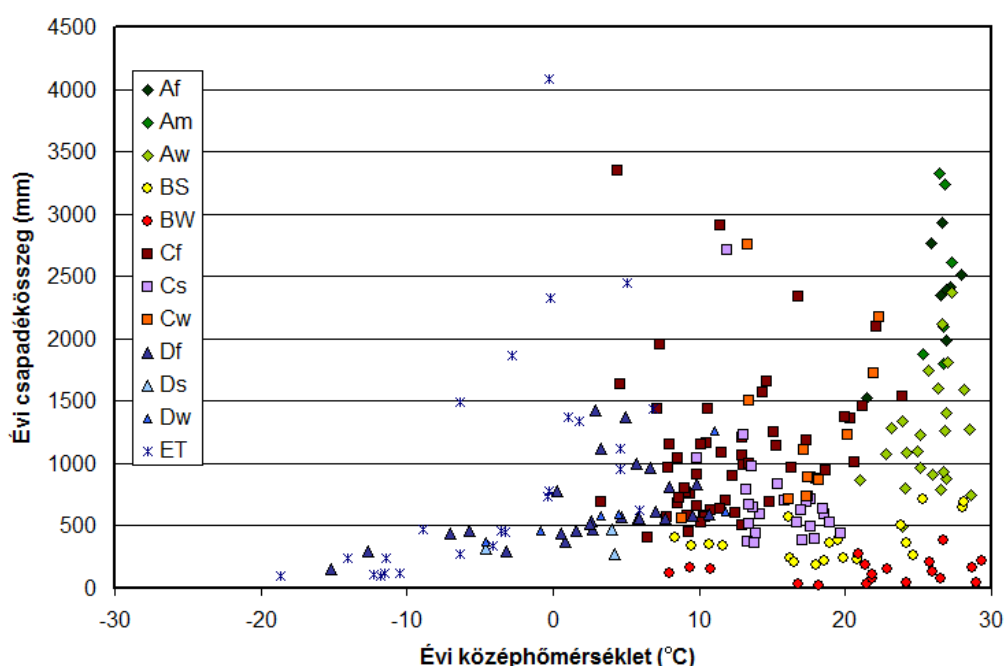
3.1 Lamb féle adatbázis

3.1.1 Módszertani vizsgálatok

E fejezetben Köppen, Holdridge és Thornthwaite éghajlat-osztályozási módszereivel kapott eredményeket ismertetjük. A módszerek klímaképleteinek (Köppen, Thornthwaite), vagy vegetáció-típusainak (Holdridge) általánosabb – példától független – jellemzésével ezúttal nem foglalkozunk. Köppen módszerének, vagy az ahhoz hasonló más módszereknek leírása, mint pl. Trewartha módszerének leírása megtalálható, pl. Péczely (1979), vagy Dobosi és Felméry (1994) könyveiben. Látható, hogy Holdridge és Thornthwaite módszere sokkal több vegetáció- vagy klímátípust különböztet meg, mint a Köppen (1936) féle rendszer. Holdridge 38, míg Thornthwaite 81 klímátípust ír le, ha csak az évi jellemzőket nézzük. E nagy változatosság egyenkénti leírása, az általános jellemzők kiemelésével, valamint a tipikus különbségek tárgyszerű bemutatásával, szinte lehetetlen feladat. Ezért ezt mellőzni fogjuk mind Holdridge, mind Thornthwaite esetében. Ugyanakkor a Lamb (1978) féle adatbázisra kapott eredményeket minden egyes módszer esetében röviden értékelni fogjuk.

Köppen módszere

A Köppen (1936) féle rendszerrel kapott eredmények a 3.1. ábrán láthatók.

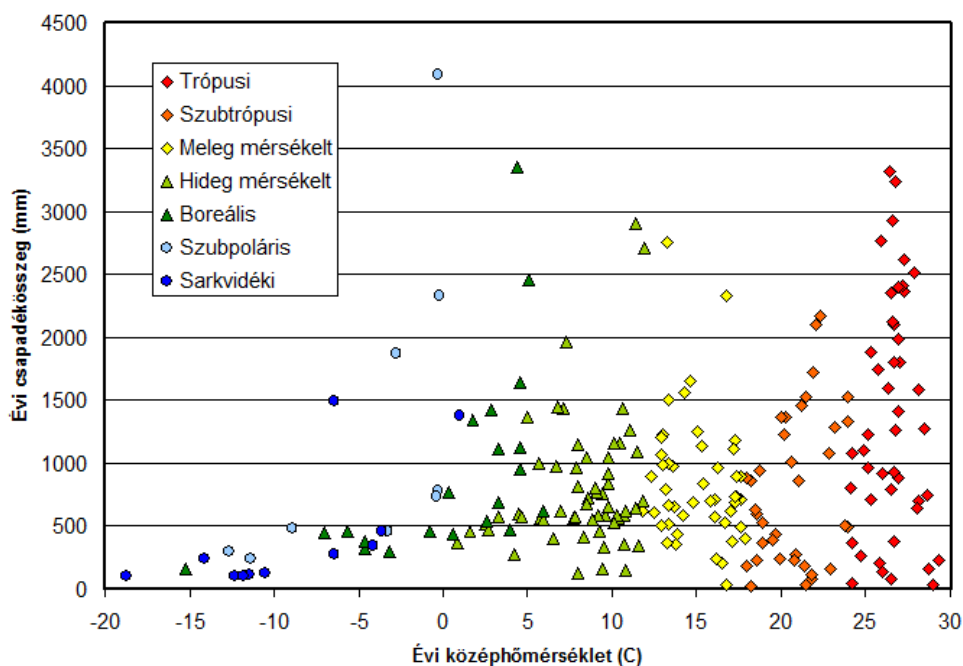


3.1. ábra. A Köppen (1936) félé rendszerrel kapott klímaképletek csapadék és hőmérséklet szerinti eloszlása

Az *Af*, *Am*, *Aw* klímaképletek eloszlása a 20-30°C közötti tartományban értelemeszerűen a *P* függvényében alakul. Ezen pontok közül az *Aw* pontok szórása a legnagyobb. Észrevehető, hogy az egyik *Aw* pont 2500 mm körül található az *Af* pontok közvetlen közelében. Az előbbiekkal szemben a *BS* és *BW* pontok eloszlása a *T* függvényében alakul. A *BS* és a *BW* pontok között tapasztalható egy bizonyos mértékű átfedés a 20-25°C közötti tartományban. A *Cf* és *Cw* pontok szórása a legnagyobb. Hozzájuk képest a *Cs* pontok szórása már jóval kisebb. Vegyük észre a *Cs* és *BS* pontok közelségét, sőt tartományaik érintkezését, átfedését! Észrevehető az is, hogy a *C* és *D* pontok tartományai nem különülnek el egymástól egyértelműen. Ez tisztán látható a 10-20°C közötti intervallumban sűrűsödő 500-1000 mm körüli csapadéktartományban. Látható, hogy a *D* és *ET* pontok egyaránt előfordulnak a 0-tól -20°C-ig terjedő tartományban. Az eredményeket összegezve megállapíthatjuk, hogy a különböző pontokkal jelölt klímaképletek eloszlása nem egyértelmű. Ez főleg a *P-T* tartomány középső részén (az 500-1500 mm évi csapadékösszeg és a 0-20°C évi középhőmérséklet tartományában) szembeötlő. Hangsúlyozzuk azonban, hogy a módszer mindössze 12 klímaképletet különböztet meg.

Holdridge módszere

A *P-T* diagram pontjainak Holdridge (1947) módszere alapján történő hőmérsékleti besorolása a 3.2. ábrán látható. Itt összesen hét hőmérsékleti tartomány fordul elő; így a pontok hőmérséklet szerinti eloszlása sokkal egyértelműbb, mint az előbbi esetben.

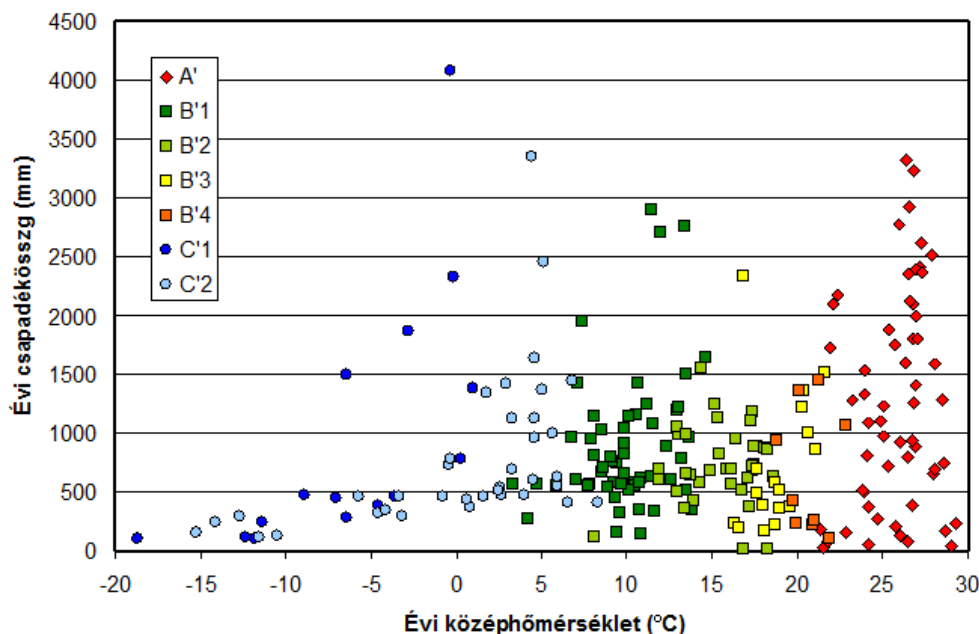


3. 2. ábra. A *P-T* diagram pontjainak Holdridge (1947) módszere alapján történő hőmérsékleti besorolása

Ennek ellenére a *boreális*, *szubpoláris* és a *sarkvidéki* jelölésű pontok nem különülnek el egyértelműen, s az csak a melegebb klímákban (a meleg-mérsékelt és az ennél melegebb klímákban) figyelhető meg.

Thornthwaite módszere

A Thornthwaite (1948) módszerével kapott klímaképletek második betűjének csapadék és hőmérséklet szerinti eloszlását a 3.3. ábra mutatja. Érdekes módon a legkisebb hőellátottság a *C'1* (az évi PET 285-427 mm·év⁻¹ közötti) jelölésű mikrotermális hőellátottság, még akkor is, ha az évi átlaghőmérséklet -20°C körüli.



3.3 ábra. A Thornthwaite (1948) módszerével kapott klímaképletek második betűjének csapadék és hőmérséklet szerinti eloszlása

A *tundra* (az évi PET 142-285 mm·év⁻¹ közötti), valamint a *fagyos* (az évi PET kisebb, mint 141 mm·év⁻¹) hőellátottsággal rendelkező pontok elő sem fordulnak. Ugyanakkor látható az is, hogy a pontok eloszlása kísértetiesen hasonlít a Holdridge (1947) módszerénél tapasztalt ponteloszlásra. A különbség az, hogy a B'₃ és B'₄ pontok elkülönülése nem egyértelmű. Az előző esethez hasonlóan itt is, hét hőellátottsági tartomány fordul elő.

3.1.2 Összehasonlító vizsgálatok

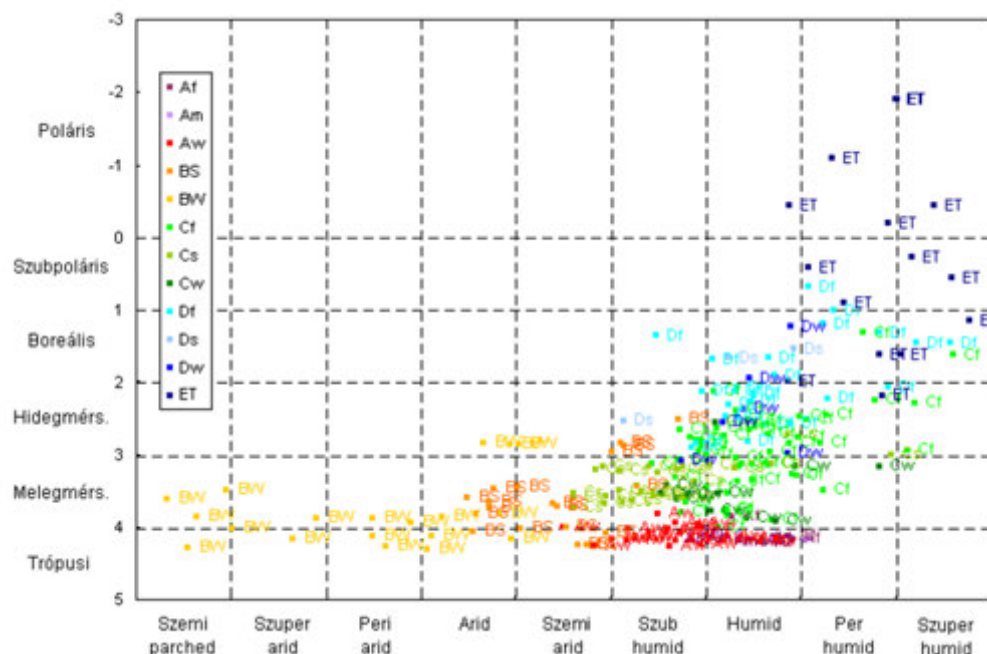
A biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek összehasonlító vizsgálata több szempontból is indokolt. Összehasonlító vizsgálataink során jobban megismerhető a Föld, a rendelkezésünkre álló erőforrások területi és időbeli eloszlása, valamint maguk a módszerek. Így jobban átláthatjuk a módszerek előnyeit, hátrányait, valamint az alkalmazhatóságukkal kapcsolatos korlátokat. A fő cél persze a helyszín klímájának minél pontosabb, valóságszerűbb leírása. Látni fogjuk, hogy ehhez viszont nélkülözhetetlen az adott terület tipikus vegetációjának megfigyelése.

Köppen és Holdridge módszerének összehasonlítása

Összehasonlító vizsgálatunk az összes, valamint egyes kiválasztott állomásokra vonatkozik. Ezen utóbbi összehasonlításokra akkor került sor, amikor ugyanazon Köppen (1936) féle képlethez több, és nagyobb szórást tanúsító Holdridge (1947) féle életforma leírás tartozott.

Összes állomás

Nézzük előbb az összes állomásra vonatkozó összehasonlítás eredményeit! Ezt a 3.4. ábra szemlélteti, ahol a Köppen (1936) féle klímaképleteknek a Holdridge (1947) féle rendszerben szereplő biohőmérsékleti és nedvességi kategóriák szerinti eloszlását láthatjuk.



3.4. ábra A Köppen (1936) féle képletek eloszlása a Holdridge (1947) féle klasszifikáció nedvességi és hőmérsékleti kategóriái szerint

A Holdridge-rendszer biohőmérsékleti kategóriái (trópusi, meleg-mérsékelt, hideg-mérsékelt, boreális, szubpoláris és poláris) az y-tengelyen, míg a nedvességi kategóriái (szemi parched, szuper arid, periarid, arid, szemi arid, szubhumid, humid, perhumid és szuperhumid) az x-tengelyen vannak feltüntetve. Vegyük szemügyre előbb az *ET* (tundra) klímák eloszlását! E klímaképlet mutatja a legnagyobb szórást a Holdridge-féle rendszerben a kapott összes klímaképlet közül, mely megtalálható nemcsak a poláris és a szubpoláris, hanem a boreális és a hideg-mérsékelt kategóriában is. A boreálisban négy, míg a hideg-mérsékelt kategóriában egy ilyen esetünk volt. A szórás a nedvességi kategóriák szerint valamelyest kisebb, mint a hőmérsékleti kategóriák esetében. A legnagyobb szórás a humid és a szuperhumid kategóriák között figyelhető meg.

Az *ET* képletek szórásához képest a *D* (*Df*, *Dw* és *Ds*) kategóriák szórása valamelyest kisebb. A biohőmérsékleti kategóriák szórása a szubpoláris és a hideg-mérsékelt között, míg a nedvességi kategóriáké a szubhumid és a szuperhumid között a legnagyobb. Megjegyzendő, hogy a szubpoláris kategóriában mindössze egy *Df*, s a szubhumid kategóriában is csupán egyetlen *Ds* képletünk volt. A *D* képletek zöme tehát a hideg-mérsékelt és a boreális, valamint a humid és a szuperhumid kategóriák között fordul elő. A *C* (*Cf*, *Cw*, a mediterrán *Cs*) képletek szórása már inkább a nedvességi kategóriák függvénye. Megfigyelhető, hogy számos *C* képlet található a hideg-mérsékelt biohőmérsékleti kategóriában is, azonban e kategóriák jóval inkább a nedvesség függvényében szóródnak: a szemi aridtól (itt a *Cs* a jellemző) a szuperhumidig (itt *Cf* fordul elő). A többi meleg klíma (*A*, *BS* és *BW*) esetében a szóródás már kizárólag a nedvességi kategóriák függvénye. A trópusi klímák eloszlása egy igen szűk hőmérsékleti sávban – a trópusi és a meleg-mérsékelt hőmérsékleti kategóriák határánál – figyelhető meg, a szubhumid és a perhumid nedvességi kategóriák között. Ehhez képest a *BS* klímák szóródása nagyobb. Ezek értelemszerűen megtalálhatók a hideg mérsékelt kategóriában is; a nedvességet illetően pedig az arid és a szubhumid tartományok között szóródnak. A *BW* klímák nedvességi kategóriák szerinti szóródása a *BS* klímákhoz képest még nagyobb. E szóródás négy tartományban, a szemi-parched és az arid tartományok között figyelhető meg. Ugyanúgy, mint a *BS* klímák esetében, a hideg-mérsékelt hőmérsékleti kategóriában is előfordulnak *BW* klímák. A *BS* és *BW* klímák területi eloszlása nem válik el élesen egymástól; átfedésük az arid nedvességi kategóriában figyelhető meg. Hasonló átfedés, illetve érintkezési terület figyelhető meg a *BS* és *Cs* klímák között a szemi arid nedvességi kategóriában.

A fentiek alapján megállapíthatjuk, hogy Köppen (1936) klímaképleteinek területi eloszlása a Holdridge (1947) rendszer függvényében (az *ET* klímaképlet kivételével) a nedvességi kategóriák függvénye. Ugyanakkor az *ET* klímák esetében e területi eloszlás a hőmérsékleti kategóriák függvénye (3.4. ábra).

Kiválasztott állomások

Esettanulmányainkhoz olyan állomásokat választottunk, amelyekre vonatkozóan Köppen képlete megegyezett, azonban a Holdridge-féle életforma osztályozások különböztek, olyannyira, hogy nem voltak egymásnak közvetlen szomszédjai. Egy ilyen eset a trópusi sivatag és a trópusi tüskés bozót (2.9. ábra), ahol a közöttük elhelyezkedő életforma rendszer a trópusi sivatagi bozót. Vizsgálataink során egy *ET*, egy *Cfa*, egy *Cfb*, egy *BW* és egy *Aw* típusú Köppen (1936) féle klímát választottunk. Az adott esetekben a Holdridge (1947) féle életforma kategóriák észrevehetően különböztek. A kiválasztott esetek sorszámaikat, helyszíneit és klímaképleteit a 3.1. táblázatban láthatjuk. Menjünk sorban a Köppen-féle klímaképletek szerint!

3.1. táblázat Az esetvizsgálatokhoz kiválasztott állomások Köppen (1936) féle klímaképletei és Holdridge (1947) féle életforma kategóriái

Sorszám	Állomásnév	Köppen	Holdridge
193.	Frobisher-öböl, Baffin-sziget	ET	szubpoláris esős tundra
230.	Stanley, Falkland-szigetek	ET	boreális üde erdő
93.	Kagoshima, Japán	Cfa	meleg-mérsékelt nedves erdő
227.	Buenos Aires, Argentina	Cfa	meleg-mérsékelt száraz erdő
15.	Bergen, Norvégia	Cfb	hideg-mérsékelt esős erdő
64.	Szimferopol, Ukrajna	Cfb	hideg-mérsékelt füves puszt
106.	Jodhpur, India	BWh	trópusi tüskés bozót
64.	Tamanrasset, Algéria	BWh	szubtrópusi sivatag
94.	Manila, Fülöp-szigetek	Aw	trópusi üde erdő
6.	Kiribati, Canton-sziget	Aw	trópusi extra száraz erdő

ET klíma – tundra klíma

Mind a Baffin-szigeten (kb. 65°N), mind pedig a Falkland szigeteken kiválasztott helyszín (kb. 52°S) Köppen (1936) féle klíma képlete *ET*. Holdridge klasszifikációja szerint azonban a Baffin-szigeten szubpoláris esős tundra, míg a Falkland-szigeteken található Stanley-ben boreális üde erdő fordul elő.



3.5 ábra. A Baffin szigeten (felső kép) és a Falkland szigeteken (alsó kép) kiválasztott helyszínek növényzete

A Baffin-szigeten a tipikus növényzet tundra, melynek vízellátottsága maximális (lásd: 3.5. ábra, felső kép), azaz szuperhumid. A Falkland szigeteken a karakterisztikus növényzet fenyves, melynek vízellátottsága közepes, azaz humid. Nyilvánvaló, hogy a fenyvesek nagyobb hő- és vízellátottságot igényelnek, mint a tundrák. Ezért Falkland szigetek növényzetének jóval dúsabbnak kell lennie a Baffin-sziget növényzeténél, legalábbis a Holdridge (1947) féle klasszifikáció szerint. E következtetésünket 3.5. ábra képei is igazolják. Látható, hogy Stanley közelében a növényzet jóval dúsabb, mint a tipikus tundra növényzet. Ugyanakkor azt is megfigyelhetjük, hogy Stanley környékén nincsenek fenyvesek. Ez nem meglepő, ugyanis a Holdridge (1947) féle klasszifikáció a potenciális, klimatikus lehetséges növényzetben gondolkodik.

C_{fa} klíma – meleg-mérsékelt klíma egyenletes éven belüli csapadékeloszlással és forró nyárral

A Köppen (1936) féle rendszer alapján Kagoshima (32°N) és Buenos Aires (35°S) klímája megegyezik és a *C_{fa}* képlettel jellemezhető. Holdridge alapján azonban klímáik különböznek. A Kagoshima klímájához tartozó tipikus vegetáció a nedves erdő, míg a Buenos Aireséhez a száraz erdő. Kimutatható-e különbség a képeken is? Mindkét képen (3.6. ábra) a növényzet dús. Buenos Aires környékén a vegetáció szinte ugyanolyan, mint Magyarország alföldi részein. Kagoshima környékén a látható növényzet azonban az előbbi formától eltér: valamelyest dúsabb, a fás növényzet sűrűbb, és a kép alapján az a benyomásunk, hogy a Kagoshima környékét nagyobb vízbőség jellemzi, mint Buenos Aires környékét. Ezt más képek is igazolják, de az elmondottak a földrajzi szélességek összevetéséből is következnek.



3.6 ábra. Kagoshima (felső kép) és Buenos Aires (alsó kép) környékének tipikus növényzete

Cfb klíma – meleg-mérsékelt klíma egyenletes éven belüli csapadékeloszlással és meleg nyárral

Holdridge szerint mind Bergen, mind Szimferopol mérsékelt hideg klímájú, de Bergen nedvessége szuperhumid (esős erdő életforma rendszer a hideg-mérsékelt hőmérsékleti övben), míg Szimferopolé szubhumid (füves puszta életforma rendszer a hideg-mérsékelt hőmérsékleti övben). E nedvességbeli különbség 3.7. ábra képei alapján is egyértelműen megfigyelhető. Ez a különbség a Thornthwaite (1948) féle képletek esetében is észrevehető. Persze ezeken a képeken is látható, hogy a szimferopoli táj – ugyanúgy, mint a bergeni – kifejezettebben kultúrtáj (ember alakította terület).



3.7. ábra. Bergen, Norvégia (felső kép) és Szimferopol, Ukrajna (alsó kép) környékének tipikus növényzete
BWh klíma – forró sivatagi klíma



3.8. ábra. Jodhpur, India (felső kép) és Tamanrasset, Algéria (alsó kép) környéke

Köppen szerint Jodhpur és Tamanrasset éghajlata megegyezik, és *BWh* képlettel jellemezhető. Holdridge szerint azonban jelentős nedvességbeli különbség van közöttük: Jodhpurban a trópusi tüskés bozót, míg Tamanrassetben a szubtrópusi sivatag a jellegzetes életforma rendszer. Az előbbi arid, míg az utóbbi per-arid nedvességű, azaz az aridnál egy fokozattal szárazabb. A 3.8. ábrán látható képek alapján e nedvességbeli különbség – a gyér vegetáció és a kősvatag képeiről – egyértelműen látható.

Aw klíma – szavanna klíma

A szavanna klímák közötti nedvességbeli különbségek igen jelentősek lehetnek. E különbségeket alapvetően a csapadékos, vagy száraz évszak hossza határozza meg.



3.9. ábra. Manila környéke (Fülöp szigetek) (felső kép) és a Kiribati szigetcsoport Canton szigetének (alsó kép) tipikus vegetációja

E lehetséges jelentős különbségek szemléltetése végett Manila (Fülöp szigetek) és a Kiribati-szigetcsoport Canton szigetének klímáját hasonlítottuk össze. Köppen szerint mindkét helyszín klímája az *Aw* képlettel jellemezhető, azaz szavanna klímájúnak mondható. Holdridge szerint viszont a két helyszín életforma-rendszere jelentősen különbözik: Maniláé trópusi üde erdő, míg a Canton-sziget trópusi extra száraz erdő. Az előbbi humid, míg az utóbbi szemiárid nedvességet jelent. A 3.9. ábra képei e markáns nedvességbeli különbséget gyönyörűen szemléltetik. A Manila környéki, rizstermesztéses kultúrtáj nagy csapadékoságára utal a rizskultúra nagy vízigénye is. Ezzel szemben Canton-sziget alacsony növésű, bozótos jellegű növényzete hűen tükrözi az előbbihez képest gyérebb nedvességi viszonyokat.

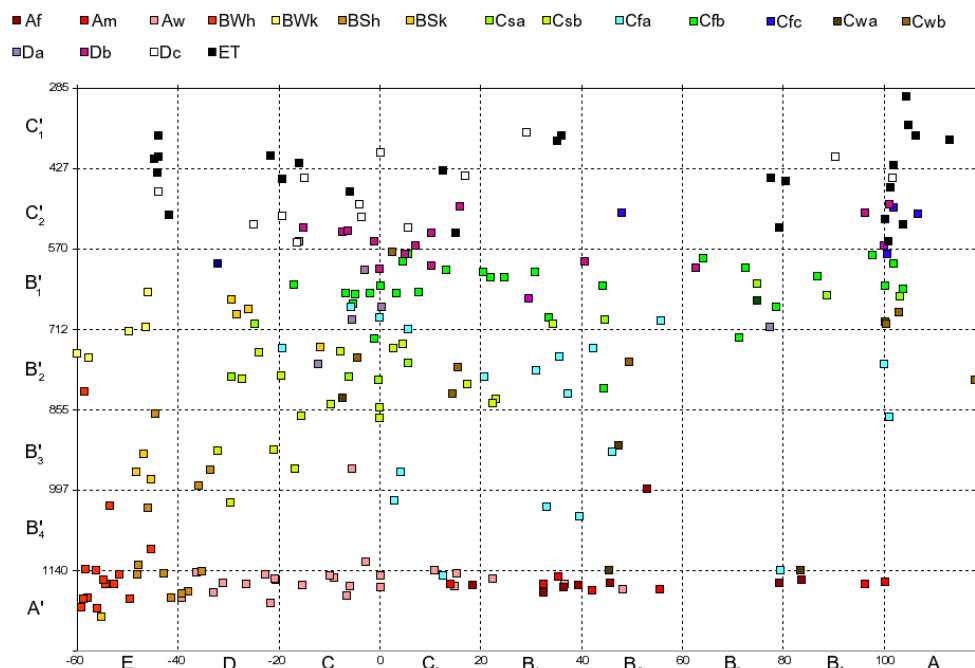
Köppen és Thornthwaite módszerének összehasonlítása

Összehasonlító vizsgálatainkat mind az összes, mind egyes kiválasztott állomásokra elvégeztük. Ezen utóbbi összehasonlításokra akkor került sor, amikor ugyanazon Köppen (1936) féle képlethez több, és nagyobb szórást mutató Thornthwaite (1948) féle klímaképlet tartozott.

Összes állomás

Az összes állomásra vonatkozó összehasonlítás eredményeit a 3.10. ábra szemlélteti, mely a Köppen (1936) féle képletek eloszlását mutatja a Thornthwaite (1948) féle képlet első két betűjéhez tartozó hő- és vízellátottsági kategóriák függvényében. Az ábrán az *A'* (megatermális) a legnagyobb, míg a *C'*₁ (mikrotermális) a legkisebb hőellátottságot jelenti. Thornthwaite a hőellátottság jellemzésére használta a *D'* és az *E'* kategóriákat is, azonban

ezek ritkán fordulnak elő. A vízellátottságot illetően az E (arid) a legszárazabb, míg az A (perhumid) a legnedvesebb kategória. A száraz és a nedves klímák közötti átmenet a C_2 (nedves szubhumid) és a C_1 (száraz szubhumid) kategóriák között húzódik. Első pillantásra a 3.10. ábra alapján nehéz egyértelmű összefüggést találni a két éghajlat-leíró módszer között. Látható azonban, hogy a pontok eloszlásában bizonyos rendszer fedezhető fel. Vegyük szemügyre előbb az ET (tundra) klímák eloszlását!



3. 10. ábra. A Köppen (1936) félé képletek eloszlása a Thornthwaite (1948) félé képlet első két betűjének függvényében

Ezek a C_2 és a C_1 kategóriák az E (arid) és az A (perhumid) kategóriák között szóródnak. Azaz, az ET klímák között tekintélyes vízellátottságbeli különbségek vannak. Ebből kifolyólag beszélhetünk „száraz” (E) és „nedves” (A) tundráról, továbbá a kettő közötti számos átmenetről (D-B4). A „száraz” tundra évi átlagban nyilván jegesebb és havasabb, mint a „nedves” tundra. A jég és a hó ugyanis jellegzetesen a hideg-száraz klímák felszíntípusa. Az klímák tehát tipikusan vízszintesen, az x-tengely irányában szóródnak.

Hasonló a helyzet a D hideg-mérsékelt klímák esetében is. A D klímák szóródása a 3.10. ábrán többnyire vízszintes irányú. A hideg-mérsékelt klíma hideg nyárral jellemzett típusa, azaz a Dc klímájú pontok egy szélesebb, a C_1 , C_2 kategóriákkal behatárolt sávban E-től (arid) A-ig (perhumid) terjedően mindenhol megtalálhatók. A tundrákkal kapcsolatos előbbi eszmefuttatunk a Dc klímák esetében is alkalmazható. Vannak tehát kifejezetten „száraz” (az E kategóriába eső), valamint „nedves” (az A kategóriába eső) Dc klímájú pontok.

Mi a helyzet a BW sivatagi klímákkal? A „hideg” (BWk) és a „forró” (BWh) sivatagi klímák egyértelműen elkülönülnek egymástól. Ezek többnyire csak az E (arid) kategóriában találhatók meg. A forró sivatagok az A' és B'4 (mindössze egy esetet regisztráltunk a B'2 kategóriában), míg a hideg sivatagok a B'2 és B'1 közötti tartományban csoportosulnak. A sztyepp klíma (BS) esetében nagyobbak a szórások. A „hideg” (BSh) és a „forró” (BSk) sztyepp klímák közötti elkülönülés már nem annyira egyértelmű, mint az előbbi esetben és a pontok – valamelyest jobbra tolódva az előbbi esethez képest – az E (arid) és a D (szemi-arid) kategóriák közé esnek. A sivatagi és a sztyepp klímák esetében a pontok szóródása értelemszerűen „függőleges” irányú, azaz az y tengely irányában szóródnak, viszont nem a tengely teljes hosszában.

A trópusi égőv klímáiban (Af, Am és Aw) a pontok ismét „vízszintes” irányban szóródnak. Ezek – néhány pont kivételével – az A' (megatermális) kategóriába esnek. A szavanna (Aw) és az esőerdő (Af), vagy a trópusi monszun (Am) klímák közötti nedvességbeli különbségek azonban egyértelműen észrevehetők. Az Aw klímák D-től C_2 -ig, míg az Af és Am klímák C_2 -től A-ig terjednek. Megjegyzendő, hogy a Thornthwaite (1948) félé kritériumok alapján az Am klíma lehet nedvesebb is, mint az Af klíma. A két típus közötti alapvető különbséget a Thornthwaite (1948) félé képletek harmadik betűjén, a vízellátottság szezonális jellemzésén keresztül tudjuk érzékelni. A monszun

klímák esetében téli vízhiány, míg a trópusi esőerdőknél a csapadékmennyiség jelentéktelen éven belüli eltérése a jellemző.

A pontok legnagyobb területi szóródása (mind vízszintes, mind függőleges irányban) a *C* meleg-mérsékelt klímák esetében tapasztalható. A pontok szóródásában nincs szabályszerűség. A hőellátottság a *C'*₂ és *A'* között, míg a vízellátottság a *D* és *A* között, azaz igen széles határok között szóródik. A *Cs*, a *Cw* és a *Cf* képletű pontok elrendeződésében semmilyen rendszert sem sikerült találnunk. Így pl. a *Cfa* (meleg-mérsékelt klíma egyenletes éven belüli csapadékeloszlással és forró nyárral) és a *Cwa* (meleg-mérsékelt klíma nyári csapadékmáximummal és forró nyárral) képletű klímaállomások az *A'* (megatermális) kategóriában is előfordulnak, jóllehet mindössze négy esetben. Ugyanakkor jogosan feltételezhetjük azt, hogy egy nagyobb adatbázis alkalmazásával az ilyen esetek száma növekedne. A *Cs* klímák (meleg-mérsékelt klíma nyári csapadékminimummal) többnyire a *D* (szemiarid) és a *B*₁ (humid) kategóriák között szóródnak, persze – mint ahogy már említettük – átfedésben a *Cf* és a *Cw* klímákkal. Ugyanakkor a *C* (meleg-mérsékelt klíma) leghidegebb típusa, a *Cfc* (meleg-mérsékelt klíma egyenletes éven belüli csapadékeloszlással és hideg nyárral) klíma a *C'*₂ (mikrotermális) kategóriáig terjed. Megjegyzendő tovább, hogy a *Csb* klíma (meleg-mérsékelt klíma nyári csapadékminimummal és meleg nyárral), s az ismertebb, tipikusan mediterrán *Csa* klíma (meleg-mérsékelt klíma nyári csapadékminimummal és forró nyárral) között markáns különbségek lehetnek, főleg a nedvesség tekintetében. Így pl. találkozhatunk *Csb* klímával a *D* (szemiarid), a *B*₄ (humid) és az *A* (perhumid) kategóriákban is. Ezzel szemben a *Csa* klíma legfeljebb a *B*₁ kategóriáig terjed.

Kiválasztott állomások

Esetvizsgálatainkhoz olyan állomásokat választottunk ki, amelyeknél a Köppen (1936) féle képlet megegyezik, azonban a Thornthwaite (1948) féle képlet első két betűjéből legalább az egyik – mely egyaránt utalhat a termikus, vagy a hidrikus állapotra – markánsan eltér egymástól. Mint már említettük, a képletek jóságát a helyszínt jellemző tipikus vegetáció alapján ítéltük meg. Vizsgálatainkhoz négy-négy meleg-mérsékelt (*Csb*, *Cwa*, *Cfa*, *Cfb*), egy-egy hideg-mérsékelt (*Dfc*) és egy-egy tundra klímájú (*ET*) helyszínt választottunk. A kiválasztott esetek sorszámaikat, helyszíneit és klímaképleteit a 3.2. táblázat tartalmazza. A következőkben példát mutatunk be az említett klímátípusokra.

3.2. táblázat Az esetvizsgálatokhoz kiválasztott állomások Köppen (1936) és Thornthwaite (1948) féle klímaképletei

Sorszám	Állomásnév	Köppen	Thornthwaite
184.	Vancouver, Kanada	Csb	B ₃ B' ₁ sb' ₄
232.	Santiago, Chile	Csb	DB' ₁ sa'
89.	Hongkong, Kína	Cwa	B ₄ A' ₁ ra'
228.	Córdoba, Argentína	Cwa	C ₁ B' ₂ da'
65.	Tbiliszi, Grúzia	Cfa	C ₁ B' ₂ db' ₃
195.	New Haven, Connecticut (USA)	Cfa	B ₃ B' ₁ rb' ₂
15.	Bergen, Norvégia	Cfb	AB' ₁ rb' ₃
64.	Szimferopol, Ukrajna	Cfb	C ₁ B' ₁ sb' ₂
13.	Tromsø, Norvégia	Dfc	AC' ₂ sc' ₂
71.	Khatanga, Oroszország	Dfc	C ₁ C' ₂ sd'
6.	Ivittuut, Grönland	ET	AC' ₂ rb' ₁
188.	Kugluktuk, Kanada	ET	DC' ₁ dd'

Csb klíma – meleg-mérsékelt klíma nyári csapadékminimummal és meleg nyárral

Santiago (szemiarid) és Vancouver (humid) esetében arra voltunk kíváncsiak, hogy regisztrálható-e a Thornthwaite (1948) féle képletekben szereplő nedvességbeli különbség. Vancouver környékén a tipikus vegetáció dús fenyves (3.11. ábra, felső kép). Ezzel szemben Santiago közelében a természetes növénytakarót inkább a cserjés és alacsony fás területek mozaikos elhelyezkedése jellemzi (3.11. ábra, alsó kép).



3. 11. ábra. Vancouver (felső kép) és Santiago (alsó kép) típusos vegetációja

Megjegyzendő, hogy Santiago körzetében a szőlőtermesztés és a borkészítés is jellemző, míg Vancouver esetében ez teljesen elképzelhetetlen. A két Csb képletű helyszín éghajlata tehát inkább különböző, mintsem megegyező.

Cwa klíma – meleg-mérsékelt klíma nyári csapadékmaximummal és forró nyárral

Hasonlóan jelentős hő-, és vízellátottságbeli különbség mutatható ki a Thornthwaite (1948) féle képletekben az argentin Córdoba, valamint Hongkong között. Holdridge (1947) rendszere szerint a potenciális életforma Hongkong esetében a szubtrópusi nedves erdő, míg Córdoba esetében a meleg-mérsékelt száraz erdő. Megfigyelhető-e e különbség a vegetációban? A 3.12. ábra felső képe Hongkong, míg az ábra alsó képe Córdoba körzetének típusos vegetációját szemlélteti. A különbség ebben az esetben is szembeötlő.



3.12. ábra. Hongkong (felső kép) és Córdoba (alsó kép) tipikus vegetációja

Cfa klíma – meleg-mérsékelt klíma egyenletes éven belüli csapadékeloszlással és forró nyárral

A grúz főváros, Tbiliszi, és a connecticuti New Haven Köppen (1936) féle klímaképlete megegyezik. Thornthwaite módszere ezzel szemben a két város között leheletnyi különbségeket tesz, pl. a nedvességi viszonyokban. Ennek megfelelően Tbiliszi vízellátottsága száraz szubhumid (C_1), míg az egyesült államokbeli New Havené erősen humid (B_3). A két település nedvességi viszonyai az őszi és a téli hónapokban különböznek (ez a klímadiagramokról egyértelműen megfigyelhető). A fényképek kiválasztásánál az őszi hónapokra összpontosítottunk, melyek alapján megállapíthatjuk, hogy a vegetációbeli különbségek nem jelentősek (3.13. ábra).



3. 13. ábra. Tbiliszi (felső kép) és New Haven (alsó kép) típusú vegetációja

Cfb klíma – meleg-mérsékelt klíma egyenletes éven belüli csapadékeloszlással és meleg nyárral

Az észak-európai Bergen és a Krim-félszigeten fekvő Szimferopol Thornthwaite (1948) féle képletei között mindössze az első betűt illetően van jelentős eltérés. Bergen vízellátottsága perhumid (A), míg Szimferopolé száraz szubhumid (C_1). Ismét felvetődik a kérdés: érzékelhető-e ez a nedvességbeli különbség a természetes növénytakaróban?



3. 14. ábra. Bergen (felső kép) és Szimferopol (alsó kép) tipikus vegetációja

Valamelyest igen (3.14. ábra), azonban a fő különbség – ez a fényképekről is bizonyos mértékig kimutatható – a földhasználatban jelentkezik. Észak-Európában, így Bergen környékén is a természet „érintetlennek” mondható a kelet-európai viszonyokhoz képest. Erről a tényről a Google Earth szoftver használata révén is meggyőződhetünk. Európa középső és keleti része gyakorlatilag teljesen humán jellegű. A síkvidéki területek igen jelentős részét a mezőgazdaság szolgálatába állították. A műholdképeken pl. kitűnően látszanak a felparcellázott területek.

D_{fc} klíma – hideg-mérsékelt klíma egyenletes éven belüli csapadékeloszlással és hideg nyárral

Az előbbi esethez hasonlóan markáns eltérés jelentkezik a Thornthwaite (1948) féle képlet első betűiben Tromso (Észak-Norvégia) és Khatanga (Oroszország, Észak-szibériai-alföld) között. Tromso vízellátottsága perhumid (A), így a Holdridge szerinti potenciális vegetációja a boreális esős erdő. Ezzel szemben Khatanga vízellátottsága száraz szubhumid (C₁), így természetes növénytakarója a szubpoláris nedves tundra. A kérdésünk: érzékelhető-e a valóságban ez a különbség? A tipikus vegetációról készített képek egyértelműen alátámasztják a képletek alapján tett megállapításainkat (3.15. ábra).



3.15. ábra. Tromso (felső kép) és Khatanga (alsó kép) típusos vegetációja

ET klíma – tundra klíma

Ivittuut az Északi-sarkkörtől délre, Grönland délnyugati csücskében fekszik, míg Kugluktuk az Északi-sarkkörön túl, a Kanadai-ösmasszívumon. Thornthwaite rendszere szerint Ivittuut vízellátottsága perhumid (A), míg Kugluktuké szemiárid (D). Holdridge (1947) rendszere szerint a potenciális életforma Ivittuut esetében a boreális esős erdő, míg a kanadai településnél a szubpoláris nedves tundra. Megállapítható-e a vízellátottságbeli különbség a két helyszín természetes növénytakarójában? Ivittuut esetében nincsenek kiterjedt fenyvesek (3.16a. ábra). A fényképek alapján mind a grönlandi, mind a kanadai település a tundra területek szerves részét képezik. A növénytakaró formájáról – legalábbis „makroskálán” – a nedvességbeli különbségek nem észlelhetők (3.16 ábra).



3.16. ábra. Ivittuut ((a) ábra, felső kép) és Kugluktuk ((b) ábra, alsó kép) tipikus vegetációja

Összegzés

A Lamb (1978) féle adatbázison végzett vizsgálataink alapján röviden a következőket mondhatjuk:

- A módszerek éghajlat-osztályozási képessége arányos a komplexitásukkal. Köppen módszere a legegyszerűbb, ugyanakkor a legdurvább is. A hőellátottságot évi skálán a lehető legegyszerűbb módon, az öt klímaöv megkülönböztetésével jellemzi. E tulajdonsága az ókori görög gondolkodásban gyökerezik. A vízellátottságot évi skálán nem is jellemzi. Ez a módszer leggyengébb eleme! Ez az oka annak, hogy Holdridge és Thornthwaite módszeréhez képest ez a módszer sokkal durvább. Holdridge évi skálán 38, míg Thornthwaite 81 kategóriát képes megkülönböztetni.
- A fentiek miatt a Köppen (1936) féle klímaképletek szóródása jelentős a Holdridge, vagy Thornthwaite évi nedvességi kategóriáinak függvényében. Bizonyos mértékű szóródást tapasztalhattunk a hőellátottsági kategóriák függvényében is, főleg a száraz klímák esetén, a Thornthwaite módszerével kapcsolatban. Azonban nem ez a domináns jelenség, hanem az előbb említett nedvességi kategóriák szerinti szóródás.
- Mivel jelentős nedvességbeli eltérések mutatkoznak egyfelől Köppen, másfelől Holdridge és Thornthwaite klímatiszításai között, teszteltük ezek helyességét a kiválasztott állomásra vonatkozó vegetáció-képek alapján. Összesen 10 állomáspárral foglalkoztunk, melyek Köppen (1936) féle klímaképletei a következők: *Aw*, *BWh*,

Cfa, Cfb, Cwa, Csb, Dfc és ET. Az *Af* és *EF* klímaképletű állomások kimaradtak, mivel ezekben az esetekben egyrészt nem volt szóródás, másrészt a vegetáció-képek alkalmazása nehézkes. A tíz eset közül mindössze két esetben nem volt látható a vegetációképeken a nedvességbeli különbség, nevezetesen 1 *Cfa* és 1 *ET* klíma esetén, amikor a Köppen és Thornthwaite klímaképletei közötti eltérést vizsgáltuk. Megjegyzendő továbbá, hogy a *Csb*, valamint a *Bwh* klímák esetén talált vegetáció-képek közötti különbségek óriásiak. E képek egyértelműen a Thornthwaite (1948), vagy a Holdridge (1947) féle tipizálást igazolják.

