

MAGYARORSZÁG ÉGHAJLATÁNAK VÁLTOZÁSAI A 20. SZÁZADBAN

(Péczely György osztályozási módszere alapján)

SKARBIT NÓRA – ÁCS FERENC – BREUER HAJNALKA – KRAKKER DÁVID

THE CLIMATE OF HUNGARY
IN THE TWENTIETH CENTURY BASED ON PÉCZELY'S METHOD

Abstract

PÉCZELY'S climate classification method is applied to Hungary for the twentieth century using the Climate Research Unit (CRU) data series. The method is tested in three ways. First, it is used in its original form as presented in PÉCZELY GY. (1979). Second, the calculation of aridity index is modified, on one hand spatially variable global radiation is assumed, on the other hand spatially and temporally averaged global radiation is used. Results show that the climate in Hungary is mostly warm or moderately warm and dry. At the beginning of the century there were also moderately cool and moderately wet areas. The climate in the Great Hungarian Plain is rather homogeneous in space, and it is mostly warm and dry. The climate in Transdanubia is the most diverse. We have also demonstrated that the method is sensitive to the estimation of radiation balance.

Keywords: climate classification, Hungary, twentieth century, CRU database, PÉCZELY'S method

Bevezetés

Az éghajlat-osztályozási módszereknek két alapvető csoportját, az empirikus és az egzakt, számszerűsítő eljárásokon alapuló módszereket különböztetjük meg. Az előbbieket tovább csoportosíthatók ún. generikus vagy leíró, valamint ún. genetikus módszerekre. Ezek közül a leíró módszerek terjedtek el a legszélesebb körben, amelyek a növényzet és az éghajlat makro-skálájú területi eloszlásának kapcsolatán alapulnak. A legelső – a mai napig is a legismertebb – ilyen osztályozást KÖPPEN, W. (1936) alkotta meg. A leíró jellegűek közül ismertebb még például HOLDRIDGE, L. R. (1947), THORNTHWAITE, C. W. (1948) és BUDYKO, M. I. (1974) módszere is. A genetikus módszerek a légkörzés folyamatai és szerkezete alapján végzik az osztályozást. Ilyen például BERGERON, T. (1928) vagy HETTNER, A. (1930) osztályozása; ezek a Föld légtömeg-, front- vagy szélviszonyait veszik alapul. Az egzakt módszerek komplex matematikai eljárásokon alapulnak, mint például klaszter- vagy sajátvektor-analízis, és sokszor eltekintenek az éghajlat-osztályozás fizikai vagy biológiai vonatkozásaitól.

Magyarországon a leíró módszerek terjedtek el, a genetikus és az egzakt módszerek alkalmazásáról nincs tudomásunk. KÖPPEN, W. (1936) módszerét elsőként RÉTHLY A. (1933), majd napjainkban SZELEPCSÉNYI Z. et al. (2009), valamint FÁBIÁN, Á. P.–MATYASOVSKY, I. (2010) alkalmazta. HOLDRIDGE, L. R. (1947) módszerét szintén SZELEPCSÉNYI, Z. et al. (2009) használta. THORNTHWAITE, C. W. (1948) módszerét régóta alkalmazzák, például BERÉNYI D. (1943), SZESZTAY, K. (1958), KAKAS J. (1960), SZEPESINÉ L. A. (1966) és legújabban DRUCZA, M.–ÁCS, F. (2006). A leíró módszerek egyik sarkalatos pontja a nedvességi viszonyok taglalása. KÖPPEN, W. (1936) ezt a száraz klímák esetében az évi csapadék és hőmérséklet viszonyításával állapítja meg. HOLDRIDGE, L. R. (1947) a nedvességi viszonyokat az évi potenciális evapotranspiráció (*PET*) és a csapadék (*P*) aránya alapján becsüli. A *PET* az évi ún. biohőmérséklet függvénye. THORNTHWAITE, C. W. (1948) szintén a *P* és a *PET* alapján becsüli a vízellátottságot. A *PET* havi értékeit a léghőmér-

séklet és a potenciális napfénytartam havi értékei alapján számítja. Legismertebb hazai éghajlat-osztályozónk, PÉCZELY GY. (1979) a nedvességi viszonyokat szintén a P és a PET alapján értékeli, méghozzá úgy, hogy a PET -et kiegyenlíti a felszín sugárzási egyenlegével, azaz $PET = R_n$ -nel. A módszer így érzékeny lehet a sugárzási egyenleg számítására is.