3.2 A Kakas féle adatbázis

3.2.1 Módszertani vizsgálatok

E fejezetben a módszerek magyarországi alkalmazásaival foglalkozunk. Köppen és Thornthwaite módszerét már alkalmazták hazánkban, mi ezt más adatokkal és más feltételek mellett tesszük meg. Ugyanakkor Holdridge (1947) módszerét először alkalmazzuk hazánkban. Ezen alkalmazások egyik fő kérdése az, hogy mennyire alkalmasak e módszerek Magyarország klímájának mezoskálán történő jellemzésére? Megemlítendő, hogy e módszereket a kidolgozóik alapvetően a klíma makroskálájú leírására szánták!

Köppen módszere

Hazánk éghajlatának Köppen (1936) féle leírását elsőként Réthly (1933) adta meg. Réthly szerint a Köppen (1936) féle osztályozás alkalmazása hazánkban nehézkes. Nehezményezte a meleg-mérsékelt (*C*) és a hideg-mérsékelt (*D*) éghajlatokkal kapcsolatos határértékeket. Réthly (1933) ugyanakkor célszerűnek látta a -2°C -os határ bevezetését a -3°C -os határ helyett. Továbbá, Köppen eredeti jelöléseit további betűjelekkel egészítette ki, melyek a következők: *x*" - csapadékmaximum júliusban, zivataros esőkkel; *z* - második őszi csapadékmaximum; *e* - a május-augusztusi időszakban a levegő relatív nedvessége nem nagyobb, mint 70%.

A fenti módosításokkal elkészült Köppen (1936) féle térképet a 3.17. ábra mutatja.

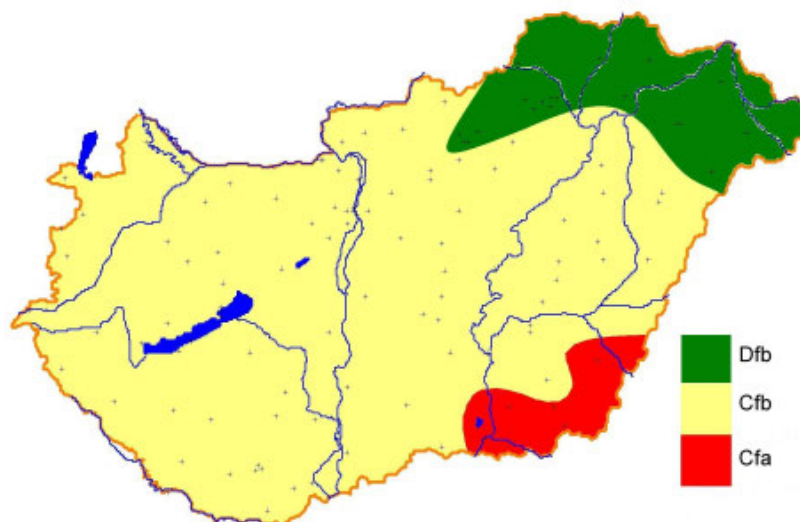


3.17. ábra. Magyarország éghajlata a Köppen (1936) féle osztályozás alapján Réthly (1933) szerint

Eszerint hazánk nagy része az enyhébb telű *C* klímaövbe tartozik, amint azt már Köppen (1936) is megemlíti egy-két magyar állomás adatai alapján. A középhegységek 350-400 m-nél magasabb részei már a hideg-mérsékelt övbe (*D*) esnek, ahol a januári középhőmérséklet alacsonyabb, mint -2°C (Justyák, 1995). A hideg-mérsékelt övbe tartozik – nagy összefüggő területként – az Alföld északkeleti része (Szabolcs-Szatmár-Bereg és Borsod-Abaúj-Zemplén megye) is. A második éghajlati választóvonal a meleg és a forró nyarú területeket elválasztó 22°C -os izoterma. Ez Somogy és Baranya megye déli határáról indul, magába foglalva a Baranyai-dombságot és Villányi-hegységet, majd Szekszárd, Kalocsa, Kiskunfélegyháza, Fegyvernek, Berettyóújfalu irányában halad az ország keleti határáig. Ettől délre a forró nyarú, *a* jelzésű területek találhatók. A Dunántúl túlnyomó részében, valamint az Alföld északi és keleti részein, továbbá az Északi-középhegységben mindenütt *b* jelzésű, hűvösebb nyári klíma az uralkodó (Justyák, 1995). Itt a legmelegebb hónap középhőmérséklete már 22°C alatti. Az *a* és *b* területeket elválasztó vonal egybeesik a nyári félév (az áprilistól szeptemberig tartó tenyészidőszak) $+18^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékleti vonalával. Az *x* betű arra utal, hogy a csapadékmaximum a nyár elején, június körül lép fel. Hazánkban csupán Vas és Zala megyében, valamint az ország északkeleti határvidékén mutatható ki a zivataros esőkből származó júliusi csapadékmaximum (*x*""). A második csapadékmaximum (*z*) jellemző Dunántúl egész területén (Justyák, 1995), kivéve – az imént említett – Vas és Zala megyét. Az *e*-vel jelölt vonal a szárazsági/nedvességi határvonal, melynek átlagos relatív nedvesség-értéke kisebb, mint 70% az Alföld felőli részén a májustól augusztusig tartó időszakban. A Kisalföldön is található egy ilyen szárazabb terület. Köppen hazánkat az ún. kukorica éghajlatú

(*Cfa*) vidékek közé sorolta. Ezeket kora nyári és őszi csapadékmaximumok jellemzik, forró nyárral és száraz utónyárral (Justyák, 1995). Ugyanakkor a 3.17. ábra szerint e klímatispus hazánk területének csak kisebb hányadát alkotja. Inkább a mérsékelt nyárral jellemzett *Cfb* típus az elterjedtebb.

Elkészítettük Magyarország Köppen (1936) féle éghajlat-osztályozását, mely a 3.18. ábrán található.



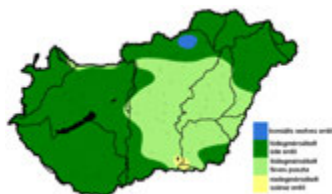
3. 18. ábra. Magyarország éghajlata a Köppen (1936) féle osztályozás és a Kakas (1960) féle adatbázis alapján

Eszerint hazánk éghajlata viszonylag nagyfokú homogenitást mutat. Réthly módosításai ellenére a Réthly (1933) féle térkép és a mi térképünk közötti hasonlóság jelentős. Magyarország jelentős része a meleg-mérsékelt *C* klímaövbbe tartozik, azonban hazánk északkeleti részeiben már a hideg-mérsékelt *D* klímaöv is megjelenik. A *D* klímaövbbe esik a Mátra legmagasabb csúcsainak mindegyike, a Bükk-fennsík egésze, továbbá e két hegység északi lejtői; az Aggteleki-karszt, a Cserehát és a Zemplén; illetve a Bodrogek és Szabolcs-Szatmár-Bereg megye teljes területe. A felsorolt területek mindegyikén az éghajlat a *Dfb* képlettel, azaz az éven belüli egyenletes csapadékeloszlású és meleg nyarú hideg-mérsékelt klímával jellemezhető.

Hazánk többi részén a *Cfa* és a *Cfb* képletekkel jellemezhető klíma található, amelyek egyenletes csapadékeloszlású, forró és meleg nyarú meleg-mérsékelt klímák. A Réthly (1933) féle térképen a 22°C-os izotermavonal „Somogy és Baranya megye déli határáról indul ki magába zárva Baranyát, majd Szekszárd, Kalocsa, Kiskunfélegyháza, Túrkeve, Püspökladány irányában halad kelet felé az ország határára túlra” (Justyák, 1995). A 3.18. ábrán e vonal ehhez képest jócskán délebbre húzódik. A *Df* klíma forró nyarú változata csupán Délkelet-Magyarország határ menti területein jelenik meg. E részleteket a használt adatbázisok határozzák meg.

Holdridge módszere

Magyarország éghajlatát a Holdridge (1947) féle osztályozás alapján a 3.19. ábra szemlélteti.

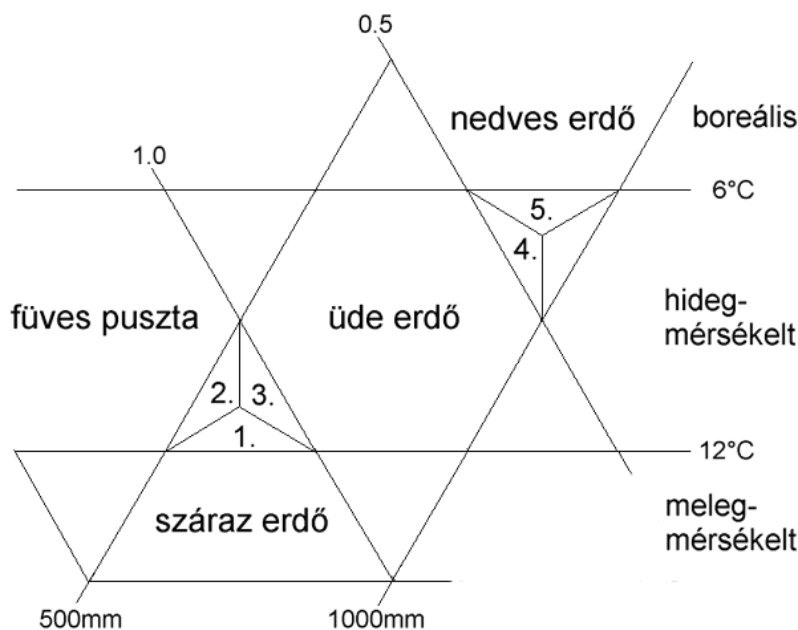


3. 19. ábra. Magyarország éghajlata a Holdridge (1947) féle osztályozás és a Kakas (1960) féle adatbázis alapján

Ez az osztályozás sem mutat sokkal többet Köppen (Réthly, 1933) osztályozásánál. Hazánk területén négy életforma-típus különböztethető meg. Ezek a következők: meleg-mérsékelt száraz erdő (kis arányban), hideg-mérsékelt füves puszta, hideg-mérsékelt üde erdő és a boreális nedves erdő. A meleg-mérsékelt száraz erdő típus csak Szegeden, míg a másik véglet, azaz a boreális nedves erdő mindössze a Bükk-fennsíkon (Bánkút mérőállomás) fordul elő. Ily módon megállapíthatjuk, hogy hazánk legnagyobb részén a hideg-mérsékelt klíma figyelhető meg. Dunától nyugatra, az Északi-középhegységben, Szabolcs-Szatmár-Bereg megye és Hajdú-Bihar megye területén a nedvesebb

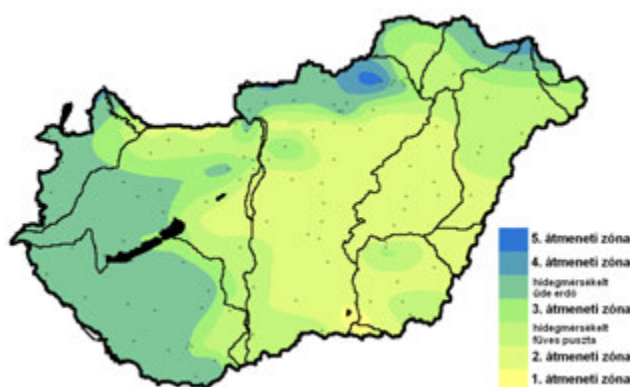
(humid) kategória, azaz az üde erdő a jellemző. Dunától keletre, az Alföld szívében a szárazabb (szubhumid) hidegmérsékelt típus található. Holdridge (1947) rendszere itt a potenciális életformát – a várakozásoknak megfelelően – hidegmérsékelt füves pusztaként határozza meg.

A fentiek alapján tehát megállapíthatjuk, hogy Holdridge rendszere – az eredeti beosztást követve – alkalmatlan Magyarország klímájának mezoskálájú jellemzésére. Ugyanakkor Szelepcsényi és mtsai. (2009a, 2009b) belátták, hogy Holdridge rendszere alkalmassá tehető Magyarország klímájának mezoskálájú jellemzésére az ún. átmeneti zónák definiálásával. Szelepcsényi és mtsai. (2009b) Magyarország területére öt átmeneti zónát jelöltek ki, melyeket a 3.20. ábra szemlélteti.



3.20. ábra. Magyarország területére definiált átmeneti zónák a Holdridge (1947) féle háromszögdiagramban

Az 1. átmeneti zónában a száraz erdő dominál, míg a 2. átmeneti zónában a füves puszták a jellemző. A 3. és 4. átmeneti zónában az üde erdő az uralkodó, az előbbi esetben melegebb, míg utóbbi esetben hűvösebb a klíma. Az 5. átmeneti zónában pedig már a nedves erdő a domináns. A 3.21. ábra az átmeneti zónákkal kiegészített Holdridge (1947) rendszere szerinti éghajlat-osztályozást mutatja.



3.21. ábra. Magyarország éghajlata a módosított, átmeneti zónákkal kibővített Holdridge (Szelepcsényi és mtsai., 2009b) féle osztályozás szerint

A 3.21. ábra interpretációjához először tekintsük át Borhidi (1961) klímazonális vegetáció-térképét (3.22. ábra).

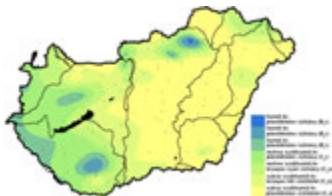


3. 22. ábra. Magyarország klímazonális térképe (Borhidi, 1961), jelölések: A-montán bükkösök öve, B-szubmontán bükkösök öve, C-gyertyános-tölgyesek öve, D-tölgyeserdők öve, E-erdős sztyeppök öve. A térképen az Alföld azonos szárazságú övezeteit jelölő izoxéra-vonalak is fel vannak tüntetve.

Magyarország Gaussen-Walter (Borhidi, 1961) diagramok alapján szerkesztett klímazonális térképe jól mutatja, hogy hazánk területének jelentős részén, így pl. a Sió vonalától nyugatra, a Dunántúli-középhegységben, az Északi-középhegységben, valamint a Nyírségben is a természetes vegetációt lombos erdők alkotják. Az Alföld számottevő területein és a Kisalföldön is az eredeti vegetáció az erdős sztyepp. Varga és mtsai. (2000) szerint az erdős sztyepp átmeneti növényzeti öv a zárt erdő és a sztyepp között. Ebben az övben a többé-kevésbé zárt erdők és az általában száraz termőhelyű gyepek mozaikos elrendeződést mutatnak. Az Alföld növényföldrajzi arculatát azonban az utóbbi évszázadokban inkább a humán, mintsem a klimatikus tényezők alakították. Így a mezőgazdaság térhódítása miatt, valamint a folyószabályozások következményeként az Alföld ezen életforma-típusa visszaszorult napjainkra. Összevetve a 3.21. és a 3.22. ábrákat, megállapíthatjuk, hogy a lombos erdők és az erdős sztyeppek közötti határvonalat – jó közelítéssel – a módosított Holdridge (Szelepcsényi és mtsai., 2009b) rendszer is kijelöli. Holdridge bővített rendszerében (Szelepcsényi és mtsai., 2009b) ez a határvonal a 3. átmeneti zóna és a hideg-mérsékelt füves puszta között húzódik. Az eredeti osztályozás szerint az Alföld középső területein a jellemző vegetációforma a hideg-mérsékelt füves puszta (3.19. ábra), míg a módosított osztályozás szerint (Szelepcsényi és mtsai., 2009b) a füves pusztával határos 2. átmeneti zóna (3.21. ábra) az uralkodó. A 2. átmeneti zónában is a füves puszta jelleg dominál, azonban a csapadék évi összege már meghaladja az 500 mm-t. Itt tehát már egy kissé nedvesebb a klíma a Holdridge által definiált füves pusztához képest. A magyarországi erdős-sztyeppeken, azaz az Alföldön és a Kisalföldön az évi átlagos csapadékösszeg (AP) értéke 500-560 mm, míg az évi biohőmérsékleti átlagok (ABT) 10-11°C között szóródnak. Az évi potenciális evapotranspirációs arány (APETR) értékei 1,1-1,25 közöttiek, így tehát az Alföld klímája inkább humid. A nedvességi karakterisztikákat tovább boncolgatva megfigyelhetjük azt is, hogy a szemariditási index alapján kijelölt 5-ös izoxéra vonal szinte egybeesik a 2. átmeneti zóna és az eredeti hideg-mérsékelt füves puszta között húzódó határvonallal. Előfordulnak azonban eltérések is! Ezt a Gödöllői-dombság példáján szemléltethetjük. Holdridge módosított rendszerében (Szelepcsényi és mtsai., 2009b) a hideg-mérsékelt füves pusztából mintegy szigetként emelkedik ki a Gödöllői-dombság. Gödöllő környékén ugyanis a klíma a 3. átmeneti zóna klímájának felel meg, miszerint a potenciális életforma a hideg-mérsékelt, üde erdő. Borhidi (1961) klímazonális vegetáció-térképén (3.22. ábra) azonban a Gödöllői-dombság beleolvad a szárazabb, nagyobb szemiariditással jellemezhető alföldi tájba. Az is megállapítható, hogy a 3.21. és 3.22. ábrák megfeleltetése a középhegységek és a dombságok esetében még nehezebb. Pl. Dunántúl vegetációját, így klímáját is Borhidi (1961) jóval árnyaltabban jellemzi, mint Holdridge (Szelepcsényi és mtsai., 2009b). Borhidi klímánkat Szentgotthárd környékén montán bükkösként, míg Nagykanizsa térségében gyertyános-tölgyesként jellemzi. Holdridge (Szelepcsényi és mtsai., 2009b) ilyen árnyalt különbségtételre képtelen; az ő módszere alapján mindkét mérőállomás térségében hideg-mérsékelt, üde erdő a potenciális életforma. A két osztályozás viszont közeledik egymáshoz a Bükk-fennsík esetében. Ez hazánk legnedvesebb és leghidegebb területe mindkét módszer alapján (Holdridge szerint (Szelepcsényi és mtsai., 2009b) a boreális nedves erdő, míg Borhidi (1961) szerint a montán bükkös erdő a potenciális életforma). Ezek az eltérések azonban érthetők: Borhidi (1961) Magyarországra, míg Holdridge (1947) az egész Földre vonatkozóan alkotta meg osztályozását.

Thornthwaite módszere

Magyarország éghajlatát a Thornthwaite (1948) féle módszer alapján a 3.23. ábra szemlélteti.



3. 23. ábra. Magyarország éghajlata a Thornthwaite (1948) féle éghajlat-osztályozás és a Kakas (1960) féle adatbázis alapján

Thornthwaite módszere Magyarországon 11 db klímátípust különböztet meg. A térképezésük során azonban csak 7 kombinációt különítettünk el. Ez Holdridge rendszeréhez képest [4 változat az eredeti (Holdridge, 1947) és 7 változat a módosított (Szelepcsényi és mtsai., 2009b) verzióban] még nagyobb változatosságot jelent. A hőellátottságot illetően Thornthwaite (1948) módszere nem differenciál. Hazánk hőellátottsága túlnyomó részt mezotermális (B'_1). Az évi hőellátottság a 125 esetből csupán 5 esetben mikrotermális (C'_2). Ezek rendre a Mátra, a Bükk és a Visegrádi-hegység legmagasabban fekvő mérőállomásai, azaz a Kékestető, Galyatető, Mátraháza, Bánkút és Dobogókő. E hőellátottságbeli homogenitás részben ellentmond a Köppen (1936) és Holdridge (1947) módszerével kapott eredményeknek. Ezek alapján mondhatjuk, hogy Thornthwaite (1948) módszere alkalmatlan Magyarország mezoskálájú hőellátottságának osztályozására.

Thornthwaite (1948) módszere hazánk éghajlatát egyértelműen csak a vízellátottságbeli különbségek alapján osztályozza. Eszerint öt nedvességi kategória különíthető el: a száraz szubhumid (C_1), a nedves szubhumid (C_2), valamint a humid (B_1 , B_2 és B_3) klímák, ha a szárazabbtól a nedvesebb kategóriák felé haladunk. Hazánk legszárazabb területein száraz szubhumid (C_1) viszonyok uralkodnak. Ez az állapot tapasztalható az Alföld jelentős részén, a Kisalföldön, a Vértesben, a Hernád völgyében, a Szerencsi-dombságban és a Taktaközben is. E területeken a víztöbblet jelentéktelen, vagy közepes nagyságú téli víztöbblet. A száraz és a nedves szubhumid klímák (C_1 , C_2) között húzódó választóvonal a Dunántúlon szinte egybeesik a lombos erdők és az erdős sztyeppek között húzódó határvonallal. Ez jól egyezik a 3.21. ábrán látható határvonallal is, amely elválasztja a hideg-mérsékelt füves pusztát, valamint a harmadik átmeneti zónára jellemző üde erdőt. Hangsúlyozzuk ki, hogy – a jó egyezés ellenére – a három módszer egymástól független. Thornthwaite módszere (1948) három klímátípust különít el a Siótól nyugatra fekvő területeken. A nyugati határszáron (Szentgotthárd, Nagykanizsa és Lenti) a klíma humid (B_1), jelentéktelen vízhiánnyal. Baranya déli határvidékén és a Sió-csatorna nyugati oldalán egy sávban a klíma nedves szubhumid (C_2), közepes téli víztöbblettel. Hazánk legnedvesebb területei a Bakony középső részében, a Visegrádi-hegységben, a Börzsönyben, a Mátrában és a Bükk-fennsíkon találhatók. E területeken a klíma humid (B_1 , B_2 és B_3), jelentéktelen vízhiánnyal.

Összehasonlító elemzés

A 3.18., a 3.19. és a 3.23. ábrák alapján a következő megállapításokat tehetjük.

- A módszerek nem alkalmasak hazánk hőellátottsága területi változatosságának jellemzésére. Ennek leírására a „hőellátottsági skála” finomítására lenne szükség. A hőellátottságot illetően Köppen (1936) a hőmérsékletben, míg Thornthwaite (1948) a potenciális evapotranszspirációban gondolkodott. Mindkettőnek megvan az előnye és a hátránya is. A hőmérsékleti skála egyszerű, de talán túlságosan durva a differenciáláshoz. A potenciális evapotranszspirációs skála megalkotása viszont már nehezebb feladat, de talán nagyobb differenciálási lehetőséget is biztosít. E skáláknak mindenképpen „biológiai” vonatkozásúaknak kell lenniük, márcsak azért is, mert biofizikai éghajlat-osztályozási módszerekről van szó.

- A három módszer közül Thornthwaite (1948) módszere bizonyult a legjobbnak hazánk vízellátottsága területi változatosságának a jellemzésére. Ugyanakkor Köppen (1936) módszere teljesen alkalmatlan hazánk mezoléptékű vízellátottságának a leírására. Holdridge (1947) módszere viszont már különbséget tesz a Dunántúl és az Alföld vízellátottsága között. Bizonyos finomításokkal ez az érzékenység akár növelhető is (Szelepcsényi és mtsai., 2009b). Thornthwaite (1948) módszere ugyanakkor 11 nedvességi kategóriát különböztet meg, mely módszer a Dunántúl nedvességi viszonyainak differenciálására is képes. Mindezek ellenére ez a módszer sem kecsegtet eredménnyel ismerve hazánk extrém nedvességi viszonyait, amikor egymáshoz közeli területeken szinte egy időben

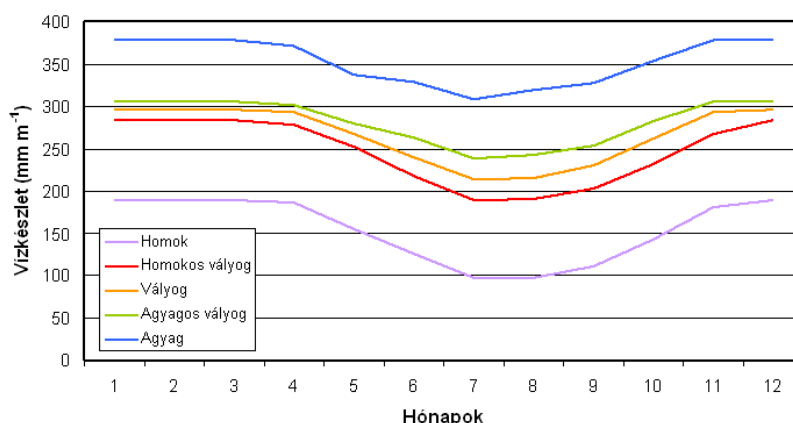
fordul elő víztöbblet is és vízhiány is. Ezek az extrém viszonyok csak akkor lesznek megbízhatóan jellemezhetők, ha a mikro- és mezoléptékű domborzati viszonyokat is számításba vesszük. Véleményünk szerint egy ilyen típusú alkalmazás csak Thornthwaite (1948) módszerének alkalmazásával valósítható meg.

3.2.2 A módosított Thornthwaite féle módszer

E módszer keretében a területi eloszlások mellett az évi menetek elemzésével is foglalkozunk. Ezek részletesebb taglalására az alábbiakban kerül sor.

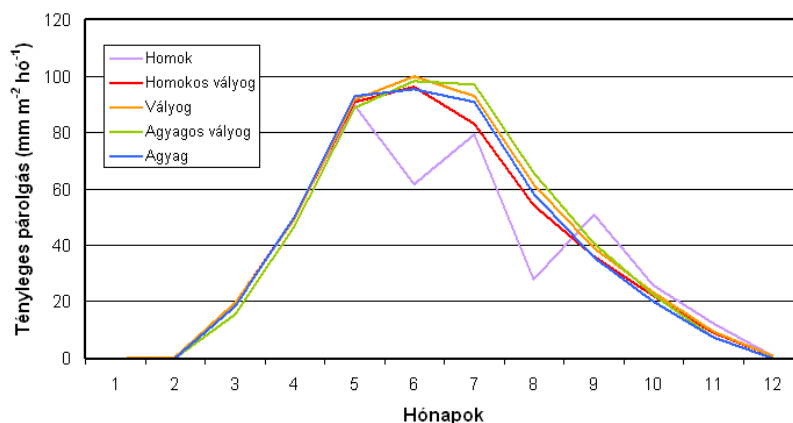
Évi menetek

Elemezzük a szimulált talajvízkészlet és tényleges párolgás átlagos évi menetét külön-külön minden egyes talajtextúrára vonatkozóan! A fenti nagyságok átlagos évi meneteit a homokra, homokos vályogra, vályogra, agyagos vályogra és agyagra rendre 16, 9, 63, 21 és 7 eset alapján kaptuk. A Θ évi menetét az 5 fő fizikai féleségre vonatkozóan a 3.24. ábra tartalmazza.



3. 24. ábra. A talajvízkészlet átlagos évi menete homok, homokos vályog, vályog, agyagos vályog és agyag esetén

A homok és az agyag vízkészletének átlagos évi menete elkülönül a vályogos textúrájú (homokos vályog, vályog és agyagos vályog) talajok vízkészletének átlagos évi menetétől. Az agyag vízkészlete értelemszerűen a legnagyobb, míg a homoké a legkisebb. A homok esetében a minimális értékek $100 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$ körüliek és júliusban, valamint augusztusban jelentkeznek. A vályogos textúrájú talajok esetében a legkisebb értékek $190\text{-}240 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$ körüliek. Az agyag esetében a minimális érték $310 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$ körüli és júliusban jelentkezik. Megjegyzendő, hogy a modell szerint nincs tavaszi maximum; a téli és a tavaszi időszak vízkészlet-értékei megegyeznek.



3. 25. ábra. A tényleges párolgás átlagos évi menete homok, homokos vályog, vályog, agyagos vályog és agyag esetén

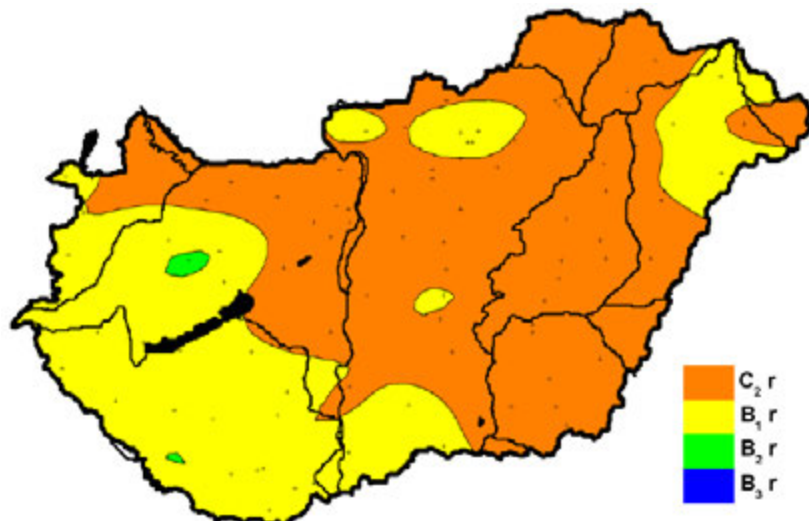
Szembetűnő, hogy az év első öt hónapjában a tényleges párolgás szinte egyáltalán nem érzékeny a talaj fizikai féleségére (3.25. ábra). Júniusban és augusztusban viszont a homok feletti párolgás markánsan kisebb, mint a többi

fizikai féleség esetén. A homokot követően a homokos vályog rendelkezik a második legkisebb ET értékkel. Az ET maximális értékei júniusban jelentkeznek, ekkor ezek – a homok kivételével – megközelítik a $100 \text{ mm} \cdot \text{hónap}^{-1}$ értéket. Érdekes módon a májusi és a júliusi ET értékek nagyjából megegyeznek és értékük $90 \text{ mm} \cdot \text{hónap}^{-1}$ körüli. Továbbá októbertől márciusig az ET havi értékei kisebbek, mint $30 \text{ mm} \cdot \text{hónap}^{-1}$.

Területi eloszlások

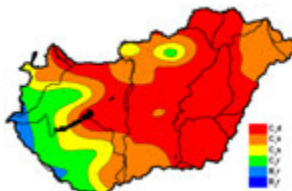
- Klímaképletek

A módosított Thornthwaite (Drucza és Ács, 2006) féle modellel kapott klímaképletek területi eloszlását a 3.26. ábra szemlélteti. Az előzőek alapján csak a nedvességi viszonyokat tükröző betűk (az első és a harmadik betű) eloszlását mutatjuk. Hazánk klímáját ezúttal mindössze három – két betűből álló – betűkombináció jellemzi.



3. 26. ábra. A módosított Thornthwaite (Drucza és Ács, 2006) féle modellel kapott klímaképletek területi eloszlása Magyarországon

E betűkombinációkban a második betű mindig *r*, ami azt jelenti, hogy a nyári, általában szárazabb időszakban nincs vízhiány, vagy ha van is, akkor is csekély. Az első betű B_2 , B_1 vagy C_2 , vagyis e számítások alapján hazánk jó vízellátottságú, így a humid és nedves szubhumid kategóriába tartozó ország. A B_2 kategória Bakony térségében és Somogyban, Dráva közelében fordul elő. Az e kategória kiterjedése nem jelentős. Ugyanakkor a B_1 kategóriához jóval nagyobb terület tartozik. Ez a térség elhúzódik a Dunántúl nyugati és délnyugati, valamint a Duna-Tisza köze déli részeire, az Északi-középhegység területére, valamint hazánk távoli, keleti vidékeire is. E területeknél még nagyobb kiterjedésű a C_2 -es kategória, amely lefödi Kisalföldet, a Dunántúl keleti részét, valamint az Alföldet is a déli területek kivételével. Hazánk klímájának e képe nyilvánvalóan túl dűrva, azaz nem látható a mezoklimák területi változatossága. Felvetődik a kérdés, vajon a módosított Thornthwaite (Drucza és Ács, 2006) féle modellben bevezetett két módosítás közül (a talaj fizikai féleségének beiktatása és a tényleges párolgás parametrizálása) melyiknek tulajdonítható az alapvető változás? A kérdést megválaszolhatjuk, ha a klímaképletek területi eloszlásának meghatározásakor a talajtextúra területi eloszlásának a hatását is számításba vesszük, ugyanakkor a párolgás parametrizálását nem módosítjuk, azaz a tényleges párolgás helyett a Thornthwaite (1948) féle potenciális párolgást becsüljük. Az ily módon kapott klímaképletek területi eloszlását a 3.27. ábrán láthatjuk.



3. 27. ábra. A talajtextúra területi eloszlását számításba vevő Thornthwaite (1948) féle modellel kapott klímaképletek területi eloszlása Magyarországon

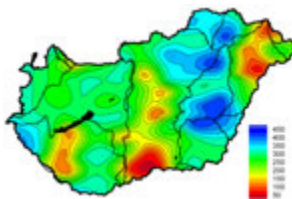
A számítások alapján megállapíthatjuk, hogy a klímaképletek területi eloszlását döntően a párolgás parametrizálása határozza meg. Ugyanis a 3.23. és a 3.27. ábrák közötti különbségek jóval kisebbek, mint a 3.26. és a 3.27. ábra közöttiek. Az ábrák összehasonlítása alapján az is látható, hogy a talaj fizikai félesége területi eloszlásának a klímaképletek területi eloszlására gyakorolt hatása csekély. A döntő kérdés az, hogy maradunk-e a potenciális párolgás parametrizálásánál, vagy sem? Ugyanis a tényleges párolgás beiktatásával a párolgás drasztikusan csökken, ezért a talaj jelentősen nedvesedik, amiért a nedvességi index ingadozásai is mérséklődnek, majd ennek következtében a klímaképletek száma is csökken.

Mindezek alapján nyilvánvaló, hogy éghajlat-osztályozási célokra a tényleges párolgás helyett potenciális párolgást kell becsülni.

- Talajvízkészlet és a tényleges párolgás

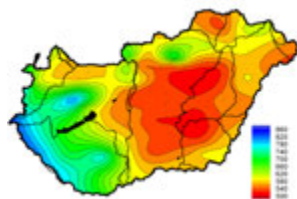
Évi értékek

A talajvízkészlet átlagos évi értékeinek területi eloszlását a 3.28. ábra szemlélteti. E területi eloszlás nagymértékben függ a talaj fizikai féleségétől. Erről akkor győződhetünk meg, ha ezt az ábrát összevetjük a talaj fizikai féleségének területi eloszlását szemléltető ábrával (6. ábra). A legkisebb Θ értékek a homokos, míg a legnagyobbak az agyagos területeken mutathatók ki. Nagy kiterjedésű homokos területek a Nyírségben, a Gödöllői-dombságon, Felső- és Alsó-Kiskunságban, Paks környékén, a Szigetköz déli részén, a Tapolcai-medencében és Belső-Somogyban fordulnak elő. Itt a Θ évi átlagos értéke $50\text{--}150\text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Az agyagos, vagy az agyagos vályog területeken – mint pl. a Tokaj-hegyláncban, a Taktaközben, a Hortobágy északi részén, a Mátrában, a Börzsönyben, a Visegrádi-hegységben, a Dévaványai-síkon, a Hajdúságban, a Nagykunság déli részén és a Békési-sík nyugati részén – a Θ átlagos értéke $350\text{--}450\text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$.



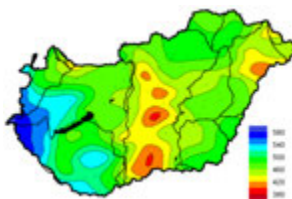
3.28. ábra. Az évi átlagos talajvízkészlet területi eloszlása Magyarországon

A Θ értéke a vályogos területű Zselicben és a Zalai-dombságon $270\text{--}330\text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$. Ez az érték nagyobb, mint más vályogos területeken, és az eltérések az eltérő csapadékmennyiségekre vezethetők vissza (3.29. ábra).



3. 29. ábra. Az évi csapadékösszeg területi eloszlása Magyarországon a Kakas (1960) félé adatbázis adatai alapján

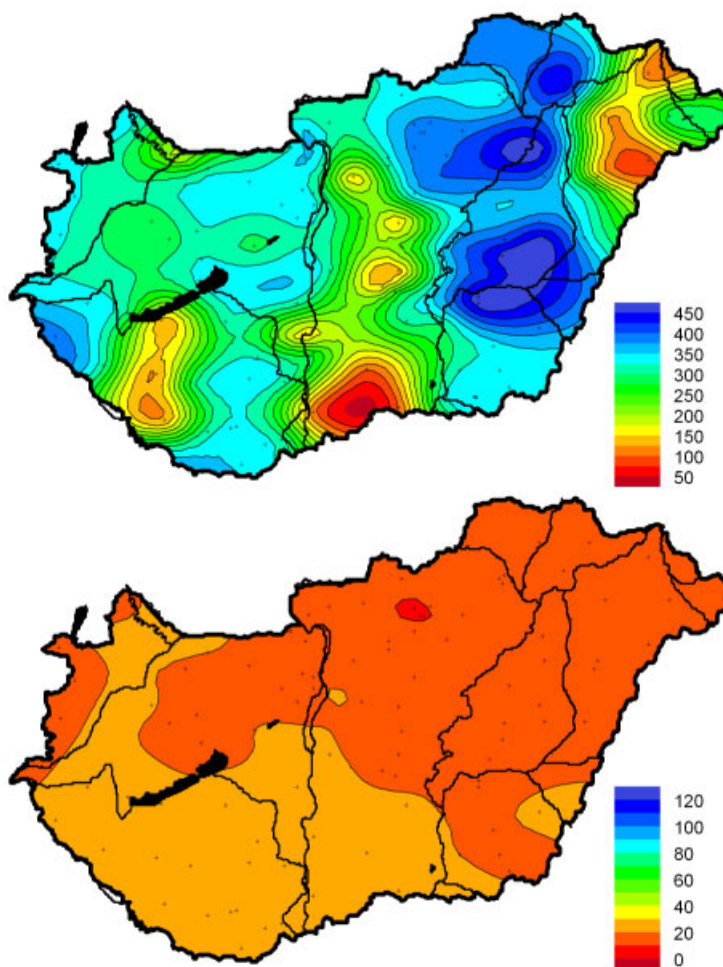
A tényleges párolgás évi összegének területi eloszlását a 3.30. ábra szemlélteti. Ez az eloszlás a talaj vízkészlettől és a csapadéktól függ (3.28. és 3.29. ábra). Az ET minimumok ($380\text{--}440\text{ mm}\cdot\text{év}^{-1}$), valamint az ET nagyobb értékeinek ($500\text{ mm}\cdot\text{év}^{-1}$) területi eloszlása megközelítően egybeesik a Θ szélsőértékeinek területi eloszlásával. A Körös-zug, Jászság és a Csepeli-sík párolgása azonban a csekély csapadék miatt kisebb, mint a hasonló textúrájú területek párolgása. A csapadékosabb nyugati, délnyugati országrészben az ET évi összege $600\text{ mm}\cdot\text{év}^{-1}$ körüli.



3.30. ábra. A tényleges párolgás évi összegének területi eloszlása Magyarországon

*Havi értékek**Március*

A talajvízkészlet és a tényleges párolgás területi eloszlása márciusban rendre a 3.31a. és a 3.31b. ábrán látható.

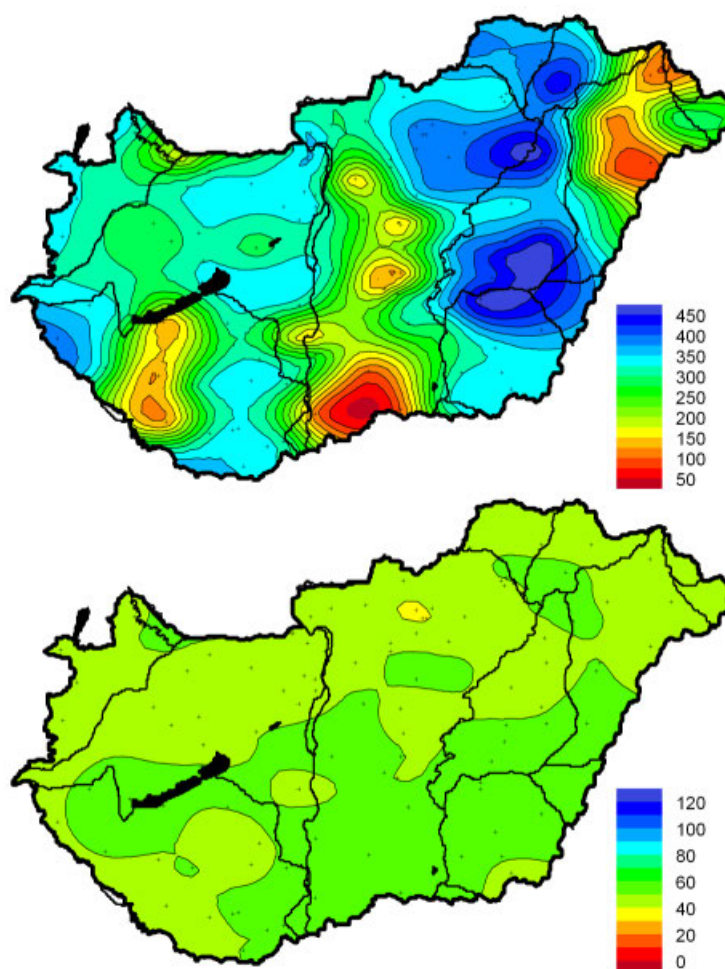


3.31. ábra. A talajvízkészlet ((a) felső kép) és a tényleges párolgás ((b) alsó kép) területi eloszlása márciusban Magyarországon

Az ábrák alapján megállapíthatjuk, hogy a talajvízkészlet területi eloszlása követi a talaj fizikai féleségeinek területi eloszlását. A homokos és agyagos területeken a Θ rendre észrevehetően kisebb (piros szín), illetve nagyobb (kék szín) értékeket vesz fel. E markáns mintázatot azonban az ET területi eloszlása nem követi. Az ET-re némiképp hatással van a T területi eloszlása, mivel ebben a hónapban a Θ telítési, vagy telítés közeli értékén van. Ezen elemek területi eloszlása megtekinthető Magyarország éghajlati atlaszában (Magyarország éghajlati atlasza, 2000). A T területi eloszlása szerint hazánkban a Kisalföld és a Duna-Tisza köze valamelyest melegebbek az ország északkeleti részeihez képest. Ez kimutatható az ET területi eloszlásában is. Az ET területi eloszlása első közelítésben homogénnek vehető, csakúgy, mint a T területi eloszlása.

Április

A talajvízkészlet és a tényleges párolgás területi eloszlását áprilisban Magyarországon rendre a 3.32a. és a 3.32b. ábra szemlélteti.

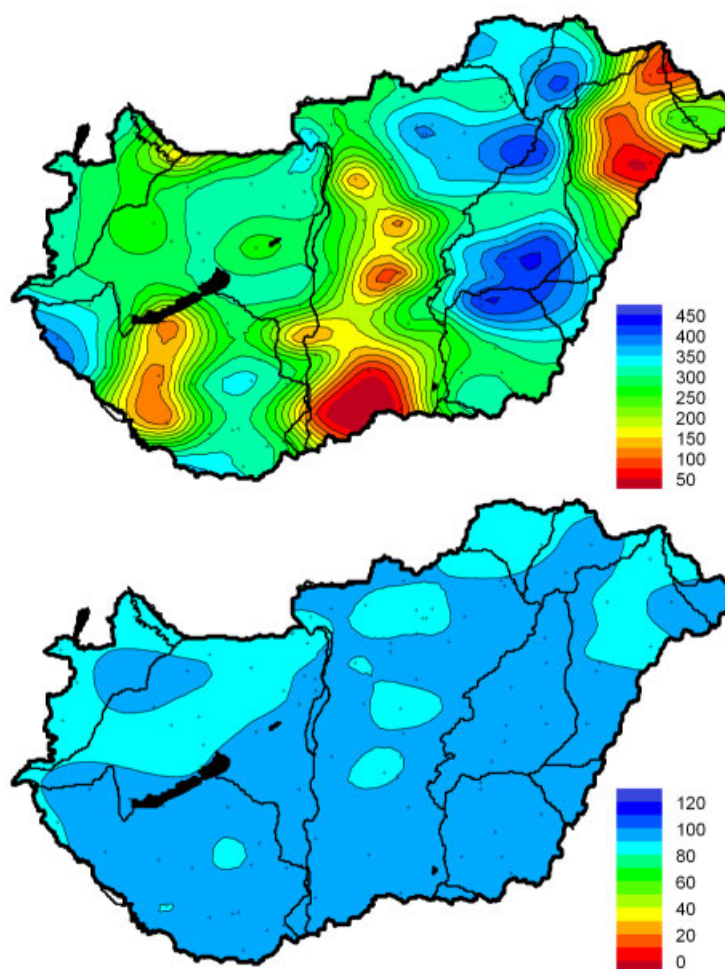


3.32. ábra. A talajvízkészlet ((a) felső kép) és a tényleges párolgás ((b) alsó kép) területi eloszlása áprilisban Magyarországon

Ami a talaj vízkészletet illeti, gyakorlatilag nincs különbség a Θ márciusi és áprilisi területi eloszlása között. A Θ értékei továbbra is jelentősek, így az ET potenciális, azaz csak a légkör állapotától függ. A márciusi hónaphoz hasonlóan, az ET területi eloszlását leginkább a T területi eloszlása határozza meg. A T legnagyobb térbeli változásai inkább észak-dél, mintsem nyugat-kelet irányban figyelhetők meg, így az ET területi eloszlásában is ez a tendencia rajzolódik ki. Ugyanakkor megemlítendő, hogy az ET igen szűk határok között változik: a déli területeken 70-80, míg az északi területeken 40-50 mm·hónap⁻¹ az értéke.

Május

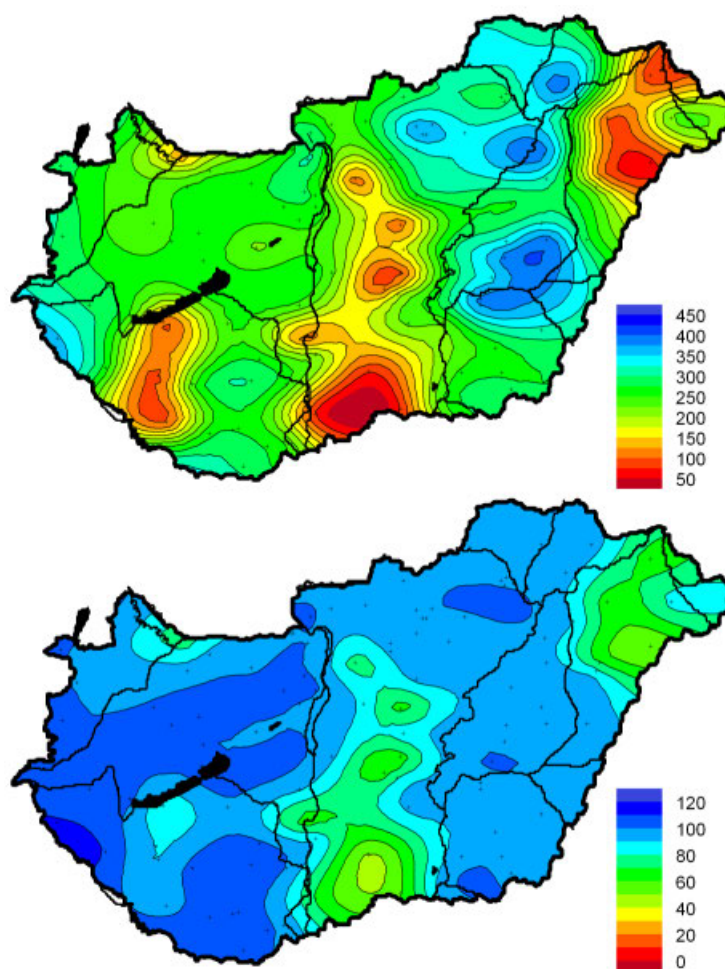
A vizsgált elemek területi eloszlását májusban Magyarországon a 3.33a. és a 3.33b. ábra mutatja. A Θ területi eloszlásának alapmintázata továbbra is hasonlít a márciusi és az áprilisi hónapok Θ -mintázatára, azzal az eltéréssel, hogy a homokos területek markánsabban rajzolódnak ki, valamint e területeken a Θ értékek is kisebbek az előbbi hónapokéihoz képest. A T területi eloszlása nem jellemezhető olyan egyszerűen, mint az előző két hónapban; ha azonban összevetjük az ET és a T területi eloszlásait megállapíthatjuk, hogy ezúttal is igen nagy a hasonlóság közöttük. Az ET értéke egyértelműen kisebb (80-90 mm·hónap⁻¹) a hegyvidéki területeken, míg az ország déli, délkeleti részében valamelyest (90-100 mm·hónap⁻¹) nagyobb. Ezek a különbségek azonban minimálisak, így az ET területi eloszlását májusban is gyakorlatilag homogénnek tekinthetjük, annak ellenére, hogy e hónapban az ET értéke már többnyire meghaladja a P-t.



3.33. ábra. A talajvízkészlet ((a) felső kép) és a tényleges párolgás ((b) alsó kép) területi eloszlása májusban Magyarországon

Június

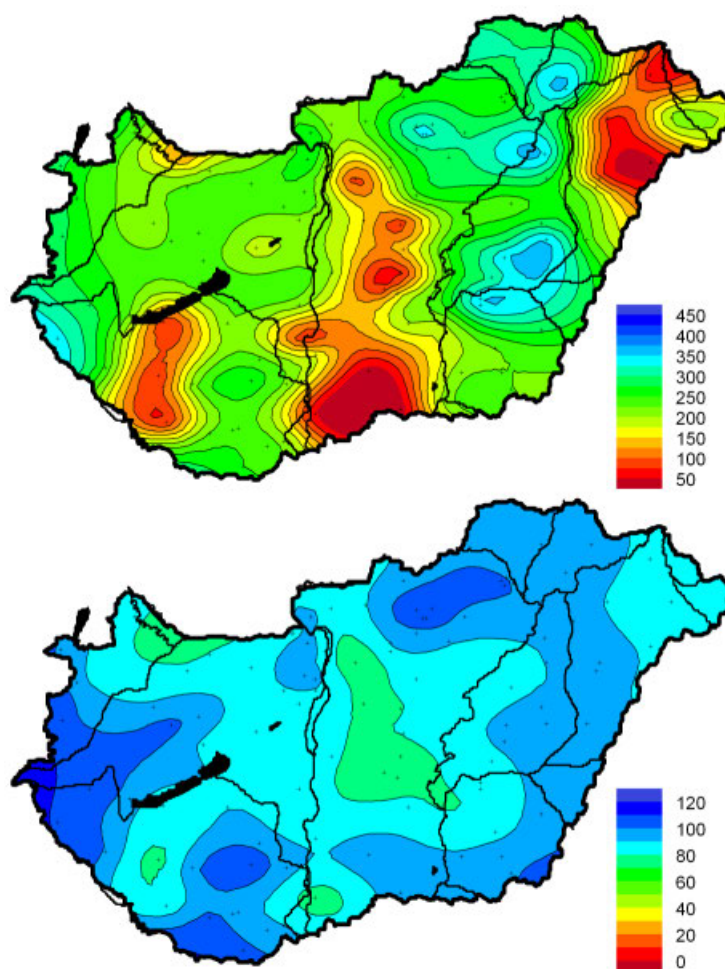
A talajvízkészlet és a tényleges párolgás területi eloszlását júniusban Magyarországon rendre a 3.34a. és a 3.34b. ábra szemlélteti. A Θ területi eloszlásának alaplíneázata megegyezik a májusi hónapban tapasztalt alaplíneázattal, de a homokos és az agyagos területek további szembetűnő szárazodása folytatódik. Ebben a hónapban az ET területi eloszlását a Θ területi eloszlása is meghatározza, azaz a párolgás már nem potenciális, hanem tényleges. Megjegyzendő ugyanakkor, hogy a Θ területi eloszlását jelentős mértékben a P területi eloszlása (Magyarország éghajlati atlasza, 2000) határozza meg. Fontos kiemelni, hogy e hónapban az ET területi eloszlására már nincsen hatással a T területi eloszlása. A legnagyobb ET értékek 120, míg a legkisebb értékek 40-50 mm·hónap⁻¹ körüliek. Az ezekhez tartozó Θ maximális és minimális értékei rendre 350 és 50 mm·m⁻¹ körüliek.



3. 34. ábra. A talajvízkészlet ((a) felső kép) és a tényleges párolgás ((b) alsó kép) területi eloszlása júniusban Magyarországon

Július

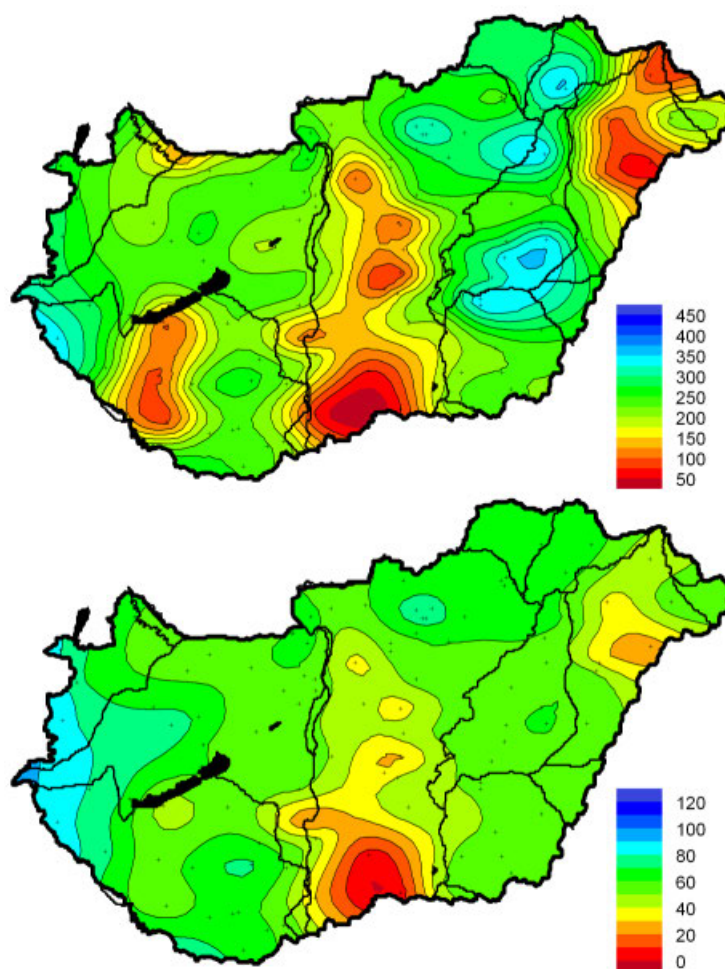
A talajvízkészlet és a tényleges párolgás területi eloszlását júliusban Magyarországon rendre a 3.35a. és a 3.35b. ábra mutatja. A Θ területi eloszlásán továbbra is egyértelműen látható a talaj fizikai félesége területi eloszlásának a hatása. A legkisebb Θ értékek homok esetében $50 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$ alattiak, míg a legnagyobb értékek agyag esetében $350 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$ körüliek. Ezek az adatok a talaj egyértelmű szárazodására utalnak. Így, a P területi eloszlásának a hatása erősödik az ET területi eloszlására. Ez a Dunántúl nyugati területein, főleg a Zalai-dombságban egyértelműen látható. Ezeken a területeken az ET elérheti akár a $120 \text{ mm} \cdot \text{hónap}^{-1}$ értéket is.



3.35. ábra. A talajvízkészlet ((a) felső kép) és a tényleges párolgás ((b) alsó kép) területi eloszlása júliusban Magyarországon

Augusztus

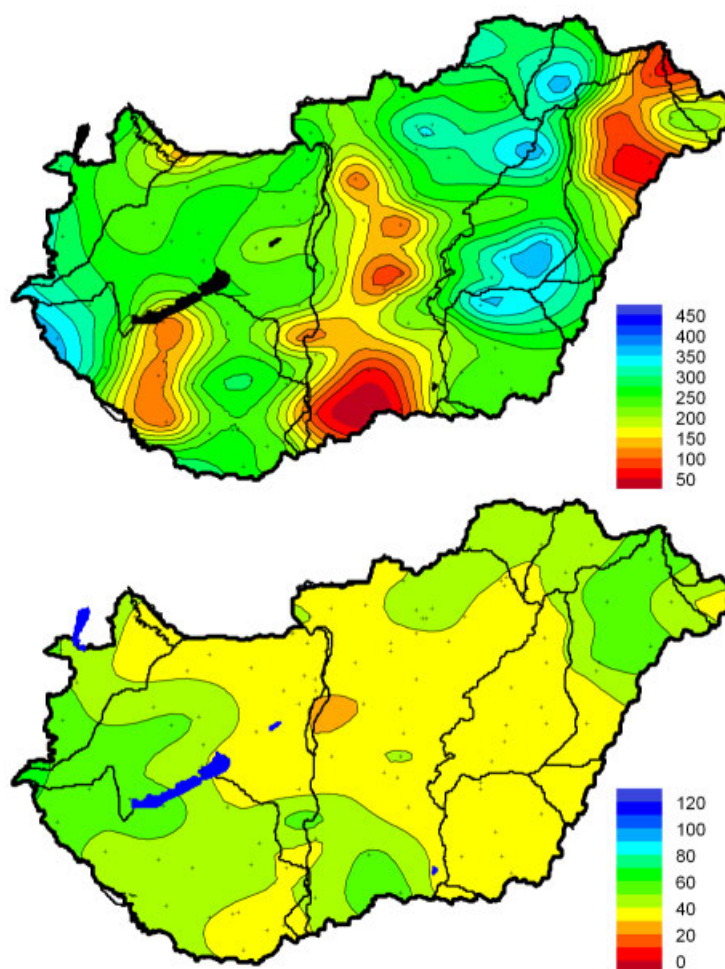
A Θ és az ET területi eloszlása augusztusban Magyarországon a 3.36. ábrán látható. A Θ területi eloszlása gyakorlatilag változatlan az előbbi hónaphoz képest, a szárazodás mértéke azonban valamelyest csökkent. A P területi eloszlásának hatása az ET területi eloszlására azonban erősödött a júliushoz képest. E hatás a Dunántúl mellett egyértelműen tapasztalható a Mátra, a Bükk, a Zempléni-hegység, valamint a Szatmári-síkság térségében is. Ezeken a területeken – a nagyobb csapadékmennyiség következtében – az ET $60\text{--}70\text{ mm}\cdot\text{hónap}^{-1}$ körüli.



3.36. ábra. A talajvízkészlet ((a) felső kép) és a tényleges párolgás ((b) alsó kép) területi eloszlása augusztusban Magyarországon

Szeptember

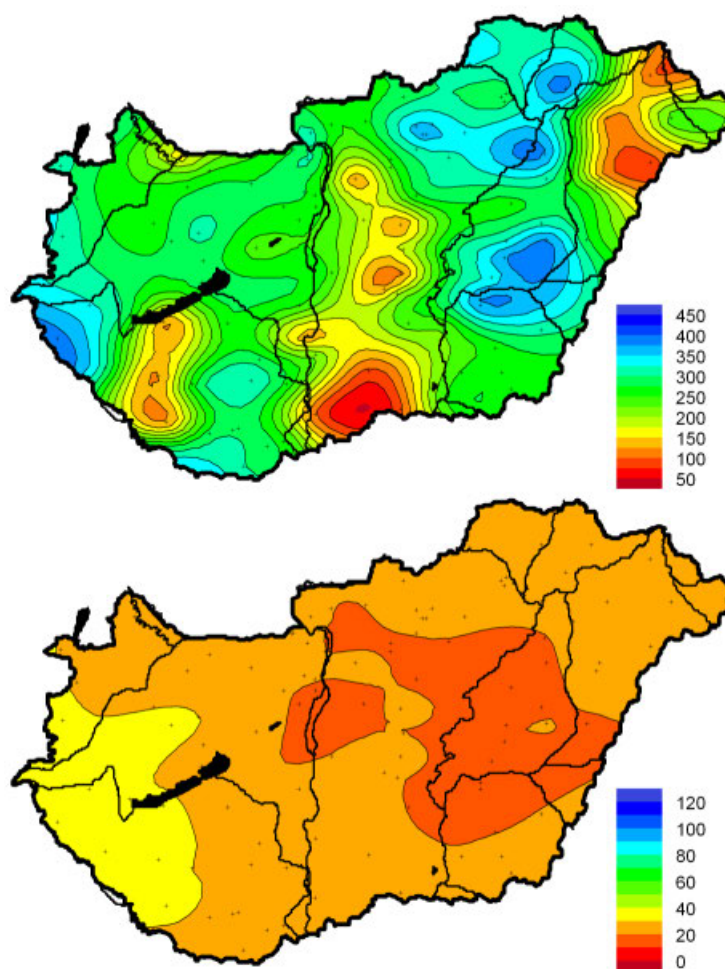
Az e hónapra vonatkozó területi eloszlásokat a 3.37. ábra mutatja. A Θ területi eloszlása gyakorlatilag ugyanolyan, mint augusztusban. A homokos és az agyagos területek továbbra is egyértelműen felismerhetők. A csapadék ugyan kisebb, mint augusztusban, de területi eloszlásának hatása az ET területi eloszlására egyértelműen látható. Sőt, e hatás a Kárpátaljával határos területeken is észrevehető. A Körös és a Berettyó térségében a P értéke igen kicsi (40 mm körüli vagy az alatti), de mivel ott agyagos vályog textúrájú a talaj, az ET értéke 40-50 mm·hónap⁻¹. A korábbi hónapokéihoz hasonlóan, a P hatása az ET-re a Zalai-dombság térségében a legerősebb.



3. 37. ábra. A talajvízkészlet ((a) felső kép) és a tényleges párolgás ((b) alsó kép) területi eloszlása szeptemberben Magyarországon

Október

Az e hónapra vonatkozó területi eloszlásokat a 3.38. ábra szemlélteti. A Θ területi eloszlása e hónapban is leképezi a talaj fizikai félesége területi eloszlásának legfontosabb tulajdonságait. Így pl. a Θ értékei alapján továbbra is egyértelmű a homokos és agyagos területek elkülönülése. Az ET területi eloszlásának legfőbb tulajdonságait azonban a P területi eloszlása határozza meg. A P értékei alapján október a legszárazabb hónapunk. Ily módon a legnagyobb P értékek $40 \text{ mm} \cdot \text{hónap}^{-1}$ körüliek, s ezek a Bakonyban és a Zalai-dombság térségében jelentkeznek. A legkisebb értékek Békés és Nagykunság térségében fordulnak elő, melyek akár $30 \text{ mm} \cdot \text{hónap}^{-1}$ értéknél is kisebbek lehetnek. E mintázat egyértelműen látszik az ET területi eloszlásában is. A Zalai- és a Vasi-dombság térségében az ET értéke $30\text{-}40 \text{ mm} \cdot \text{hónap}^{-1}$, míg a Nagykunságban $10\text{-}20 \text{ mm} \cdot \text{hónap}^{-1}$.



3.38. ábra. A talajvízkészlet ((a) felső kép) és a tényleges párolgás ((b) alsó kép) területi eloszlása októberben Magyarországon

Összegzés

A módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle modellel kapott eredményeket röviden a következőképpen összegezzük:

- A módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle modell alkalmatlan Magyarország mezoklimáinak osztályozására. Elemzéseinkben utaltunk ennek okaira is. Thornthwaite (1948) példáján megmutattuk, hogy a potenciális párolgást becslő mezoklíma-osztályozások jobbak, mint a tényleges párolgás becslésén alapuló mezoklíma-osztályozások.
- A módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle modellel kapott ET és Θ értékek elfogadható határok között változtak a tenyészidőszakban Magyarországon. A Θ területi változatosságában egyértelműen felismerhető a talaj fizikai félesége területi eloszlásának hatása. E hatás kimutatható az ET évi értékeinek területi eloszlásában is. Az ET havi értékeinek területi eloszlásában a talaj fizikai félesége területi eloszlásának a hatása mellett a P és a T területi eloszlásának a hatása is meállapítható. A T hatása tavasszal (március, április és május), míg a P hatása nyáron és az ősz kezdetén (július, augusztus, szeptember és október) érvényesül.
- Eredményeink alapján az is nyilvánvaló, hogy a talaj fizikai féleségére vonatkozó információ a Θ becslése szempontjából igen fontos, míg ezen információ a mezoklimák osztályozásánál – főleg az előbbi esethez képest – jóval elhanyagolhatóbb.
- Mindezek alapján belátható, hogy a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle modell nem mezoklíma-osztályozásra, hanem agroklimatológiai elemzésekre használandó.

3.3 Kérdések és feladatok

1. Rajzoljuk be az *Af*, *Aw*, *Am*, *BS* és a *BW* klímaképletek megközelítő helyeit a P-T diagramba!
2. Rajzoljuk be a *BS*, *BW* és az *ET* klímaképletek megközelítő helyeit a P-T diagramba!
3. Rajzoljuk be a Holdridge módszerében használt trópusi, szubtrópusi, meleg-mérsékelt és hideg-mérsékelt szélességi öv kategóriák megközelítő helyeit a P-T diagramba!
4. Melyik a Thornthwaite (1948) módszerében használt legkisebb hőellátottsági kategória (név és jelölés), ami előfordul a Lamb-féle adatbázisban?
5. Tekintsük a módosított Köppen rendszerrel kapott klímaképletek P-T diagramon belüli területi eloszlását. Mely klímaképlet esetén a legnagyobb, illetve a legkisebb az évi csapadékösszeg? Mely klímaképlet esetén a legnagyobb, illetve a legkisebb az évi átlaghőmérséklet?
6. Rajzoljuk be a módosított Köppen (1936) féle klímaképletek megközelítő helyeit a Holdridge-féle klasszifikáció nedvességi és hőmérsékleti kategóriái szerint! Mely klímaképlet szóródása a legnagyobb, illetve a legkisebb?
7. Válasszunk ki két olyan *ET* klímaképletet a 3.4. ábráról, melyek Holdridge (1947) féle nedvességi és hőmérsékleti kategóriái különböznek! Hasonlítsuk össze a két állomás környékén lévő tipikus vegetációt az éghajlat-osztályozások jóságának megítélése végett!
8. Válasszunk ki két olyan *BW* klímaképletet a 3.4. ábráról, melyek Holdridge (1947) féle nedvességi és hőmérsékleti kategóriái különböznek! Hasonlítsuk össze a két állomás környékén lévő tipikus vegetációt az éghajlat-osztályozások jóságának megítélése végett!
9. Rajzoljuk be az *ET* és a *BW* klímaképletek megközelítő helyeit a Thornthwaite (1948) féle klímaképlet első két betűjének függvényében!
10. Válasszunk ki két olyan *ET* klímaképletet a 3.10. ábráról, melyek Thornthwaite (1948) féle betűkombinációi különböznek! Hasonlítsuk össze a két állomás környékén lévő tipikus vegetációt az éghajlat-osztályozások jóságának megítélése végett!
11. Válasszunk ki két olyan *BW* klímaképletet a 3.10. ábráról, melyek Thornthwaite (1948) féle betűkombinációi különböznek! Hasonlítsuk össze a két állomás környékén lévő tipikus vegetációt az éghajlat-osztályozások jóságának megítélése végett!
12. Hogyan jellemezte Köppen hazánk éghajlatát? Hasonlítsuk össze ezt a jellemzést a Kakas (1960) féle adatbázis alapján kapott Köppen (1936) féle klímaképletek területi eloszlásával, ami a 3.18. ábrán látható!
13. Hasonlítsuk össze a 3.18. (Köppen osztályozása) és a 3.19. (Holdridge osztályozása) ábrákat, a rajtuk lévő jelmagyarázatokat! Mi az alapvető különbség közöttük?
14. Hol található hazánk legnedvesebb és leghidegebb területe Holdridge (Szelepcsényi és mtsai., 2009b) és Borhidi (1961) szerint? Hogyan nevezi ezt a területet Holdridge, valamint Borhidi?
15. Hogyan jellemezhető hazánk hőellátottságának területi eloszlása Thornthwaite (1948) szerint? Viszonyítsuk ezt Köppen és Holdridge osztályozásaihoz!
16. Hogyan jellemezhető hazánk vízellátottságának területi eloszlása Thornthwaite (3.23. ábra) szerint? Viszonyítsuk ezt Köppen és Holdridge osztályozásaihoz!
17. Vegyük szemügyre a 2.1. táblázatot és a 3.24. ábrát! Jellemezzük a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle modellel kapott talajvízkészlet nyári és tavaszi értékeit a 2.1. táblázatban szereplő számokhoz képest homok és vályog esetén!
18. Mely értékek körül változnak a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle modellel kapott tényleges párolgás értékek nyáron?

19. Vessük össze a 3.23. (Thornthwaite módszere) és a 3.26. (a módosított Thornthwaite-féle modell) ábrákat! Melyik az egyszerűbb? Melyik ábra mondható jobbnak? Az ábrák összevetéséből és a 3.27. ábra ismerete alapján milyen konklúziót vontunk le?
20. Vessük össze a 2.5. és a 3.28. ábrákat! Jellemezzük a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle modellel kapott talajvízkészlet évi értékeinek területi eloszlását!
21. Vessük össze a 2.5., a 3.29. és a 3.30. ábrákat! Jellemezzük a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle modellel kapott tényleges párolgás évi összegeinek területi eloszlását!
22. Jellemezzük a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle modellel kapott talajvízkészletnek és a tényleges párolgásnak a területi eloszlását Magyarországon egy tavaszi hónapban!
23. Jellemezzük a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle modellel kapott talajvízkészletnek és a tényleges párolgásnak a területi eloszlását Magyarországon egy nyári hónapban!
24. Jellemezzük a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle modellel kapott talajvízkészletnek és a tényleges párolgásnak a területi eloszlását Magyarországon egy őszi hónapban!
25. Vessük össze és jellemezzük a módosított Thornthwaite (Ács és mtsai., 2007) féle modellel kapott, márciusra és októberre vonatkozó talajvízkészletnek és a tényleges párolgásnak a területi eloszlását Magyarországon!

Felhasznált irodalom

- Ács, F., Breuer, H., és Szász, G.. 2007. *A tényleges párolgás és a talaj vízkészlet becslése tenyészidőszakban*. Agrokémia és Talajtan. Vo. 56. 217-236.
- Borhidi, A.. 1961. *Klimadiagramme und Klimazonale Karte Ungarns*. Eötvös Loránd Tudományegyetem Évkönyve. Vo. 4. 21-50.
- Dobosi, Z. és Felméry, L.. 1994. *Klimatológia*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. 500.
- Drucza, M. és Ács, F.. 2006. *Relationship between soil texture and near surface climate in Hungary*. Időjárás. Vo. 110. No.2. 135-153.
- Holdridge, L.R.. 1947. *Determination of world formulations from simple climatic data*. Science. Vo. 105. 367-368.
- Justyák, J.. 1995. *Klimatológia*. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen. 227.
- Kakas, J.. 1960. *A lehetséges évi evapotranszspiráció. Az évi vízfölösleg. Az évi vízhiány*. In: *Magyarország Éghajlati Atlasza*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 46/2-4 térkép.
- Köppen, W.. 1936. *Das geographische System der Klimata [in: Handbuch der Klimatologie, Eds. W. Köppen und R. Geiger, Band 1, Teil C]*. Borntraeger, Berlin. 44.
- Mersich, I., Práger, T., Ambrózy, P., Hunkár, M., és Dunkel, Z.. (szerk.). 2000. *Magyarország éghajlati atlasza*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest. 107. ISBN 963 7702 830.
- Péczy, Gy.. 1979. *Éghajlattan*. Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest. 336. ISBN 963 17 4411 6.
- Réthy, A.. 1933. *Kísérlet Magyarország klímaterképének szerkesztésére a Köppen-féle klímabeosztás értelmében*. Időjárás. IX évf.. 105-115.
- Szelepcsényi, Z., Breuer, H., Ács, F., és Kozma, I.. 2009a. *Biofizikai klímaklasszifikációk. 1. rész: a módszerek bemutatása*. Léggör. 54 évf.. 3. szám. 21-27.
- Szelepcsényi, Z., Breuer, H., Ács, F., és Kozma, I.. 2009b. *Biofizikai klímaklasszifikációk. 2. rész: magyarországi alkalmazások*. Léggör. 54 évf.. 4. szám. 18-24.

- Thornthwaite, C.W.. 1948. *An approach toward a rational classification of climate*. Geogr. Review. XXXVIII. 55-93.
- Varga, Z., Borhidi, A., Fekete, G., Debreczy, Zs., Bartha, D., Bölöni, J., Molnár, A., Kun, A., Molnár, Zs., Lendvai, G., Szofridt, I., Rédei, T., Facsar, G., Sümegi, P., Kósa, G., és Király, G.. 2000. *Az erdőssztyepp fogalma, típusai és jellemzésük. [in: Molnár, Zs. és Kun, A. (eds.): Alföldi erdőssztyepp-maradványok Magyarországon]*. WWF Magyarország, Budapest. 7-19. ISSN 1216-2825.

4. fejezet - Alkalmazások

Éghajlatváltozás mindig volt, mindig lesz, annak ellenére a „globális melegedés” jelensége¹ korunk egyik legnagyobb környezeti problémája. E bonyolult folyamat több tényezőtől függ, többek között a szárazföldi felszín² és a légkör kölcsönhatásától. E kölcsönhatás tanulmányozása az IGBP (International Geosphere- Biosphere Programme) nemzetközi tudományos program tárgya. A tudomány felismerte, hogy e kölcsönhatás főszereplője a vegetáció.

Manapság már számos éghajlat-vegetáció modellel rendelkezünk. E modellekben a vegetáció lehet dinamikus (pl. Overpeck et al., 1991; Smith et al., 1992; Melillo et al., 1993; Haxeltine and Prentice, 1996; Foley et al., 1998; Goudriaan et al., 1999), azaz időben változó, illetve statikus, azaz időben állandó (pl. Köppen, 1936; Holdridge, 1947; Budyko, 1956; Box, 1981; Prentice et al., 1992; Neilson et al., 1992; Lenihan and Neilson, 1993; Tchekakova et al., 1993, 1994; Neilson, 1995). Értelmszerűen a statikus modellek a dinamikus modelleknél egyszerűbbek. A legegyszerűbb statikus modellek az ún. *biofizikai éghajlat-osztályozási* modellek. Az egyszerűségük egyrészt előny, másrészt hátrány is; népszerűségüket azonban alapvetően az eredményeik vizualizálhatóságának köszönhetik (Jylhä et al., 2010). Ugyanis az éghajlat-változás térben és időben lejátszódó folyamatairól – akár csak néhány térkép, vagy a térképek kisebb-nagyobb sorozatának videolejátszása alapján – tényszerűen meggyőződni mindig látványos és káprázatos élmény. Nyilvánvalóan azért, mert az egyén által tapasztalható folyamatok tér- és időskálája nem összevethető³ az éghajlat-változás folyamatainak tér- és időskálájával.

E fejezetben Köppen, Holdridge és Thornthwaite módszereinek olyan globális és regionális alkalmazásaival ismerkedünk meg, melyek e jövőbeni melegedés folyamatának megismerésére összpontosítottak. A regionális alkalmazások mindegyike Magyarországra, vagy a Kárpát-medencére vonatkozik. Az eredmények ismertetése mellett, bemutatjuk majd a modellfuttatások fajtáit és a használt adatbázisokat, valamint az adott alkalmazással kapcsolatos tudományos kutatások előzményeit is.

4.1 A jövőbeni éghajlat-változás Köppen tükrében

4.1.1 Előzmények

Manabe és Holloway (1975) elsők között használták Köppen (1936) módszerét saját GCM-eredményeik (Global Circulation Model) verifikálására. A 20. század éghajlatát Köppen módszerével Fraedrich et al. (2001), valamint – csupán Európára összpontosítva – Gerstengarbe és Werner (2009) tanulmányozták. Köppen és Geiger (Geiger, 1954) módszerének viszonylag új alkalmazásai közé tartoznak Kottek et al. (2006), valamint Peel et al. (2007) tanulmányai is. Kottek és munkatársai az 1951-2000 közötti időszak hőmérséklet és csapadék adatait használták. A térképeket, és az adatokat a <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/> c. weboldalon tették közzé. Ezeket az eredményeket az állattanban, a parazitológiában és az egészségügyben is felhasználták (Diaz et al., 2007; Lloyd et al., 2007). Meteorológusok is érdeklődtek az eredmények iránt. Mizoguchi et al. (2009) az ázsiai mikrometeorológiai fluxus-mérések áttekintése során használta őket, míg Zanobetti and Schwartz (2009) a légszennyezés és az elhalálozás közötti kapcsolat vizsgálata során alkalmazta azokat. Utescher et al. (2009) tanulmányában paleoklimatológiai alkalmazással találkozhatunk, amikor a növényi fossziliák korához tartozó éghajlatot becsülték. Kottek et al. (2006) eredményeit a legújabb földrajzkönyvekben (Raw, 2008; Kuttler, 2009) is felhasználták. Kottek et al. (2006) munkájának folytatásaként értelmezhető Rubel and Kottek (2010) cikke is, melyben az 1901-2100 közötti időszakban zajló éghajlat-változást vizsgálták a Köppen-Geiger (Geiger, 1954) féle

¹E jelenség lényege az, hogy a levegő melegszik a földfelszín közelében az emberi kibocsátásból származó üvegházhatású gázok koncentrációjának növekedése miatt. E folyamat velejárója az is, hogy a felszín közeli hőmérséklet-növekedés mellett egy sztratoszférában zajló hőmérséklet-csökkenés is tapasztalható.

²A szárazföldi felszínt kőzetek, víz, csupasz talaj és vegetáció alkotja, ezek tulajdonságai merőben különböznek, de a legspecifikusabb tulajdonságokkal mindenféleképpen a vegetáció rendelkezik.

³Őseink – többek között – éppen azok nem összevethetősége miatt tisztelték az időjárás és az éghajlat erőit. Őseink tudatában voltak parányi mivoltunknak.

éghajlat-osztályozás tükrében. Ez eddig Köppen módszerének egyik legkörültekintőbb alkalmazása, ezért az alábbiakban a használt módszertant és a kapott eredményeket részletesen be is mutatjuk⁴.

A globális skálájú alkalmazások mellett nagyobb felbontású regionális skálájú alkalmazások is vannak. A nagyobb felbontás ugyanis nélkülözhetetlen a klíma regionális skálájú térbeli változékonyságának a megállapításához. Ilyen tanulmányok közé sorolható pl. Diaz and Eischeid (2007), valamint Fábrián and Matyasovszky (2010) tanulmánya is. Ez utóbbival a következőkben még részletesebben foglalkozunk.

4.1.2 Rubel és Kottek (2010) cikkének ismertetése

Rubel and Kottek a $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ felbontású rácshálózatot használták. A 20. századra vonatkozó havi léptékű hőmérséklet és csapadék adatokat két forrásból szerezték be. A hőmérséklet adatokat a CRU TS 2.1 adatbázisból vették, ami a Kelet-Angliai Egyetem Éghajlatkutató Osztályának⁵ ismert terméke (Mitchell and Jones, 2005). A csapadék adatokat a Német Meteorológiai Szolgálat keretében működő Globális Csapadékklimatológiai Központ⁶ állította rendelkezésükre. A tanulmányban a GPPC-és reanalízis adatok 4. verziója került felhasználásra (Fuchs, 2008). Ezek a hőmérséklet és csapadék adatok az 1901-2002 közötti időszakot ölelik fel. A 2003-2100 közötti időszakra vonatkozó hőmérséklet és csapadék adatokat a Tyndall Éghajlatváltozás Kutató Központ⁷ bocsátotta rendelkezésükre biztosítva a TYN SC 2.03 adatbázishoz való hozzáférést (Mitchell et al., 2004). Az adatbázis négy emisszió Szenárió⁸ (A1FI, A2, B1 és B2) alapján és öt GCM-modell (HadCM3⁹, NCAR-PCM¹⁰, CSIRO2¹¹ és ECHam4¹²) segítségével kapott 20 GCM-futtatás eredményeit tartalmazza. A használt hőmérséklet és csapadék adatokat az öt GCM-futtatás hőmérséklet és csapadék adatainak minden egyes Szenárióra külön-külön történő ensemble átlagolásával állították elő. A hőmérséklet és csapadék adatokból 25 éves átlagokat képeztek, így a 200 éves időszakra minden egyes Szenárióra vonatkozóan összesen 176 klímaterképet készítettek. E térképek a <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/> című weboldalon megtekinthetők. A cikk az A1FI Szenárió adatai alapján kapott, s az 1901-1925 közötti (1. ábra), illetve a 2076-2100 közötti (2. ábra) időszakra vonatkozó klímaterképeket tartalmazza. A szerzők a térképek vizuális összehasonlításával nem is foglalkoztak, ezért ezek legszembeötlőbb eredményeit röviden összefoglaljuk.

A legmarkánsabb éghajlat-változások értelemszerűen a Föld „hidegebb” övezeteiben, nevezetesen Észak-Kanadában, Grönlandon, Izlandon, Oroszországban a Barents-tenger, Laptev-tenger és a Kelet-szibériai-tenger parti sávjában, Tibetben, valamint az Andok hegységrendszer magas lejtőin és fennsíkjain figyelhetők meg. Markáns változások tapasztalhatók a Föld egyes „melegebb” régióiban is, azaz Indiában, Indonéziában, Ausztráliában, Braziliában, valamint az Egyesült Államoknak a Kolumbia-fennsík és a Keleti-kordillerák övezte területein. A Tibet, India és Indonézia térségében megfigyelhető változások nem csupán jelentősek, hanem több milliárd ember sorsát is érinthetik mind pozitív, mind negatív vonatkozásban. Tekintsük közelebbről ezeket a változásokat! Észak-Kanadában számottevő kiterjedésű ET klímával rendelkező területek Dfc klímájú területekké fognak változni (ezentúl röviden: $ET \rightarrow Dfc$ változás). Oroszország imént említett északi tengerparti sávjában az $ET \rightarrow Dfc$, Izlandon az $ET \rightarrow Cfb$, Tibetben pedig az $ET \rightarrow D$ (ami lehet Dwa, Dwb, vagy Dwd) változások figyelhetők meg. Valamelyest kisebb mértékű a melegedés Grönland belső területein, ahol az $EF \rightarrow ET$ változás várható. Az Andok magas övezeteiben az igen érdekes $ET \rightarrow BSk$ változásnak lehetünk szemtanúi. Indonéziában, és India jelentős területein a $Cwa \rightarrow Aw$ változást figyelhetjük meg. Indiában emellett a $BSh \rightarrow As$ és Aw típusú változások is jelentős területeket ölelnek fel. Észak-Ausztráliában szintén a $BSh \rightarrow Aw$ változás a legdominánsabb. Braziliában egymásnak ellentétesnek tűnő folyamatok is zajlanak: egyfelől az Uruguay-al és a Paraguay-al határos területeken a $Cfa \rightarrow Am$ és Af átalakulás tapasztalható, másfelől e két ország legkeletibb régióiban a lassú szárazodás, azaz az $Aw \rightarrow BSh$ változás figyelhető

⁴Itt megemlítendő, hogy a <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/> című weboldalon más, Köppen munkásságával kapcsolatos érdekességek, mint pl. Köppen eredeti térképeinek másolatai, vagy az akkori tudományos gondolkodást meghatározó, néhány német nyelvű cikk szintén megtalálható.

⁵Angolul: Climatic Research Unit (CRU) of the University of East Anglia.

⁶Angolul: Global Precipitation Climatology Centre, GPPC

⁷Angolul: Tyndall Centre for Climate Change Research.

⁸Az emisszió Szenáriókat, vagy kibocsátási forgatókönyveket az emberiség jövőjével kapcsolatos feltételezések alapján dolgozták ki, amit a jövőben feltételezett CO_2 -koncentrációk dinamikája tükröz. Minden egyes Szenárió a népesség növekedésén, valamint a termelési és fogyasztási kultúrán alapuló gazdasági környezettel kapcsolatos feltételezéseken alapul. Jelenleg négy alapforgatókönyvet különböztetnek meg, amelyekben belül több aleset is lehetséges. Megjegyzendő, hogy a forgatókönyvek becsléseinek bizonytalansága óriási.

⁹Teljes neve: Hadley Centre Coupled Model, version 3.

¹⁰Teljes neve: National Center for Atmospheric Research - Parallel Climate Model.

¹¹Teljes neve: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation GCM, version 2.

¹²Teljes neve: ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) Hamburg, version 4.

meg. Az Egyesült Államok nyugati területeinek jelentős részén pedig a *Bsk*, *BWk*→*Csa* átalakulás a domináns folyamat.

A kisebb térségekben ugyancsak számottevő változások figyelhetők meg. Észak-Afrikában a *Csa*→*BSh*, Délkelet-Kínában a *Cfb*→*Cwa*, Hokkaidón (Japán) a *Dfb*→*Cfa*, a Kaszpi-tenger és az Aral-tó környékén a *Dfa*→*Bsk*, Irán magasabb hegységeiben a *D*→*C*, illetve Irán egyéb területein a *Csa*→*Bsk*, Etiópiában a *Cwb*→*As*, Mexikóban a *Csa*→*Bsk* és Franciaországban a *Cfb*→*Csa* változás. Megállapíthatjuk továbbá, hogy Földünkön vannak olyan területek is, ahol az éghajlat gyakorlatilag változatlan marad. Ilyenek pl. a Szahara régiója, a Közel-Kelet és az Arab-félsziget térsége, Közép-Európa és a Balkán nagy része, a Brit-szigetek, az Egyesült-Államoknak a Mexikói-öböltől északra fekvő, középső része, valamint Közép-Amerika nagy területei.

Rubel és Kottek (2010) e változásokat mennyiségileg jellemezték, a teljes szárazföldi felszín %-ában fejezték ki¹³ (Rubel és Kottek, 2010, 3. ábra, felső rész). Ezen elemzés főbb pontjai a következőképpen foglalhatók össze. Az *E* (-4,11%)¹⁴ és a *D* (-2,14%) klímákkal rendelkező területek csökkenésének rovására a *B* (2,68%), a *C* (0,53%) és az *A* (3,04%) klímákkal rendelkező területek kiterjednek¹⁵. Az *E* klímájú területek *D* (3,38%), *B* (0,28%) és *C* (0,45%) klímájú területekké alakulnak¹⁶. A poláris öv földrajzilag csak a boreális övvel határos, ennek ellenére a poláris klímájú területek nagy része *B*, sőt *C*, azaz meleg-mérsékelt klímájú területekké alakul át. Egyébként az *E*→*B* átalakulást, mint érdekességet, az Andok példáján meg is említettük. A *D* klímájú területek kisebb mértékben *B* (nettó értékben 0,85%), míg nagyobb mértékben *C* (4,67%) klímájú területekké módosulnak. A melegedéssel a trópusi öv területe nőni fog. Jóllehet az *A* klímájú területek egy része (nettó értékben -0,14%) *B* klímájú területekké válik, viszont a *C* klímájú területek igen nagy része (3,18%) *A* klímájú területekké alakul¹⁷. A Földön a *B* klímákkal kapcsolatos változások a legérdekesebbek. E klímátípus kölcsönhatásban áll¹⁸ a *D*, a *C* és az *A* klímátípusokkal, valamint kapcsolatban van¹⁹ az *E* klímátípussal is. Megjegyezzük, hogy a *B* klímájú területek terjeszkedni fognak (nettó 1,41%-al) a *C* klímájú területek rovására.

Rubel és Kottek (2010) az A1FI scenárió mellett a legkisebb mértékű melegedést adó B1 scenárió eredményeit is bemutatták, azonban térképek és részletesebb elemzés nélkül. Ezt azért tehették meg, mert a különböző scenáriókkal kapott eredményeik tendenciájukban megegyeztek, azaz csak mennyiségi különbségek voltak közöttük.

Az előbbieket során megállapítottuk, hogy Közép-Európa területének jelentős részén az éghajlat többé-kevésbé változatlan marad. Nézzük meg, mit mondhatunk ezzel kapcsolatosan Magyarországról! Hazánk éghajlatának jövőbeni változásait Köppen módszerének tükrében Fábián és Matyasovszky (2010) tanulmányozták. Az alábbiakban e cikket is röviden ismertetjük.

4.1.3 Fábián és Matyasovszky (2010) cikkének ismertetése

Fábián és Matyasovszky (2010) tanulmányában a 48,3°-45,5°, valamint a 16,0°-22,3° szélességi/hosszúsági körökkel határolt tartományt vették alapul, a vizsgált időszak 1971-2060 közötti, míg az alkalmazott felbontás 1/6°x1/6°. Ez kb. 20 km rácsponti távolságot jelent. E felbontással az adott tartományt 18x40=720 rácspontszámba bontották. A szerzők két adatbázist használtak: a CRU TS 1.2 és a TYN SC 1.0 adatbázisokat (Mitchell et al., 2004). Az előbbi adatbázist az 1971-2000 közötti, míg az utóbbit a 2001-2060 közötti időszak hőmérséklet és csapadék adatainak előállítására alkalmazták. Az előbbieket észlelt, míg az utóbbiak számított adatok. A számított adatokat a HadCM3 GCM segítségével 4 scenárió (A1FI, A2, B1 és B2) alapján származtatták. Az eredményeket az A1FI és a B1 scenáriókra vonatkozóan ismertették. Mi csak az A1FI scenárió adatai alapján kapott eredményeket fogjuk taglalni.

Fábián és Matyasovszky (2010) nemcsak „átlagos”, hanem „individuális” éveket is vizsgáltak. Az adott időszakra vonatkozó átlagos év adatait a havi hőmérséklet és a csapadék adatok 10-éves átlagai képezik. Az átlagos év nagy

¹³ Megjegyzendő, hogy a Föld szárazföldi felszínének 1%-a 1,43·10⁶ km² kiterjedésű területet jelent.

¹⁴ A zárójelben levő adat a változás mértékére. A - előjel a csökkenést, míg a + előjel a növekedést fejezi ki.

¹⁵ A zárójelben levő számok összege értelemszerűen nulla.

¹⁶ A 3,38, a 0,28 és a 0,45 összege értelemszerűen 4,11.

¹⁷ A 3,18 és a -0,14 összege értelemszerűen megegyezik az A klímájú területek növekedésének mértékével, azaz 3,04-al.

¹⁸ Pl. a B és a D kölcsönhatása azt jelenti, hogy a B terjeszkedik a D rovására, de a D is nőni fog a B terhére, ezért a növekedések/csökkenések nettó mérlegét kell tekintenünk.

¹⁹ A fentiek alapján az E klímájú területek 0,28%-a B klímájú területekké válik.

valószínűséggel *egyensúlyi év*²⁰, így adatai megbízhatóan felhasználhatók éghajlat-osztályozási célokra. Az individuális év adatait az adott év havi bontású hőmérséklet és csapadék adatai alkotják. Az esetek nagy többségében az individuális év nem egyensúlyi év, de ha annak tekintjük, mint ahogy korábban ezt már Berényi (1943) is megtette, akkor éghajlat-osztályozási elemzésekben is felhasználható. Fábián és Matyasovszky (2010) az individuális évek vizsgálatával a lehetséges²¹ évközi éghajlatingadozásokról kaptak betekintést, ami mindenképpen érdekes információ.