E tanulmány célja Magyarország 20. századi éghajlatának jellemzése PÉCZELY GY. (1979) alapján, ugyanis e jellemzés hiányzik a hazai éghajlat-osztályozási gyakorlatból. Emellett célunk az említett érzékenység kivizsgálása is.

Anyag és módszer

Felhasznált adatok (CRU TS 1.2)

Munkánk során a CRU TS 1.2 adatbázis hőmérséklet-, csapadék- és felhőborítottság-adataival dolgoztunk. Az adatbázist a Kelet-angliai Egyetem Éghajlatkutató Osztálya (Climate Research Unit) állította össze (MITCHELL, T. D. et al. 2004). Ebben öt különböző klímaváltozó értékei szerepelnek: közéghőmérséklet, napi hőmérséklet-ingadozás, felhőborítottság, gőznyomás és csapadékösszeg. Az adatbázis e változók havi idősorait tartalmazza a 20. századra vonatkozóan, 10' horizontális felbontással, Európát lefedve. A CRU TS 1.2 adatbázisban esetlegesen fellépő inhomogenitásokat és azok kiküszöbölésének lehetőségeit MITCHELL, T. D.–JONES, P. D. (2005) vizsgálták. Az inhomogenitás fő forrásait és a korrekció módszereit PETERSON, T. C. et al. (1998) foglalta össze. Az adatbázis homogenizálására a GHCN (Global Historical Climatology Network) módszerét alkalmazták, amit más adatbázisok esetében is használtak (PETERSON, T. C.–EASTERLING, D. R. 1994; EASTERLING, D. R.–PETERSON, T. C. 1995). Vizsgálataink során leválasztottuk a Magyarországot lefedő rácspontokat, azaz 1032 rácspontot a K. h. 16–23°-a és az É. sz. 45,17–49°-a között. A száz éves idősor (1901–2000) hőmérséklet-, csapadék- és felhőborítottság-értékeiből hárminc éves átlagokat képeztünk, majd ezekre az átlagokra készültek a további számítások.

Péczely eredeti módszere

PÉCZELY GY. éghajlat-osztályozási módszere a víz- és a hőellátottság becslése alapján kategorizál, a vízellátottságot a BUDYKO, M. I. (1974) által bevezetett H ariditási index alapján határozza meg:

$$H = \frac{R_n}{L \cdot P}, \quad (1)$$

ahol R_n – a felszín sugárzási egyenlege [$\text{MJm}^{-2}\text{év}^{-1}$], L – a párolgási hő, amelynek értéke $2,5 \text{ MJkg}^{-1}$, P – az évi csapadékösszeg [$\text{kgm}^{-2}\text{év}^{-1}$]. A felszín sugárzási egyenlege mindig nagyobb, mint a potenciális párolgás, de BUDYKO, M. I. (1974) – első közelítésben – kiegyenlítette őket. Így a H felírható, mint

$$H = \frac{PET}{L \cdot P}, \quad (2)$$

ahol PET a potenciális párolgás vagy másképpen a légkör párolgató képessége. PÉCZELY GY. (1979) szerint Magyarországon a PET évi értéke területileg keveset változik, azaz állandónak vehető, értéke $1760 \text{ MJm}^{-2}\text{év}^{-1}$. Ezek alapján

$$H = \frac{1760}{2,5 \cdot P}. \quad (3)$$

A PÉCZELY GY.-féle nedvességi kategóriákat az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat – Table 1

Nedvességi kategóriák a H ariditási index alapján
Humidity classes according to aridity index H

A nedvesség mértéke	Ariditási index
nedves	$H < 0,85$
mérsékelten nedves	$0,85 \leq H \leq 1$
mérsékelten száraz	$1 \leq H \leq 1,15$
száraz	$H > 1,15$

A hőellátottságot a nyári félév, az áprilistól szeptemberig terjedő időszak átlaghőmérsékletével (T_v) jellemzi. Négy hőmérsékleti kategóriát különböztet meg, ezeket a 2. táblázat szemlélteti.