Fontosabb eredményeiket a cikkük 3. és 4. ábrája tartalmazza. Ezek a következőképpen foglalhatók össze. Az első 10-éves periódusban (1971-1980) 374 *Cfa*, 323 *Cfb* és mindössze 23 *Dfb* klímájú rácsfelszint számoltak össze. Magyarország területén a *Dfb* klímájú területek a Bükkben és a Zempléni-hegységben fordultak elő. Az individuális évek közötti változékonyságot többnyire a csapadék évi menetében tapasztalható különbségek okozták. Így, a *Cf* klíma mellett számos alkalommal előfordult *Cs* és *Cw*, továbbá *Df* és *Dw* klímájú terület is. A melegedéssel az átlagos évre vonatkozó klímák területi változékonysága csökkent, míg az individuális évek közötti különbségek nőttek. Az 1991-2000 közötti időszakban 665 *Cfa*, 50 *Cfb* és mindössze 5 *Dfb* klímájú rácsfelszint jegyezték föl. Ugyanakkor *Dfb* klímájú rácsfelszint Magyarország területén nem is mutattak ki. Az individuális éveket illetően azt mondhatjuk, hogy a csapadék ingadozása mellett a hőmérséklet ingadozása is meghatározó lett: egyes területeken megjelent a *Bsk* klímatiszpus is. A 2031-2060 közötti időszakban az imént említett tendencia még inkább megfigyelhető. 573 rácsfelszín *Cfa*, 145 rácsfelszín *Cfa* +²² és csak 2 rácsfelszín *Cfb* klímájú. Az évközi hőmérséklet és csapadék ingadozások még nagyobbak lesznek. E 30-éves periódusban 11 klímatiszpus fordult elő (*Cw*, *Cfa* +, *Cfb*, *Cfa*, *Dfa* +, *Bsk*, *Cs*, *Dw*, *Dfa*, *Ds* és *Dfb*), melyek közül a *Dfa* és a *Cs* klímatiszpusok gyakorisága volt a legnagyobb. Ez azt jelenti, hogy nemcsak a csapadék, hanem a hőmérséklet évközi ingadozásai is várhatóan növekedni fognak.

Fábián és Matyasovszky (2010) megállapításait összegezve elmondhatjuk, hogy a Kárpát medencében az évközi ingadozások növekedése mellett sokévi átlagban az éghajlat területi változékonysága csökkeni fog.

4.2 A jövőbeni éghajlat-változás Holdridge módszerének tükrében

4.2.1 Előzmények

Holdridge (1947, 1967) osztályozása alkalmazható mind az ökológiában, mind az éghajlatban. Ökológiai szempontból ez az egyik legegyszerűbb, ugyanakkor éghajlattani szempontból már összetettebb osztályozás. A Holdridge's life zones kifejezésből²³ is egyértelmű, hogy ez az osztályozás erősen ökológiai szempontú. Számos szerző pl. Brown and Lugo (1982), Post et al. (1982, 1985), Lugo and Brown (1991), Lugo et al. (1999) Holdridge osztályozását ökológiai célokra használta. Ezzel szemben Sawyer (1963), valamint Sawyer and Lindsey (1964) az osztályozást éghajlat-osztályozási célokra alkalmazták²⁴. Holdridge osztályozását a jövőbeni éghajlatváltozás szimulálására is felhasználták. Ezen kutatások közül talán Emanuel et al. (1985), Henderson-Sellers (1993) és Sisneros et al. (2011) tanulmánya említhető meg, melyek globális skálájú GCM-futtatások eredményeit dolgozták fel. Emanuel et al. (1985) Manabe and Stouffer (1980) GCM-futtatásainak eredményeit használták fel, de csak részben, ugyanis a szimulált hőmérséklet (*T*) és csapadék (*P*) adatok közül csupán a hőmérséklet adatokat vették számításba. Tanulmányuk az egyik legrégebbi GCM-alkalmazású tanulmány, de a kapott Holdridge (1947) féle térképek helyessége – a felhasznált *P-T* mezők inkonzisztens volta miatt – kétséges²⁵. Henderson-Sellers (1993) az éghajlat-változást egy egyszerűsített, az éghajlat-osztályozási céloknak jobban megfelelő Holdridge-féle osztályozás tükrében elemezte. Sisneros et al. (2011) tanulmánya ezzel szemben eredeti Holdridge (1947) féle kategóriákat használ (összesen 37 kategória), van azonban egy szépséghibája is: a potenciális evapotranszspiráció számítására a Holdridge (1947) módszere helyett Thornthwaite (1948) módszerét alkalmazta. Ennek dacára Sisneros

²⁰ Az adott év akkor tekinthető egyensúlyi évnak, ha az adott és az előző év havi hőmérséklet és csapadék adatai közötti különbség elhanyagolhatóan kicsi.

²¹ Ha az adott individuális évek egyensúlyi évek lennének, akkor a lehetséges helyett valós évközi éghajlat-ingadozásokról lenne szó.

²² Ez egy Fábián és Matyasovszky (2010) által módosított Köppen-féle klímaképlet. Jelentése: legalább 4 hónap havi hőmérséklete nagyobb, mint 22°C.

²³ Mi az életzónák kifejezés helyett inkább az életforma-rendszerek kifejezést használjuk. Ezzel a növényi és állati életformák sokszínűségére, gazdagságára próbálunk utalni.

²⁴ Figyeljük meg, hogy ezek egyesült-államokbeli alkalmazások, azaz Holdridge-nak elsősorban a hazájában volt erős a hatása.

²⁵ Ezt a cikk szerzői is megemlítették.

et al. (2011) tanulmánya több figyelmet érdemel, mivel eredeti Holdridge (1947) féle osztályozást használt. A témakörben hazai kutatómunka is folyik, sőt megjelent már magyar nyelvű publikáció²⁶ is, azonban rangosabb folyóiratban még nem publikáltak tanulmányt.

Az alábbiakban Sisneros et al. (2011) tanulmányával, a hazai kutatások fontosabb vonatkozásaival foglalkozunk. Az eredmények taglalása mellett, bemutatjuk a használt adatbázisokat, a modellfuttatásokkal kapcsolatos alapinformációkat.

4.2.2 Sisneros et al. (2011) cikkének ismertetése

Sisneros et al. (2011) tanulmánya az egész Föld XXI. századi éghajlatát elemzi. A használt GCM az NCAR (National Center for Atmospheric Research) CCS3 (Community Climate System Model Version 3) modellje. A térbeli felbontás $1,406^\circ \times 1,406^\circ$, a futtatásokat Gauss-féle rácson végezték a CMIP3 (Third Climate Model Intercomparison Project) projekt keretében. Az eredmények a <http://www.earthsystemgrid.org/> címről, az ún. ESG-rácsról (Earth System Grid) letölthetők. A címet a PCMDI (Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison) kezeli.

A szerzők az A2 és a B1 scenáriók alapján kapott 2000-2009 közötti, valamint a 2090-2099 közötti időszak éghajlatára alkalmazták Holdridge osztályozását. Módszerük – mint már említettük – csak a potenciális evapotranszspiráció (PET) becslésében különbözött Holdridge eredeti módszerétől. Sisneros et al. (2011) a PET számítására Thornthwaite képletét használták. Mi csupán az A2 scenárió alapján kapott eredményeket fogjuk röviden ismertetni (Sisneros et al., 2011; a 3.a és 3.c ábrák), mivel a különböző scenáriók alkalmazásával kapott eredmények tendenciájukban megegyeznek.

A melegedéssel okozott éghajlat-változás értelemszerűen a Föld poláris is szubpoláris övezeteiben a legszembeötlőbb. Észak-Kanada óriási területein a nedves, üde tundrát a boreális, nedves, üde erdő váltja majd fel (ez röviden: nedves, üde tundra → nedves, üde erdő változás). Ugyanez a változás jellemzi majd Oroszországnak a Novaja Zemlja-tól keletre eső területeit. Grönland belső területein a nedves, üde tundra terjedése lesz majd a jellemző. Alaszka melegedése drámai mértékű lesz. Délen az esős tundra → boreális, esős erdő, míg északon a nedves tundra → boreális, nedves erdő változás ölt majd jelentős méreteket. A Skandináv-félsziget északi területein a boreális, nedves erdő → hideg-mérsékelt üde erdő átalakulás lesz majd a domináns folyamat. Emellett érzékelhető lesz még majd a boreális, nedves erdő → hideg-mérsékelt, nedves erdő átalakulás is. Dél-Norvégia atlanti-óceáni partjain a boreális, esős erdő hideg-mérsékelt, nedves erdővé alakul majd. A Tibeti-magasföld óriási területein a nedves tundra → boreális nedves erdő változás lesz majd tipikus. A Tűzföldön (Dél-Amerika legdélebbi tájai) a nedves tundra → boreális, nedves erdő változás lesz megfigyelhető. A változások – csakúgy, mint Köppen (1936) esetében – a kontinensek óriási belső területein is megfigyelhetők. Ázsia hatalmas – a Bajkál-tótól északra, észak-keletre fekvő – belső régióiban (Közép-Tunguz felföld, Léna-felföld, Közép-szibériai-felföld) a boreális, nedves erdő → meleg-mérsékelt nedves, üde erdő átalakulás zajlik majd. A Nyugat- ausztráliai fennsíkon a meleg-mérsékelt tövises pusztá alakul majd át fokozatosan szubtrópusi tuskés bozóttá. Kazahsztán nagy területeinek füves pusztái tövises pusztákká változnak. Közép-Európában a hideg-mérsékelt üde erdő → meleg-mérsékelt száraz, üde vagy nedves erdő átalakulás lesz majd a jellemző folyamat. Észak-Afrika mediterrán övezete szárazodni fog. A szimulációk szerint a tövises pusztá sivatagi bozóttá alakul majd. Kalifornia, Nevada és Oregon nagy területeinek füves pusztái tövises pusztákká módosulnak. A várható változások már érzékelhetők a trópusi és a szubtrópusi övezetekben is. Brazília délkeleti és Zambia keleti területeinek jelentős részén a meleg-mérsékelt nedves erdő fog majd trópusi nedves, vagy esőerdővé alakulni. Persze, vannak olyan területek is, ahol Holdridge (1947) szerint sincs éghajlatváltozás. Ilyenek pl. India, Indokína és a Maláj-szigetvilág, a Szahara térsége, az Arab-félsziget.

Összegezve megállapíthatjuk, hogy a nedves tundrák területe jelentősen csökkeni fog, míg a meleg-mérsékelt üde erdők és a szubtrópusi száraz erdők területe várhatóan terjeszkedik (Sisneros et al., 2011; 4.a ábra). A hideg-mérsékelt nedves erdők területe növekszik, azonban ez a növekedés jelentősen kisebb mértékű, mint a szubtrópusokon és a meleg-mérsékelt övezetekben szimulált növekedés.

²⁶A publikáció fontosabb adatai: cím: A Kárpát-medence éghajlata a XX. században Holdridge életforma rendszere alapján, szerző: Szelepcsényi Zoltán, témavezetők: Ács Ferenc és Breuer Hajnalka és a konferencia neve, helyszíne, ideje: XIII. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia, Veszprém, 2012. április 6-7., a dolgozat terjedelme: 33 oldal.

4.3 A jövőbeni éghajlatváltozás Thornthwaite módszerének tükrében

A három módszer közül Thornthwaite (1948) módszere a legösszetettebb. Ezért a módszert, és a benne használatos indexeket, de legfőképpen az ún. nedvességi indexet többször is módosították, oly módon, hogy a globális, vagy a regionális léptékű alkalmazásokban az adott éghajlat tulajdonságait, vagy az éghajlatváltozás folyamatát tanulmányozhassák. Thornthwaite hagyatékát többnyire a hazájában, az Egyesült Államokban ápolták, de voltak követői külföldön is, így pl. Magyarországon, ahol a módszere népszerű lett. Ezen alkalmazások teljes körű áttekintése nem könnyű feladat, nem is ez a célunk. Mi ugyanis az alkalmazásokat csak meghatározott szempontok szerint fogjuk áttekinteni. Azt nézzük majd, hogy eredeti-e, vagy módosított-e a modell (1. szempont), hogy globális-e, vagy regionális-e a skála (2. szempont), s hogy éghajlatot, vagy éghajlatváltozást vizsgáltak-e (3. szempont)?

4.3.1 Eredeti modell, globális skála – az éghajlat vizsgálata

A Thornthwaite (1948) féle klímaképletek területi eloszlása a Földön soha nem került bemutatásra²⁸. Ez Feddema szerint reménytelen vállalkozás lett volna, mivel Thornthwaite (1948) szerint a Földön több, mint 800 klímátípus fordul elő (Feddema, 2005; 450. oldal).

A klímaképletek szimbólumait meghatározó indexek (összesen négy db index) globális léptékű bemutatása azonban megtörtént. Ehhez Feddema (2005) Legates and Willmott (1990a; 1990b) csapadék és hőmérséklet adatait használta 0,5°x0,5° felbontásban. A talaj hasznos vízkészletét 150 mm-nek vette. Az indexek területi eloszlása a munkájának 1., 2., 3. és 4. ábráján látható. Ezen ábrák közül az 1. és a 2. ábra érdemel több figyelmet. Az 1. ábra Thornthwaite (1948) képlete 1. betűjének (nedvességi index, I_m), míg a 2. ábra Thornthwaite (1948) képlete 2. betűjének (a potenciális evapotranszpiráció, PET) területi eloszlását szemlélteti. Az 1. ábra alapján láthatjuk, hogy a Föld arid területei tipikusak nemcsak a szubtrópusokon, vagy a kontinenseknek a mérsékelt övi belső területein, hanem a poláris, fagyos övezetekben is. Az ábráról megállapítható, hogy a Földön az arid területek jóval nagyobb kiterjedésűek, mint a legnedvesebb, ún. perhumid területek. Továbbá az összes száraz (száraz szubhumid + szemi-arid + arid) térség nagyobb helyet foglal el, mint az összes nedves (perhumid + a humid négy típusa + nedves szubhumid) terület. A Kárpát-medence az ún. nedves szubhumid és/vagy a száraz szubhumid tartományba esik, azaz a nedves/száraz tartományok határán található. Ami a 2. ábrát illeti, megállapíthatjuk, hogy a Föld óriási területein (Közép- és Dél-Amerika trópusi és szubtrópusi övezete, Afrika trópusi és szubtrópusi övezete, az Arab-félsziget, India, Indokína, Indonézia, valamint Ausztrália trópusi és szubtrópusi övezete) a hőellátottság megatermális, azaz a PET évi értéke nagyobb, mint 1140 mm²⁹. Európa jelentős részében – így a Kárpát-medencében is – a hőellátottság mezotermális, azonban ez a legkisebb mezotermális kategória, amelyre vonatkozóan az évi PET 570-712 mm³⁰. Ez az egész Földet tekintve egyáltalán nem magas értéktartomány.

4.3.2 Eredeti modell, regionális skála – az éghajlat vizsgálata

Azokat a vizsgálatokat, amelyek nem terjednek ki az egész Földre, regionális skálájú vizsgálatoknak nevezzük. A régiók között lehetnek óriási területi különbségek, mint pl. az Egyesült Államok és a Kárpát-medence térsége között. Azért említettük ezt a két régiót, mert Thornthwaite (1948) módszerét már többször alkalmazták ezen régiók éghajlatának vizsgálatára. Thornthwaite (1948) egyesült-államokbeli alkalmazásainak ismertetését ezúttal mellőzzük. A Kárpát-medence régiójára vonatkozó alkalmazásokat is csupán megemlíjtük, ugyanis – könyvünk keretében – ezekkel már foglalkoztunk.

²⁸Egy ilyen térkép bemutatása egyik híresebb tanítványának, John „Russ” Mathernek volt a kívánsága. Feddema pedig Mather tanítványa volt, így nyilvánvaló, hogy a Thornthwaite-Mather-Feddema névsor képviseli a Thornthwaite (1948) féle rendszerszemléletű gondolkodást az éghajlat-osztályozás tudományában.

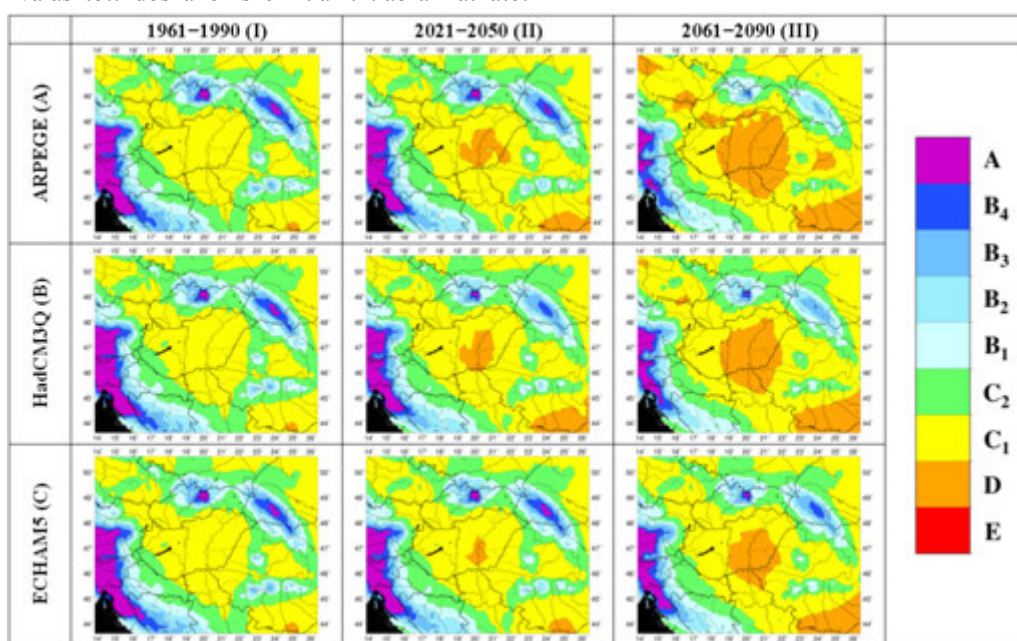
²⁹Ezt az értéket Thornthwaite képlete alapján kaphatjuk meg, ha 22°C havi átlaghőmérsékletet tételezünk fel.

³⁰A Kárpátokban a hőellátottság már mikrotermális, ahol az évi PET értéke 427-570 mm.

Hazánkban Berényi (1943) alkalmazta elsőként Thornthwaite éghajlat-osztályozási módszerét. Egy újabb alkalmazás pedig Druca és Ács³¹ (2006) nevéhez fűződik.

4.3.3 Eredeti modell, regionális skála – az éghajlatváltozás vizsgálata

Ilyen alkalmazásokból kevés van, s ezek egyike Szelepcsényi (2012) munkája, mely a Kárpát-medencére és az 1951-2100 közötti időszakokra vonatkozik. A tanulmányt egyedi volta miatt röviden ismertetjük. Szelepcsényi (2012) az adott időszakban 3 db 30-éves időszakot vizsgált: a referencia időszaknak számító 1961-1990 közötti, a 2021-2050 közötti, valamint a 2061-2090 közötti időszakot. A havi csapadék és hőmérséklet adatokat az ún. ENSEMBLES projekt (Van der Linden and Mitchell, 2009) keretében állították elő 11 regionális klímamodell (RCM) tranziens (folyamatos) futtatásával. A rácshálózat felbontása 25 km x 25 km, a futtatásokat az A1B szcenárió alapján végezték el. Az RCM-ek határfeltételeit három globális klímamodell (GCM) biztosította. A HadCM3Q globális klímamodell a CLM³², a HadRM3Q, az RCA3³³ és az RCA regionális klímamodelleknek, az ECHAM5 globális modell az RCA, a RegCM³⁴, a RACMO2³⁵, a REMO³⁶ és a HIRHAM5³⁷ regionális klímamodelleknek, míg az ARPEGE³⁸ globális modell a HIRHAM és az ALADIN³⁹ regionális klímamodelleknek szolgáltatta a határfeltételeket. A csapadék és a hőmérséklet mezők ensemble átlagait a GCM-ek szerint képezték, így a HadCM3Q modellel kapott eredményeket négy, az ECHAM5-el kapott eredményeket öt, valamint az ARPEGE-vel kapott eredményeket két tag eredményeinek átlagolásával kapták. Feddema (2005) tanulmányához hasonlóan, itt is csak a klímaképlet első két betűje területi eloszlásának a bemutatására szorítkozunk. A vízellátottsági kategóriák területi eloszlása a GCM-ek és a kiválasztott időszakok szerint a 4.2. ábrán látható.



4.2. ábra. A különböző GCM-ek adatai alapján kapott Thornthwaite (1948) féle vízellátottsági kategóriák területi eloszlása a Kárpát-medencében az 1961-1990 közötti, a 2021-2050 közötti, valamint a 2061-2090 közötti időszakokra vonatkozóan. A kategóriák jelölése az ábrán található. Forrás: Szelepcsényi (2012).

Mindhárom GCM-szimuláció esetén a melegedés okozta jövőbeni változások nyilvánvalók. A változások az ARPEGE esetén a legnagyobbak. A referencia időszakban a száraz szubhumid (C_1) vízellátottsági kategória a

³¹Thornthwaite módszerének népszerűsége Magyarországon azzal magyarázható, hogy a módszer más energetikai és hidrológiai célú vizsgálatokra is felhasználható aránylag kevés módosítás után. Ennek tipikus példája pl. Ács és Breuer (2006) munkája.

³²Teljes neve: Climate LimitedArea Model.

³³Teljes neve: Rossby Centre Atmospheric, version 3.

³⁴Teljes neve: Regional Climate Model.

³⁵Teljes neve: Regional Atmospheric Climate Model, version 2.

³⁶Teljes neve: Regional Model.

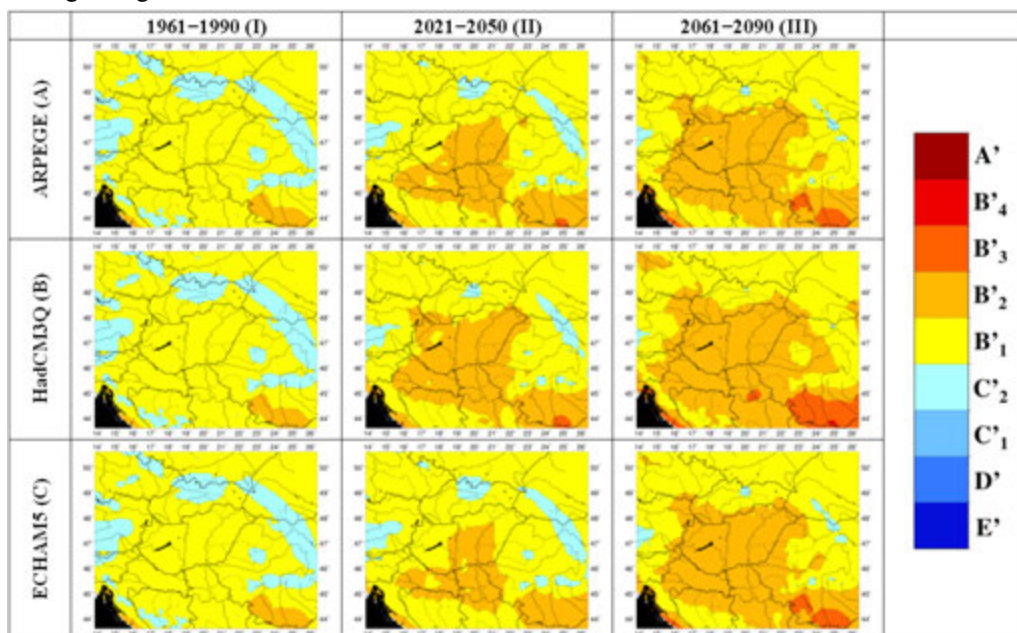
³⁷Teljes neve: HIRLAM (High Resolution Limited Area Model) + EC HAM, version 5.

³⁸Teljes neve: Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle.

³⁹Teljes neve: Aire Limitée, Adaptation dynamique, Développement Inter National.

domináns Magyarország területén. Az ország délnyugati és északkeleti határsávjában, valamint a Bakonyban találkozhattunk még a nedves szubhumid (C_2) kategóriával. A Kárpátok és az Alpok irányában értelemeszerűen nőtt a nedvesség egészen a perhumid kategóriáig. A 2021-2050 közötti időszakban a helyzet jelentősen módosul majd mindhárom GCM-szimuláció alapján. Az Alföld jelentős részein a szemi-arid (D) állapot lesz a jellemző. A szemi-arid területek kiterjedése növekedni fog. ARPEGE szerint a 2061-2090 közötti időszakban a térség 29%-a már szemi-arid vízellátottságú lesz, a HadCM3Q szerint 17%, az ECHAM5 szerint pedig 12%. Ezzel párhuzamosan a humid kategóriák száma és kiterjedésük csökkenni fog a Kárpátokban, az Alpokban és a Dinári hegységben.

A hőellátottsági kategóriák területi eloszlását a GCM-ek és a kiválasztott időszakok szerint a 4.3. ábra szemlélteti.



4.3. ábra. A különböző GCM-ek adatai alapján kapott Thornthwaite-féle hőellátottsági kategóriák területi eloszlása a Kárpát-medencében az 1961-1990 közötti, a 2021-2050 közötti, valamint a 2061-2090 közötti időszakokra vonatkozóan. A kategóriák jelölése az ábrán található. Forrás: Szelepcsényi (2012).

Mindhárom GCM-szimuláció esetén a hőellátottság jövőbeni növekedése egyértelmű. A referencia időszakban a mezotermális B'_1 kategória a tipikus Magyarország területén. Ez azt jelenti, hogy hazánkban az évi potenciális evapotranszspiráció 570-712 mm. A Kárpátokban előfordulnak mikrotermális C'_2 hőellátottságú területek is, amelyek évi potenciális evapotranszspirációja 427-570 mm. Magyarországon a B'_1 mezotermális kategória mellett megjelenik majd a B'_2 mezotermális kategória is a 2021-2050 közötti időszakban. Ez azt jelenti, hogy az adott területeken az évi potenciális evapotranszspiráció értéke 800 mm-nél is nagyobb lehet. A melegedés erősen folytatódik majd, olyan mértékben, hogy a térségben a 2061-2090 közötti időszakban a B'_2 kategória mellett felbukkan majd a B'_3 kategória is, pl. Romániában a Havasalföld térségében. A legnagyobb mértékű melegedést a HadCM3Q GCM-el kapott adatok alapján regisztráltuk. Eszerint a 2061-2090 közötti időszakban már a térség 72%-a B'_2 hőellátottságú lesz. Az ARPEGE és az ECHAM5 eredményei ennél csak 10-11%-al adnak kevesebbet. Az is szembevetendő, hogy a Kárpátokban a C'_2 jelölésű mikrotermális hőellátottságú területek kiterjedése a 2061-2090 közötti időszakban drasztikusan csökken az előző időszakokéhoz képest.

4.3.4 Módosított modell, globális skála – az éghajlat vizsgálata

Feddema (2005) megállapította, hogy Thornthwaite (1948) módszere csak akkor lehet versenyképes Köppen (1936) módszerével szemben, ha a rendszerszemléletét megőrizve jelentősen egyszerűsödik. Ezt az egyszerűsítést Feddema (2005) hajtotta végre úgy, hogy a csöbörmodellt kiiktatta, az I_m nedvességi indexet újradefiniálta, és a szezonális jellemzését átvértékelte. Az alábbiakban e változtatások lényegét mutatjuk be, valamint azok globális skálájú alkalmazásának egyes eredményeit, főleg olyan szempontból, hogy ezek az eredmények mennyire térnek el az eredeti Thonhwaite (1948) féle modell eredményeitől.

Feddema módosításai

Thornthwaite (1948) modelljében $I_m = I_h - 0,6 \cdot I_a$, azaz Thornthwaite nem egyformán súlyozta az I_h és az I_a indexeket. Ezt azzal indokolta, hogy 6 hüvelyk⁴⁰ víztöbblettel 10 hüvelyk vízhiányt lehet kiegyenlíteni, ha a növényzet gyökérzete elég mély. Mather megszüntette e különbségtételt a súlyozásban, és az $I_m = I_h - I_a$ formulát használta (Thornthwaite and Mather, 1955). Willmott and Feddema (1992) ezt az összefüggést is módosították, a következőképpen:

$$I_m = \begin{cases} 1 - \frac{PET}{P}, & \text{ha } P > PET \\ 0, & \text{ha } P = PET \text{ és} \\ \frac{P}{PET} - 1, & \text{ha } P < PET. \end{cases} \quad (4.1)$$

Ez az az egyenlet, ami Feddema (2005) cikkében is szerepel. Az index értéke -1 és 1 között változhat. Az index negatív értékei száraz (minél kisebb az I_m , annál szárazabb), míg pozitív értékei (minél nagyobb az I_m , annál nedvesebb) nedves állapotokra utalnak. Az I_m 0 körüli értékei esetén a vízellátottság kiegyensúlyozott, nincsen sem vízhiány, sem víztöbblet. Feddema (2005) hat nedvességi kategóriát különböztetett meg, melyek (az index értékekkel) a következők: nagyon nedves (0,66 - 1)⁴¹, nedves (0,33 - 0,66), nyirkos (0 - 0,33), száraz (-0,33 - 0), szemiárid [-0,66 - (-0,33)] és arid [-0,66 - (-1)].

Feddema (2005) a hőellátottságot szintén a PET alapján becsülte. A PET-et Thornthwaite képletével számította, azonban valamelyest módosította a hőellátottsági kategóriák határértékeit. Ezek a kategóriák a következők: forró, ha $PET > 1500$ mm; nagyon meleg, ha $1200 < PET \leq 1500$ mm; meleg, ha $900 < PET \leq 1200$ mm; hűvös, ha $600 < PET \leq 900$ mm; hideg, ha $300 < PET \leq 600$ mm és fagyos, ha $0 < PET \leq 300$ mm.

Feddema (2005) a szezonalitást az I_m index éven belüli változásai alapján becsülte (Carter and Mather, 1966). Mivel az I_m értéke -1 (egy csapadékmentes hónapban $I_m = -1$ -el) és 1 (egy hideg és sok csapadékkal rendelkező hónapban az $I_m \rightarrow 1$ -hez) között ingadozhat, a szezonális mértékének jellemzésére Feddema a következő kategóriákat vezette be: a szezonális kicsi, ha $0 < I_m \leq 0,5$; a szezonális közepes, ha $0,5 < I_m \leq 1$; a szezonális nagy, ha $1 < I_m \leq 1,5$ és a szezonális extrém, ha $1,5 < I_m \leq 2$. Feddema nemcsak a szezonális mértékét jellemezte, hanem azt is, hogy mely elem⁴² szezonálisáról van szó. Ennek megítéléséhez a P és a PET évi ingadozását kell ismerni, majd az arányuk alapján számszerűsíthető az is, hogy mely elem ingadozása a domináns. Ha a P/PET arány kicsi (Feddema szerint 0,5-nél kisebb), akkor inkább a T, ha pedig nagy (Feddema szerint 2-nél nagyobb), akkor inkább a P ingadozása a meghatározó. Ha ez az arány se nem kicsi se nem nagy (Feddema szerint 0,5-2 közötti), akkor mindkét elem ingadozása fontos.

Az I_m és a PET területi eloszlása Feddema kategóriái szerint

Feddema (2005) cikkében az I_m és a PET területi eloszlását a Földön a 6. és a 7. ábra szemlélteti⁴³. Az 1. (Feddema, 2005; I_m Thornthwaite alapján) és a 6. (Feddema, 2005; I_m Feddema alapján) ábra összehasonlításával megállapíthatjuk, hogy Grönland és Antarktisz nedvességi állapota között alapvető különbség mutatkozik. Thornthwaite szerint (1. ábra) Grönland és Antarktisz területe arid, míg Feddema szerint (6. ábra) igen nedves. Az eltérés nyilván az I_m index újradefiniálásával, átértelmezésével magyarázható. Továbbá ott (pl. Észak-Amerikában a Kanadai-Parti-hegyvidéken és keleten az Északi-Appalache hegységben, Dél-Norvégiában, az Alpok egyes területein, a trópusokon, a Himalája jelentős területein, Japánban, Kelet-Kína egyes szubtrópusi területein, a Madagaszkári-hegyvidék egyes területein stb.), ahol a nedvesség Thornthwaite szerint perhumid, Feddema szerint nedves. Az arid és a szemiárid területek eloszlása között alapvetően nincs különbség. Az is látható, hogy a nedves és a száraz kategória közötti határ észrevehetőbb Feddema, mint Thornthwaite⁴⁴ esetében.

Feddema PET-skálája szélesebb határok között változik, mint Thornthwaite PET-skálája. Ezért a PET Feddema szerinti területi eloszlása árnyaltabb, finomabb szerkezetű, mint a Thornthwaite szerinti. Ez egyértelműen megállapítható Észak-Ausztrália és Észak-Afrika területein, valamint a trópusokon, vagyis ott, ahol a hőellátottság

⁴⁰Amerikai hosszúság: 1 hüvelyk 2,5 cm.

⁴¹Zárójelben az I tartomány alsó és felső értékei vannak feltüntetve.

⁴²A két elem, amit tekintünk, a csapadék és a hőmérséklet. Így vagy csak a csapadék, vagy csak a hőmérséklet, vagy mindkettő rendelkezhet szezonális változásokkal.

⁴³Az adatokkal és a térképekkel kapcsolatos információk értelemeszerűen megegyeznek a 4.1 fejezetben közölt információkkal.

⁴⁴Itt a nedves és a száraz közötti határt a nedves szubhumid és a száraz szubhumid kategóriák közötti határ jelenti.

nagy. Az is nyilvánvaló, hogy Feddema hőellátottsági kategóriái között könnyebb eligazodni, mint Thornthwaite négy mezotermális és két mikrotermális kategóriája között.

A Föld éghajlata és éghajlat-változásai Feddema szerint

Feddema (2005) tanulmányában az éghajlat-típusok területi eloszlását a 12. ábra szemlélteti. Összesen 36 nedvességi/hőellátottsági és 12 szezonális kategóriát azonosított. Ez igen sok éghajlat-típus megkülönböztetésére ad lehetőséget [Köppen (Geiger, 1954) 33 éghajlat-típust különített el], de ez a szám mégsem akkora, hogy az egyes típusok ne legyenek ábrázolhatók. A következőkben megemlítünk néhány érdekességet. Az új típusok bevezetésével pl. a szaharai éghajlat finom szerkezete egyértelműen láthatóvá válik. A hőellátottság nagyobb területi változatossága mellett az is kimutatható, hogy egyes területeken az évi hőmérséklet-ingadozás is jelentős. Az éghajlat sokszínűsége a szárazföld és az óceán, valamint a hegyvidék és az alföld érintkezési övezeteiben domborodik ki. Ilyen területek pl. a Himalája, az Andok és a Kanadai-Parti-hegyvidék, ahol az éghajlati kontrasztok szinte elképesztők. Pl. a Déli-Andokkal határos dél-argentinai Santa Cruzban, a Csendes- és az Atlanti-óceán között, az arid és a nedves klímák mindenféle változata (a forró aridtól a hideg aridon és nedvesen át a nagyon meleg nedvesig) megtalálható. E területeken a szezonális típusok is jelentősen különböznek. Kárpát-medencében az éghajlat száraz, hűvös, s a hőmérséklet számottevő ingadozásokat mutat.

Végezetül megjegyzendő, hogy tudomásunk szerint Feddema (2005) módszerével még nem vizsgálták a Föld éghajlatváltozási folyamatait egy meghatározott időszakban.

4.3.5 Módosított modell, regionális skála – az éghajlat és az éghajlatváltozás vizsgálata

Ezúttal egy egyesült-államokbeli (McCabe et al., 1990) és egy hazai (Skarbit, 2012) alkalmazást mutatunk be röviden. McCabe és munkatársai az I_m -et a (4.1) egyenlet alapján becsülték és az I_m melegedéssel változó területi eloszlását vizsgálták. A szerzők az 1951-1980 közötti időszakot referencia időszakként vették. A csapadék és hőmérséklet adatokat a Meteorológiai Szolgálat⁴⁵ mérései szolgáltatták, melyeket $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ felbontású rácsra, ún. referencia-rácsra interpolálták. Az éghajlatváltozást reprezentáló adatokat GCM-futtatások⁴⁶ segítségével állították elő a P-T mezők ensemble átlagolásával. E két mezőre kapott évi I_m -értékek különbségeinek területi eloszlását elemezve megállapították, hogy az Egyesült Államokban a melegedés várhatóan szárazodással jár⁴⁷. A szárazodás mértéke területileg változó. A nyugati parton Washington és Oregon államokban a legnagyobb, őket követi a Felső-tóval határos Minnesota és Wisconsin, valamint a keleti parton levő Connecticut, Massachusetts, Vermont és Maine államok. A legkisebb mértékű változások Arizonában, Új-Mexikóban, Utahban, valamint Nevada és Kalifornia déli területein jelentkeztek.

Skarbit (2012) – ugyanúgy, mint Szelepcsényi – a CRU TS 1.2 adatbázist használta $1/6^\circ - 1/6^\circ$ felbontásban. A vizsgálat tárgya a $45,17^\circ - 49^\circ$ és a $16^\circ - 23^\circ$ szélességi/hosszúsági körökkel határolt tartomány, azaz a Kárpát-medence térsége. Skarbit az adott 100 éves időszakban 71 darab 30-éves csapadék és hőmérséklet átlagokkal rendelkező mezőt állított elő, majd ezek alapján elkészítette a Feddema (2005) féle térképeket is. Ezek közül 3 térképet mutatunk be és elemzünk.

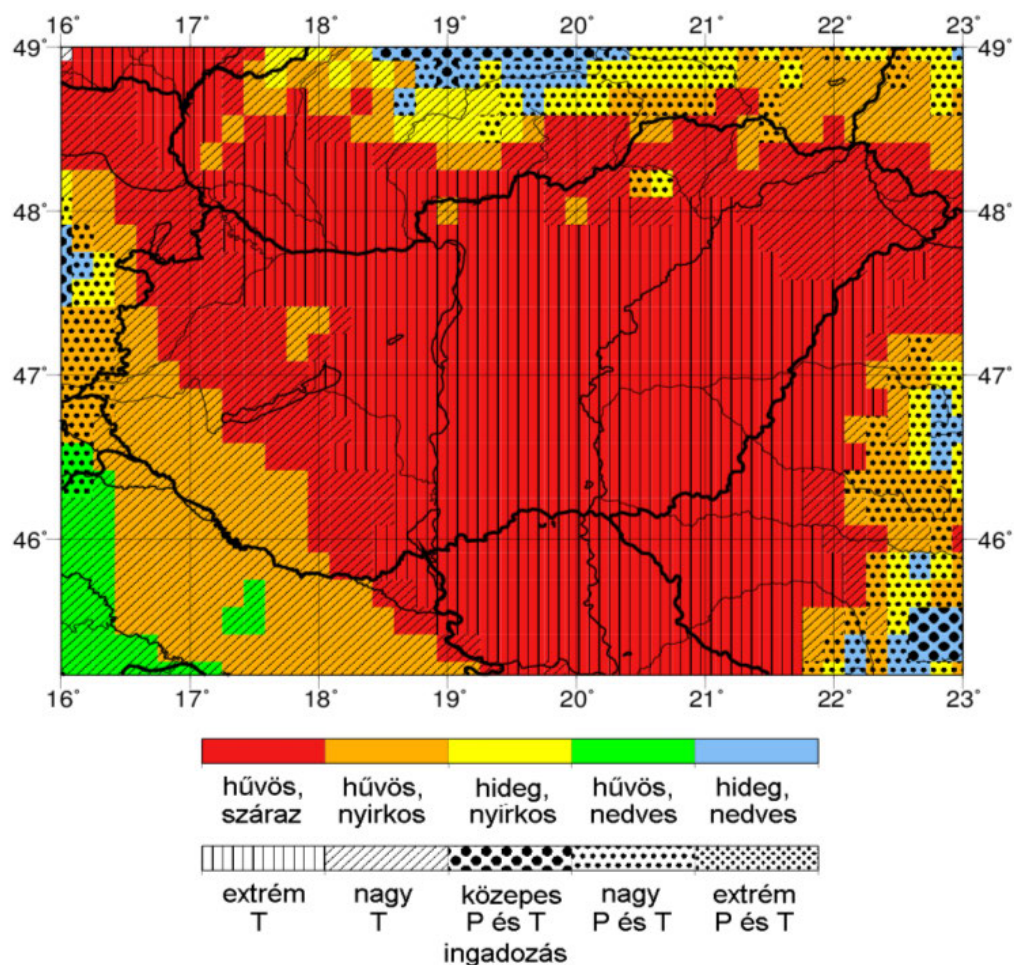
Magyarország éghajlata

Magyarország éghajlatát az 1961-1990 közötti ún. referencia időszakra mutatjuk be (4.4. ábra).

⁴⁵ Angolul: National Weather Service.

⁴⁶ Összesen három GCM-modellt használtak és $2 \times \text{CO}_2$ -koncentráció szint növekedést feltételeztek.

⁴⁷ Itt jegyezzük meg azt, hogy az Egyesült Államokban a 20. századi melegedés sok helyen – főleg az ország keleti, délkeleti részeiben – bizonyos mértékű nedvesedéssel járt. Ez Grundstein (2009) 1895-2006 közötti időszakra vonatkozó tanulmányának egyik alaperedménye.



4.4. ábra. A Feddema (2005) féle éghajlati osztályok területi eloszlása Magyarországon az 1961-1990 közötti referencia időszak átlagos évére vonatkozóan. A víz- és hőellátottsági kategóriák jelölése a szezonálisra utaló kategóriákkal együtt az ábrán látható. Forrás: Skarbit (2012).

Az ábrán a következő klímátípusok különíthetők el:

- hűvös, száraz éghajlat a T extrém ingadozásaival,
- hűvös, száraz éghajlat a T nagy ingadozásaival,
- hűvös, nyirkos éghajlat a T nagy ingadozásaival,
- hűvös, nyirkos éghajlat a csapadék és a hőmérséklet nagy ingadozásaival és
- hideg, nyirkos éghajlat a csapadék és a hőmérséklet nagy ingadozásaival.

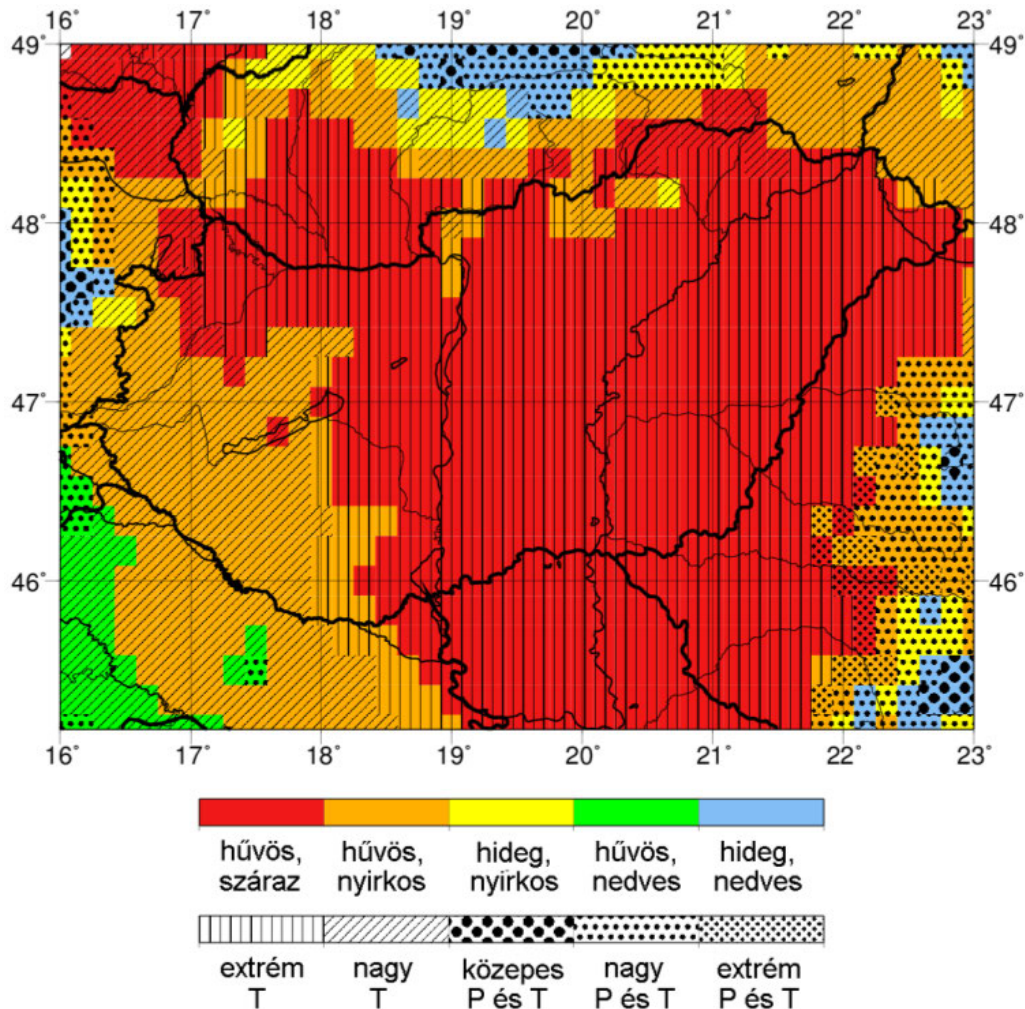
A hűvös, száraz, extrém hőmérséklet-ingadozású éghajlat területi kiterjedése jelentős. Megtalálható az Alföldön, a Nyírség kivételével, a Mezőföldön, a Tolnai-Hegyháton, az Északi-középhegység egyes területein (Cserhát, Mátraalja), valamint a Kisalföld keleti részén. A hűvös, száraz, nagy hőmérséklet-ingadozású éghajlat területe is számottevő. E klíma uralkodik a Nyírségben, az Északi-középhegység egyes részein (Zempléni-hegység, Cserhát, Bükkalja, Mátra), az ország nyugati, délnyugati részében, a Hanságtól a Villányi-hegységig magába foglalva a Kisalföld nyugati részét, a Marcal-medencét, a Somogyi-dombságot és a Mecseket is. Az ország nyugati részében a hűvös, nyirkos, nagy hőmérséklet-ingadozású éghajlat a jellemző, amely megtalálható még a Bakonyban, a Zempléni-hegységben, Aggtelek térségében, a Mátrában, valamint a Börzsönyben. A Bakonyban, Börzsönyben, Mátrában, Bükkben és a Zempléni-hegységben megfigyelhető még a lejtők expozíció-hatása, ami a hőmérséklet-ingadozás mértékében fejeződik ki⁴⁸. A Zempléni-hegységben az expozíció-hatás nemcsak a hőmérséklet-

⁴⁸A hőmérséklet ingadozása az északi lejtőkön kisebb, míg a déli lejtőkön nagyobb.