2. táblázat – Table 2

Hőmérsékleti kategóriák a nyári félév (áprilistól szeptemberig)
átlaghőmérséklete alapján

Thermal classes according to mean air temperatures of the time period
April–September

Hőmérsékleti kategóriák	A nyári félév átlaghőmérséklete, °C
meleg	$T_v > 17,5^\circ\text{C}$
mérsékelten meleg	$16,5^\circ\text{C} \leq T_v \leq 17,5^\circ\text{C}$
mérsékelten hűvös	$15,0^\circ\text{C} \leq T_v \leq 16,5^\circ\text{C}$
hűvös	$T_v < 15,0^\circ\text{C}$

PÉCZELY GY. (1979) az éghajlati kategóriákat a nedvességi és a hőmérsékleti kategóriák kombinálásával alakította ki. Összesen 16 éghajlati kategóriát különböztetett meg, ezeket a 3. táblázatban tüntettük fel.

3. táblázat – Table 3

A PÉCZELY GY.-féle éghajlati kategóriák (1979)
Climate types as used by PÉCZELY GY. (1979)

1. meleg, száraz éghajlat	9. mérsékelten hűvös, száraz éghajlat
2. meleg, mérsékelten száraz éghajlat	10. mérsékelten hűvös, mérsékelten száraz éghajlat
3. meleg, mérsékelten nedves éghajlat	11. mérsékelten hűvös, mérsékelten nedves éghajlat
4. meleg, nedves éghajlat	12. mérsékelten hűvös, nedves éghajlat
5. mérsékelten meleg, száraz éghajlat	13. hűvös, száraz éghajlat
6. mérsékelten meleg, mérsékelten száraz éghajlat	14. hűvös, mérsékelten száraz éghajlat
7. mérsékelten meleg, mérsékelten nedves éghajlat	15. hűvös, mérsékelten nedves éghajlat
8. mérsékelten meleg, nedves éghajlat	16. hűvös, nedves éghajlat

Péczely módszere területileg változó globálsugárzás alapján

Az (1)-es egyenletben az R_n évi értéke állandó; a (3)-as egyenlet alapján láthatjuk, hogy értéke $1760 \text{ MJm}^{-2}\text{év}^{-1}$. Ugyanakkor tudjuk, hogy az R_n területileg változó a globálsugárzás, az albedó és az effektív kisugárzás területi változatossága miatt. A három tényező közül a globálsugárzás területi változatossága a legnagyobb, ezért az albedó és az effektív kisugárzás területi változatosságát elhanyagoljuk. A területileg változó globálsugárzás esetében az albedó értéke 0,2, míg az effektív kisugárzás 63 Wm^{-2} . A globálsugárzást a felhőzet függvényében számítjuk,

$$Q_{nap} = (a' + b' \cdot f) \cdot Q_A, \quad (4)$$

ahol Q_{nap} [$\text{MJm}^{-2}\text{nap}^{-1}$] – a napi globálsugárzás, f – a felhőzet 0–10-ig terjedő skálán (0 – derűs égbolt, 10 – teljesen borús égbolt) és Q_A [$\text{MJm}^{-2}\text{nap}^{-1}$] – besugárzás a légkör tetején az adott helyszín felett. Az a' és a b' empirikus együtthatók évszokról évszakra változnak, ezt a 4. táblázat szemlélteti.

4. táblázat – Table 4

Az a' és b' empirikus együtthatók Magyarországra vonatkozó értékei az egyes hónapok függvényében
The a' and b' empirical constants in Hungary for different months

Együttható	október-március	április-június	július-szeptember
a'	0,78	0,79	0,73
b'	-0,054	-0,048	-0,025

A Q_A -t a következőképpen számítottuk:

$$Q_A = \frac{37,60[\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nap}^{-1}]}{l^2} \cdot (\sin \varphi \cdot \sin \delta \cdot H + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin H), \quad (5)$$

ahol φ – a földrajzi szélesség, δ – a deklináció foka, H – az óraszög radiánban megadva és

$$l^2 = \left(\frac{d}{d_m} \right)^2 \quad (6)$$

az aktuális és az átlagos Nap–Föld távolság hányadosának négyzete. A deklináció a

$$\delta = 23,5^\circ \cdot \sin \left[(J - 80) \cdot \frac{360}{365} \right] \quad (7)$$

képlet alapján adódik, ahol J a napok száma az évben.

A Q_{nap} havi értékeiből 30 éves átlagokat képeztünk, minden egyes rácspontban a 100 éves időszakban.

Péczely módszere térben és időben átlagolt globálsugárzás alapján

Az előző módszerben a 30 éves időszakokra vonatkozó globálsugárzást minden egyes rácspontban a felhőzet függvényében számítottuk. A számított értékek területi és időbeli változatossága nem nagy. Ezért a következőkben a globálsugárzás térbeli (1032 rácspont) és időbeli (71 darab 30 éves időszak) átlagát vettük, ami $4674,4 \text{ MJm}^{-2}\text{év}^{-1}$ lett. A sugár-

zási egyenleg számításakor az albedó és az effektív kisugárzás értéke térben és időben állandó; értékeik rendre 0,2 és 63 Wm^{-2} .

A Kappa statisztika

Az egyes területek klímaváltozásának statisztikai elemzésére a COHEN-féle Kappa együtthatót alkalmaztuk (COHEN, J. 1960). A Kappa statisztika az egyes éghajlati térképek osztályozási kategóriái közötti egyezést vizsgálja. A Kappa együttható (κ) kiszámítása CARLETTA, J. (2004) alapján a következő:

$$\kappa = \frac{P(A) - P(E)}{1 - P(E)} \quad (8)$$

ahol $P(A)$ az egyezés valószínűsége és $P(E)$ a véletlen egyezés feltételezett valószínűsége. Az együttható értéke 0 és 1 között változhat, ahol 1 a teljes egyezést mutatja. Az értékek elemzésére a MONSERUD, R. S.–LEEMANS, R. (1992) által definiált egyezési fokokat alkalmaztuk.

Kutatási eredmények

Péczely eredeti módszere

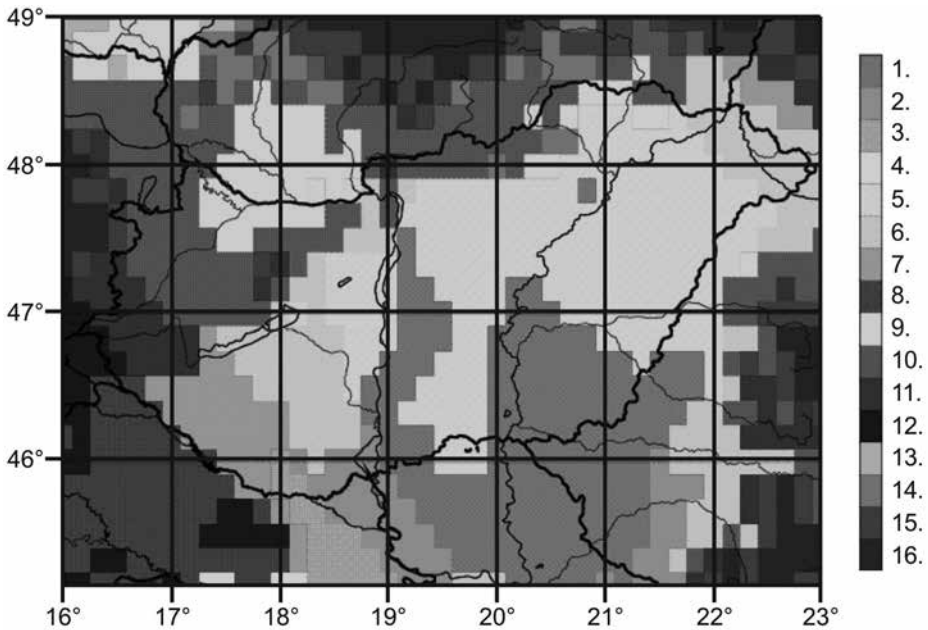
Az 1901–1930 közötti időszak éghajlata

Az 1901–1930 közötti időszak klímaterképét az 1. ábra mutatja be.