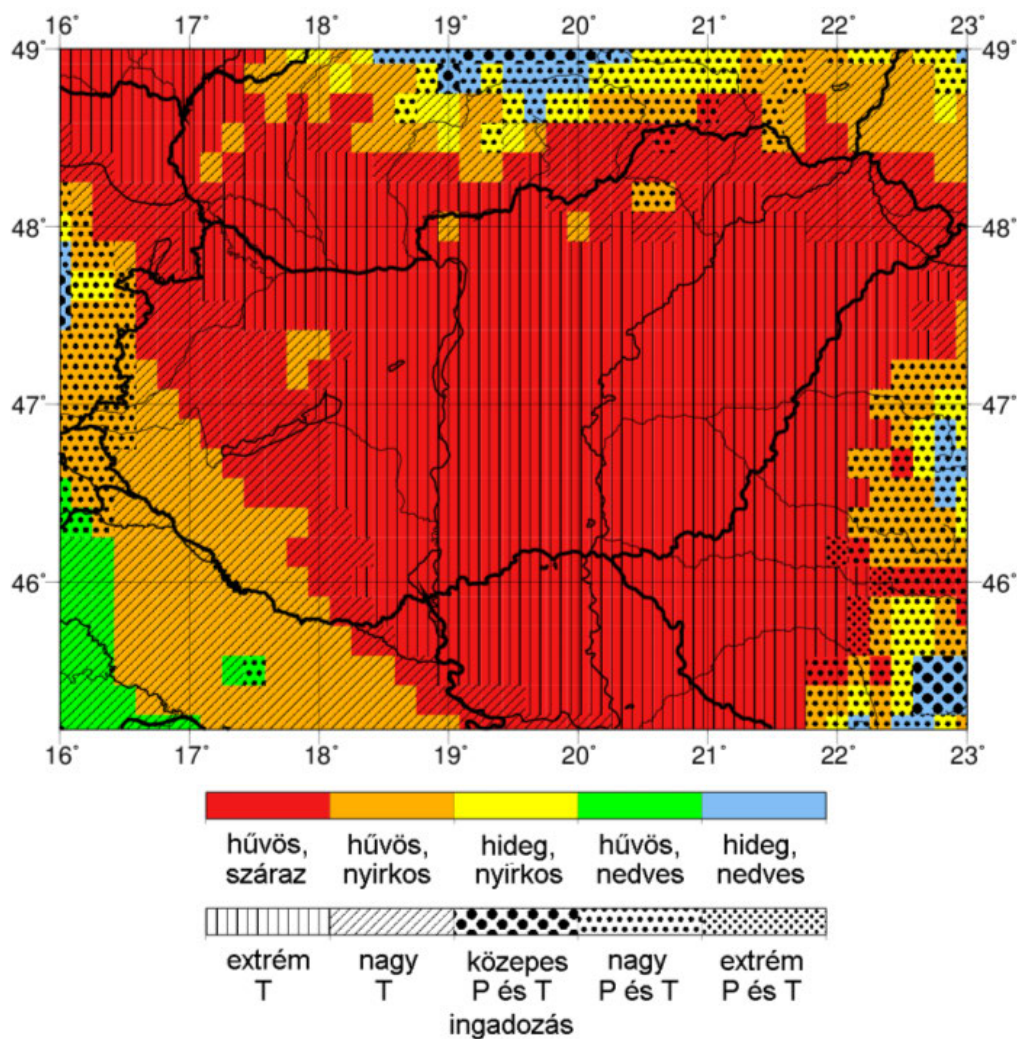
ingadozásban, hanem a területek közötti nedvességbeli eltérésben is kimutatható. A Bükk egyes területein olyan hideg, nyirkos éghajlat tapasztalható, amelyre egyaránt jellemző a csapadék és hőmérséklet szezonális ingadozása. E két elem jelentős éven belüli ingadozása még Szentgotthárd térségében jellemző.

Éghajlatváltozás Magyarországon a XX. században

Az éghajlatváltozás folyamatát az 1901-1930 közötti, valamint az 1971-2000 közötti időszak térképei alapján fogjuk elemezni. Ezeket a 4.5. és a 4.6. ábra szemlélteti.



4.5. ábra. A Feddema (2005) féle éghajlati osztályok területi eloszlása Magyarországon az 1901-1930 közötti időszak átlagos évére vonatkozóan. A víz- és hőellátottsági kategóriák jelölése a szezonálisra utaló kategóriákkal együtt az ábrán látható. Forrás: Skarbit (2012).



4.6. ábra. A Feddema (2005) fféle éghajlati osztályok területi eloszlása Magyarországon az 1971-2000 közötti időszak átlagos évére vonatkozóan. A víz- és hőellátottsági kategóriák jelölése a szezonálisra utaló kategóriákkal együtt az ábrán látható. Forrás: Skarbit (2012).

A térképek összehasonlítása alapján a megegyező klímátípusok a következők:

- hűvös, száraz éghajlat a T extrém ingadozásaival,
- hűvös, száraz éghajlat a T nagy ingadozásaival,
- hűvös, nyirkos éghajlat a T nagy ingadozásaival és a
- hűvös, nyirkos éghajlat a P és a T közepes ingadozásaival.

A melegedéssel a hűvös, száraz éghajlat területe nőtt a hűvös, nyirkos éghajlat területének rovására. E változás a Dunántúl térségében történt északkelet-délnyugati irányban. Ezzel egyidejűleg az Északi-középhegység hűvös, száraz éghajlatú területein a nagy T-ingadozással rendelkező területek kiterjedése nőtt az extrém T-ingadozással rendelkező területek rovására. Továbbá Szentgotthárd térségében valamelyest nőtt a közepes P, T ingadozással rendelkező hűvös, nyirkos terület nagysága.

Kimutattunk három olyan klímátípust is – jóllehet csak néhány pixel erejéig – melyekkel kapcsolatban a változások nem nyomon követhetők. Ilyen a hideg, nyirkos, nagy hőmérséklet-ingadozású klíma a Bükkben az 1901-1930 közötti időszakban; a csapadék és a hőmérséklet közepes ingadozásaival jellemzett hűvös, száraz éghajlat Aggtelek térségében az 1971-2000 közötti időszakban, valamint a hőmérséklet extrém ingadozásaival leírható hűvös, nyirkos

éghajlat a Pilisben, a Börzönyben és a Mecsekben az 1901-1930 közötti időszakban. Ezen egyedi klímákat csupán mint kuriózumokat említettük meg.

4.4 Az alkalmazások összehasonlítása

A következőkben az alkalmazások egyenkénti ismertetése után összehasonlítjuk azokat. Ezt három szempont szerint tesszük meg: kezdjük általánosabb szempontokkal majd folytatjuk a globális és a regionális skálájú eredmények rövid összevetésével.

4.4.1 Általános vonatkozások

A módszerek közül Thornthwaite (1948) módszere a legösszetettebb, míg Köppen (1936) módszere a legegyszerűbb. Az alkalmazások során mindegyik módszert módosították: legnagyobb mértékben Thornthwaite módszerét (pl. Feddema, 2005), valamelyest kisebb mértékben Köppen módszerét (pl. Geiger, 1954; Réthly, 1933; Guetter and Kutzbach, 1990; Fábián and Matyasovszky, 2010), míg a legkisebb mértékben Holdridge (1947) módszerét (Henderson-Sellers, 1993). Az alkalmazásokból egyértelműen megállapítható, hogy Köppen módszere a legelterjedtebb. Ennek titka az, hogy logikája egyszerű⁴⁹, valamint az, hogy Köppen felismerte a térképes megjelenítés, azaz a vizualizálás óriási előnyeit⁵⁰. Thornthwaite és Holdridge módszere ismert, főleg az Egyesült-Államokban használatosak⁵¹. Az alkalmazások áttekintése során az is nyilvánvaló lett, hogy Köppen sikerebb globális, mint regionális skálán, míg Thornthwaite esetében ez fordítva van. Ennek az a magyarázata, hogy Köppen módszere a legegyszerűbbek egyike, míg Thornthwaite módszere igen komplex.

4.4.2 Globális skála

Az éghajlatváltozás folyamatát globális skálán Köppen és Holdridge alapján már taglaltuk. Thornthwaite ilyen típusú alkalmazására – akár annak módosított formájában – a szerzők tudomása szerint nem került sor. Köppen és Holdridge eredményei – az adatbázisok és a vizsgált időszakok különbözősége ellenére – többnyire megegyeznek. Csupán egyetlen eltérés tapasztalható: Köppen szerint az ún. hideg-mérsékelt, boreális klíma (Köppen jelölése szerint a *D* klíma) területe csökkenni (Rubel and Kottek, 2010), míg Holdridge szerint növekedni fog (Sisneros et al. 2011) – még ha kisebb mértékben is. Köppen és Holdridge módszerei közötti ellentmondásokra – főleg a hideg-mérsékelt *D* övezetben – már Emanuel et al. (1985)⁵² is rávilágítottak. Másfelől köztudott, hogy Holdridge módszere eredetileg csupán a trópusokra vonatkozott; szélesebb körű alkalmazására csak később került sor.

4.4.3 Regionális skála

Mindhárom módszer jelezte az éghajlatváltozás folyamatát Kárpát-medencében. Köppen módszere adott legkevesebb információt, Holdridge módszere már valamelyest többet mutatott, Thornthwaite módszere pedig már a Holdridge módszerénél is jobb volt. A legtöbb információt azonban Feddema (2005) módszere⁵³ szolgáltatta. Köppen szerint Magyarország éghajlatának területi változékonysága – sokévi átlagot tekintve – csökkenni fog és hazánk – szinte kizárólag – meleg-mérsékelt klímájú lesz, ahol a csapadék éven belüli ingadozása egyenletesnek mondható (nincs kifejezett nyári, illetve téli maximum, vagy minimum). Fábián és Matyasovszky (2010) azt is kimutatták, hogy a csapadék és a hőmérséklet évközi ingadozása jelentősen nőni fog. Köppen a melegekedést ugyan jelzi, de a jövőbeni szárazodással/nedvesedéssel kapcsolatban semmit sem említ. Holdridge alapján a melegekedéssel járó szárazodás Magyarország területén egyértelműen kimutatható. Holdridge a szárazodást a hideg-mérsékelt üde erdő→hideg-mérsékelt füves pusztá átmenettel írta le. Thornthwaite eredeti módszere jelezte mind a melegekedést, mind a szárazodást. A módosított Thornthwaite (Feddema, 2005) féle módszer szintén közölte mind a melegekedést, mind a szárazodást, azonban ezt a legárnyaltabban tette, mivel a különböző klíma-típusok száma itt volt a legnagyobb.

⁴⁹A módszer két pillére: von Humboldt zseniális felismerése a vegetáció és az éghajlat kapcsolatrendszerét illetően és az ókori görög gondolkodás, amely öt éghajlati zónát különböztetett meg: egy forró, két mérsékeltet és két fagyosat.

⁵⁰Feddema (2005) elemezve Thornthwaite és Köppen módszerét épp ezt az aspektust emelte ki. A térképes megjelenítés előnyeiről személyesen is meggyőződhetünk, ha megtekintjük Köppen régi térképeit a <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at> című weboldalon.

⁵¹Magyarország ilyen vonatkozásban kivételt képez. Ennek két oka van: egyrészt hazánk területére Thornthwaite jobb eredményeket produkált, mint Köppen, másrészt Thornthwaite módszerét nemcsak éghajlat-osztályozási, hanem más tudományos célokra is alkalmazták.

⁵²Lásd: Emanuel et al., 1985, 32. oldal.

⁵³Láthattuk, hogy e módszer egy módosított Thornthwaite (1948) féle módszer.

A fentieket összegezve megállapíthatjuk, hogy a vizsgált módszerek közül az egyszerű, rendszerszemléletű, módosított Thornthwaite (Feddema, 2005) féle modell jellemezte a legkörültekintőbb módon az éghajlatváltozást.

4.5 Kérdések

1. Mely nemzetközi tudományos program tárgya a szárazföldi felszín és a légkör kölcsönhatásának tanulmányozása?
2. A szárazföld összetevői (pl. kőzet, talaj, növénytakaró, víz, jég) közül mely összetevő a legfontosabb a szárazföldi felszín és a légkör kölcsönhatása szempontjából?
3. Hogyan csoportosíthatók az éghajlat-vegetáció modellek?
4. Hogyan nevezzük a legegyszerűbb éghajlat-vegetáció modelleket?
5. Miért népszerű manapság is a biofizikai éghajlat-osztályozási modellek használata?
6. Tanulmányozzuk a Köppen munkásságával kapcsolatos érdekességeket a <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/> című weboldalon!
7. Milyen adatok alapján állították elő Rubel and Kottek (2010) azt videofilmet, ami a <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/> című weboldalon is megtekinthető?
8. Soroljunk fel legalább tíz olyan helyet a Földön, ahol az 1901-2100 közötti időszakra vonatkozó éghajlatváltozás egyértelműen kimutatható Rubel and Kottek (2010) szerint! Adjuk meg a változás típusát Köppen értelmezésében minden egyes helyre vonatkozóan!
9. Hol található a legtöbb embert érintő változás?
10. Soroljunk fel legalább öt olyan helyet a Földön, ahol az 1901-2100 közötti időszakra vonatkozó éghajlatváltozás nem vehető észre Rubel and Kottek (2010) munkája alapján!
11. Mekkora területet jelent a teljes szárazföldi felszín 1%-a?
12. Tekintsük Köppen klímáinak öt fő csoportját (*A*, *B*, *C*, *D* és *E*). Mely fő csoportok alakulnak majd át, s milyen fő csoportokká Rubel and Kottek (2010) szerint?
13. Van-e $E \rightarrow B$ klímaváltozás a Földön? Ha igen, hol zajlik ez a folyamat?
14. Van-e $E \rightarrow C$ klímaváltozás a Földön? Ha igen, hol zajlik ez a folyamat?
15. Miként változik majd az *A* klímájú területek kiterjedése Rubel and Kottek (2010) szerint?
16. Miként változik majd a *B* klímájú területek kiterjedése Rubel and Kottek (2010) szerint?
17. Milyen adatok alapján vizsgálták Fábián and Matyasovszky (2010) Magyarország éghajlatát Köppen módszerének tükrében?
18. Foglalkozunk össze Fábián and Matyasovszky (2010) legfontosabb eredményeit a Magyarországon zajló éghajlatváltozás folyamatával kapcsolatban! Hasonlítsuk össze ezeket az eredményeket Rubel and Kottek (2010) eredményeivel!
19. Említsünk meg legalább egy kutatót, aki használta Holdridge osztályozását a globális éghajlatváltozás folyamatának elemzésében?
20. Jellemezzük a Tibeti-magasföldön zajló melegedést Holdridge módszerének tükrében Sisneros et al. (2011) szerint!
21. Jellemezzük az Alaszkában zajló melegedést Holdridge módszerének tükrében Sisneros et al. (2011) szerint!

22. Jellemezzük a Skandináv-félszigeten zajló melegedést Holdridge módszerének tükrében Sisneros et al. (2011) szerint!
23. Jellemezzük a Nyugat-ausztráliai fennsíkon zajló melegedést Holdridge módszerének tükrében Sisneros et al. (2011) szerint!
24. Lesz-e éghajlatváltozás Közép-Európában Sisneros et al. (2011) szerint?
25. Jellemezzük a Kárpát-medence térségében zajló melegedést a 20. században Holdridge alapján! Milyen adatok alapján történt az elemzés?
26. Jellemezzük a Magyarországon zajló melegedést a 20. században Holdridge alapján!
27. Hány klímátípus fordul elő a Földön Thornthwaite szerint?
28. Mit mondhatunk a Földön található száraz és nedves területek arányáról Thornthwaite szerint?
29. Jellemezzük a Kárpát-medence térségének nedvességét Thornthwaite globális léptékű alkalmazása alapján!
30. Mennyi az évi PET értéke Kárpát-medence térségében Thornthwaite globális léptékű alkalmazása alapján?
31. Jellemezzük a vízellátottság változását a 21. században Kárpát-medence térségében Thornthwaite alapján! Milyen adatok alapján történt az elemzés?
32. Jellemezzük a hőellátottság változását a 21. században Kárpát-medence térségében Thornthwaite alapján!
33. Mit állapított meg Feddema (2005) Thornthwaite (1948) modelljével kapcsolatban? Mit módosított rajta?
34. Hogyan definiálta az I_m nedvességi indexet Thornthwaite, és hogyan Feddema?
35. Hogyan minősítette Feddema a $600 < PET \leq 900$ mm hőellátottságú területeket?
36. Hogyan minősítette Feddema a $300 < PET \leq 600$ mm hőellátottságú területeket?
37. Hogyan jellemezte Feddema a szezonális mértékét? Hány kategóriát különböztetett meg?
38. Hogyan becsülte Feddema azt, hogy mely elem (csapadék, hőmérséklet) szezonális megváltozása a meghatározó?
39. Mit mondhatunk a Thornthwaite- és a Feddema-féle I_m indexek területi eloszlásával kapcsolatban?
40. Jellemezzük röviden a Föld éghajlatát Feddema szerint! Milyen adatok alapján történt az elemzés?
41. Mit jeleznek előre az Egyesült Államok vízellátottságával kapcsolatosan a 21. században?
42. Soroljuk fel Feddema azon klímátípusait, melyek előfordultak Magyarországon az 1961-1990 közötti időszakban!
43. Jellemezzük röviden Magyarország éghajlatának változásait a 20. században Feddema alapján!
44. Mivel magyarázható az, hogy a bemutatott módszerek közül Köppen módszere lett a legnépszerűbb?
45. Voltak-e ellentmondások a globális éghajlatváltozás folyamatának becslésében Köppen, Thornthwaite vagy Holdridge között?
46. Mely módszer adta a legkevesebb információt a Kárpát-medencében zajló éghajlat-változásról?
47. Hogyan képzelhető el Magyarország éghajlatának változása a 21. században Köppen alapján?
48. Hogyan képzelhető el Magyarország éghajlatának változása a 21. században Holdridge alapján? Hasonlítsuk össze Holdridge és Köppen eredményeit!
49. Mely módszer adta a legtöbb információt a Kárpát-medencében zajló éghajlat-változásról?

Felhasznált irodalom

- Ács, F. és Breuer, H.. 2006. *Modelling of soil respiration in Hungary*. Agrokémia és Talajtan. Vo. 55. No. 1. 59-68.
- Berényi, D.. 1943. *Az éghajlathatárok és állandóságuk*. Földrajzi Közlemények. Vo. 71. No. 4. 231-248.
- Box, E.O.. 1981. *Macroclimate and Plant Forms: An Introduction to Predictive Modelling in Phytogeography*. Junk, The Hague. 276 pp. ISBN: 9061939410.
- Brown, S. és Lugo, A.E.. 1982. *The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle*. Biotropica. Vo. 14. 161-187.
- Budyko, M.I.. 1956. *Heat balance of the Earth's surface (in Russian)*. Leningrad Gidrometeoizdat, Leningrad. 25 pp.
- Carter, D.B. és Mather, J.L.. 1966. *Climatic classification for environmental biology*. Publications in Climatology. Vo. 19. No. 1. 305-395.
- Diaz, H.F. és Eischeid, J.K.. 2007. *Disappearing "alpine tundra" Köppen climatic type in the western United States*. Geophys. Res. Lett.. Vo. 34. L18707; doi: 10.1029/2007GL031253.
- Drucza, M. és Ács, F.. 2006. *Relationship between soil texture and near surface climate in Hungary*. Időjárás. Vo. 110. No. 2. 135-153.
- Emanuel, W.R., Shugart, H.H., és Stevenson, M.P.. 1985. *Climate change and the broad-scale distribution of terrestrial ecosystem complexes*. Clim. Change. Vo. 7. 29-43.
- Fábián, Á.P. és Matyasovszky, I.. 2010. *Analysis of climate change in Hungary according to an extended Köppen classification system, 1971 - 2060*. Időjárás. Vo. 114. No. 4. 251-261.
- Fedemma, J.J.. 2005. *A revised Thornthwaite-type global climate classification*. Physical Geography. Vo. 26. No. 6. 442-466.
- Foley, J.A., Levis, S., Prentice, I.C., Pollard, D., és Thomson, S.L.. 1998. *Coupling dynamics models of climate and vegetation*. Global Change Biol.. Vo. 4. 561-579.
- Fraedrich, K., Gerstengarbe, F.-W., és Werner, P.C.. 2001. *Climate shift during the last century*. Climate Change. Vo. 50. 405-417.
- Fuchs, T.. 2008. *GPCC's Full Data Reanalysis Version 4 for 1901 - 2007, Personal Communication*. ftp://ftp-anon.dwd.de/pub/data/gpcc/html/fulldata_download.html.
- Geiger, R.. 1954. *Klimaklassifikation der Klimate nach W. Köppen [in: Landolt Börnstein (eds.) Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik, alte Serie Vol. 3]*. Springer, Berlin. 603-607.
- Gerstengarbe, F.-W., Werner, P.C., és , . 2009. *A short update on Koeppen climate shifts in Europe between 1901 and 2003*. Clim. Change. Vo. 92. 99-107.
- Goudriaan, J., Shugart, H.H., Bugmann, H., Cramer, W., Bondeau, A., Gardner, R.H., Hunt, L.A., Lauwenroth, W.K., Landberg, J.J., Linder, S., Noble, I.R., Parton, W.J., Pitelka, L.F., Stanford Smith, M., Sutherst, R.W., Valentin, C., és Woodward, F.I.. 1999. *Use of models in global climate studies*. In: Walker, B., Steffen, W., Canadell, J., Ingram, J. (eds.). *The terrestrial biosphere and global change: Implications for natural and managed ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 106-140. ISBN 0-521-62480-0.
- Grundstein, A.. 2009. *Evaluation of climate change over the continental United States using a moisture index*. Clim. Change. Vo. 93. 103-115.

- Guetter, P.J., Kutzbach, J.E., és , . 1990. *A modified Köppen classification applied to model simulations of glacial and interglacial climate*. Clim. Change. Vo. 16. 193-215.
- Haxeltine, A., Prentice, I.C., és , . 1996. *BIOME3: An equilibrium terrestrial biosphere model based on ecophysiological constraints, resources availability, and competition among plant function types*. Global Biogeochem. Cycles. Vo. 10. 693-709.
- Henderson-Sellers, A.. 1993. *Continental vegetation as a dynamic component of global climate models: a preliminary assessment*. Clim. Change. Vo. 23. 337-377.
- Holdrige, L.R.. 1947. *Determination of world formulations from simple climatic data*. Science. Vo. 105. 367-368.
- Holdrige, L.R.. 1967. *Live Zone Ecology*. Tropical Science Center, San Jose, Costa Rica. 206 pp. Open Library OL3895575M.
- Jylha, K., Tuomenvirta, H., Ruosteenoja, K., Niemi-Hugaerts, H., Keisu, K., és 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.. Vo. 2. 148-167.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., és Rubel, F.. 2006. *World map of the Köppen-Geiger climate classification updated*. Meteorol. Z.. Vo. 15. 259-263.
- Köppen, W.. 1936. *Das geographische System der Klimate*. In: Köppen, W. und R. Geiger (Hrsg.): *Handbuch der Klimatologie. Bd. 1, Teil C*. Borntraeger, Berlin. 44 pp.
- Kuttler, W.. 2009. *Grundriss Allgemeine Geography: Klimatologie*. Schöning, Paderborn. 260 pp. ISBN 9783825230999.
- Legates, D.R. és Willmott, C.J.. 1990a. *Mean seasonal and spatial variability in gauged-corrected, global precipitation*. International Journal of Climatology. Vo. 10. 111-127.
- Legates, D.R. és Willmott, C.J.. 1990b. *Mean seasonal and spatial variability in global surface air temperature*. Theoretical and Applied Climatology. Vo. 41. 11-21.
- Lenihan, J.M. és Neilson, R.P.. 1993. *A rule-based formation model for Canada*. J. Biogeogr.. Vo. 20. 615-628.
- Lloyd, S.J., Kovats, R.S, és Armstrong, B.G.. 2007. *Global diarrhoea morbidity, weather and climate*. Climate Res.. Vo. 34. 119-127.
- Lugo, A.E. és Brown, S.. 1991. *Comparing tropical and temperate forests. Comparative analysis of ecosystems: patterns, mechanisms, and theories*. (Ed. by Cole, J., Lovett, G., and Findlay, S.). Springer-Verlag, New York. 319-330. ISBN: 0-387-97488-1.
- Lugo, A.E., Brown, S.L., Dodson, R., Smith, T.S., és Shugart, H.H.. 1999. *The Holdridge life zones of the conterminous United States in relation to ecosystem mapping*. J. of Biogeogr.. Vo. 26. 1025-1038.
- Manabe, S. és Holloway, J.L.. 1975. *The seasonal variation of the hydrologic cycle as simulated by a global model of the atmosphere*. J. Geophys. Res.. Vo. 80. 1617-1649.
- Manabe, S. és Stouffer, R.J.. 1980. *Sensitivity of a Global Climate Model to an Increase of carbon-dioxide Concentration in the Atmosphere*. J. Geophys. Res.. Vo. 85. 5529-5554.
- McCabe, G.J., Wolock, D.M., Hay, L.E., és Ayers, M.A.. 1990. *Effects of climatic change on the Thornthwaite moisture index*. Water Resour. Bull.. Vo. 26 (4). 633-643.
- Melillo, J.M., McGuire, A.D., Kicklighter, D.W., Moore, I.B., Vörösmarty, C.J., és Schloss, A.L.. 1993. *Global climate change and terrestrial net primary production*. Nature. Vo. 363. 234-240.
- Mitchell, T.D. és Jones, P.D.. 2005. *An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids*. Int. J. Climatol.. Vo. 25. 693-712.

- Mitchell, T.D., Carter, T.R., Jones, P.D., Hulme, M., és New, M.. 2004. *A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed records (1901 - 2000) and 16 scenarios (2001 - 2100)*, Working Paper 55. Tyndall Centre of Climate Change Research, Norwich UK. 25 pp.
- Mizoguchi, Y., Miyata, A., Ohtani, Y., Hirata, R., és Yuta, S.L.. 2009. *A review of tower flux observation sites in Asia*. J. For. Res.. Vo. 14. 1-9.
- Neilson, R.P.. 1995. *A model for predicting continental-scale vegetation distribution and water balance*. Ecol. Appl.. Vo. 5. 362-385.
- Neilson, R.P., King, G.A., és Koerper, G.. 1992. *Toward a rule-based biome*. Landscape Ecol.. Vo. 7. 27-43.
- New, M., Hulme, M., és Jones, P.D.. 1999. *Representing twentieth century space-time climate variability. Part 1: development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology*. J. Climate. Vo. 12. 829-856.
- Overpeck, J.T., Bartlein, P.J., és Webb, I.T.. 1991. *Potential magnitude of future vegetation change in eastern North America: comparisons with the past*. Science. Vo. 254. 692-695.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L., és MacMahon, T.A.. 2007. *Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification*. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.. Vo. 4. 439-473.
- Post, W.M., Emanuel, W.R., Zinke, P.J., és Stangenberger, A.. 1982. *Soil carbon pools and world life zones*. Nature. Vo. 298. 156-159.
- Post, W.M., Pastor, J., Zinke, P.J., és Stangenberger, A.. 1985. *Global patterns of soil nitrogen storage*. Nature. Vo. 317. 613-616.
- Prentice, I.C., Cramer, W., Harrison, S.P., Leemans, R., Monserud, R.A., és Solomon, A.M.. 1992. *A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate*. J. Biogeogr.. Vo. 19. 117-134.
- Raw, M.. 2008. *OCR AS Geography*. Hodder Education, Deddington. 370 pp. ISBN-13: 978-0340947951.
- Réthy, A.. 1933. *Kísérlet Magyarország klímaterképének szerkesztésére a Köppen-féle klímabeosztás értelmében*. Időjárás. IX évf.. 105-115.
- Rubel, F. és Kottek, M.. 2010. *Observed and projected climate shifts 1901 - 2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification*. Meteorol. Z.. Vo. 19. 135-141.
- Sawyer, J.O.. 1963. *The Holdridge system of bioclimatic formations applied to the eastern and central United States*, MSc Thesis. Purdue University, Lafayette, Indiana. 127 pp.
- Sawyer, J.O. és Lindsey, A.A.. 1964. *The Holdridge bioclimatic formations of the eastern and central United States*. Proc. Indiana Acad. Sci.. Vo. 72. 105-112.
- Sisneros, R., Huang, J., Ostrochov, G., és Hoffman, F.. 2011. *Visualizing Life Zone Boundary Sensitivities Across Climate Models and Temporal Spans*. Procedia Computer Science. Vo. 00. 1-10. (available online at www.sciencedirect.com).
- Skarbit, N.. 2012. *Magyarország éghajlata a 20. században Feddema módszere alapján*, BSc szakdolgozat. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest. 34 pp.
- Smith, T.M., Leemans, R., és Shugart, H.H.. 1992. *Sensitivity of terrestrial carbon storage to carbon-dioxide-induced climate change: comparison of four scenarios based on general circulation models*. Clim. Change. Vo. 21. 367-384.
- Szelepcsényi, Z.. 2012. *A Kárpát-medence várható éghajlata ENSEMBLES szimulációk korrigált adatai alapján Thornthwaite szerint*, MSc dolgozat. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest. 52 pp.
- Thornthwaite, C.W.. 1948. *An approach toward a rational classification of climate*. Geogr. Review. XXXVIII. 55-93.

- Thorntwaite, C.W. és Mather, J.R.. 1955. *The water balance*. Publications in Climatology. Vo. 8. 1-104.
- Tchebakova, N.M., Monserud, R.A., és Nazimova, D.I.. 1994. *A Siberian vegetation model based on climate parameters*. Can. J. For. Res.. Vo. 24. 1597-1607.
- Tchebakova, N.M., Monserud, R.A., Leemans, R., és Golovanov, S.. 1993. *A global vegetation model based on the climatological approach of Budyko*. J. Biogeogr.. Vo. 20. 129-144.
- Utescher, T., Mosbrugger, V., Ivanov, D., és Dilher, D.L.. 2009. *Present-day climatic equivalents of European Cenozoic climates*. Earth Planet. Sci. Lett.. Vo. 284. 544-552.
- Van der Linden, P. és Mitchell, J.F.B. 2009. *ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project, Scientific report*. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK. 160 pp.
- Willmott, C.J. és Fedemma, J.J.. 1992. *A more rational climatic moisture index*. The Professional Geographer. Vo. 44. 84-88.
- Zanobetti, A.J. és Schawartz, J.. 2009. *The effect of fine and coarse particulate air pollution on mortality: A national analysis*. Environ. Health Perspect.. Vo. 117. 898-903.

5. fejezet - Befejezés

Essenwanger (2001) szerint egy éghajlat-osztályozási módszer akkor jó, ha a következő kritériumokat teljesíti:

- a módszer alkalmazásához szükséges adatok mennyisége legyen minél kisebb,
- a módszer legyen minél egyszerűbb, a lehető legegyszerűbb,
- az adott éghajlati típusnak az évi hő- és vízellátottságot, valamint ezek szezonális változásait kell kifejeznie,
- az éghajlati típusokat egyszerűen és egyértelműen kell definiálni, továbbá térképes megjelenítésük legyen minél áttekinthetőbb, s végül
- az éghajlat-osztályozásban a meteorológiai elvek, szempontok a legfontosabbak, ezek nem szorulhatnak háttérbe más elvekhez, szempontokhoz képest.

Köppen éghajlat-osztályozási módszere maradéktalanul teljesíti Essenwanger 1., 2., 4. és 5. kritériumát. A 3. kritériumot azonban csak részben teljesíti, mert az évi vízellátottságot, valamint a hőellátottság szezonális változásait nem veszi számításba. Holdridge éghajlat-osztályozási módszere maradéktalanul eleget tesz Essenwanger 1. és 4. kritériumának. A 2., a 3. és az 5. kritériumot viszont csak részben teljesíti. A módszer, mivel becsüli a potenciális evapotranszspirációt, már nem a lehető legegyszerűbb. Továbbá, Holdridge egyáltalán nem taglalja a szezonális változást, valamint a módszernél az ökológiai szempontok legalább annyira erősek, mint a meteorológiaiak. Thornthwaite módszere maradéktalanul eleget tesz Essenwanger 1., 3. és az 5. kritériumának. A 2. és a 4. kritériumot viszont egyáltalán nem teljesíti.

A következőkben áttekintjük a módszerek összehasonlító vizsgálata során kapott legfontosabb megállapításainkat globális skálán. Megállapíthatjuk, hogy a Köppen-féle klímaképletek szóródása a Holdridge (1947), valamint a Thornthwaite (1948) féle nedvességi kategóriák függvényében jelentős. A Holdridge (1947), valamint a Thornthwaite (1948) féle rendszerezéssel kapott nedvességbeli különbségeket a vegetáció-képek is igazolták (lásd pl. 3.11. ábra, ahol Vancouver és Santiago tipikus vegetációi közötti eltérés van bemutatva). Ennek ellenére az ilyen szembevető esetek száma csekély. Megemlíthető, hogy Köppen módszere – egyszerűségéhez képest – elfogadható eredményeket ad. Thornthwaite módszere viszont nem annyival jobb Köppen módszerénél, mint amennyivel komplexebb. Ezek nyilván szubjektív megállapítások, azonban a felhasználók nagy többsége ezen a véleményen lehetett miután Köppen módszere mellett döntöttek a mindennapi gyakorlatban. Fontos megjegyezni, hogy Köppen módszerét nemcsak a földtudományokban, a környezettudományban, az agrár- és biológiai tudományokban, hanem a társadalomtudományokban, az orvostudományban, a matematikában, az informatikában, sőt a művészetekben is alkalmazták (Rubel and Kottek, 2011).

A továbbiakban összegezzük a regionális/lokális skálán (a Kárpát-medence vagy Magyarország éghajlatának vizsgálata) kapott eredményeket. Köppen szerint Magyarország éghajlata túlnyomó részt meleg-mérsékelt. Holdridge szerint Magyarország területén a potenciális vegetáció alapvetően hideg-mérsékelt, üde erdő és hideg-mérsékelt füves puszta. Thornthwaite Magyarország hőellátottságát a „meleg-mérsékelt”, illetve „hideg-mérsékelt” kifejezések helyett a „mezotermális” szóval, pontosabban a B₁ mezotermális kategóriával jellemzi¹. Ugyanakkor Thornthwaite a mezotermális kategóriája már határos a mikrotermális kategóriával. Feddema (2005) szerint Magyarországon többnyire hűvös, száraz, vagy hűvös, nyirkos éghajlatok fordulnak elő, de előfordult hideg, nyirkos éghajlat is, pl. a Bükkben. A „hűvös” szó inkább „hideg-mérsékelt”-nek, mintsem „meleg-mérsékelt”-nek értelmezendő, így belátható, hogy nemcsak Holdridge, hanem Feddema² tipizálása is ellentmond Köppen módszerének. A Köppen (1936) féle hideg-mérsékelt/meleg-mérsékelt megkülönböztetés Magyarországon aszerint történik, hogy a leghidegebb hónap (T_{cold}) hőmérséklete kisebb-e vagy nagyobb-e -3°C -nál³. A -3°C -os határértéket Réthly (1933) kifejezetten nehezményezte⁴. Réthly észrevette azt, hogy a Magyarország éghajlatára vonatkozó „meleg-mérsékelt”

¹Ez azt jelenti, hogy az évi hőellátottság 570-712 mm évi potenciális evapotranszspirációt tesz lehetővé.

² Megemlíthető, hogy Feddema (2005) éghajlat-osztályozási módszere, amely egy módosított Thornthwaite-féle módszer, az Essenwanger (2001) féle kritériumokat maradéktalanul teljesíti.

³Ha $T_{\text{cold}} \leq -3^{\circ}\text{C}$ -nál, akkor az éghajlat hideg-mérsékelt, ha pedig $T_{\text{cold}} > -3^{\circ}\text{C}$, akkor az éghajlat meleg-mérsékelt

⁴Réthly Magyarország területére ennél magasabb, -2°C körüli határértéket javasolt.

minősítés sok szempontból megkérdőjelezhető⁵. Mindezek alapján leszögezhetjük, hogy hazánk éghajlatának jellemzése a mai napig is ellentmondásos.

A 19. század második fele a nemzeti meteorológiai szolgálatok megalapításának időszaka volt. Ekkor kezdődött el annak az adatbázisnak a megteremtése, amely lehetővé tette a generikus éghajlati megszületését a 20. század elején/derekán (Köppen, 1936; Thornthwaite, 1948; Holdridge, 1947; Geiger, 1954). Köppen és Thornthwaite korszaka volt a generikus éghajlati hőskora. Napjainkban azonban már nem a klímarendszerezés, hanem a klímamodellelés a cél (pl. McGuffie and Henderson-Sellers, 2005). A klímamodellés célja a múltbeli klímák reprodukálása és elemzése, valamint a jövőbeni klímák becslése. E klímadinamikai kutatásokban a generikus módszerek szintén felhasználhatók (pl. Rubel and Kottek, 2010; Jylhä et al., 2010). Ezt a 4. Alkalmazások c. fejezetben be is mutattuk, szemlélítve a globális (Föld) és regionális (Kárpát-medence, vagy Magyarország) példákat.

Összességében megállapíthatjuk, hogy egy jó, generikus éghajlat-osztályozási módszer a mai információs társadalomban⁶ is alapeszközzé válhat, pl. az éghajlatváltozás folyamatának megismerésében.

5.1 Kérdések

1. Soroljuk fel és jellemezzük röviden az éghajlat-osztályozási módszerek jóságával kapcsolatos Essenwanger (2001) féle kritériumokat!
2. Jellemezzük röviden Köppen éghajlat-osztályozását Essenwanger öt kritériuma alapján!
3. Jellemezzük röviden Holdridge éghajlat-osztályozását Essenwanger öt kritériuma alapján!
4. Jellemezzük röviden Thornthwaite éghajlat-osztályozását Essenwanger öt kritériuma alapján!
5. Hasonlítsuk össze a három éghajlat-osztályozási módszert Essenwanger kritériumai alapján!
6. Az éghajlat-osztályozási módszerekben a terület hőellátottsága a) a potenciális, b) a tényleges párolgás alapján jellemezendő. Húzzuk alá a helyes választ!
7. Az éghajlat-osztályozási módszerekben a terület vízellátottsága a) a potenciális, b) a tényleges párolgás alapján jellemezendő. Húzzuk alá a helyes választ!
8. Az éghajlat-osztályozási módszerek számára bármilyen információ a talajról, pl. a talaj fizikai félesége, a) feltétlenül szükséges, b) szükséges, c) nem szükséges. Húzzuk alá a helyes választ!
9. Van-e olyan éghajlat-osztályozási módszer Magyarországra vonatkozóan, amely maradéktalanul teljesíti az Essenwanger (2001) féle kritériumokat?
10. Van-e olyan éghajlat-osztályozási módszer Magyarországra vonatkozóan, amely az éghajlat szezonális változásait is jellemzi?
11. Mikor volt a generikus éghajlat-osztályozás fénykora?
12. Mi a modern klimatológia célja és hogyan kapcsolódik e célokhoz a generikus éghajlat-osztályozás?

Felhasznált irodalom

Bacsó, N.. 1959. *Magyarország éghajlata*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 302 pp.

Bartholy, J. és Weidinger, T.. 1997. *Hazánk éghajlati képe*. .

⁵Más kutatók is foglalkoztak Magyarország éghajlatának a tanulmányozásával, pl. Bacsó (1959), Varga-Haszonits (1977), Péczely (1979), Bartholy és Weidinger (1997). E tanulmányokban bevezették az ún. éghajlati körzeteket is. A körzetesítést az évi értékek területi eloszlása alapján végezték, azonban a szezonális változásokat csak érintették, vagy egyáltalán nem vizsgálták.

⁶Vegyük észre, hogy az információs társadalom megjelenése és a XXI. századi éghajlat-változás folyamata egybeesnek. Talán nem is véletlenül.

- Essenwanger, O.M.. 2001. *Classification of Climates, World Survey of Climatology 1C, General Climatology*. Elsevier, Amsterdam. 126 pp. ISBN-13: 978-0444882783.
- Fedemma, J.J.. 2005. *A revised Thornthwaite-type global classification*. Phys. Geogr.. Vo. 26. 442-466.
- Geiger, R.. 1954. *Klimaklassifikation der Klimate nach W. Köppen [in: Landolt Börnstein (eds.) Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik, alte Serie Vol. 3]*. Springer, Berlin. 603-607.
- Holdrige, L.R.. 1947. *Determination of world formulations from simple climatic data*. Science. Vo. 105. 367-368.
- Jylhä, K., Tuomenvirta, H., Ruosteenoja, K., Niemi-Hugaerts, H., Keisu, K., és 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.. Vo. 2. 148-167.
- 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 pp.
- McGuffie, K. és Henderson-Sellers, A.. 2005. *A Climate Modelling Primer, Third Edition*. John Wiley & Sons, Ltd, Padstow, Cornwall (England). 280 pp. ISBN 0-470-85750-1 (HB), ISBN 0-470-85751-X (PB).
- Péczely, Gy.. 1979. *Éghajlattan*. Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest. 336 pp. ISBN 963 17 4411 6.
- Rubel, F. és Kottek, M.. 2010. *Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification*. Meteorol. Z.. Vo. 19. 135-141.
- Rubel, F. és Kottek, M.. 2011. *Comments on "The thermal zones of the Earth " by Wladimir Köppen (1884)*. Meteorol. Z.. Vo. 20. No. 3. 361-365.
- Thornthwaite, C.W.. 1948. *An approach toward a rational classification of climate*. Geogr. Rev.. XXXVIII. 55-93.
- Varga-Haszonits, Z.. 1977. *Agrometeorológia*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 224 pp. ISBN 963 230 281 8.

6. fejezet - Életrajzok

A könyvben részletesen foglalkozunk Köppen, Holdridge és Thornthwaite éghajlat-osztályozásaival, valamint ezek alkalmazásaival mind globális (Lamb adatbázisa), mind lokális (Kakas adatbázisa) léptékű adatsorokon. Említettük továbbá, hogy Köppen és Thornthwaite módszerének első hazai alkalmazásai Réthly és Berényi nevéhez fűződnek. Így módon, könyvünk meghatározó szereplői: Köppen, Thornthwaite, Holdridge, Réthly és Berényi. Mindezek alapján praktikusnak tűnik, hogy e kutatók életrajzát is ismertetjük, s emellett általánosabb, összefoglaló jellegű vonatkozásokra is utalunk.

6.1 Wladimir Köppen (1846-1940) szakmai életrajza

Wladimir Köppen (Szentpétervár, 1846. szeptember 25.–Graz, 1940. június 22.) botanikus, meteorológus, klimatológus, paleoklimatológus, a generikus éghajlat és a paleoklimatológia atyjaként számon tartott kutatója. Oroszországban született és töltötte ifjúkorát. Nagy tekintélyű családból származott, mely az orosz társadalom kulturális és igazgatási elitjéhez tartozott. Nagypapja II. Katalin orosz cárnő idejében vándorolt ki Oroszországba, a közegészségügy rendszerének alapjait fektette le. Apja magas rangú köztisztviselő, helyi kormányzó, epidemiológusként tevékenykedő szakember a cár szolgálatában, a Birodalmi¹ Tudományos Akadémia tagja. Köppen nagybátyja a III. Sándor, orosz cár udvari tanítója. Köppen 15 éves koráig Szentpéterváron élt, majd miután apját 67 éves korában nyugdíjazták, a Krím-félszigeten levő birtokukra költöztek. A Szentpétervár-Krím-félsziget közötti utazások gyermekkorában meghatározó élményei közé tartoztak, a vegetáció földrajzi szélesség szerinti markáns változásai kápráztatták el. Csodaként élte meg azt, hogy elindulva a fenyvesek világából, a Krím-félsziget száraz, mediterrán növényzetének világába csöppen². Ez életének meghatározó élménye volt, s a növények iránti affinitása szakmai orientációját is eldöntötte. 1864-ben beiratkozik a Szentpétervári Egyetemre, doktori tanulmányait már a Heidelbergi Egyetemen folytatja, majd Lipcsében doktorál 1870-ben³. Doktori munkájának címe: *A hó és a növények csírázása*. 1872-73-ban a Szentpétervári Központi Obszervatórium⁴ munkatársa, itt ismerkedik meg a napi szinoptikus térképek előkészítésével, elemzésével. 1873-ban egy Bécsben tartott nemzetközi konferencia résztvevőjeként megismerkedik Hann osztrák meteorológussal, akivel élete végéig tartó barátságba kerül. Mivel állása bizonytalan volt, elfogadja Georg Neumayer ajánlatát, hogy az újonnan alapított, Hamburgban székelő Német Tengerhajózási Intézet⁵ Tengeri Meteorológiai Szekciójának vezetője legyen, így 1875-ben elköltözik Oroszországból. Új munkakörében az Atlanti-, Indiai- és a Csendes-óceán hajózási kézikönyveinek⁶ kidolgozásával és szerkesztésével foglalkozik. E hajózási kézikönyvek Köppen jól ismert széltérképeit is tartalmazták; ezeket Bergeron (1930) is használta a légtömegek, frontok és az időjárás klimatológiai vonatkozású elemzéseiben. Emellett sárkányrepülőkkal és meteorológiai ballonokkal végzett magaslégköri kutatásokat. Ezen úttörő munkájának eredményeként az 1879-ben megalakult Meteorológiai Világszervezet⁷ Aerológiai Bizottságának elnöke lett. Köppen meteorológusként tevékenykedik a *Deutsche Seewarte*-ban egészen nyugdíjazásáig, 1919-ig. Amellett, hogy tevékenyen részt vett a szinoptikus meteorológiai állomáshálózat kiépítésében, a *Seewarte*-ban szabadon is alkothatott. Éjjeli bagoly típusú ember volt, akinek a műszak a rendes munkaidő után kezdődött. Órákig, sokszor éjfél utánig is maradt, hogy foglalkozzon az Intézete által kiküldött hajókkal és elhelyezett bolyákkal begyűjtött adatok térképes megjelenítésével. Keveset aludt és reggel általában nehezen kezdte a napot. Állítólagos mottója: nincs sietés, nincs pihenés. 1884-ben elindítja a *Meteorologische Zeitschrift* c. tudományos folyóiratot, melyet eleinte egyedül, majd 1886-tól 1891-ig Julius Hann-nal együtt szerkeszt. A *Meteorologische Zeitschrift* 1. számában 2 meghatározó cikke is megjelenik. Az 1. cikke a híres éghajlat-osztályzásának előhírnökeként számon tartott *Die Warmezonen der Erde, nach der Dauer der heissen, gemässigten und kalten Zeit und nach der Wirkung der Wärme auf die organische Welt betrachtet* (A Föld hőövezetei, a meleg, mérsékelt és a hideg időszakok hossza, valamint a hőnek az élő szervezetekre gyakorolt hatása alapján) című tanulmánya, melynek teljes változata az ismert 1918.

¹Az Orosz Tudományos Akadémia akkori elnevezése. Az intézmény különböző elnevezéseket viselt a történetében, nevezetesen Szentpétervár Tudományos Akadémiája, A Tudományok és a Művészetek Birodalmi Akadémiája, Szentpétervár Birodalmi Tudományos Akadémiája, 1917-től lett Orosz Tudományos Akadémia

²Ez Köppen 1931-ben írt emlékirataiból derült ki.

³Köppen ekkor mindössze 24 éves.

⁴Az Orosz Meteorológiai Szolgálat kötelékébe tartozó intézmény

⁵Németül: Deutsche Seewarte.

⁶A gőzhajók fokozatosan váltották fel a vitorlás hajókat a 19. század végén.

⁷World Meteorological Organization (WMO).

évi publikáció (Köppen, 1918). Ennek többször átdolgozott végső verziója, Köppen 1936. évi – talán leghíresebb – publikációja (Köppen, 1936). A 2. cikke az időjárási előre jelzések statisztikai verifikációjával foglalkozott. Köppen utolsó cikke 1940-ben jelent meg⁸ a *Meteorologische Zeitschrift*-ben. 1887-ben Hann-nal együtt publikálja a *Meteorológiai Atlaszt*, 1890-ben Neumayerrel a *Felhőatlaszt*. 1899-ben megjelenik a híres *Grundlinien der Maritimen Meteorologie* (A tengeri meteorológia alapjai) c. könyve. 1908-10 között publikálja a *Thermodynamik der Atmosphäre* (A légkör termodinamikája) c. könyvét, amelyben Alfred Wegener⁹ a társszerzője. A Wegenerrel való gyümölcsöző együttműködésének koronája a *Die Klimate der Geologischen Vorzeit* (Az ősidők éghajlatai) c. könyve, ami 1924-ben jelenik meg. E könyv a paleoklimatológia egyik alapművének számít, melyben a Milankovics-féle éghajlatváltozás elméletét is bemutatták. 1924-ben Wegener Grazban kap egyetemi tanári állást; vele együtt Köppen is Grazba költözik¹⁰. Vejét 1930-ban elveszíti¹¹, azonban a csapás ellenére továbbra is alkot. 1931-ben kiadja a *Grundriss der Klimakunde* (Az éghajlattan alapjai) c. könyvét és minden erejével az ötkötetes *Handbuch der Klimatologie* (A klimatológia kézikönyve) c. könyvén dolgozik Rudolf Geigerrel együtt. E mű befejezését azonban már nem élte meg. Az utolsó könyve, a *Die Klimate der Geologischen Vorzeit* c. könyvének második, bővített kiadása után meghalt¹². Óriási életműve ellenére alkotásait nem fordították le angolra. Köppen teljes körű, 1919-ig folytatott levelezését a Berlini Állami Könyvtárban őrzik; a későbbi levelezései nem maradtak ránk. Alkotásainak nem teljes listája Else Wegener-Köppen (1955), Köppen életét bemutató könyvében található. Ugyanakkor ebben nincsenek feltüntetve a tudományt és az eszperantót¹³ népszerűsítő cikkei, illetve közleményei.

6.2 Charles Warren Thornthwaite (1899-1963) szakmai életrajza

Charles Warren Thornthwaite [Pinconning (Michigan, USA), 1899. március 7.–Arlington (Virginia, USA), 1963. június 11.] földrajztudós, klimatológus, az alkalmazott klimatológia egyik megalapítója. Thornthwaite-éknak négy gyermekük volt, Charles Warren volt a legidősebb. A protestáns bevándorlók számára – mint Thornthwaite-éknak is – a tanulás mindig fontos dolog volt, s mivel Pinconning-ben nem volt középiskola, a fiú Mount Pleasant-be költözött, hogy elvégezze középiskolai tanulmányait. Ott egy metodista¹⁴ templomban dolgozott házfelügyelőként. A középiskola után a Honvédség kadétiskolájába megy, de az I. világháború befejeztével kikerül onnan és beiratkozik a Mount Pleasant-ban levő Főiskolára¹⁵. Ott ismerkedik meg jövőendő feleségével, Densil Slentz-el, valamint életre szóló barátjával, John Leighly-vel. 1922-ben lediplomázik, majd Owosso-ban tanít egy középiskolában. 1923-24-ben a Michigani Egyetemen oktat. 1924-ben ő és Leighly barátja a kaliforniai Berkeley-be mennek doktori képzésre, ahol Carl Sauer, a fizikai földrajz tanára a témavezetőjük. Sauer tudott németül és a kezdetektől bátorította mind Thornthwaite-ot, mind Leighly-t a német szakirodalom követésére. Ily módon Thornthwaite fiatalon megismerte Köppen munkásságát, és – mint ahogy más forrásokból is kiderült – alaposan tanulmányozta azt. 1925-ben feleségül veszi Densil Slentz-et, aki három gyermekkel ajándékozta meg. A családi költségvetés kiegészítéséért munkát vállalt a Kentucky állam Geológiai Földmérő Hivatalában¹⁶ részmunkaidőben. Mivel sok időt töltött Kentucky-ban, s mivel Sauert is érdekelték az ottani természetföldrajzi viszonyok, Louisville város földrajzával kezdett foglalkozni témavezetőjének javaslatára. A doktori képzése 1927-ig tartott, míg a doktori diplomáját 1930-ban szerezte városföldrajzi témában, melynek címe: Louisville, Kentucky: Egy városföldrajzi tanulmány¹⁷. 1927-től az Oklahomai Egyetem alkalmazottja Norman városában. Az első meteorológiai munkája 1929-ben jelent meg az

⁸Köppen ekkor 94 éves volt. Különben 227 közleménye jelent meg e folyóiratban.

⁹Köppen ekkor már 64 éves, míg Wegener csak 30. Véleményünk szerint Köppen gazdag életében Wegener külön inspirációt jelentett, és a továbbiakban mindenféleképpen meghatározta életét. A sarki kutató, meteorológus, geofizikus, aki kidolgozza a kontinensvándorlás elméletét és tudományos hipotézis formájában könyvet is ír róla, Köppen veje, az öt lány közül az Elza lányának férje. Később, pontosabban az I. világháborút követően Köppenék és Wegenerék közös háztartásban is élnek.

¹⁰Wegener ekkor 44, míg Köppen 78 éves. A hurcolkodáskor Köppen magával viszi tekintélyes könyvtárát is.

¹¹Alfred Wegener az utolsó, harmadik grönlandi expedícióján halt meg a szeszélyes grönlandi időjárás áldozataként. Holttestét 1931-ben találták meg a jégben eltemetve. Ennek talán így kellett lennie, ugyanis Wegener az első grönlandi expedícióját nevezte élete legnagyobb élményének.

¹²Elza lánya, Wegener özvegye, így írt az 1955-ben megjelent *Wladimir Köppen: Ein Gelehrtenleben für die Meteorologie* (Köppen Wladimir: egy tudós meteorológus élete) c. Köppen életét bemutató könyvében: az utolsó simítások közben sürgőnyt küldött a Kiadóházba, melyben ez állt: Kérem, azonnal küldjék el a korrekciókat, a halálomon vagyok. Egy héttel később pihenés közben meghalt.

¹³Köppen hitt az internacionalizmusban és az eszperantó műnyelv használatát terjesztette a tudományközi kommunikációban. Egyébként igen jó nyelvtérzéssel megáldott ember volt. Beszélte, illetve használta a görög, latin, francia, német, angol és az orosz nyelvet, de jól értett spanyolul és olaszul is.

¹⁴A metodista tanítás a Szentlélek megszentelő munkájáról szól, ez a szeretet által munkálkodó hitről szóló tanítás.

¹⁵Angolul: Central Michigan Normal School, aminek mai neve: Central Michigan University.

¹⁶Angolul: Kentucky Geological Survey.

¹⁷Angolul: Louisville, Kentucky: A Study in Urban Geography. A tanulmány egyedi volt és sok mindenben megelőzte korát. Sokatmondó az a tény is, hogy Thornthwaite később csak városföldrajzi témában vezetett doktoranduszokat.

Oklahomai Egyetem Kiadványaiban¹⁸, s a címe: *A poláris front helye és szerepe az oklahomai időjárás értelmezésében és előre jelzésében*¹⁹. Az első világhírű cikke 1931-ben jelent meg, melynek címe: *The Climates of North America according to a New Classification* (Észak-Amerika éghajlatai egy új éghajlat-osztályozás szerint), ami a Köppen éghajlat-osztályozása alapos tanulmányozásának egyik eredményeként is értelmezhető. 1934-ben Thornthwaite elhagyja az Oklahomai Egyetemet és egy a Pennsylvániai Egyetemen vezetett, társadalomföldrajzi témájú projekten kezd dolgozni. Itt nagyon rövid ideig marad, majd 1935 júliusától – Sauer javaslatára – megkapja a Természetvédelmi Hivatal Éghajlati Kutatólaboratóriumának²⁰ a vezetését Virginia állam Arlington városában. Ez idő tájt számos projektben dolgozik, és ekkoriban ismeri fel a mezoszkálájú folyamatok jelentőségét is²¹. Az éghajlat-osztályozásban felismeri az evapotranszspiráció jelentőségét²². Ezt az *An approach toward a Rational Classification of Climate* (Egy közelítés a racionális éghajlat-osztályozás irányába) c. munkájában fejtette ki, amely az egyik leghíresebb, talán a legnagyobb hatású munkája is. 1946-ban Thornthwaite elhagyja Virginia államot és John Seabrook meghívására New Jersey-be költözik, ahol Seabrook farmján elkezd öntözési szaktanácsadó munkáját. Itt agroklimatológusként dolgozva új, gyakorlat-orientált, mezőgazdasággal kapcsolatos tapasztalatokat szerez. Itt kezd felszín közeli légköri turbulenciával, valamint műszerszerkesztéssel is foglalkozni. John Seabrook farmján 1952-ig marad, majd megalapítja saját tanácsadó cégét a vejével, Floyd Slentz-el. A cége tanácsadás mellett műszerszerkesztéssel is foglalkozott, s ez időben több szabadalma is megjelent. Thornthwaite ekkor már elismert kutató. 1947-48-ban az Amerikai Geofizikai Társaság Klimatológiai Bizottságának elnöke, 1951-ben a WMO Klimatológiai Bizottságának 1. elnöke, majd ezt a posztot 1957-ig tölti be. Az Amerikai Földrajzi Társaság a *Kimagasló Teljesítmény Díjával*²³ tünteti ki 1952-ben, majd az Amerikai Földrajzi Társaság *Cullum Földrajzi Érmével*²⁴ 1959-ben. Szeretett felesége 1962-ben hunyt el rákban. Emlékére alapítványt hozott létre az *alma mater* egyetemén²⁵. 1963-ban, az *alma mater* egyeteme címzetes doktorává avatja, de a ceremónián nem tud résztvenni a betegsége miatt. Rákban hal meg kilenc nappal később, 1963. június 11.-én.

6.3 Leslie Rensselaer Holdridge (1907-1999) szakmai életrajza

Leslie Rensselaer Holdridge [Ledyard (Connecticut, USA), 1907. szeptember 29.–Easton (Maryland, USA), 1999. június 19.] botanikus, a trópusi erdők specialistája, klimatológus, Lee Holdridge, híres amerikai zeneszerző és hangszerelő apja. BSc diplomáját erdészettől szerezte a Maine-i Egyetemen 1931-ben. 1933-34-ben erdésztként dolgozik, újraerdősítést végez a louisiana-i Kisatchie Nemzeti Parkban. Ezek után Puerto Rico-ba költözik, a Karibi Nemzeti Park ültetvényezési osztályának főnöke 1935-től 1938-ig, majd az Egyesült Államok Erdészeti Igazgatóságának erdésze 1938-tól 1941-ig. 1941-1946 között az erdészeti részleg vezetője a Haiti-Amerikai Mezőgazdasági Fejlesztési Társaságban²⁶. 1942 és 1943, valamint 1947 és 1949 között a vörös kínafa²⁷ kutatásával is foglalkozik Kolumbiában és Guatemalában. 1947-ben publikálja *A Föld növényi formációinak meghatározása egyszerű éghajlati adatok alapján*²⁸ c. munkáját a *Science* c. tudományos folyóiratban, ami életének legismertebb közleménye. Ugyanebben az évben megszerzi az MSc és a PhD diplomáját a Michigani Egyetemen. Erdésztként és ökológusként dolgozik a Mezőgazdaságtudományok Amerika Közi Intézetében a costa rica-i Turrialba-ban 1949 és 1960 között. Ugyanitt megalapítja a *La Selva*²⁹ nevű kutatóintézetet 1954-ben. 1961 és 1963 között tanácsadóként tevékenykedik. A közismert Life Zone Ecology (Az életzónák ökológiája) c. könyve 1964-ben jelenik meg. A costa rica-i San José-ban levő *Trópusi Tudományos Központ* ökológusként alkalmazza 1967-ben. Holdridge ekkor már megbecsült tudós. Különböző szervezetekben vezető bizottsági tag, 1969-ben pedig megkapja

¹⁸Angolul: Proceedings of the Oklahoma Academy of Sciences.

¹⁹A tanulmányt annak fényében kell olvasni, hogy akkor még nem alkalmazták a Bergeni-iskola légtömegekkel és frontokkal kapcsolatos eredményeit az Egyesült Államokban.

²⁰Angolul: Climatic and Physiographic Research Section of the Soil Conservation Service, Department of Agriculture.

²¹Egyik projektje keretében kb. 200 időjárás-mérő állomást üzemeltet egy kb. 60x80 km kiterjedésű területen.

²²Az evapotranszspiráció fogalmát a klimatológiában a 20. század 40-50-es éveiben vezették be.

²³Angolul: Outstanding Achievement Award.

²⁴Angolul: Cullum Geographical Medal, a Földrajzi Társaság egyik legrégebbi kitüntetése, amit George Washington Cullum-nak, a Földrajzi Társaság alelnökének a végrendeletére alapítottak. A rendelkezés szerint, e kitüntetés azokat illeti meg, akik jelentős földrajzi felfedezést tettek vagy a földrajztudomány előrehaladásához jelentősen hozzájárultak.

²⁵Mindketten a Michigani Egyetemen végeztek, Mount Pleasant-ben.

²⁶Spanyolul: Société Haitiano-Américaine Development Agricole.

²⁷Egy trópusokban élő fajról van szó, amelynek magassága a 20 m-t is meghaladhatja. Gyógynövényként használják étvágytalanság, kóros lesoványodás, emésztési zavarok esetén, de felhasználható lázcsillapítóként és fertőzésgátló szerként is az influenzás megbetegedések során.

²⁸Angolul: Determination of World Plant Formations from Simple Climatic Data.

²⁹A *La Selva* Biológiai Állomás Costa Rica egyik vezető kutatóintézete, a Trópusi Kutatások Szervezetének (angolul: Organization for Tropical Studies) egyik intézménye.

az Amerika Közi Mezőgazdaságtudományi Intézet érméjét. 1971-ben megjelenik a *Forest Environments in Tropical Life Zones; A Pilot Study* (Erdei környezetek a trópusi életzónákban, egy előtanulmány) c. könyve. 1978 és 1982 között az ökológia és a dendrológia³⁰ professzora a Costa Rica-i Technológiai Intézetben³¹. Az ökológia mellett egyre inkább más tudományok, pl. a fizika területéről az általános és speciális relativitáselmélet, a kristálytan, a fénytán, továbbá az asztrofizika és a kozmológia iránt is érdeklődik, keresve a Világmindenség alapvető, rendező mozgatórugóit. Az Univerzum élő és élettelen környezetéről alkotott képét, és fejlődéstörténetét le is írja; ezt egy 80 éves korában megjelent könyvében (Holdridge, 1987) meg is jelenti. E műve sokkal kevésbé ismert, mint az ökológiai vonatkozású kutatásai, ugyanakkor nyilvánvaló – annak ellenére, hogy sok helyütt vitatkozott a hivatalos tudományos állásponttal –, hogy a Világmindenségnek az ún. Holdridge (1987) féle értelmezését adta. Ez volt életének utolsó műve.

6.4 Réthly Antal (1879-1975) szakmai életrajza

Réthly Antal (Budapest, 1879. május 3.–Budapest, 1975. szeptember 21.) a földtudományok sokoldalú művelője (geofizika, szeizmológia, földrajz, balneológia, mezőgazdaság), azonban az utókor általában klimatológusként tartja számon. Életét alapvetően *Konkoly-Thege Miklós*³² határozta meg azzal, hogy bevezette az ifjú Réthlyt a tudományok világába és építette benne a tudományok iránti vonzalmat. Érettségi után előbb fél évig dolgozott³³, majd beiratkozott a Budapesti Tudományegyetem Bölcsészeti Fakultására, ahol nyolc féléven át tanult mint rendkívüli hallgató. 1902-ben megkapja az asszisztensi kinevezését az Országos Meteorológiai és Földmágnassági Intézetbe. 1903-1904 között az ógyallai obszervatórium dolgozója. Doktori vizsgáját 1912. április 19.-én teszi le Kolozsvárott, Cholnoky Jenő professzornál. Dolgozatát, melynek címe A földrengésekről, különös tekintettel az Alföldre és Kecskemétre *summa cum laude* minősítéssel védte meg. 1913-ban meteorológusként részt vesz az 1. magyar, tudományos Adria-expedícióban. 1917-től meteorológiát és éghajlattant tanít az Állami Kertészeti Tanintézetben, 1918-tól pedig az Országos Meteorológiai és Földmágnassági Intézet adjunktusa. 1920-tól meteorológiát és éghajlattant tanít a Közgazdaságtudományi Egyetemen, ahol 1923-ban megkapja a magántanári³⁴ címet. 1925-ben a Magyar Meteorológiai Társaság főtitkára³⁵. Az 1925-1927 közötti időszakban megszervezi Törökország meteorológiai szolgálatát, amiért *Kemal Atatürk*, a török köztársaság államfője kitünteti *Signum laudis* érdemmel. 1928-ban felkéri az első nemzeti Éghajlati Atlasz szerkesztésére, ami 1934-ben jelent meg 134 térképpel. 1931-ben az Országos Meteorológiai és Földmágnassági Intézet (ezentúl röviden Intézet) igazgatóhelyettese. 1935-ben kinevezik a Műszaki Egyetem Mezőgazdasági Karának nyilvános rendes tanárává, majd ugyanebben az évben – az MTA előterjesztésére – megkapja az Intézet igazgatói posztját is. 1939-ben kéri nyugdíjazását, de visszatartják, majd később bekapcsolódik a romokban heverő Budapest meteorológiai mérőhálózatának újraélesztésébe. 1947-48-ban pedig megéli életének legviszontagságosabb időszakát³⁶ ... rákerül a Budapestről kitelepítésre ítélték listájára. Margit-körúti lakását el kellett hagynia. Hetekig élt becsomagolt bőröndök között, várva a retteget hajnali csengetést. Végül régi barátai közbenjárására lekerült a kitelepítési listáról, de lakását már sohasem kapta vissza. Valószínűleg ekkor határozta el, hogy a pótolhatatlan, kiadatlan kéziratait, cédula gyűjteményeit átadja a Mezőgazdasági Múzeum őrzetébe, így azok az ő személyes sorsától függetlenül relatív biztonságba kerültek. Volt Intézetében sem hagyhatta értékes feljegyzéseit, hiszen a Meteorológiai Intézet is ugyanekkor élte át történetének legellentmondásosabb időszakát. A felügyelet változása, a képzetlen odarendelt vezetők³⁷ személye nem jelentett biztonságot több évtizedes gyűjtőmunkájának fennmaradására. 1948. május 15.-én 50 éves megszakítás nélküli szolgálat után nyugállományba vonul. Tudományos tevékenységét azonban ezután is folytatta. 1963-ban publikálta³⁸ Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1701-ig c. gyűjteményes munkáját. 1970-ben közölte³⁹ Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1701-1800-ig c. könyvét, ami az előbbi anyagának a folytatása. Életművéért 1970 április 15.-én megkapja a *Munka Érdemrend arany fokozatát*. Az Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1801-1900-ig c. könyve I. és II. kötetének a megjelenését azonban már nem

³⁰Dendrológia, azaz fa-tan.

³¹Spanyolul: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

³²Sokoldalú földbirtokos, többek között az Országos Meteorológiai és Földmágnassági Intézet igazgatója, aki igen jó viszonyban volt Réthly apjával, a Regensburg és Turnu-Severin között közlekedő gőzhajó kapitányával. Konkoly-Thege – barátja kérésére – ígértett tett, hogy felügyeli és gondját viseli a különben gyenge fizikumú ifjúnak barátja hosszú távollétei során.

³³A Duna Gőzhajózási Társaságnál vállalt írnoki munkát.

³⁴Napjainkban ez az oktatói fokozat egyenértékű a habilitált docens címmel.

³⁵A Magyar Meteorológiai Társaság 1925-ben alakult meg Réthly javaslatára. Ezzel egyben meg is oldódott az 1897-ben indított *Időjárás* című folyóirat rendszeres megjelenése.

³⁶A most következő hosszú idézet Mersich Ivánnak, az Országos Meteorológiai Szolgálat volt elnökének tollából származik, a Réthly tiszteletére kiadott *Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1801-1900-ig, I. kötet* című könyvnek Előszavából.

³⁷Tóth Géza helyére 1950-ben rövid idejig Szirmai Ervin munkásigazgató került.

³⁸Réthly ekkor 84 éves volt.

³⁹Megjegyezzük, hogy Réthly ekkor már 91 éves volt.

élte meg. E kötetek az előbbi könyveinek szerves folytatásai. Ezek Simon Antal szerkesztésével az Országos Meteorológiai Szolgálat gondozásában jelentek 1998-99-ben.

Réthlyt ugyan klimatológusként tartjuk számon, de sokoldalú – földtudományokkal foglalkozó – szervező és kutató volt. Így, pl. az Intézetben bevezette a rendszeres sugárzási- és földmágnességi méréseket, növelte a napfénytartam-mérő állomások számát, rendszeressé tette a légköri elektromossággal kapcsolatos méréseket, kezdeményezte a légszennyezettség-méréseket a fővárosban, valamint kidolgozta az agrometeorológiai sürgönyző szolgálat tervét is. A legfontosabb művei a Magyar Tudományos Akadémia kiadásában jelentek meg: pl. Magyarország földrengési térképei 1913-ban, A Kárpát-medence földrengései 1952-ben, Kitaibel Pál, az úttörő geofizikus 1958-ban és a Magyarországon észlelt sarkifények 1523-1960 között 1963-ban, ami német nyelven jelent meg.

6.5 Berényi Dénes (1900-1971) szakmai életrajza

Berényi Dénes (Karánsebes⁴⁰, 1900. szeptember 21.–Debrecen, 1971. november 30.) meteorológus, klimatológus, a Debreceni Tudományegyetem Bölcsészettudományi Karán végzett 1926-ban. 1927-ben doktorált, majd tanársegéddé nevezik ki a Földrajzi Intézetben, melynek vezetője Milleker Rezső, egyetemi tanár. 1928-ban agrometeorológiai, agroklimatológiai és fenológiai mérőhálózatot szervez bajor mintára a Tiszántúl területén a Mezőgazdasági Kamara támogatásával⁴¹. E mérésekkel párhuzamosan mérőállomást hoz létre az Egyetem sporttelepén is, amit később obszervatóriummá fejleszt. Ily módon Debrecenben a pallagi⁴² megfigyelések mellett ez az adatsor is rendelkezésre állt. 1929-ben Berényi pilotballonozással magaslégköri kutatásokat is indít. E mérések alapján elkezdte az időjárás-jelentések szerkesztését. 1933-ban egyetemi magántanárrá⁴³ nevezik ki. 1934-ben megbízzák a Meteorológiai Intézet vezetésével. A méréseket a háború alatt is folytatta a Tiszántúl háborús cselekményektől mentes területein. Ezen erőfeszítéseit jelentős mértékben támogatta a tiszántúli Mezőgazdasági Kamara. A méréseket a háború után is folytatta a Nemzeti Kormány megbízásából. Amíg a Nemzeti Kormány Debrecenből Budapestre nem költözött, az Országos Meteorológiai Intézetet is vezette. E tevékenységéért külön miniszteri elismerésben részesült. 1951-ben tanszékvezető egyetemi tanárrá nevezik ki. Az 50-es években az állomás-mérések mellett terepi mérésekben⁴⁴ is részt vesz. Intenzív együttműködést folytat Manning G. Adolf és Kreybig Lajos egyetemi tanárokkal. Ez időben zajlanak mikroklima mérései a különböző szántóföldi és kertészeti növények állományaiiban, a tokaj-hegyaljai borospincékben, az aggteleki karszt-barlangokban. 1958-1962 között a Természettudományi Kar dékánja. Az 1960-as években Máté Imre és Soó Rezső akadémikus professzorok kezdeményezésére energiaháztartási vizsgálatokat végez az újszentmargitai erdőben és a hortobágyi szikeseken. Szalai Sándor professzorral együttműködve pedig a légkör mesterséges radioaktivitását vizsgálja. Az országon belüli együttműködése is szerteágazó. Intenzív munkakapcsolatban volt Wágner Richárd (Szegei Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék), Száva-Kováts Józseffel (Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék), Réthly Antallal (Országos Meteorológiai és Földmágnességi Intézet), valamint Bacso Nándorral (Gödöllői Agrártudományi Egyetem, Meteorológiai Tanszék). A mérési eredményeit számos publikációjában ismertette. Az első publikációja a Debreceni Szemlében 1929-ben, míg az utolsó cikke az Időjárás c. folyóiratban 1970-ben jelent meg. A mikroklima-vizsgálatok eredményeit könyvekben is ismertette, így pl. közismert A talajmenti légréteg éghajlata (Mikroklima és növényklima) c. könyve, melyben társszerzője Száva-Kováts József. Publikációs tevékenysége töretlen még a háborús időszakban is. A Mikroklimatologie: Mikroklima der bodennahen Atmosphäre c. 328 oldalas könyv tekinthető életművének, mely 1967-ben jelent meg az Akadémiai Kiadó gondozásában. A tudományban és az oktatásban kifejtett munkáját az állam és a Magyar Meteorológiai Társaság is elismerte. Az állam *Munkaérdemrenddel* és az *Oktatásügy Kiváló Dolgozója* címmel, míg a Meteorológiai Társaság a *Hegyfoki Kabos Emlékéremmel* tüntette ki.

Berényi Dénes szakmai munkája a klimatológiai (mérőállomások) és agrometeorológiai (állományok mikroklimája) méréseken alapszik. E szakmai életútját serkentette a meteorológia fejlődése, ami abban a korban a meteorológiai állomáshálózat állandó építését és bővítését jelentette. E fősorban klimatológusként és agrometeorológusként teljesedett ki. Klimatológusként többek között intenzíven foglalkozott mind Köppen (Berényi, 1943a), mind

⁴⁰Románul Caransebes, németül Karansebesch, a város a romániai Krassó-Szörény megyében található Temesvártól kb. 90 km-re délkeletre.

⁴¹A megfigyelési adatokat havi jelentések formájában publikálták. A hálózat sikeresen működött a II. világháború kezdetéig.

⁴²Debrecenben 1854-től vannak rendszeres éghajlati megfigyelések. Ezeket *Tamássy Károly* gyógyszerész végezte saját ambíciójából. Az adatokat az akkori meteorológiai központokba (Bécs, Szentpétervár) is továbbították. E méréseket 1868-tól a Debreceni Felsőfokú Mezőgazdasági Tanintézet végezte. Innentől kezdve az adatokat már tudományos célokra is használták. Az első monográfiát, amely feldolgozta Debrecen éghajlatát, *Tamássy Károly* és *Zalka Zsigmond* írták 1889-ben. Az 59 oldalas mű a Debreceni Felsőfokú Mezőgazdasági Tanintézet értesítőjében jelent meg.

⁴³Ez az oktatói fokozat – mint már említettük – egyenértékű a habilitált docens címmel.

⁴⁴A terepi mérések világába, az interdiszciplináris kutatások szellemiségébe *Kerpely Kálmán* avatta be még fiatal korában.

Thornthwaite (Berényi, 1943b) éghajlat-osztályozásával, míg agrometeorológusként a mikroklíma-vizsgálatokat tartotta szívéügyének. E területen iskolateremtő munkát végzett, felnevelve fiatal aspiránsait, Szász Gábort és Justyák Jánost, akik továbbvitték a mérések iránti elkötelezettségét. Mindezt a munkát egy igen hányatott korban végezte. Egyrészt szembesülnie kellett azzal a ténnyel, hogy szülővárosa a határon túlra került, másrészt, a Monarchia felbomlásával a Károlyi Mihály, Kun Béla, Horthy Miklós, Rákosi Mátyás és Kádár János neveivel fémjelzett időszakok sokaságát kellett megélnie és túlélnie, nem beszélve az I. és a II. világháború, valamint az 1956-os forradalom embert próbáló napjairól. Egy biztos: az életművén nem látszanak e társadalmi mozgások viszontagságai.

6.6 Záró gondolatok

A bemutatott életrajzokat eddig nem hasonlítottuk össze és csak itt-ott vannak utalások az adott életrajznak, a kor szellemiségének, a szakmai fejlődéstörténetnek és a társadalmi változásoknak a viszonyáról. Ezúttal ezt kívánjuk pótolni egyes meglátásaink bemutatásával.

A kor szellemisége

Az emberiségre a legnagyobb hatást egyértelműen a növényvilág gyakorolta. Az éghajlat és a szárazföldi növényvilág kapcsolatrendszerének jellege biztosította azt, hogy az éghajlat-osztályozás tudományát meghatározó kutatók közül viszonylag sok a botanikus. Botanikus volt pl. nemcsak Humboldt, hanem Köppen és Holdridge is. Hármuk közül Holdridge volt a leginkább növény-orientált⁴⁵ és a legkevésbé éghajlat-osztályozó, annak ellenére, hogy élete utolsó évtizedeiben már intenzíven foglalkozott a modern fizika vívmányaival. A modern fizika Holdridge-re gyakorolt hatása igen nagy volt. Holdridge világképe kifejezetten tudományos, materialista, szakralitás nélküli, annak ellenére, hogy az ökológia és a modern fizika eredményeit próbálta a maga módján egységesíteni. E megítélésünk az A Complete Cosmology: The Cyclic Universe (Egy teljes kozmológia: A ciklikus Világmindenség) c. könyve egyes fejezeteinek olvasása alapján alakult ki. Ezzel szemben Humboldt kifejezetten szakrális⁴⁶ szemléletű ember volt. Ez feltehetően az óriási műveltsége révén alakult ki, amellyel, hogy világiáróként személyesen is meggyőződhetett a Föld csodálatos arcúlatáról. A szakrális hozzáállásáról a Kozmosz c. ötkötetes⁴⁷, 1845 és 1862 között megjelenő művének olvasása alapján győződhetünk meg. E munkájában a természet lelkéről, spiritualitásáról beszél, a természettel kapcsolatos teremtő fogalmáról viszont nem értekezik. Ez úgy is értelmezhető, hogy természettudósként is megtalálta a módját annak, hogy betagozódjék a kor hivatalos szellemiségébe⁴⁸. A fentieket összegezve, a jelen perspektívájából elgondolkodtató, hogy a tudománytörténet két meghatározó botanikusa, csodálva a növényeket, eljutott egészen a Világmindenség rendjének taglalásáig.

A meteorológia fejlődése

A modern időjárás-tan megszületése európai kutatók műve, és alapvetően Vilhelm Bjerknes nevéhez fűződik. Ez a folyamat a 20. század első évtizedeiben zajlott le az ún. bergeni iskola megteremtésével. A kor vezető meteorológiai folyóirata a Köppen által alapított és szerkesztett német nyelvű *Meteorologische Zeitschrift*. Többek között e folyóiratban jelent meg Vilhelm Bjerknesnek a tudományos időjárás-tan megalapozó *Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet von Standpunkt der Mechanik und Physik* (Az időjárás előre jelzés problémája a Mechanika és a Fizika szempontjából) c. cikke⁴⁹ 1904-ben. Felvetődik a kérdés, milyen hatással volt e fejlődéstörténet könyvünk meghatározó szereplőire? Kezdjük Köppennel! Köppen ekkor már 60 év körüli. A meteorológia elméleti vonatkozásaival nap mint nap találkozhatott, amikor a *Thermodynamik der Atmosphäre* (A légkör termodinamikája) c. tankönyvön Wegenerrel együtt dolgozott. E hatások dacára Köppen az éghajlatot továbbra is statikus, egyensúlyi állapotban levő rendszerként szemlélte; az állandó mozgásban levő légkör meghatározó szerepétől eltekintett. A szemlélete annyiban lett elméletesebb, hogy bevezette az *ideális éghajlat* és az *ideális kontinens* fogalmát is, azaz a gondolkodása, módszertana valamelyest elvontabbá vált. Egyéb tényezők érdemleges hatást nem gyakoroltak rá.

⁴⁵Mint már említettük, a trópusi erdők elismert specialistája.

⁴⁶A *szakrális* szó istenit, természetfeletti jelent. Nem bocsátkozva e kifejezések értelmezésébe, mi ezt világosabban (természetfeletti?) fogalmazzuk meg: *a természetben zajló, egyensúlyi állapotokban lévő folyamatok összessége – a görögök e folyamatok összességét *rendnek* nevezték – iránti tiszteletként értelmezzük, nem vitatva azt, hogy a teremtőnk maga a Föld*. Ezen értelmezésben a kulcsszó a *tisztelet*, ami feltételezi a meglévő állapotokba való beilleszkedést és az egyensúly fennmaradását.

⁴⁷E mű a Berliini Egyetemen bemutatott előadások sorozataként született, az ötödik kötet már posztumusz jelent meg.

⁴⁸Ez Európában, Humboldt idejében, a keresztény vallás világszemlélete volt.

⁴⁹Gyönyörű tudománytörténeti áttekintést olvashatunk Gabriele Gramelsberger tollából (Gramelsberger, 2009) Bjerknes cikkéről, és korának szakmai fejlődésébe való beágyazódottságáról.

Nem tudhatjuk, hogy Thornthwaite mennyire ismerhette a bergeni iskola műveit, eredményeit. Thornthwaite-nak – tudomásunk szerint – mindössze egy időjárásstannal kapcsolatos jelentősebb cikke ismeretes. *A poláris front helye és szerepe az oklahómai időjárás értelmezésében és előre jelzésében* c. cikke 1929-ben jelent meg. Az Egyesült Államok Meteorológiai Szolgálatában⁵⁰ ekkor még nem alkalmazták a bergeni iskola eredményeit. E tények arra utalnak, hogy a bergeni iskola Thornthwaite munkásságára gyakorolt hatása csekély volt, még akkor is, ha tudomást szerzett a kora időjárásstannak jelentős fejlődéséről. Ugyanez érvényes Holdridge-re is, aki elsősorban ökológus, és csak másodsorban éghajlat-osztályozó.

A bergeni iskolának a hazai szinoptikus meteorológiára gyakorolt hatása szintén kicsi (Bodolai és Bodolainé Jakus, 1970). Az 1920-as években a bergeni iskola eredményeiről mindössze néhány szinoptikus vonatkozású recenzio jelent meg az 1897-ben alapított *Időjárás* c. folyóiratban Steiner Lajos, Róna Zsigmond és Réthly Antal tollából. Steiner (1920a; 1920b; 1924) rövid recenzióiban találunk először utalást az új szinoptikai irányzatra. Réthly (1925) is írt egy ismertetést Georgii könyvéről (Georgii, 1924), ami bemutatta és összefoglalta a bergeni iskola akkori új eredményeit. Bodolai és Bodolainé Jakus (1970) szerint a bergeni iskola hazai szinoptikára gyakorolt csekély hatása természetes következménye mindazoknak az állapotoknak, amelyek jellemezték az akkori szinoptikus gyakorlatot. Réthly a tornádóról is értekezett az egyik cikkében (Réthly, 1925). Ezzel kapcsolatban Bodolai és Bodolainé Jakus (1970) így érveltek: Megemlíthjük még, hogy Réthlynak a biai tornádóról szóló – a lényegét tekintve még izobárszinoptikai – leírásában már az új felfogás⁵¹ nyomait is felismerhetjük. Berényinél, aki szűkebb szakirányú kutató volt, mint Réthly, a szakmai modernitást nem az időjárásstannal, hanem a növényi mikroklimák mélyebb megismerése jelentette. A fentieket összegezve elmondhatjuk, hogy az éghajlat-osztályozást meghatározó külföldi és hazai kutatók az időjárással legfeljebb csak másodlagosan foglalkoztak.

Mindezek után érdemes áttekinteni azt is, hogy milyen hatással voltak egymásra a könyv főszerzői. Köppen hatása volt a legnagyobb. Egyértelműen hatott Thornthwaite munkásságára, sőt azt is mondhatjuk, hogy Thornthwaite éghajlat-osztályozása a Köppen-féle éghajlat-osztályozás egyfajta kritikájaként született meg. Köppen hatása Magyarországon is érvényesült Réthly és Berényi munkáin keresztül. E jelentős hatás azzal magyarázható, hogy Köppen az éghajlat-osztályozással alaptudományként foglalkozott. Hasonlóképpen gondolkodott Thornthwaite is, aki Köppen éghajlat-osztályozásából kiindulva lerakta a fizikai klimatológia alapjait. Thornthwaite-nak szívügye volt, hogy a klimatológia a meteorológiától különváljon és önállósodjon. Ennek fényében nem csoda, hogy a fizikai klimatológia egyik alapítójaként tartják számon.

Társadalmi hatások

Az Egyesült Államokban, Németországban és Magyarországon élő kutatók merőben eltérő társadalmi környezetekben dolgoztak. Az I. és/vagy a II. világháború Thornthwaite-ot és Holdridge-ot nem érintette, Köppent részlegesen és közvetve, míg Réthlyt és Berényit igen nagy mértékben. Ez akár magyarázatként is szolgálhatna arra, hogy Köppen és Thornthwaite az alkotók, míg Réthly és Berényi az alkalmazók táborába sorolhatók. Holdridge-ot ezúttal is mellőztük, nemcsak azért, mert a trópusok szakavatott ökológusa volt, hanem azért is, mert ő már modern kori kutatónak tekinthető⁵². Réthly és Berényi átérték mind a fasizmus, mind a kommunizmus viszonyosságait, annak ellnére, hogy mindketten az Osztrák-Magyar Monarchiában születtek. Ide kívánczik, hogy a kommunizmus vészterhes időszakát csak a magyar kutatók élték meg és vészelték át, ki-ki a maga módján. E viszonyosságos idők mély, negatív nyomokat hagytak a magyarországi meteorológiában. A fejlődés azonban egyértelmű, bár erősen hullámzó. A felívelő időszakokat stagnáló és romló időszakok sokasága követi, és ez tipikus az első intézményeink megalapításától⁵³ kezdve egészen napjainkig. Az erőforrások gyakori megvonása azt tükrözi, hogy az állam számára a meteorológia eddig inkább erőforrás-nyelő, mintsem erőforrás-teremtő földtudományként van számontartva. E szemléletnek a logikus következménye, hogy Magyarországon a meteorológiát nem az alaptudományok, hanem inkább az alkalmazott tudományok szintjén művelik. Ez így volt a múltban, és – véleményünk szerint – így lesz a jövőben is, mindaddig, amíg a magyar társadalom süllyedése meg nem szűnik.

6.7 Kérdések

1. Hol született Köppen és milyen családból származott?
2. Hogyan és mikor ismerkedett meg Köppen a mediterrán éghajlat hangulatával?

⁵⁰Az akkori elnevezése: U.S. Weather Bureau

⁵¹Az új felfogás alatt a bergeni iskola szemlélete és eredményei értendő.

⁵²Holdridge 1999-ben hunyt el, a 20. század utolsó előtti évében.

⁵³Pl. az Országos Meteorológiai és Földmágnassági Intézetet 1870-ben alapították.

3. Hol végezte Köppen a doktori tanulmányait? Mi volt a doktori tanulmányainak a témája?
4. Hol kezd el Köppen dolgozni a doktori tanulmányai után?
5. Hogy kerül ki Köppen Németországba?
6. Hol dolgozott Köppen meteorológusként Németországban?
7. Hogyan kapcsolódik Köppen élete a *Meteorologische Zeitschrift* c. folyóirathoz?
8. Hány évig élt Köppen és hány éves korában jelent meg az utolsó cikke a *Meteorologische Zeitschrift* c. folyóiratban?
9. Milyen rokoni kapcsolatban volt Köppen Alfred Wegenerrel? Volt-e szakmai együttműködés közöttük?
10. Ki írt Köppen életéről könyvet?
11. Hol és milyen körülmények között végezte Charles Warren Thornthwaite a középiskolai tanulmányait?
12. Hol volt Thornthwaite doktori képzésen? Ki volt a témavezetője és mi volt doktori munkájának a tárgya?
13. Mi volt Thornthwaite 1. meteorológiai vonatkozású cikkének a tárgya?
14. Hány éves volt Thornthwaite, amikor megjelent a híres *Climates of North America according to a New Classification* c. munkája? Volt-e e cikkén kívül más, éghajlat-osztályozással foglalkozó tanulmánya?
15. Meséljünk John Seabrook szerepéről Thornthwaite életében!
16. Hogyan alakult Thornthwaite élete, miután elhagyta John Seabrook farmját?
17. Meséljünk Thornthwaite *alma mater* egyeteméhez fűződő kapcsolatáról?
18. Milyen betegségben hunyt el Thornthwaite?
19. Mi volt Holdridge végzettsége?
20. Mely országokban dolgozott Holdridge erdészként és milyen feladatokkal bízták meg?
21. Hány éves korában publikálta Holdridge életének legismertebb közleményét a *Science* c. folyóiratban? Mikor szerezte meg a PhD diplomáját?
22. Hány éves korában publikálta Holdridge a *Life Zone Ecology* c. könyvét?
23. Hol és mikor alapította meg Holdridge a *La Selva* nevű, igen híres kutatóintézetet?
24. Hol és mely nyelvterületen dolgozott Holdridge professzorként?
25. Mi volt Holdridge utolsó műve, és mi volt a mű témája?
26. Ki volt Konkoly-Thege Miklós? Hogyan határozta meg Réthly Antal életét?
27. Milyen munkahelyeken dolgozott Réthly Antal, amíg le nem doktorált?
28. Hány éves korában doktorált Réthly Antal? Mi volt doktori munkájának a témája?
29. Kapcsolódott-e Réthly Antal munkája az Adriai-tengerhez?
30. Kapcsolódott-e Réthly Antal munkája Törökországhoz?
31. Mikor kéri fel Réthlyt az 1. nemzeti *Éghajlati Atlasz* szerkesztésére?
32. Mi köze Réthlynak a Magyar Meteorológiai Társasághoz?