A szóban forgó időszakban 13 klímátípus fordult elő Magyarország területén. Ezek közül hét típus (1., 5., 6., 7., 9., 10., 11.) területi kiterjedése jelentős, hat (2., 3., 8., 12., 14., 15.) pedig csak egy-egy vizsgálati ponton, illetve határszéli területen fordult elő (1. ábra). Az Alföldön – nagy területi kiterjedése ellenére – csupán három klímátípus volt jelen: meleg és száraz az Alföld Ny-i részén, a Solti-síkság és a Kiskunság ÉK-i részének érintésével a Duna vonala mentén, valamint a Maros–Körös köze és a Tiszazug területén. Ez a térség az ország legmelegebb és legszárazabb területe is, ahol a vegetációs időszak átlaghőmérséklete majdnem 18°C , és az évi csapadékösszeg mindössze 530 mm. A Duna–Tisza köze középső, valamint az Alföld ÉK-i, a Szatmári-síkságig terjedő része már mérsékelt meleg és száraz. ÉK-i irányba haladva megfigyelhető a hőmérséklet csökkenése mellett a nedvesség növekedése is. Ezt igazolja az, hogy a Szatmári-Tiszahát, a Szatmári-síkság, az Ecsedi-láp, valamint a Beregi-Tiszahát már mérsékelt száraz.

Sokkal kisebb területe ellenére az Északi-középhegység jóval változatosabb klímájú, és hat klímátípussal jellemezhető. A D-i területek, valamint a Cserehát jelentős része – az Észak-Alfölddel megegyezően – mérsékelt meleg és száraz. A magasság növekedését követő éghajlat-módosulás jól megfigyelhető. Miközben a hegysek lábánál mérsékelt meleg viszonyok uralkodnak, a magasabb hegységekben – a Mátrában és a Bükkben – megjelenik a mérsékelt hűvös és hűvös éghajlat. A Bükk az ország leghűvösebb része, a vegetációs időszak átlaghőmérséklete $14,7^\circ\text{C}$. A magassággal a csapadékmennyiség is jelentősen nő, ezért a vízellátottság a szárazból mérsékelt szárazba vált. Az előbbiekből következően a középhegységben a mérsékelt hűvös, mérsékelt száraz klíma a legmeghatározóbb. A Börzsöny a legcsapadékosabb, itt az évi csapadékösszeg 712 mm, ezért a hegység mérsékelt nedves klímájú.

A Dunántúl éghajlata a legváltozatosabb, 12 éghajlati típussal jellemezhető. A Mezőföldtől és a Kisalföldtől DNY-i irányba haladva megfigyelhető a csapadékmennyiség ÉK–



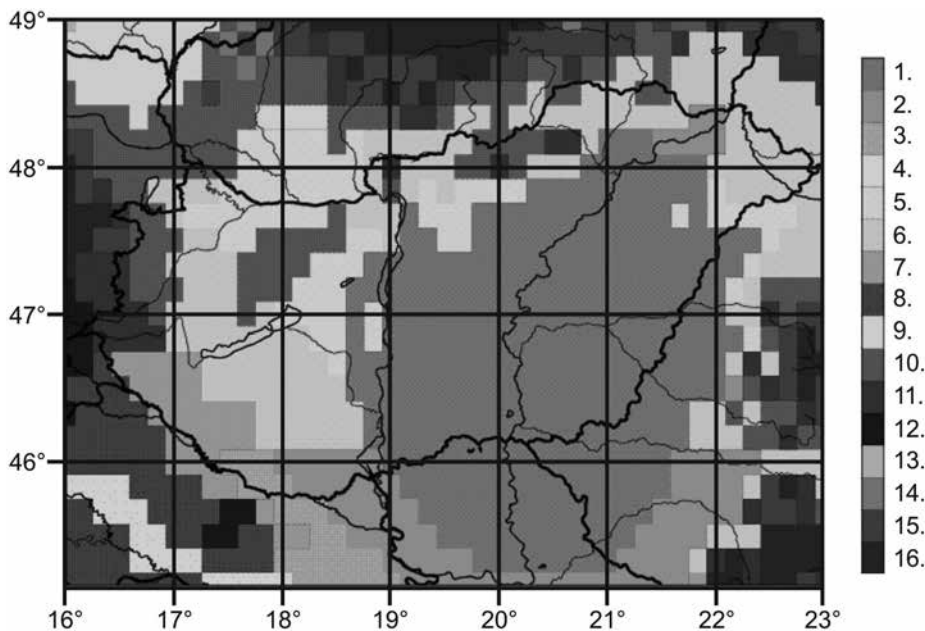
1. ábra Magyarország éghajlata az 1901–1930 közötti időszakban PÉCZELY Gy. eredeti módszere alapján
(az egyes kategóriák elnevezése a 3. táblázatban látható)
Figure 1 The climate of Hungary in the period 1901–1930 obtained by the original method of PÉCZELY, Gy.
(classes are presented in Table 3)

DNy-i irányú növekedése. A Mezőföld és a Kisalföld száraz, a DNy-i országhatár környéke – a Vasi-hegyhát, valamint az Órség és a Zalai-dombság D-i része – viszont már nedves. Ezek az ország legnedvesebb területei, itt az évi csapadékösszeg helyenként eléri a 850 mm-t. A régió DK-i tájain megfigyelhető az Alföld hatása. Az éghajlat a Sárköz, a Villányi-hegység, a Dráva-mellék, valamint Baranyai-dombság területének egy részén meleg. A Mecsek éghajlata megegyezik a tőle északabbra levő dombvidék éghajlatával: mérsékelt meleg, mérsékelt száraz. E térségekben is jól megfigyelhető a csapadék ÉK–DNy-i irányú gradiense. DK-ről ÉNy-i irányba haladva hőmérsékleti gradiens is megfigyelhető. A mérsékelt meleg és a mérsékelt hűvös területek határvonala jól követi a Dunántúli-középhegység D-i lejtőit, de a Dunazug-hegység nagy része mérsékelt meleg. A Dunántúli-középhegységben szintén megfigyelhető az éghajlatnak a magasságot követő módosulása. Például az Északi-Bakonyban a vegetációs időszak átlaghőmérséklete 15,1°C körüli, az évi csapadékösszeg pedig meghaladja a 700 mm-t. Ezek az értékek 1,4°C-kal alacsonyabbak és 83 mm-rel magasabbak a környező területek hasonló értékeinél. A középhegység fő vonulata mérsékelt hűvös és mérsékelt száraz, kivétel az Északi-Bakony, ahol – nagyobb tengerszint feletti magassága miatt – hűvös és nedves klímátípus volt jellemző.

Az 1935–1964 közötti időszak éghajlata

Az 1935–1964 közötti időszak klímaterképét a 2. ábrán tanulmányozhatjuk.

Szembetűnő változás, hogy jóval kevesebb – összesen 8 (1., 2., 3., 5., 6., 7., 10., 11.) – klímátípus van, mint az előző időszakban, de a meleg, mérsékelt nedves klímátípus kivételével, valamennyiük területi kiterjedése jelentős (2. ábra). Eltűnik a hűvös, a nedves,



2. ábra Magyarország éghajlata az 1935–1964 közötti időszakban PÉCZELY Gy. eredeti módszere alapján (az egyes kategóriák elnevezése a 3. táblázatban látható)
 Figure 2 The climate of Hungary in the period 1935–1964 obtained by the original method of PÉCZELY, Gy. (classes are in Table 3)

valamint a mérsékelt hűvös, száraz éghajlat. Az Alföld túlnyomó része meleg és száraz. Az ország legmelegebb és legszárazabb részei továbbra is Makó és Szeged térségében található. A meleg és száraz területek kiterjedésének É-i határa pontosan megegyezik az Alföld és az Északi-középhegység határvonalával. A Nyírség É-i fele és a tőle ÉK-re elterülő térségek hűvösebbek, nedvesebbek.