33. Hogyan vett részt Réthly Budapest II. világháború utáni újjáépítésében? Hány éves volt ekkor?
34. Hogyan érintette Réthlyt a II. világháború utáni kommunista hatalomváltás?
35. Melyik intézménynek adta át Réthly a klimatológiai adatgyűjtéssel kapcsolatos kéziratait? Mi volt a motivációja?
36. Hány évesen publikálta Réthly az Időjárás események és elemi csapások Magyarországon 1701-ig c. munkáját?
37. Hány évesen publikálta Réthly Időjárás események és elemi csapások Magyarországon 1701-1800-ig c. munkáját?
38. Kinek a jóvoltából (intézmény, szerkesztő) jelent meg az Időjárás események és elemi csapások Magyarországon 1801-1900-ig c. könyv I. és II. kötete, melyeknek forrásanyagát szintén Réthly adatgyűjteménye képezte?
39. Foglalkozott-e Réthly a klimatológia mellett más földtudományokkal? Ha igen, melyekkel?
40. Hol és hány éves korában doktorált Berényi?
41. Jellemezzük röviden a debreceni éghajlati megfigyelések múltját? Hogyan folytatta Berényi e munkát?
42. Hány éves korában lett Berényi egyetemi magántanár, majd egyetemi tanár?
43. Mikor kezdett Berényi mikroklíma-mérésekkel foglalkozni? Jellemezzük röviden Berényi mikroklíma-mérésekkel kapcsolatos munkáját!
44. Mely mű tekinthető Berényi életművének?
45. Hogyan érintette Berényit a trianoni békediktátum?
46. Ki az a két botanikus, akiknek az érdeklődési köre olyan tág volt, hogy az éghajlat tanulmányozásán túl a Világegyetemről is értekeztek? Jellemezzük ezeket az elképzeléseket!
47. Mennyire hatottak a modern időjárás tan vívmányai az éghajlat-osztályozással foglalkozó kutatók munkájára, szemléletére?
48. Jellemezzük röviden Köppen hatását a többi éghajlat-osztályozással foglalkozó tudós munkájára!
49. Jellemezzük röviden az I. és a II. világháború hatását Köppen, Holdridge, Thornthwaite, Réthly és Berényi munkásságára⁵⁴!
50. Hogyan hatott a fasizmus és a kommunista rendszerváltás e kutatók életére⁵⁵?
51. Hogyan jellemezhető a meteorológia fejlődése Magyarországon 1870-től napjainkig⁵⁶?

Felhasznált irodalom

- Berényi, D.. 1943a. *Az éghajlathatárok és állandóságuk*. Földrajzi Közlemények. Vo. 71. No. 4. 231 - 248.
- Berényi, D.. 1943b. *Magyarország Thornthwaite rendszerű éghajlati térképe és az éghajlati térképek növényföldrajzi vonatkozásai*. Időjárás. 47. (5-6). 81-91. (7-8). 117-125.
- Bodolai, I. és Bodolainé Jakus, E.. 1970. *A szinoptikus meteorológia és az előrejelző szolgálat fejlődése. In: Fejezetek a magyar meteorológia történetéből, 1870 - 1970, szerk: Szepesiné Lőrincz Anna*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest. 69-119.
- Georgii, W.. 1924. *Wettervorhersage. Die Fortschritte der Synoptischen Meteorologie*. Th. Steinkopf, Dresden. 116. OCLC Number: 459310749.

⁵⁴Egy tanács: pl. meg lehet nézni azt, hogy ki mennyit publikált az adott időszakokban. Ez persze csak egy a számos más mutató közül.

⁵⁵Ezt lehetetlen megítélni az ő perspektívájukból, ezért csak a tények felsorolására szorítkozunk!

⁵⁶E témát illetően sok információt szolgáltat Bodolai és Bodolainé Jakus (1970) cikke.

- Gramelsberger, G.. 2009. *Conceiving Meteorology as the exact science of the atmosphere: Vilhelm Bjerknes's paper of 1904 as a milestone*. Meteorol. Z.. Vo. 18. No. 6. 669-673.
- Holdridge, L.R.. 1987. *A Complete Cosmology; the cyclic universe*. Vantage Press, New York. 179. ISBN 10: 0533064988.
- Köppen, W.. 1918. *Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf*. Petermanns Geogr. Mitt.. Vo. 64. 193-203, 243-248.
- Köppen, W.. 1936. *Das geographische System der Klimate*. In: Köppen, W. und R. Geiger (Hrsg.): *Handbuch der Klimatologie*. Bd. 1, Teil C. Borntraeger, Berlin. 44.
- Réthy, A.. 1925a. *Der Wirbelsturm von Bia*. Időjárás. XIX. évf.. 5-6 füzet. 101-103.
- Réthy, A.. 1925b. *Georgii, W.: Wettervorhersage (ismertetés)*. Időjárás. XXIX. évf.. 7-8 füzet. 125-126.
- Steiner, L.. 1920a. *Berek, M.: Die Bestimmung der Vertikalkomponente der ausgeglichenen Bewegung in der Atmosphäre nebst einem Beispiele ihrer Bedeutung für die Wetterlage und den zeitlichen Druckverlauf (ismertetés)*. Időjárás. XXIV évf.. 1-2 füzet. 14-15.
- Steiner, L.. 1920b. *A velencei meteorológiai kongresszus (ismertetés)*. Időjárás. XXV évf.. 5-6 füzet. 33-38.
- Steiner, L.. 1924. *A felhőzet szerepe az időjárásban (ismertetés)*. Időjárás. XXVIII évf.. 3-4 füzet. 21-25.
- Wegener-Köppen, E.. 1955. *Wladimir Köppen. Ein Gelehrteleben für die Meteorologie*. In: *Grosse Naturforscher, edited by Hans Walter Frickhinger*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart. 194. OCLC Number: 609872547.

7. fejezet - Táblázatok

7.1 A Lamb (1978) féle adatbázis

7.1a. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Európa. T=havi középhőmérséklet (°C), P=havi csapadékösszeg (mm), ϕ =földrajzi szélesség (°) (a pozitív északi, a negatív déli szélességet jelöl), λ =földrajzi hosszúság (°) (a pozitív keleti, a negatív nyugati hosszúságot jelöl), tszf.=tengerszint feletti magasság (m). Az alábbi táblázatokban használt jelölések megegyeznek a fentiekkel.

Európa I.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf. [m]	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
3.	Spitsbergen			-9,2	-11,3	-11,8	-9,7	-3,3	2	5,2	4,7	1,4	-3,2	-6,1	-7,5
	78,07	13,63	5	26	26	24	15	20	19	25	42	35	39	36	35
4.	Jan Mayen			-4	-5,2	-4,8	-3,4	-0,5	2,4	5,2	5,5	3,8	0,9	-1,2	-2,9
	71,02	-8,42	12	79	54	63	58	23	28	36	61	83	93	82	75
5.	Angmagssalik			-6,8	-7,4	-5,5	-2,6	2,3	5,6	7,4	6,7	4,3	0,1	-3	-5,1
	65,62	-37,55	32	57	81	57	55	52	45	28	70	72	96	87	75
6.	Ivigutut			-5,3	-4,5	-2,8	0,4	5,2	8,4	9,8	8,8	6	1,6	-1,7	-4,1
	61,2	-48,17	5	86	125	86	81	99	100	75	109	172	187	144	77
8.	Thule			-24,2	-25,1	-26,4	-17,1	-4,9	2,8	5,7	4,4	-2,2	-10,4	-17,6	-23,3
	76,52	-68,83	11	7	9	5	3	5	6	17	14	15	17	13	5
10.	Stykkisholmur			-1,7	-2,1	-1,7	0,8	4,7	8,2	10	9,4	6,9	3,4	0,7	0,7
	65,08	-22,77	25	78	69	55	40	35	39	38	45	73	78	72	71
11.	Akureyeri			-1,1	-1,4	-0,6	1,7	6,1	9,4	11,1	10,3	7,8	3,6	0,8	0,3
	65,68	-18,08	23	45	42	42	32	16	23	35	38	46	57	45	54

7.1b. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Európa

Európa II.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
12.	Thorshavn			3,9	3,7	4,6	5,4	7,3	9,2	11	11,1	10	7,9	6,1	5
	62,05	-6,75	24	149	136	114	106	67	74	79	96	132	157	156	167
13.	Tromsø			-2,7	-3,3	-2	1	4,6	8,7	12	11,1	7,7	3,7	0,5	-1,3
	69,65	18,95	102	118	94	113	75	65	57	56	83	115	131	97	115
15.	Bergen			1,5	1,3	2,5	5,7	9,6	12,7	14,6	14	11,3	7,6	4,2	2,3
	60,4	5,32	43	179	139	109	140	83	126	141	167	228	236	207	203
16.	Oslo			-4	-3,6	-0,6	4,7	10,5	15,3	17,4	15,7	11,3	5,8	0,5	-2,9
	59,92	10,72	25	32	28	31	32	38	48	68	82	60	61	44	39
17.	Stockholm			-2,9	-3,2	-1,1	3,6	9,1	14,3	17,2	15,7	11,6	6,5	1,7	-1,3
	59,35	18,07	45	43	30	26	31	34	45	61	76	60	48	53	48
18.	Koppenhága			-0,1	-0,3	1,5	5,9	11	15,2	17,1	16,4	13,1	8,5	4,1	1,3
	55,68	12,6	27	40	34	35	37	41	50	62	67	55	58	50	44
19.	Edinburgh			3,5	3,8	4,8	7,1	9,8	13	14,7	14,3	12,2	8,8	5,7	4,1
	55,92	-3,18	76	55	42	44	39	52	53	71	78	60	67	58	57
20.	Ben Nevis			-4,4	-4,6	-4,4	-2,4	0,6	4,3	5,1	4,7	3,3	-0,3	-1,7	-3,8
	56,8	-5	1343	466	344	387	215	201	192	274	339	400	392	390	484
21.	Stornoway			4,7	4,7	5,6	6,7	9,2	11,4	13,3	13,3	11,4	9,2	6,7	5,3
	58,18	-6,35	10	107	75	63	65	52	68	87	88	97	118	111	110
22.	Valentia			7,2	7,2	7,6	9,1	11,4	13,8	14,9	15,1	13,7	11,2	8,8	7,7
	51.93	-10.25	9	165	123	104	89	82	85	102	120	114	144	144	164

7.1c. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Európa

Európa III.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
23.	Dublin			5	5	6,4	7,8	10,3	13,6	15	15	12,8	10	6,9	5,3
	53,37	-6,35	47	69	56	51	48	58	51	71	76	71	69	69	66
25.	London			4,2	4,4	6,7	8,9	12,2	15,6	17,8	17,2	15	10,6	6,7	4,7
	51,48	0	45	51	38	36	46	46	41	51	56	46	58	63	51
26.	Utrecht (De Bilt)			1,8	2,5	4,7	8,1	12,1	15,3	16,9	16,5	14	9,7	5,2	2,6
	52,1	5,18	3	68	52	45	49	52	58	77	88	71	72	70	63
27.	Hamburg			0	0,4	3,3	7,6	12,2	15,6	17,3	16,8	13,6	9,1	4,9	1,8
	53,63	10	16	57	48	39	52	53	64	84	83	63	59	59	59
28.	Berlin			-0,1	0,8	3,9	8,6	13,7	17,3	19	18,1	14,6	9,4	4,1	1
	52,5	13,33	35	43	37	38	40	48	60	76	61	44	46	44	46
29.	Brocken (Harz)			-4,6	-4,7	-2	1,2	5,7	9,1	10,8	10,7	7,9	3,6	-0,3	-3
	51,8	10,62	1142	158	126	94	105	96	115	143	117	105	122	115	126
30.	München			-2,2	-1	3,3	7,9	12,5	15,9	17,7	16,9	13,7	8,2	3,1	-0,7
	48,13	11,7	529	59	55	51	62	107	125	140	104	87	67	57	50
31.	Prague (Klementinum)			-0,8	0,4	4	9	14,2	17,7	19,5	18,7	15	9,5	3,9	0,4
	50,08	14,42	202	20	20	25	36	54	61	61	57	38	31	27	24
32.	Varsó			-3,3	-2,3	1,4	7,5	13,6	17,2	18,8	17,7	13,6	8	2,3	-1,7
	52,22	21,02	120	32	29	33	39	51	65	80	73	45	42	39	36
33.	Párizs (Parc St. Maur)			2,8	3,9	6,4	10	13,5	16,7	18,5	17,9	15	10,4	6	3,3
	48,8	2,5	50	38	33	38	43	51	53	53	51	51	56	51	48

7.1d. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Európa

Európa IV.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
34.	Bordeaux (Merignac)			5,2	5,9	9,3	11,7	14,7	18	19,6	19,5	17,1	12,7	8,4	5,7
	44,83	-0,7	49	90	75	63	48	61	65	56	70	84	83	96	109
35.	Marseilles			6,7	7,6	9,8	12,8	16,4	20	22,5	22,1	19,5	15,2	10,5	7,3
	43,45	5,38	75	48	38	46	51	48	25	15	23	66	94	79	56
36.	Genf			0,6	1,9	5,3	9,5	13,7	17,4	19,5	18,7	15,2	9,9	5	1,4
	46,2	6,15	405	50	54	72	73	71	83	77	102	89	87	79	79
37.	Bázel (Binningen)			-0,2	1,4	4,7	8,9	13	16,5	18,3	17,6	14,2	9,1	4	0,6
	47,55	7,58	317	43	41	50	64	82	93	87	84	77	71	59	50
38.	Zürich			-1,6	0	3,8	7,9	12,1	15,6	17,3	16,6	13,3	8,1	3,1	-0,3
	47,38	8,57	569	64	55	74	94	114	140	142	132	104	87	67	76
39.	St. Gotthard			-7,4	-7,2	-5,2	-2	1,9	5,4	8,1	8	5,2	0,7	-3,6	-6,6
	46,55	8,57	2095	185	186	178	209	211	172	167	206	202	232	210	169
40.	Sonnblick			-12,9	-13,1	-11,7	-8,8	-4,1	-1,1	1,1	0,9	-1,2	-4,7	-8,9	-11,8
	47,05	12,95	3106	109	122	132	152	150	124	137	122	104	117	107	119
41.	Bécs (Hohe Warte)			-1,4	0,4	4,7	10,3	14,8	18,1	19,9	19,3	15,6	9,8	4,8	1
	48,25	16,37	203	40	43	45	45	70	67	83	72	41	56	53	45
42.	Budapest			-1,1	0,8	5,6	11,5	16,7	20	22	21,1	16,8	11,3	4,9	0,5
	47,28	19,02	118	40	35	44	53	71	69	52	50	46	55	57	50
43.	Belgrád			-0,2	1,6	6,2	12,2	17,1	20,5	22,6	22	18,3	12,5	6,8	2,5
	44,8	20,45	132	48	46	46	54	75	96	60	55	50	55	61	55

7.1e. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Európa

Európa V.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
44.	Bukarest			-3,2	-0,8	4,9	11,4	16,9	20,5	22,9	22,3	17,7	11,8	4,9	-0,5
	44,42	26,1	91	34	28	42	44	63	88	68	51	40	43	48	41
45.	Lisszabon			10,4	11,2	12,8	14,4	16,5	19,4	21,3	21,8	20,3	17,2	13,7	11,1
	38,72	-9,13	95	89	83	87	64	42	17	5	4	36	75	101	98
46.	La Coruna			9,5	9,8	10,8	11,9	14	16,2	17,8	18,2	17,3	14,8	12	10,3
	43,37	-8,4	58	121	80	95	70	60	46	29	47	71	92	125	139
47.	Madrid			4,9	6,5	10	13	15,7	20,6	24,2	23,6	19,8	14	8,9	5,6
	40,42	-3,68	667	38	34	45	44	44	27	11	14	31	53	47	48
48.	Sevilla			10	11,7	14,2	16,7	20,3	24,4	27,5	28,1	24,7	19,7	14,4	11,1
	37,48	5,98	39	56	74	84	58	33	23	3	3	28	66	94	71
49.	Gibraltár			12,7	13,2	14,1	15,8	18	20,7	23	23,7	22	18,8	15,7	13,3
	36,1	-5,35	3	119	114	119	67	41	14	1	2	33	83	165	136
50.	Madeira (Funchal)			15,6	15,4	15,7	16,5	17,7	19,7	21,4	22,3	22	20,6	18,4	16,5
	32,63	-16,9	25	77	85	83	43	24	8	2	2	29	91	107	84
51.	Ponta Delgada			14,5	14,2	14,3	15,2	16,5	18,8	20,9	21,9	20,9	18,8	16,8	15,5
	37,75	-25,67	36	77	77	63	57	54	35	21	36	66	84	85	85
52.	Milánó			1,4	3,9	8,3	13,2	17,7	21,8	24,3	23,3	19,4	13,4	6,9	2,7
	45,45	9,18	147	57	56	80	90	104	82	68	71	86	118	103	77
54.	Róma			6,8	8	10,4	13,8	17,9	21,9	24,7	24,4	21,2	16,6	11,5	8
	41,9	12,48	18	79	69	72	67	57	39	15	25	69	126	117	99

7.1f. táblázat Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Európa

Európa VI.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
55.	Palermo			10,7	11,2	12,7	15,2	18,5	22,1	24,9	25,2	23,2	19,8	15,7	12,2
	38,12	13,32	105	127	92	66	43	20	5	3	40	31	93	99	89
56.	Valletta			12,8	12,8	13,9	15,8	18,8	22,7	25,7	26,2	24,5	21,6	17,8	14,4
	35,9	14,52	71	85	53	43	23	10	3	4	5	28	76	97	103
57.	Athén (Observatory)			9	9,6	11,8	15,5	20,1	24,5	27,5	27,3	23,9	19,5	14,7	11,1
	37,97	23,72	107	57	40	35	21	21	15	6	9	16	44	65	70
58.	Isztambul			4,6	5,4	6,4	11,2	16,2	20,6	23	23,1	19,5	14,9	11,6	7,6
	40,97	29,08	40	94	74	60	37	30	26	27	15	48	72	83	83
59.	Malje Karmakuly			-16,7	-16,3	-15,9	-10,3	-4,6	1	6,1	6	2	-3,3	-11,2	-13,9
	73,38	52,7	16	11	15	13	9	27	21	35	39	44	40	13	12
60.	Archangel			-12,9	-12,4	-8	-1	5,4	12,3	15,8	13,5	8,1	1,4	-5,1	-10,5
	64,58	40,6	17	23	19	21	18	31	47	64	63	55	42	30	24

7.2a. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Oroszország és Ázsia

Oroszország és Ázsia I.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
61.	Szentpétervár			-7,9	-8,1	-4,2	2,6	-9,2	14,8	17,8	15,9	10,9	4,8	-0,9	-5,5
	59,93	30,27	4	28	27	25	33	45	57	61	82	61	48	40	32
62.	Moszkva			-10,3	-9,7	4,6	3,8	11,8	16,1	18,3	16,3	10,7	4,3	-2,2	-7,9
	55,83	37,55	164	31	28	33	35	52	67	74	74	58	51	36	36
63.	Kijev			-6	-5,3	-0,6	7,2	14,5	17,6	19,5	18,5	13,8	7,5	1	-3,9
	50,4	30,45	179	43	39	35	46	56	66	70	72	47	47	53	41
64.	Simferopol			-0,4	0	2,7	9,1	15	19	21,6	20,7	15,5	10,5	5,7	1,8
	45,02	33,98	205	44	40	35	36	49	75	58	34	31	41	44	41
65.	Tbilisi			1,3	3,1	6	12,1	17,5	21,4	24,6	24,4	19,8	13,7	7,8	2,9
	41,68	44,95	490	20	21	36	43	87	69	50	37	42	46	37	20
66.	Astrakhan			-6,8	-6	0,2	9,4	18	22,8	25,3	23,4	17,3	9,8	2,8	-3,2
	46,37	48,38	-14	13	12	10	15	15	18	13	10	15	10	15	15
67.	Sverdlovsk			-14,6	-13,4	-7,5	3,3	10,3	16,4	17,8	15,8	9,4	1,9	-7,1	-13
	56,8	60,63	237	15	17	17	22	40	59	80	82	49	29	25	27
68.	Salekhard			-22	-22,3	-18,8	-7,8	-0,6	8,8	14,1	12	5,6	-3	-13,5	-20,6
	66,52	66,58	25	24	20	24	32	39	51	57	57	54	46	31	29
69.	Cape/Mys Chelyuskin			-27,3	-27,4	-28	-21	-9,7	-1	1,5	0,8	-2,2	-10,3	-20,1	-25
	77,72	104,28	13	12	14	18	21	24	25	27	28	24	21	16	14
70.	Wrangel Island			-23,6	-25,6	-23,3	-17,2	-8,6	0,3	3,1	1,9	-1,9	-8,6	-17,2	-20,8
	70,97	-178,55	3	5	5	5	5	5	10	15	23	13	10	3	5

7.2b. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Oroszország és Ázsia

Oroszország és Ázsia II.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
71.	Khatanga			-31,7	-30,6	-28,6	-17,9	-6,3	5,7	12,5	8,8	1,7	-11,3	-25,8	-29,4
	71,98	102,47	24	17	13	12	12	16	27	38	48	39	31	24	19
72.	Verhoyanszk			-46,8	-43,1	-30,2	-13,5	2,7	12,9	15,7	11,4	2,7	-14,3	-35,7	-44,5
	67,55	133,38	137	7	5	5	4	5	25	33	30	13	11	10	7
73.	Okhotsk			-22,4	-19,2	-14,2	-5,4	1,4	6,4	11,9	13,1	8,7	-2,1	-13,5	-20,1
	59,37	143,2	6	11	6	14	17	38	44	65	55	54	39	25	10
74.	Petropavlovsk			-11	-11,2	-7,2	-2	2,2	6,7	10,6	11,9	9,2	3,9	-2,5	-7,6
	52,97	158,72	102	87	58	59	66	33	51	60	66	72	75	67	80
75.	Vladivostok			-14,2	-10	-3,3	4,4	9,4	14,2	18,6	20,8	16,4	8,9	-1,1	-10
	43,12	131,92	29	8	10	18	30	53	74	84	119	109	48	30	15
76.	Irkutsk			-20,8	-17,8	-9,3	1,6	8,8	15,4	17,9	15,1	8,2	1,1	-10,8	-18,5
	52,27	104,32	467	12	8	9	15	29	83	102	99	49	20	17	15
77.	Barnaul			-18,3	-16,7	-10,1	1,4	10,9	17,3	19,7	16,8	10,3	2,1	-8,4	-15,6
	53,35	83,82	160	21	15	15	18	34	44	57	47	33	33	30	26
78.	Kasalinsk			-11,2	-9,9	-2,2	9,9	18,9	23,9	26	23,8	16,9	7,9	-0,7	-7,5
	45,77	62,12	67	10	10	12	11	12	9	6	7	8	13	12	13
79.	Ashkhabad			2,1	4,7	8,8	16	23,3	28,6	31,2	29,3	23,5	15,9	7,7	2,8
	37,95	58,38	227	22	21	44	38	28	6	2	1	33	11	15	19
80.	Tashkent			-1,1	1,9	7,8	14,3	20,1	24,8	27	24,9	19,2	12,5	6,5	1,7
	41,33	69,3	479	46	46	64	56	30	11	3	1	4	24	36	49

7.2c. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Oroszország és Ázsia

Oroszország és Ázsia III.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
81.	Alma Ata			-6,7	5,1	1,6	10,8	16	20,4	23,3	22,3	17,4	10	-0,1	-5,4
	43,23	76,93	848	26	32	64	89	99	59	35	23	25	46	48	35
82.	Urumchi			-16,1	-13,9	-5,8	8,9	15,3	18,9	21,1	20	14,4	4,7	-5,8	-10,8
	43,78	87,62	913	9	15	15	33	25	33	16	35	15	47	22	11
83.	Harbin			-20,1	-15,8	-6	5,8	14	19,8	23,3	21,6	14,3	5,7	-6,6	-16,7
	45,75	126,63	143	4	6	17	23	44	92	167	119	52	36	12	5
84.	Seoul			-4,9	-1,9	3,6	10,5	16,3	20,8	24,5	25,4	20,3	13,4	6,3	-1,2
	37,57	126,97	85	17	21	56	68	86	169	358	224	142	49	36	32
85.	Peking			-4,7	-1,9	4,8	13,7	20,1	24,7	26,1	24,9	19,9	12,8	3,8	-2,7
	39,95	116,32	52	4	5	8	17	35	78	243	141	58	16	11	3
86.	Lanchow			-6,5	-1,7	5,4	12,1	17,4	20,9	22,8	21,4	16,3	10,1	1,7	-5,3
	36,02	103,98	1508	1	3	8	14	34	40	66	92	55	18	4	2
87.	Shanghai			3,4	4,3	8,2	13,7	18,9	23,1	27,1	27,2	23	17,7	11,6	5,9
	31,2	121,43	5	47	58	85	91	96	177	149	139	132	74	53	38
88.	Canton			13,6	14,2	17,2	21,6	25,6	27,3	28,8	28,2	27,2	24	19,7	15,7
	23	113,22	18	27	65	101	185	256	291	264	249	149	49	51	34
89.	Hongkong			15,7	15,2	17,4	21,3	25,1	27,3	27,8	27,7	27,2	24,6	20,9	17,3
	22,3	114,17	33	33	47	76	140	280	402	393	363	264	105	42	27
90.	Taipei			15,2	15,4	17,5	20,9	24,5	26,8	28,4	28,3	26,9	23,3	20,5	17,2
	25,03	121,52	8	91	147	164	182	205	322	269	266	189	117	71	77

7.2d. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Oroszország és Ázsia

Oroszország és Ázsia IV.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
91.	Nemuro			-5,3	-5,8	-2,5	3,1	6,7	10,3	14,7	17,8	16,1	10,8	4,4	-1,7
	43,33	145,58	26	38	30	61	76	94	94	99	104	147	104	89	58
92.	Tokyo			3,3	4,2	7,2	12,5	16,9	20,8	24,7	26,1	22,5	16,7	10,8	5,8
	35,68	139,77	4	48	74	107	135	147	165	142	152	234	208	97	56
93.	Kagoshima			6,6	7,7	10,8	15,1	19	22,6	26,8	27,1	24,4	18,9	14	9
	31,57	130,55	5	75	116	149	228	249	454	343	220	213	120	89	79
94.	Manila			24,7	25,4	26,6	28,1	28,5	27,8	27	27	26,8	26,6	25,8	25,1
	14,58	120,48	1	20	12	19	31	140	264	437	436	357	180	150	75
95.	Saigon			25,8	26,3	27,8	28,8	28,2	27,4	27,1	27,1	26,7	26,5	26,1	25,7
	10,82	106,67	9	6	13	12	65	196	285	242	277	292	259	122	37
96.	Szingapúr			26,4	26,9	27,5	27,5	27,8	27,5	27,5	27,2	27,2	26,9	26,9	26,9
	1,3	103,83	10	251	173	193	188	173	173	170	196	178	208	254	257
97.	Jakarta			26,1	26,1	26,7	27,2	27,2	26,9	26,7	26,7	27,2	26,9	26,7	26,4
	-6,18	105,83	7	300	300	211	147	114	97	63	43	66	112	142	203
98.	Rangoon			25	26,4	28,6	30,3	29,2	27,2	26,9	26,9	27,2	27,8	26,9	25,3
	16,77	96,17	20	3	5	8	51	307	480	582	528	394	180	69	10
99.	Mandalay			20,3	23,1	27,5	31,7	31,4	29,7	29,7	29,2	28,6	27,2	24,2	20,3
	21,98	96,1	75	12	4	5	32	148	130	85	116	152	135	53	11
100.	Cherrapunji			11,8	12,9	16,4	17,9	19,2	20,1	20,4	20,4	20,5	18,9	16,1	12,8
	25,25	91,73	1313	19	54	237	765	1341	2692	2620	1955	1245	432	56	13

7.2e. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Oroszország és Ázsia

Oroszország és Ázsia V.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
101.	Lhasa			-1,7	1,1	4,7	8,1	12,2	16,7	16,4	15,6	14,2	8,9	3,9	0
	29,67	91,12	3685	1	13	8	5	25	63	122	89	66	13	3	0
102.	Calcutta			19,5	22,1	27,2	30	30,4	29,8	28,8	28,6	28,7	26,8	23,3	20,4
	22,53	88,33	6	10	30	36	43	140	297	325	328	251	114	20	5
103.	Darjeeling			6,4	7,7	11,2	14,3	15,7	17	17,5	17,5	17,2	15,1	11,3	8,1
	27,05	88,27	2127	22	27	53	109	187	522	713	573	419	116	14	5
104.	Új Delhi			14,3	17,3	22,9	29,1	33,5	34,5	31,2	29,9	29,3	25,9	20,2	15,7
	28,58	77,2	220	25	22	17	7	8	65	211	173	150	31	1	5
105.	Simla			5,1	6,4	10,4	15	18,9	20,1	18,1	17,3	16,4	14,1	10,9	7,7
	31,1	77,17	2202	65	71	58	38	54	147	414	386	195	45	7	24
106.	Jodhpur			17,1	19,9	25,2	30,3	34,4	34,3	31,3	29,2	29,4	27,7	22,7	18,7
	26,3	73,02	217	8	5	2	2	6	31	122	146	47	7	3	1
107.	Madras			24,4	25,6	27,5	30,2	32,9	32,5	30,8	30,2	29,6	28	25,9	24,7
	13,07	80,25	7	35	10	11	16	31	50	90	115	123	300	352	145
108.	Colombo			26,2	26,4	27,2	27,7	28	27,4	27,1	27,2	27,2	26,6	26,2	26,1
	6,9	79,87	7	88	96	118	260	353	212	140	124	153	354	324	175
109.	Bombay			24,3	24,9	26,9	28,7	29,9	29,1	27,5	27,1	27,4	28,3	27,5	25,9
	18,9	72,82	11	0	1	0	2	16	639	814	541	246	102	7	0
110.	Srinagar			1,1	3,5	8,5	13,4	17,9	21,7	24,7	23,9	20,5	14,1	7,7	3,5
	34,08	74,83	1585	73	72	104	78	63	36	61	63	31	28	20	36

7.2f. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Oroszország és Ázsia

Oroszország és Ázsia VI.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
111.	Karachi			18,9	21,2	24,3	26,9	29,2	30,4	29,3	28,2	27,6	27,1	24,9	21,3
	24,8	66,98	2	7	11	6	2	0	7	96	50	15	2	2	6
112.	Kandahar			6,4	9,4	13,9	19,2	23,6	26,9	28,9	27,2	22,2	18,1	12,5	7,2
	31,6	65,67	1055	79	43	20	8	5	2	3	1	0	1	2	20
113.	Teherán (Mehrabad)			3,5	5,2	10,2	15,4	21,2	26,1	29,5	28,4	24,6	18,3	10,6	4,9
	35,68	51,32	1200	37	23	36	31	14	2	1	1	1	5	29	27
114.	Bagdad			9,9	12,2	15,8	22,2	28,4	32,9	34,8	34,5	30,7	24,7	17,2	11,2
	33,33	44,4	34	26	28	28	17	7	0	0	0	0	3	21	26
115.	Bahrein (Muharraq)			17,4	18,3	21,2	25,6	29,6	32	33,8	34,3	32,5	29	24,5	19,2
	26,27	50,62	2	16	15	11	6	1	0	0	0	0	0	9	18
116.	Aden			25,5	25,6	27,2	28,7	30,7	32,8	32,2	31,6	31,7	28,9	26,6	26
	12,83	45,03	3	7	3	6	0	1	0	3	2	7	1	3	6
117.	Jeruzsálem (Old City)			8,9	9,4	13,1	16,4	20,6	22,5	23,9	24,2	23,1	21,1	16,4	11,1
	31,78	35,23	760	128	135	61	24	3	0	0	0	1	7	54	83
118.	Ankara			-0,3	1,1	5	10,8	16,1	18,6	22,5	22,8	18,3	13,6	8,3	2,2
	39,95	32,88	861	33	30	33	33	48	25	13	10	18	23	30	48
119.	Famagusta			11,4	11,9	13,9	16,9	21,1	25,3	28,1	28,3	25,8	21,9	17,8	13,6
	35,12	33,95	23	97	66	33	20	15	5	1	1	5	33	56	109
120.	Nikoszia			10	10,3	12,5	16,7	21,9	25,6	27,8	27,8	25,6	20,8	16,4	11,9
	35,15	33,28	220	74	51	33	20	28	10	1	1	5	23	43	76

7.3a. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Afrika

Afrika I.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
121.	Helwan			13,2	14,3	17,2	21,1	25	27,3	28,1	28	25,9	23,8	19,7	14,8
	29,87	31,33	116	7	4	5	3	2	0	0	0	0	1	4	5
122.	Tripoli			12,2	13,3	15,3	18,1	20,3	23,3	25,6	26,1	25,6	22,5	18,3	13,6
	32,9	13,18	22	81	46	28	10	5	3	1	1	10	41	66	94
123.	El Azizia			11,4	13,3	15,6	19,2	23,1	27,2	28,9	28,9	27,8	23,6	18,1	12,8
	32,53	13,02	112	48	30	25	8	8	1	1	1	5	15	25	61
124.	Algiers			10,3	10,8	13	15,2	18	21,8	24,4	25,1	23,1	18,9	14,9	11,7
	36,72	3,25	25	116	76	57	65	36	14	2	4	27	84	93	117
125.	Marrakech			11,5	13,4	16,1	18,6	21,3	24,8	28,7	28,8	25,4	21,2	16,5	12,5
	31,62	-8,03	468	28	29	32	31	17	7	2	3	10	21	28	33
126.	Agadir			13,8	15	16,7	18	19,2	20,8	22,1	22,6	21,9	20,5	18,1	14,6
	30,38	-9,57	25	48	32	24	16	5	0	0	1	6	22	29	41
127.	Timbuktu			22,6	25,4	28,5	31,8	34,3	33,9	31,5	29,1	31,2	31,7	28,3	22,8
	16,72	-3	263	0	0	0	1	3	19	65	95	37	5	0	0
128.	Tamanrasset			12,3	14,7	18,3	22,5	26	29	28,9	28,3	26,7	23	18,2	13,6
	22,78	5,52	1366	2	1	1	5	6	12	3	17	17	3	4	4
129.	Khartum			22,5	23,8	27,2	30,7	33,1	33,3	30,8	29,4	30,9	31,4	27,5	23,7
	15,6	32,55	328	0	0	0	1	5	7	48	72	27	4	0	0
130.	Addis Abeba			17,2	18,1	19	18,6	19,3	17,4	15,3	14,9	16,5	16,2	16,8	17
	9,03	38,75	2408	24	25	67	93	53	105	239	266	174	43	3	17

7.3b. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Afrika

Afrika II.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
131.	Fort Lamy			23,5	25,9	30,1	32,7	32,3	30,5	27,5	26,2	27,1	28,6	27,1	24,1
	12,13	15,03	294	0	0	0	5	36	66	156	257	104	23	1	0
132.	Accra			27,3	27,7	27,8	27,7	27	25,7	24,6	24,3	25,3	26,1	27,1	27,3
	5,6	-0,17	65	16	37	73	82	145	193	49	16	40	80	38	18
133.	Freetown			26,6	27,2	27,4	27,7	27	26,1	25,1	25,1	25,8	25,9	26,5	26,5
	8,62	-13,2	25	17	8	32	65	226	389	730	800	528	301	171	54
134.	Porto da Praia			22,5	22,2	22,8	23,3	24,2	25	26,1	26,7	26,9	26,9	25,6	23,9
	14,9	-23,52	34	3	2	1	1	0	1	5	97	114	30	8	3
135.	Entebbe			22	22,1	22,2	21,8	21,6	21,1	20,6	20,7	21,2	21,7	21,8	21,6
	0,05	32,45	1155	72	88	162	261	259	121	80	76	74	94	123	115
136.	Nairobi			18,3	19,1	19,1	18,4	17,3	16,2	15,4	15,4	16,9	18	17,6	17,5
	-1,27	36,75	1820	36	50	112	204	133	47	15	29	28	55	98	85
137.	Zanzibár			28,3	28,6	28,9	27,5	26,4	25,8	25	25,3	25,6	25,8	27,8	28,1
	-6,25	39,22	19	58	66	147	320	290	53	28	30	41	66	170	140
138.	Port Victoria			26,4	26,9	27,2	27,5	27,2	26,7	25,6	25,6	26,1	26,1	26,4	26,1
	-4,62	55,45	1	386	267	234	183	170	102	84	69	130	155	231	340
139.	Georgetown			26,1	26,9	27,5	27,5	26,9	26,1	25,6	25	24,7	25	25	25,6
	-7,93	-14,42	17	5	10	18	28	13	13	13	10	8	8	5	3
140.	Jamestown			23,6	24,2	24,7	24,2	21,9	20,8	19,7	19,7	19,7	20,3	20,8	21,7
	-14,08	-5,72	12	8	10	20	10	18	18	8	10	5	3	0	3

7.3c. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Afrika

Afrika III.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
141.	Luanda, Angola			25,9	26,6	26,9	26,4	25	22,2	20,2	20,3	21,8	24	25,2	25,6
	-8,85	13,23	70	26	35	97	124	19	0	0	1	2	6	34	23
142.	Lulumbashi			20,5	20,3	20,8	20,8	19,1	17	16,9	19,4	22,3	23,1	21,6	20,5
	-10,33	27,48	1298	248	263	204	57	4	0	0	1	3	27	164	258
143.	Salisbury			20	19,8	19,4	18,7	15,9	13,6	13,6	15,6	19	21,3	20,8	20,4
	-16,07	31,1	1478	216	172	99	36	11	4	1	3	5	30	100	186
144.	Walvis Bay			18,9	19,4	19,2	18,3	17,2	16,1	14,7	13,9	13,9	15	16,9	18,1
	-21,07	14,5	7	2	5	8	3	3	0	1	3	1	1	2	1
145.	Johannesburg (Germiston)			20	19,7	18,3	16,1	12,5	10,3	10,6	13,1	15,8	18,3	18,9	19,7
	-25,77	28,15	1665	114	109	89	38	25	8	7	8	23	56	107	124
146.	Durban			23,9	23,9	23,3	21,7	18,9	17,2	16,7	17,5	18,9	20,3	21,7	22,8
	-28,17	31,03	5	109	122	130	76	51	33	28	38	71	109	122	119
147.	Fokváros			21,2	21,4	20,7	17,5	15,1	13,3	12,7	13,2	14,4	16,6	18,3	20,1
	-32,07	18,48	12	17	15	22	49	93	111	91	83	57	40	26	20
148.	Tristan da Cunha			17,4	18,2	17	15,7	14,3	13,2	12	11,8	11,8	12,8	14,2	16,3
	-37,05	-12,32	23	103	88	88	153	144	187	147	193	129	139	117	167
149.	Marion Island			6,8	7,3	7,2	5,9	4,7	4,1	3,6	3,3	3,2	4,4	5,1	5,7
	-45,12	37,87	26	194	185	216	221	235	221	228	178	190	167	190	226
150.	Diego Suarez			26,9	26,8	27,2	27,1	26,3	25	24,2	24,2	24,6	25,5	26,6	27,2
	-11,65	49,3	114	277	211	187	56	8	8	7	7	5	11	28	111

7.3d. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Afrika

Afrika IV.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
151.	Mauritius			26,4	26,1	25,6	24,4	22,5	20,8	20,3	20	21	22,2	23,9	25,5
	-20,1	57,53	55	207	195	218	141	97	67	57	59	37	39	51	115

7.4a. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Ausztrália és Óceánia

Ausztrália és Óceánia I.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
152.	Kerguelen (Port aux Francias)			7,3	8	7,2	6,1	3,8	2,1	2,2	2,1	2,5	3,5	4,6	6,2
	-48,67	70,22	14	75	50	66	90	129	117	113	100	107	86	94	93
153.	Heard Island			3,3	3,3	2,8	2,2	1,1	-0,3	-0,8	-0,8	-1,4	-0,3	0,6	2,2
	-53,02	73,38	5	147	147	145	155	147	99	91	56	63	94	102	130
154.	Cocos Island			27,5	27,8	27,8	27,5	26,9	26,4	26,1	26,1	26,1	26,7	26,9	27,2
	-12,08	96,88	5	137	196	216	264	201	229	221	122	94	84	107	117
155.	Darwin			28,8	28,6	28,9	28,9	27,7	26,1	25,2	26,3	28,1	29,6	29,9	29,5
	-11,53	130,85	30	405	328	272	104	18	4	2	2	12	55	123	262
156.	Port Moresby			27,6	27,3	27,3	26,9	25,4	26,2	25,8	26,1	26,5	27,2	27,5	27,7
	-9,43	147,22	28	150	194	170	173	49	31	119	37	53	21	97	164
157.	Townsville			27,3	27	26,3	24,6	22,1	19,6	19,2	20	21,9	24,6	26,5	27,4
	-18,73	146,77	3	332	364	275	83	34	26	22	10	10	21	55	102
158.	Alice Springs			28,6	28,2	24,8	20	15,5	12,4	11,4	14,4	18,4	23,1	26	27,8
	-22,37	133,62	580	42	40	31	17	17	16	9	9	9	19	26	37
159.	Perth			23,3	23,3	21,7	19,2	16,1	13,9	13,1	13,3	14,7	16,4	19,2	21,7
	-30,05	115,85	64	8	10	20	43	130	180	170	145	86	56	20	13
160.	Adelaide			22,6	21	20,9	17,2	14,6	12,1	11,2	12	13,4	16	18,5	20,7
	-33,07	138,58	43	23	23	21	50	66	61	61	59	49	47	36	27
161.	Sydney			21,9	21,9	20,8	18,1	15	12,5	11,7	13,1	15	17,5	19,4	21,1
	-32,13	151,2	42	89	102	127	135	127	117	117	76	74	71	74	74

7.4b. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Ausztrália és Óceánia

Ausztrália és Óceánia II.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
162.	Melbourne			19,9	19,7	18,4	15,1	12,5	10,2	9,6	10,5	12,4	14,3	16,2	18,4
	-36,18	144,97	38	45	59	50	69	54	52	54	50	58	74	70	58
163.	Hobart			16,7	16,7	15,3	13,1	10,6	8,3	7,8	8,9	10,6	12,5	13,9	15,6
	-41,12	147,33	55	48	38	46	48	46	56	53	48	53	58	61	53
164.	Macquarie Island			6,7	6,6	6	5,2	3,9	2,9	2,9	3,2	3,3	3,8	4,5	6,1
	-53,5	158,95	5	99	81	104	94	81	81	68	68	68	73	64	72
165.	Campbell Island			9,3	9,3	8,5	7,2	6,1	4,6	4,5	4,8	5,5	6,2	7,2	8,5
	-51,42	169,12	19	121	111	138	120	140	127	103	115	112	116	120	119
166.	Invercargill			13,9	13,9	12,8	10,6	8,1	6,1	5,3	6,9	8,6	10,6	11,4	13,1
	-45,57	168,35	4	107	84	102	104	112	91	81	81	81	104	107	102
167.	Christchurch			16,4	16,1	14,4	11,9	8,9	6,4	5,8	6,7	9,2	11,7	13,6	15,6
	-42,47	172,62	8	56	43	48	48	66	66	71	48	46	43	48	56
168.	Hokitika			15,3	15,6	14,4	12,2	9,7	7,5	7,2	7,8	9,4	11,4	12,5	14,2
	-41,28	170,97	3	262	191	239	236	244	231	218	239	226	292	267	262
169.	Wellington			16,9	16,9	15,8	13,9	11,4	9,7	8,6	9,2	10,8	12,2	13,6	15,9
	-40,73	174,77	126	81	81	81	97	117	117	137	117	97	102	89	89
170.	Auckland (Albert Park)			19,2	19,2	18,3	16,4	13,8	11,6	10,7	11,3	12,5	14,2	15,9	17,8
	-35,15	174,77	41	85	104	71	108	123	139	139	108	98	106	89	78
171.	Apia			26,9	26,8	26,9	27,1	26,7	26,5	25,9	26,1	26,2	26,4	26,6	26,7
	-12,2	171,78	2	424	364	352	214	186	130	115	111	147	221	279	385

7.4c. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Ausztrália és Óceánia

Ausztrália és Óceánia III.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
172.	Papeete			26	26,2	26,5	26,3	25,5	24,6	24,1	23,9	24,3	24,8	25,6	26
	-16,47	-149,58	2	251	244	429	142	102	76	53	43	53	89	150	249
173.	Easter Island			22,8	23,3	23,1	21,4	20,6	18,3	17,8	17,8	18,1	18,6	19,7	21,7
	-26,83	-109,43	30	132	41	229	130	99	241	81	66	86	56	127	74
174.	Canton Island			28,4	28,3	28,4	28,7	28,8	28,8	28,7	28,6	28,7	28,7	28,7	28,4
	-2,77	-171,72	3	66	54	63	92	110	67	66	64	31	28	41	65
175.	Malden Island			27,8	28,1	28,1	28,3	28,3	28,3	28,1	28,3	28,1	28,1	28,1	27,8
	-4,05	-155,02	8	89	48	114	114	109	53	48	41	20	23	18	18
176.	Fanning Island			27,5	27,5	27,8	27,8	27,8	28,1	28,1	28,3	28,1	28,3	28,3	27,8
	3,9	-159,38	5	274	267	272	358	320	254	208	112	81	91	74	203
177.	Wake Island			25,2	25,1	25,4	25,8	26,5	27,4	27,8	28	28,1	27,6	26,9	26,1
	19,28	166,65	3	29	34	37	47	52	48	117	180	133	134	78	46
178.	Honolulu			21,6	21,6	22,2	23	24,2	25,2	25,9	26,2	25,9	25,1	23,8	22,6
	21,3	-158,1	3	91	71	57	33	19	12	8	14	19	33	48	90

7.5a. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Észak-Amerika

Észak-Amerika I.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
179.	Adak			0,6	0,6	1,3	2,8	4,5	6,7	9,3	10,9	8,9	5,7	2,7	1,1
	51,88	-176,65	5	169	136	151	107	117	79	75	111	139	176	185	194
180.	Nome			-15,3	-14,7	-13,4	-6	1,7	7,7	9,7	9,4	5,5	-1,3	-8,6	-14,3
	64,5	-165,43	4	26	24	22	20	18	24	58	97	68	43	29	25
181.	Barrow Point			-26,4	-28,1	-26,1	-18,1	-7,5	1,1	4,2	3,6	-0,8	-8,3	-17,2	-23,6
	71,3	-156,78	9	5	3	3	3	3	8	23	20	13	13	8	7
182.	Fairbanks			-23,9	-17,5	-12,5	-1,4	8,3	14,7	15,6	12,8	6,4	-3,1	-15,8	-21,9
	64,85	-147,72	134	23	13	18	8	15	33	48	53	33	20	18	15
183.	Yakutat			-2,6	-1,9	-0,3	2,5	7	10,3	12,3	12,1	9,6	5,5	1	-2,2
	59,52	-139,67	9	276	208	221	184	203	129	214	277	420	498	407	312
184.	Vancouver (Airport)			2,3	4,2	5,8	9,1	12,6	15,2	17,6	17	14,3	10,1	6	3,9
	49,18	-123,17	3	139	121	96	60	48	51	26	36	56	117	142	156
185.	Edmonton			-14,1	-11,6	-5,5	4,2	11,2	14,3	17,3	15,6	10,8	5,1	-4,2	-10,4
	53,57	-113,52	671	24	20	21	28	47	80	85	65	34	23	22	25
186.	Dawson			-27,6	-23,9	-14,6	-1,4	8,1	13,8	15,4	12,5	6,4	-3,1	-16,4	-24,9
	64,07	139,43	323	21	14	13	8	25	33	50	49	31	28	27	24
187.	Isachsen			-34,6	-36,6	-35,1	-24,2	-11,5	-0,2	3,7	1,4	-8,4	-18,8	-28,2	-32,2
	78,78	-103,53	25	2	2	1	4	8	3	22	23	18	10	4	2
188.	Coppermine			-28,6	-30,1	-25,8	-17,2	-5,6	3,4	9,3	8,4	2,6	-6,9	-19,9	-26,3
	67,82	-115,08	7	13	8	15	14	12	20	34	44	29	27	17	13

7.5b. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Észak-Amerika

Észak-Amerika II.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
189.	Churchill			-27,6	-25,6	-19,5	-10,1	-2,2	6,2	12,2	11,7	5,6	-1,4	-11,9	-21,6
	58,75	-94,07	30	17	17	21	36	40	48	39	60	52	42	46	25
190.	Winnipeg (Airport)			-17,7	-15,5	-7,9	3,3	11,3	16,5	20,2	18,9	12,8	6,2	-4,8	-12,9
	49,9	-97,23	240	26	21	27	30	50	81	69	70	55	37	29	22
191.	Toronto (City)			-5	-5,3	1,1	5,6	11,9	17,5	20,6	19,7	15,6	8,9	2,8	2,8
	43,67	-79,4	116	69	61	66	63	73	69	74	68	74	61	71	66
192.	Montreal (Dorval Airport)			-9,6	-8,3	-2,2	5,9	13,1	18,6	21,4	20,3	15,4	9,4	2,5	-6,4
	45,47	-73,75	30	83	81	78	72	72	85	89	77	82	78	85	89
193.	Frobisher Bay			-26,1	-24,8	-21,2	-13,2	-2,2	3,9	8,1	7	2,7	-5	-13,8	-21,7
	63,75	-68,55	21	32	55	24	26	21	42	70	58	38	43	40	28
194.	St. Johns			-4,7	-5,6	-2,5	1,9	5,8	11,4	15,3	16,1	12,5	8,1	2,8	-1,7
	47,57	-52,7	74	135	124	117	107	91	89	89	94	97	135	150	140
195.	New Haven			-1,1	-1,1	3,4	8,7	14,7	19,8	22,6	21,7	18,2	12,4	6,7	0,5
	41,3	-72,93	32	101	86	107	99	99	98	95	108	91	76	99	100
196.	Mt. Washington			-14,2	-14,7	-11,6	-5	1,7	7,1	9,6	8,7	5	-0,6	-6,5	-12,9
	44,27	-71,3	1909	135	134	147	150	149	164	162	168	172	154	169	163
197.	New York (city)			-0,8	-0,6	3,1	9,7	15,8	20,3	23,3	22,8	20,8	15	6,7	1,7
	40,78	-73,97	132	94	97	91	81	81	84	107	109	86	89	76	91
198.	Washington DC			1,3	1,9	6,3	12,1	17,9	22,6	24,9	23,8	20,2	13,9	7,8	2,5
	38,9	-77,05	22	86	76	91	84	94	99	112	109	94	74	66	79

7.5c. táblázat: A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Észak-Amerika

Észak-Amerika III.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
199.	Chicago			-3,9	-2,8	2,2	8,6	14,2	19,7	23,1	22,2	18,6	12,2	4,7	-1,4
	41,88	-87,63	251	51	51	66	71	86	89	84	81	79	66	61	51
200.	St. Louis			-0,1	1,5	6,7	13,2	18,9	23,9	26,4	25,3	21,2	14,6	7,1	1,7
	38,63	-90,2	173	58	63	89	97	114	114	89	86	81	74	71	63
201.	Salt Lake City			-2,1	0,6	4,7	9,9	14,7	19,4	24,7	23,6	18,3	11,5	3,4	-0,2
	40,78	-111,97	1287	34	30	40	45	36	25	15	22	13	29	33	31
202.	San Francisco			9,8	11,4	12,5	13	13,8	14,7	14,6	14,9	16,2	15,7	13,7	10,9
	37,78	-122,42	47	102	99	71	38	15	4	0	1	3	27	57	103
203.	Death Valley			11,1	14,4	18,9	23,9	28,9	34,2	38,6	37,2	31,9	23,9	16,1	11,4
	36,47	-116,85	-54	3	1	2	3	5	3	8	8	5	2	3	2
204.	Mt. Wilson			5,8	6,4	7,2	9,7	13,6	19,4	22,8	22,2	19,2	14,2	10,3	7,2
	34,23	-118,07	1783	160	170	155	66	30	5	1	3	13	28	48	112
205.	Los Angeles			13,1	13,6	14,2	15,6	16,9	18,9	21,4	21,7	20,8	18,3	16,4	13,9
	34,05	-118,25	95	79	76	71	25	10	3	1	1	5	15	30	66
206.	Phoenix			10,4	12,5	15,8	20,4	25	29,8	32,9	31,7	29,1	22,3	15,1	11,4
	33,43	-112,02	339	19	22	17	8	3	2	20	28	19	12	12	22
207.	Dallas			7,5	10	13,6	18,3	22,5	26,9	29,2	28,9	25,6	19,7	13,6	8,6
	32,77	-96,78	156	63	61	84	107	114	97	71	76	69	71	69	64
208.	New Orleans			12,3	13,4	15,8	19,4	23,3	26,4	27,3	27,4	25,4	21,1	15,3	12,7
	29,95	-90,07	17	98	101	136	116	111	113	171	136	128	72	85	104

7.5d. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Észak-Amerika

Észak-Amerika IV.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
209.	Key West (City)			20,9	21,5	22,8	24,5	26,3	28	28,7	28,8	28,2	26,2	23,6	21,6
	24,55	-81,8	7	51	33	36	33	89	107	84	114	170	152	56	43
210.	Bermuda			17,2	16,9	17	18,3	21,1	23,9	26,1	26,7	25,6	23,3	20,3	18,3
	32,28	-64,77	46	112	119	122	104	117	112	114	137	132	147	127	119
211.	Havanna			22,2	22,2	23,3	24,7	26,1	27,2	27,8	27,8	27,5	26,1	23,9	22,8
	23,13	-82,35	24	71	46	46	58	119	165	124	135	150	173	79	58
212.	Trinidad (Piarco Airport)			24,5	24,7	25,4	26,3	26,6	26,1	25,9	26,1	26,2	25,9	25,4	24,8
	10,62	-61,35	12	77	61	27	71	129	269	243	213	144	151	212	153
213.	Mexico City (Central)			13	14,6	16,6	18,1	18,7	18	17,1	17,1	16,7	15,6	14,2	13,1
	19,43	-99,13	2259	4	5	11	18	46	100	116	114	102	37	13	5
214.	Tampico			18,9	20,3	22	24,7	26,8	28	28	28,3	26,5	25,6	22	19,7
	22,2	-97,85	20	38	19	13	19	49	143	151	130	297	146	48	30
215.	Mazatlan			19,8	19,7	20,2	21,8	24,4	26,9	28	28	27,8	27	24	21,2
	23,18	-106,42	78	12	8	3	0	1	34	174	215	250	63	17	27

7.6a. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Dél-Amerika

Dél-Amerika I.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
216.	Cristobal			26,7	26,7	26,9	27,2	27,1	26,8	26,8	26,8	26,9	26,6	26,3	26,7
	9,38	-79,9	11	95	41	40	109	314	337	406	375	317	384	526	289
217.	Caracas			19,2	19,7	20,7	21,7	22	21,5	21,1	21,6	21,8	21,5	20,8	19,9
	10,5	-66,92	1042	22	28	11	43	92	121	107	105	107	110	73	44
218.	San Cristobal			25,1	25,9	26,1	25,7	25,2	23,8	22,7	21,7	21,5	22	22,6	23,8
	0,9	-89,62	6	39	155	124	106	27	4	12	7	5	7	6	14
219.	Quito			13	13	12,9	13	13,1	13	12,9	13,1	13,2	12,9	12,8	13
	-0,13	-78,48	2811	119	131	154	185	130	54	20	25	81	134	96	104
220.	Guayaquil			25,5	26	26,4	26,3	25,6	24,4	23,5	23,2	23,8	24	24,6	25,4
	-2,2	-79,88	7	212	289	292	207	54	11	4	0	0	1	2	28
221.	Lima			21,5	22,3	21,9	20,1	17,8	16	15,3	15,1	15,4	16,3	17,7	19,4
	-12,12	-77,03	137	1	0	1	0	1	3	3	4	4	2	1	1
222.	La Paz (El Alto)			9,1	8,8	9,3	9	8,4	7,4	7,4	8,1	8,6	9,9	10,1	10
	-15,5	-68,17	4103	139	108	56	22	9	4	4	18	34	37	48	76
223.	Manaus			26	25,8	25,7	25,8	26,5	26,7	26,8	27,6	28,1	27,7	27,1	26,6
	-3,13	-60,02	44	278	278	300	287	193	99	61	41	62	112	165	220
224.	Belem			25,6	25,4	25,4	25,7	26	26	25,9	26	26	26,2	26,5	26,2
	-1,45	-48,48	24	317	413	436	382	265	164	160	113	119	106	94	201
225.	Rio de Janeiro			25,4	25,7	25,1	23,6	22	20,8	20,1	20,7	21	21,6	22,8	24,5
	-21,1	-43,17	27	133	118	130	106	75	52	42	42	62	80	98	136

7.6b. táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Dél-Amerika

Dél-Amerika II.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
226.	Asuncion			29,2	28,8	27,2	23,1	20,6	18,8	16,3	20,2	22,1	24,5	27,2	29,2
	-24,73	-57,63	64	177	182	140	154	171	80	55	38	96	164	122	153
227.	Buenos Aires			23,2	22,7	20,5	16,5	13	10,1	9,7	10,8	13	15,6	18,9	21,7
	-33,42	-58,48	55	81	74	113	89	74	62	56	65	80	88	81	98
228.	Cordoba			23,9	22,8	20,9	16,3	13,9	10,8	10,8	12,7	15,3	17,7	20,8	22,2
	-30,6	-64,18	425	121	92	94	36	24	13	5	21	24	82	104	116
229.	Sarmiento			17,3	16,9	14,3	10,8	7	3,9	4	5,5	8	11,6	14,3	16,4
	-44,42	-69,13	266	10	8	11	15	24	16	17	14	10	6	12	9
230.	Stanley			9,2	9,5	8,5	6,2	3,8	2,6	2,3	2,6	3,9	5,8	7,4	8,5
	-50,3	-57,87	53	73	59	51	52	55	50	47	47	43	35	42	71
231.	Antofagasta			20	20,3	18,9	16,5	15,1	13,6	13,4	13,5	14,4	15,3	17	18,2
	-22,53	-70,43	122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
232.	Santiago			19,9	19,1	16,9	13,6	10,5	8	7,9	9,1	11,3	13,7	16,4	18,9
	-32,55	-70,7	520	2	3	4	14	65	86	76	57	29	15	6	4
233.	Valdivia			19,9	19,1	16,9	13,6	10,5	8	7,9	9,1	11,3	13,7	16,4	18,9
	-32,55	-70,7	520	2	3	4	14	65	86	76	57	29	15	6	4
234.	Punta Arenas (Magellanes)			11	10,6	8,9	6,7	4,1	2,5	1,9	2,7	4,5	6,8	8,4	10,1
	-52,83	-70,9	28	34	28	46	42	43	35	33	31	30	24	28	33
235.	Laurie Island			0,5	1	0,2	-1,8	-6,2	-8,7	-10,5	-8,4	-4,9	-2,6	-1,3	-0,4
	-59,27	-44,73	4	34	46	62	45	43	33	29	33	38	31	37	26

7.6c táblázat A Lamb (1978) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete és csapadékösszege; Dél-Amerika

Dél-Amerika III.															
sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
236.	Mirny			-1,9	-5,2	-9,2	-11,8	-13,2	-16,5	-16,4	-17,9	-18	-12,8	-7,6	-2
	-65,45	93,02	30	13	9	10	10	13	11	17	14	14	14	8	13
238.	Vosztok II			-33,6	-44	-54,6	-63,1	-63,4	-66,7	-66,9	-70,6	-67,2	-59	-43,8	-32,2
	-77,55	106,87	3420	1	1	7	4	9	12	6	5	5	2	1	1

7.2 A Kakas féle adatbázis

7.7a. táblázat A Kakas (1960) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete [°C] és csapadékösszege [mm]

sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf. [m]	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
1.	Alcsútdoboz			-1,9	0,1	5,0	9,8	14,9	18,5	20,7	19,9	15,6	10,1	4,2	0,1
	47,43	18,68	162	35	36	40	47	66	60	50	50	47	53	54	46
2.	Ásotthalom			-1,6	0,3	5,6	10,9	16,2	19,3	21,4	20,7	16,6	10,9	5,1	0,4
	46,20	19,78	117	28	32	36	53	60	71	49	47	50	54	53	40
3.	Bábolna			-1,3	0,0	5,3	10,2	15,4	19,0	21,0	20,3	16,2	10,5	4,6	0,4
	47,65	17,98	139	32	33	38	45	58	59	59	54	49	51	48	46
4.	Baja (Kertészeti Technikum)			-1,5	0,2	5,8	11,1	16,3	19,5	21,4	20,9	16,9	11,1	5,3	0,7
	46,17	18,97	109	33	30	39	57	66	65	53	49	50	56	59	42
5.	Balatonarács			-1,5	0,5	5,2	10,6	15,3	18,9	20,8	20,3	16,3	10,7	4,6	1,0
	46,97	17,90	155	39	39	41	48	68	67	59	62	58	58	61	47
6.	Balatonboglár			-1,5	0,5	5,3	10,6	16,2	19,3	21,3	20,8	16,9	11,0	4,9	1,3
	46,78	17,65	110	37	36	38	50	70	66	60	66	57	60	59	45
7.	Balatonfűred			-1,5	0,3	5,2	10,7	15,6	19,0	20,9	20,6	16,3	10,7	4,9	1,1
	46,95	17,90	110	39	39	41	48	68	67	59	62	58	58	61	47
8.	Balatonkenese			-1,6	0,2	5,1	10,5	16,0	19,3	21,3	20,6	16,8	11,1	4,8	0,8
	47,03	18,13	115	34	36	36	47	62	58	55	60	51	54	56	45
9.	Balmazújváros (Hortobágy, Mátá)			-2,9	-0,9	4,8	10,4	16,0	19,3	21,6	20,8	16,4	10,4	4,4	0,0
	47,60	21,15	95	26	28	31	40	53	67	53	52	43	47	46	38

7.7b. táblázat A Kakas (1960) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete [°C] és csapadékösszege [mm]

sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
10.	Bánhida			-1,7	-0,1	5,0	10,1	15,1	18,4	20,5	19,7	15,9	10,5	4,6	0,2
	47,57	18,37	151	34	33	39	44	63	58	56	55	51	51	50	43
11.	Barcs			-1,0	0,5	5,6	10,4	15,5	18,9	20,8	20,3	16,0	10,3	5,2	1,4
	45,95	17,45	107	46	45	50	63	77	82	70	65	64	82	74	56
12.	Békéscsaba			-1,8	0,1	5,9	11,4	16,9	19,9	22,2	21,3	17,2	11,3	5,3	0,6
	46,68	21,10	87	31	30	35	49	59	69	56	51	44	50	49	40
13.	Berettyóújfalú			-2,5	-0,5	5,2	10,9	16,4	19,5	21,6	20,7	16,7	10,8	4,7	0,1
	47,23	21,53	97	30	30	33	43	57	71	51	53	42	52	48	41
14.	Bóly			-1,4	0,0	5,6	10,6	15,9	19,3	21,4	20,5	16,4	10,5	5,0	0,8
	45,97	18,52	138	34	34	42	58	63	70	57	51	50	65	60	45
15.	Budaörs			-2,1	-0,1	5,2	10,1	15,8	18,8	20,9	20,2	16,1	10,3	4,2	0,3
	47,43	18,98	200	34	34	38	47	64	61	46	44	41	50	55	44
16.	Budapest (Csillagvizsgáló Intézet)			-3,1	-1,5	3,5	8,7	13,9	16,7	19,0	18,4	14,6	9,0	3,1	-0,5
	47,50	18,97	473	41	41	46	55	75	74	54	53	49	60	65	53
17.	Budapest (Kertészeti Főiskola)			-1,1	0,6	5,9	10,8	16,4	19,4	21,5	20,8	16,5	10,7	5,0	0,9
	47,48	19,05	130	36	36	39	50	69	64	49	44	43	53	58	47
18.	Budapest (Krisztinavárosi Vízmű)			-1,7	0,1	5,2	10,3	15,8	18,9	21,1	20,3	16,1	10,2	4,2	0,5
	47,50	19,02	156	36	35	40	49	67	66	48	47	45	54	57	46
19.	Budapest (Meteorológiai Intézet)			-1,0	0,9	6,0	11,1	16,4	19,5	21,5	20,8	16,7	11,0	5,1	1,3
	47,52	19,03	120	39	39	43	52	69	67	50	48	45	54	61	50

7.7c. táblázat A Kakas (1960) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete [°C] és csapadékösszege [mm]

sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
20.	Budapest (Postaállomás)			-0,9	1,0	6,0	11,3	16,8	20,0	22,0	21,3	17,1	11,6	5,3	1,3
	47,50	19,15	113	38	38	42	50	67	65	48	46	44	53	59	48
21.	Bükkszentkereszt (Hollóstató)			-3,6	-2,8	1,8	6,9	12,7	15,5	17,6	17,2	13,8	8,0	1,5	-1,9
	48,07	20,60	562	39	40	52	61	92	102	85	75	70	66	78	57
22.	Cegléd			-2,0	-0,1	5,2	10,5	15,9	19,3	21,5	20,5	16,4	10,6	4,5	0,2
	47,17	19,80	105	28	30	34	45	60	63	54	48	43	49	52	39
23.	Csongrád			-1,8	-0,1	5,6	11,0	16,7	19,7	21,9	21,1	17,0	11,2	5,2	0,7
	46,72	20,17	83	29	30	31	45	58	59	46	50	42	46	48	36
24.	Debrecen (Egyetem)			-2,5	-0,6	4,8	10,5	16,0	19,2	21,2	20,3	16,2	10,2	4,5	0,2
	47,55	21,62	123	32	32	34	45	60	69	61	61	46	53	51	41
25.	Debrecen (Pallagpuszta)			-2,8	-0,8	4,8	10,4	16,1	18,7	20,8	20,0	15,7	10,1	4,5	-0,2
	47,60	21,65	133	32	32	34	45	60	69	61	61	46	53	51	41
26.	Dobogókő			-4,1	-2,6	1,9	7,0	12,2	15,1	17,5	17,0	13,4	7,7	1,8	-1,7
	47,72	18,90	699	42	42	47	58	80	75	64	61	54	63	66	55
27.	Eger			-2,3	-0,1	4,7	10,2	16,1	18,8	20,8	20,0	15,9	10,1	4,1	0,1
	47,88	20,38	173	27	30	33	45	65	73	59	57	48	52	53	40
28.	Előszállás			-1,5	0,2	5,6	10,2	15,6	18,7	21,1	20,5	16,1	10,7	4,6	0,6
	46,83	18,82	118	31	34	36	46	57	60	51	52	48	51	53	40
29.	Esztergom			-1,2	0,6	5,6	10,7	15,9	19,1	21,1	20,3	16,4	10,8	5,0	0,8
	47,78	18,75	113	32	31	36	43	64	57	57	54	46	48	47	40

7.7d. táblázat A Kakas (1960) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete [°C] és csapadékösszege [mm]

sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
30.	Esztergom Vaskapu			-2,8	-1,0	4,1	9,2	14,9	18,0	20,1	19,3	15,3	9,7	3,4	-0,7
	47,78	18,77	406	34	33	38	46	68	61	61	57	49	52	50	43
31.	Farkasgyepű			-2,2	-0,7	4,3	9,1	13,9	16,9	19,2	18,5	15,3	9,8	4,0	-0,2
	47,22	17,62	400	50	52	58	68	86	82	83	85	78	72	71	58
32.	Fonyód			-1,2	0,6	5,8	10,7	15,8	18,9	21,1	20,4	16,6	10,9	5,1	0,7
	46,73	17,55	116	37	35	38	51	71	72	62	65	60	64	63	46
33.	Fügöd			-3,5	-1,5	3,9	9,7	14,9	17,5	19,6	19,2	15,3	9,4	3,1	-0,5
	48,32	21,10	133	21	22	26	39	56	71	65	58	47	44	45	32
34.	Galyatető			-4,1	-3,3	0,2	4,7	10,6	13,5	16,2	15,4	12,2	6,3	0,7	-2,3
	47,92	19,92	932	36	37	43	55	79	91	71	68	55	62	67	48
35.	Gödöllő			-2,4	-0,9	4,3	9,5	14,9	17,8	19,9	19,0	14,8	9,3	3,3	-0,4
	47,60	19,35	207	32	32	37	45	63	61	50	50	44	50	56	44
36.	Gyöngyös (Villamosmű)			-1,7	-0,1	5,3	10,6	16,4	19,6	21,9	20,9	17,0	10,9	4,6	0,8
	47,78	19,92	157	27	28	35	43	59	66	53	47	43	46	51	38
37.	Győr			-1,1	0,5	5,6	10,7	16,0	19,0	21,0	20,0	16,2	10,6	5,0	0,9
	47,68	17,63	119	36	36	35	46	62	59	60	56	52	53	49	47
38.	Győr (Repülőtér)			-1,4	0,2	5,4	10,4	15,8	18,7	20,7	19,7	16,2	10,4	4,8	0,7
	47,70	17,67	117	33	33	32	42	57	54	55	51	47	49	45	43
39.	Győrszentmárton (Pannonhalma)			-1,9	-0,1	4,9	9,5	15,4	18,3	20,5	19,5	16,6	10,6	4,2	0,4
	47,55	17,77	270	33	33	36	45	56	56	58	54	48	49	45	41

7.7e. táblázat A Kakas (1960) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete [°C] és csapadékösszege [mm]

sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
40.	Hajdúnánás			-2,9	-0,8	4,9	10,9	16,3	19,2	21,6	21,0	16,8	10,8	4,6	-0,2
	47,85	21,40	95	28	30	34	44	59	72	59	60	47	53	51	39
41.	Hatvan			-2,3	-0,3	5,2	10,5	16,0	18,7	21,1	20,6	16,2	10,5	3,9	0,1
	47,67	19,68	140	27	28	35	45	61	67	53	47	44	46	50	37
42.	Hódmezővásárhely (Gazdasági Iskola)			-1,6	0,1	5,7	11,1	16,7	19,7	22,1	21,3	17,3	11,1	5,2	0,5
	46,42	20,35	86	31	31	34	48	60	67	51	50	48	46	47	42
43.	Homokszentgyörgy			-1,3	0,2	5,9	10,3	15,3	18,8	20,8	20,1	16,1	10,5	5,1	0,8
	46,12	17,57	160	45	42	48	63	77	80	68	65	66	79	70	53
44.	Högyész			-1,6	-0,1	5,2	10,4	15,4	18,9	21,2	20,4	16,0	10,4	4,7	0,6
	46,50	18,45	134	39	40	40	56	67	70	59	61	56	61	61	44
45.	Iregszemcse			-1,5	0,2	5,4	10,3	15,3	18,3	20,6	19,9	16,0	10,7	4,7	0,4
	46,72	18,15	165	36	36	36	53	67	64	56	61	53	57	58	42
46.	Jászberény			-2,4	-0,3	5,1	10,7	16,2	19,7	21,7	20,8	16,5	10,7	4,4	0,1
	47,50	19,92	100	26	25	33	41	56	63	56	47	42	47	47	36
47.	Kalocsa (Obszervatórium)			-1,4	0,3	5,7	10,9	16,3	19,6	21,8	20,9	16,9	11,1	5,1	0,7
	46,53	18,98	96	33	35	36	51	61	62	51	51	50	50	55	42
48.	Kaposvár			-1,0	0,7	5,7	10,5	15,4	18,6	20,7	19,5	15,8	10,8	5,4	1,3
	46,35	17,82	151	42	41	44	59	77	76	66	63	61	72	64	50
49.	Kecskemét (Kisfái)			-1,7	0,1	5,1	10,5	16,0	19,3	21,4	20,6	16,3	10,6	4,6	0,6
	46,90	19,75	113	25	38	31	44	55	54	47	44	45	47	49	37

7.7f. táblázat A Kakas (1960) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete [°C] és csapadékösszege [mm]

sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
50.	Kecskemét (Miklóstelep)			-2,0	-0,1	5,3	10,7	16,2	19,3	21,5	20,6	16,3	10,6	4,6	0,2
	46,93	19,62	128	26	29	32	44	55	54	48	44	46	48	50	37
51.	Kékestető			-4,0	-3,3	0,2	4,7	10,4	13,2	15,7	15,1	11,9	6,1	0,7	-2,2
	47,87	20,02	989	39	41	47	61	86	98	79	75	61	69	74	54
52.	Keszthely			-1,0	0,7	6,0	10,9	15,9	19,0	21,1	20,3	16,5	10,9	5,3	1,0
	46,77	17,23	128	38	36	40	55	74	74	71	77	64	63	59	49
53.	Kiskunfélegyháza			-1,5	0,2	6,0	11,2	16,6	19,8	22,1	21,2	17,1	11,2	5,1	0,7
	46,72	19,85	102	29	33	36	47	57	57	50	49	46	48	50	38
54.	Kiskunhalas			-1,7	0,8	5,7	11,2	16,7	19,8	21,8	20,7	17,0	11,2	5,0	0,5
	46,43	19,48	132	30	31	33	48	53	65	48	44	44	48	49	37
55.	Kistűszállás			-2,3	-0,4	5,3	10,9	16,4	19,8	22,2	21,4	17,0	11,1	4,8	0,0
	47,22	20,77	89	27	28	33	43	51	67	56	52	44	46	47	38
56.	Kisvárd			-3,9	-1,8	3,9	9,8	15,3	18,0	20,1	19,3	15,5	9,8	3,6	-1,1
	48,23	22,12	110	32	34	34	44	62	70	67	68	46	52	49	43
57.	Kompolt			-2,4	-0,1	4,8	10,2	16,1	18,9	21,1	20,5	16,2	10,3	4,1	0,0
	47,73	20,23	127	27	29	34	40	56	66	55	50	42	49	54	40
58.	Kóspallag (Kisnóc megálló)			-2,7	-1,1	3,9	9,0	14,2	16,9	19,2	18,6	14,9	9,4	3,6	0,0
	47,88	18,93	300	44	44	50	59	80	72	67	62	54	67	70	59
59.	Kőszeg			-1,4	-0,2	4,5	9,1	14,3	17,5	19,6	18,9	15,2	9,6	4,0	0,0
	47,40	16,55	274	39	41	43	58	76	89	99	88	75	61	61	49

7.7g. táblázat A Kakas (1960) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete [°C] és csapadékösszege [mm]

sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
60.	Kunszentmiklós			-1,9	0,0	5,5	10,9	16,2	19,3	21,4	20,6	16,3	10,7	4,8	0,4
	47,03	19,13	98	31	32	35	47	59	59	48	49	46	49	53	41
61.	Lengyel			-1,6	0,1	5,5	10,1	15,2	18,4	20,8	19,9	16,2	10,8	4,7	0,5
	46,37	18,37	265	45	45	47	69	81	83	71	70	67	74	71	53
62.	Lenti			-1,7	-0,1	5,2	10,0	14,9	18,2	19,9	18,9	15,1	9,9	4,8	0,7
	46,63	16,55	165	43	41	47	65	82	85	89	83	75	75	68	56
63.	Lőrinci			-2,3	-0,7	4,6	10,0	15,6	18,7	21,0	20,0	16,0	10,0	4,1	0,3
	47,72	19,68	128	28	28	34	43	61	68	52	48	42	46	51	37
64.	Magyaróvár (Mezőgazdasági Akadémia)			-1,6	-0,1	4,9	9,9	15,0	17,9	20,0	19,1	15,4	9,9	4,4	0,5
	47,88	17,27	122	36	34	38	43	65	57	64	58	51	49	51	48
65.	Martonvásár			-2,1	-0,1	5,0	10,2	15,6	18,9	21,2	20,5	16,2	10,6	4,4	0,4
	47,35	18,82	150	32	33	36	45	62	59	48	47	45	51	51	42
66.	Mátészalka			-3,0	-1,2	4,3	10,2	16,0	18,5	20,4	19,4	15,7	10,1	4,1	-0,2
	47,97	22,32	127	31	29	32	41	53	66	64	60	43	49	47	40
67.	Mátraháza (Szánatórium)			-2,5	-2,2	1,8	7,0	12,3	15,4	17,5	16,6	13,2	7,6	2,0	-1,6
	47,87	19,98	672	35	37	43	54	79	92	70	67	55	62	67	50
68.	Mezőhegyes (Növény-nemesítő)			-1,8	-0,3	5,6	10,8	16,3	19,4	22,0	21,1	17,5	11,6	5,4	0,9
	46,32	20,82	100	33	33	38	47	58	76	46	56	47	50	47	42
69.	Mezőtúr			-2,2	-0,5	5,4	10,9	16,4	20,7	22,0	21,1	16,8	10,9	4,7	0,0
	47,00	20,63	88	25	29	32	42	56	64	52	48	40	45	44	36

7.7h. táblázat A Kakas (1960) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete [°C] és csapadékösszege [mm]

sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
70.	Miskolc (Díósgyőr)			-2,9	-0,9	4,4	10,2	15,2	18,4	20,6	19,6	15,5	10,0	3,8	-0,4
	48,10	20,72	150	31	30	32	44	67	83	67	61	54	51	56	42
71.	Miskolc (Görömböly-Tapolca)			-3,7	-1,3	3,9	9,7	15,6	18,5	20,4	19,1	14,7	9,2	3,5	-0,8
	48,07	20,75	135	31	32	34	45	69	84	65	59	54	52	58	42
72.	Miskolc (Győri-Kapu)			-3,3	-1,2	4,4	10,3	15,6	18,5	20,7	19,8	15,8	10,0	3,9	-0,6
	48,12	20,77	133	29	28	30	41	63	78	62	57	50	47	52	39
73.	Miskolc (Lillafüred)			-3,7	-1,0	2,8	8,2	13,2	16,4	18,3	17,7	14,1	8,9	2,6	-1,5
	48,10	20,63	303	34	36	46	55	82	91	76	67	63	59	69	51
74.	Mohács			-1,2	0,2	5,7	10,9	15,9	19,2	21,3	20,5	16,6	10,9	5,4	1,0
	46,00	18,68	91	33	32	41	61	63	67	59	49	53	62	59	45
75.	Monor			-1,8	0,1	5,4	10,7	16,1	19,3	21,3	20,6	16,4	10,6	4,6	0,5
	47,35	19,43	136	28	29	34	43	58	60	47	43	41	45	49	38
76.	Nagybajom			-1,2	0,0	5,6	10,5	15,7	18,9	21,0	20,5	16,0	10,6	5,0	1,1
	46,40	17,50	164	41	40	42	57	75	73	65	65	63	69	62	49
77.	Nagykanizsa			-1,0	0,5	5,6	10,4	15,4	18,7	20,7	19,7	15,7	10,3	4,9	1,0
	46,45	17,00	163	44	45	47	63	84	75	80	72	69	74	67	57
78.	Nagykőrös			-1,9	-0,1	5,3	10,6	16,0	19,3	21,5	20,4	16,3	10,6	4,5	0,2
	47,03	19,78	114	26	29	33	47	59	60	50	49	43	50	50	36
79.	Nagyvisnyó (Bánkút)			-4,0	-3,5	0,4	5,5	10,7	13,4	15,4	15,1	11,7	6,3	0,8	-2,4
	48,10	20,48	880	40	42	50	65	96	108	87	80	71	70	77	55

7.7i. táblázat A Kakas (1960) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete [°C] és csapadékösszege [mm]

sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
80.	Nyírbéltek			-3,4	-1,5	4,2	9,7	15,7	18,3	20,2	19,4	15,6	9,8	3,9	-0,6
	47,70	22,13	159	29	28	31	43	56	66	59	59	43	49	47	38
81.	Nyíregyháza			-3,0	-1,1	4,5	10,1	15,8	18,7	20,7	19,7	15,6	9,9	4,1	-0,4
	47,97	21,72	107	29	30	32	44	61	70	64	68	46	51	50	38
82.	Orosháza			-1,5	0,1	5,6	11,0	16,6	19,6	21,9	20,9	16,9	11,1	5,2	0,6
	46,57	20,67	90	30	32	35	46	54	62	48	50	44	46	47	39
83.	Paks			-1,2	0,4	5,9	11,1	16,5	19,8	21,8	20,9	16,6	10,8	5,1	0,9
	46,62	18,87	103	33	37	36	51	60	63	48	57	51	52	56	41
84.	Pápa (Gimnázium)			-1,0	0,5	5,5	10,4	15,4	18,6	20,7	19,8	16,2	10,8	5,0	1,0
	47,33	17,45	149	40	42	42	55	69	69	75	65	63	60	55	48
85.	Parád			-3,5	0,7	3,8	9,1	14,5	17,3	19,5	18,5	14,6	8,9	3,6	-0,9
	47,93	20,07	220	31	32	37	49	71	81	65	63	51	55	57	42
86.	Páty			-1,8	-9,1	4,9	10,0	15,5	18,4	20,6	20,1	16,2	10,6	4,3	-0,1
	47,52	18,87	194	34	35	39	51	68	65	52	49	47	52	54	46
87.	Pécs (Egyetem)			-0,7	1,0	6,4	11,4	16,4	19,8	22,0	21,5	17,4	11,5	5,7	1,6
	46,08	18,25	141	38	39	44	63	67	64	58	56	54	66	67	45
88.	Pécs (Misinatető)			-2,4	-1,2	4,2	8,7	13,4	16,6	19,3	19,0	15,1	9,5	4,0	-0,3
	46,10	18,22	534	41	42	49	71	73	71	65	60	58	72	71	50
89.	Pécs (Repülőtér)			-1,0	0,4	5,8	10,6	15,7	19,2	21,5	20,7	16,6	10,9	5,3	1,0
	46,07	18,20	132	40	41	46	67	71	68	62	60	57	70	71	48

7.7j. táblázat A Kakas (1960) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete [°C] és csapadékösszege [mm]

sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
90.	Putnok			-3,5	-0,9	3,9	9,6	14,4	17,5	19,4	18,4	14,9	9,2	3,2	-0,5
	48,30	20,43	166	27	25	30	41	64	78	66	61	52	51	48	38
91.	Püspökladány			-2,8	-0,8	4,8	10,5	15,9	19,3	21,5	20,6	16,4	10,4	4,4	-0,3
	47,33	21,10	86	27	29	32	40	55	73	56	52	43	48	46	39
92.	Salgótarján			-2,6	-0,8	4,1	9,3	15,1	18,0	20,2	18,9	14,7	9,3	3,7	-0,2
	48,10	19,80	240	29	29	34	46	63	71	65	61	46	49	53	38
93.	Sárospatak			-3,3	-1,2	4,3	10,1	15,8	18,5	20,9	20,0	15,9	10,2	3,9	-0,5
	48,32	21,57	119	30	32	32	45	63	69	66	64	53	51	56	44
94.	Siklós			-0,9	0,4	6,2	10,8	15,9	19,0	21,5	20,8	16,8	11,0	5,6	1,0
	45,85	18,30	102	37	37	41	62	70	76	63	57	55	68	63	47
95.	Siófok			-1,1	0,5	5,6	10,6	15,9	19,9	21,0	20,1	16,2	10,8	5,0	0,9
	46,90	18,05	112	37	39	36	48	65	63	58	63	54	59	56	45
96.	Sopron (Egyetem)			-1,3	0,2	4,8	9,6	14,5	17,6	19,7	18,9	15,3	9,7	4,2	0,5
	47,68	16,58	230	35	35	39	51	70	75	90	71	66	56	53	47
97.	Sopronhorpács			-1,5	0,0	4,7	9,5	14,8	18,0	20,2	19,6	15,6	9,9	4,2	0,4
	47,48	16,73	200	32	34	36	46	62	66	74	66	58	49	48	42
98.	Szabadhidvég			-0,9	0,7	6,0	11,2	16,7	20,1	22,0	21,0	16,7	10,9	5,2	1,4
	46,82	18,28	122	35	33	34	47	62	62	56	54	50	56	55	41
99.	Szarvas			-1,7	0,1	5,6	11,2	16,6	19,7	21,9	21,1	17,1	11,4	5,4	0,4
	46,87	20,53	85	29	32	33	46	56	59	50	50	40	47	48	38

7.7k. táblázat A Kakas (1960) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete [°C] és csapadékösszege [mm]

sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
100.	Szarvas (Bikazug)			-1,7	-0,2	5,4	11,0	16,5	19,8	22,1	21,2	17,0	11,3	5,1	0,3
	46,83	20,53	83	27	30	30	42	51	54	46	46	37	43	44	35
101.	Szeged (Egyetem)			-1,2	0,6	6,3	11,4	16,8	20,0	22,3	21,4	17,5	11,9	5,9	1,4
	46,25	20,15	79	32	34	38	49	61	68	51	48	47	52	52	41
102.	Szeghalom (Gimnázium)			-2,4	-0,4	5,2	10,9	16,4	19,5	21,9	21,0	16,7	11,0	4,8	0,2
	47,02	21,18	88	27	28	30	42	55	63	50	46	39	45	43	36
103.	Székesfehérvár (Mezőgazd. Technikum)			-1,0	0,6	5,6	10,7	16,0	19,3	21,3	20,7	16,7	10,9	4,8	0,8
	47,18	18,42	111	32	35	35	46	65	60	51	58	48	51	52	44
104.	Szekszárd			-0,9	1,0	6,3	11,3	16,7	19,8	22,2	21,7	17,4	11,6	5,5	1,5
	46,35	18,70	121	38	38	40	61	64	68	57	56	53	60	59	44
105.	Szentendre			-1,2	0,4	5,7	10,6	16,4	19,4	21,4	20,7	16,4	10,7	4,4	0,5
	47,67	19,07	119	35	34	38	46	62	60	48	47	42	50	55	46
106.	Szentgotthárd			-2,1	-0,5	4,5	9,2	14,6	17,5	19,4	18,2	15,0	9,6	3,9	0,2
	46,95	16,28	224	39	36	42	59	76	103	104	95	82	69	62	50
107.	Szentlőrinc			-1,4	0,1	5,8	10,6	15,6	19,2	21,3	20,8	16,2	10,8	5,2	0,8
	46,05	17,98	121	40	37	45	61	74	83	61	58	61	72	67	50
108.	Szerep			-2,2	-0,5	5,3	10,8	16,6	19,5	21,8	20,9	16,7	10,8	4,7	0,2
	47,23	21,15	90	29	31	33	43	57	76	57	53	43	48	48	41
109.	Szolnok			-2,0	-0,1	5,6	10,8	16,3	19,6	21,8	21,0	16,7	11,0	4,7	0,2
	47,18	20,22	95	27	29	31	43	58	60	52	49	40	47	50	38

7.7l. táblázat A Kakas (1960) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete [°C] és csapadékösszege [mm]

sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
110.	Szombathely (Víz mű)			-1,6	-0,1	4,7	9,5	14,5	17,6	19,8	19,1	15,3	9,7	4,1	0,3
	47,25	16,60	218	34	36	38	53	68	80	89	79	69	56	54	44
111.	Tápiószentmárton (Sőregpuszta)			-2,1	-0,4	5,0	10,3	15,7	18,9	21,0	20,4	16,5	10,5	4,3	-0,1
	47,32	19,78	105	27	30	33	44	56	62	56	49	43	47	51	39
112.	Tapolca			-1,4	0,6	5,4	10,1	15,1	18,4	20,3	19,7	15,9	10,2	5,1	0,8
	46,88	17,45	120	34	37	39	54	68	72	64	71	63	62	59	44
113.	Tarcal			-3,1	-0,8	4,8	10,6	16,2	18,9	21,2	20,4	16,4	10,8	4,4	-0,2
	48,15	21,33	115	26	27	30	42	61	72	67	63	50	50	50	36
114.	Terény			-2,6	-0,7	4,6	9,6	14,7	17,8	19,7	18,9	15,1	9,5	3,6	0,0
	47,95	19,45	204	32	31	35	46	62	68	57	51	43	52	55	40
115.	Tihany			-1,2	0,6	5,4	10,7	15,9	19,2	21,4	20,5	17,0	11,5	5,3	1,2
	46,92	17,90	106	34	36	34	45	71	66	58	62	56	54	55	42
116.	Tiszaórs			-2,9	-0,9	4,9	10,5	16,1	19,2	21,6	20,8	16,4	10,4	4,3	-0,1
	47,45	20,82	91	26	27	32	40	55	62	53	46	42	44	46	37
117.	Tolmács			-2,8	-1,0	4,2	9,5	15,0	17,8	19,7	18,9	14,6	8,8	3,3	-0,2
	47,93	19,12	196	38	35	40	47	66	57	51	52	46	56	62	52
118.	Tótkomlós			-1,9	-0,3	5,3	10,8	16,2	19,4	21,9	20,8	16,8	10,9	4,9	0,3
	46,42	20,73	97	34	35	39	50	60	75	51	57	49	52	51	44
119.	Túrkeve			-2,4	-0,5	5,1	10,7	16,2	19,5	21,8	20,9	16,6	10,8	4,6	-0,1
	47,12	20,75	89	26	28	32	43	55	68	52	52	42	48	47	36

7.7m. táblázat A Kakas (1960) féle adatbázis állomásainak havi középhőmérséklete [°C] és csapadékosszege [mm]

sorszám	Állomásnév			T_{jan}	T_{feb}	$T_{márc}$	$T_{ápr}$	$T_{máj}$	$T_{jún}$	$T_{júl}$	T_{aug}	T_{szept}	T_{okt}	T_{nov}	T_{dec}
	ϕ	λ	tszf.	P_{jan}	P_{feb}	$P_{márc}$	$P_{ápr}$	$P_{máj}$	$P_{jún}$	$P_{júl}$	P_{aug}	P_{szept}	P_{okt}	P_{nov}	P_{dec}
120.	Újszentmargita (Szentmargitapuszta)			-2,8	-1,1	4,6	10,1	15,8	18,9	21,4	20,4	16,2	10,2	4,1	-0,2
	47,75	21,13	93	27	28	31	41	54	65	55	52	44	46	47	37
121.	Vác (Bőripari szakiskola)			-1,7	0,1	5,4	10,7	16,1	19,1	21,2	20,4	16,2	10,4	4,5	0,7
	47,78	19,13	111	33	31	36	42	59	56	46	45	38	47	51	43
122.	Veszprém (Villamosmű)			-2,2	-0,2	4,6	9,6	14,5	17,9	19,8	19,3	15,6	10,2	4,0	0,1
	47,10	17,92	282	36	37	40	47	63	57	57	62	54	55	56	45
123.	Visegrád (Nagyvillám)			-2,5	-0,8	4,5	8,9	14,5	17,5	19,5	19,5	15,9	10,0	3,3	-0,6
	47,80	19,00	370	35	35	41	48	67	62	55	53	45	54	55	46
124.	Zalaegerszeg			-1,2	0,5	5,5	10,5	15,4	18,6	20,6	19,5	15,6	10,2	4,9	0,9
	46,83	16,85	162	39	37	42	62	74	81	87	81	69	65	59	49
125.	Zirc			-2,8	-1,0	3,7	8,8	13,8	17,2	19,3	18,1	14,4	9,2	3,7	-0,8
	47,27	17,88	389	46	47	52	62	82	68	72	78	69	66	65	56