Az éghajlat mérsékelt meleg, mérsékelt száraz – a Mátraalja és a Gödöllői-dombság kivételével – az Északi-középhegység alacsonyabb részein. A domborzat éghajlatmódosító hatását tükrözi, hogy a hőmérséklet 17,7-ről 15,2°C-ra csökken, és a csapadékmennyiség 584-ről 715 mm-re növekszik az Alföld É-i határa és a Bükk között, így a Bükk, a Mátra és a Börzsöny mérsékelt hűvös, mérsékelt nedves klímájú. A hegységek D-i és É-i lejtői közötti markáns különbség jól megfigyelhető a Mátra lejtőin: az É-i oldal hűvösebb és nedvesebb.

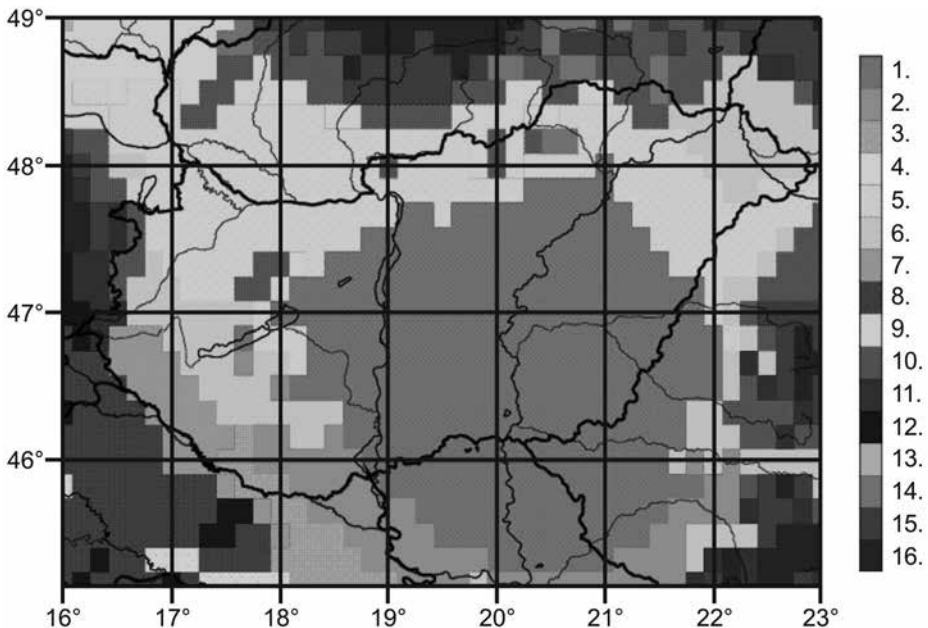
A Dunántúl területén a Magyarországra jellemző valamennyi klímátípus megtalálható. A csapadékmennyiség markáns DNy-i irányú növekedése ismét megfigyelhető. A Dél-Dunántúlon a növekedés mértéke 65 mm/(50 km). Az ariditási index 1,2–1,25 közötti értékei 0,85–0,9 közötti értékekre mérséklődnek. Ugyanakkor a nedves klímátípusok az országon kívülre esnek. A régió K-i és D-i fele meleg klímájú, ahol az Alföld hatása érezhető. A Dráva-mellék és az Alpokalja közötti térségben a DK–ÉNy-i irányú hőmérsékleti gradiens kevésbé figyelhető meg, de a különbségek továbbra is markánsak. A Dunántúli-dombság Ny-i fele és a Mecsek mérsékelt meleg, mérsékelt száraz éghajlatú. A Dunántúli-középhegység középső és magasabb részeinek éghajlatmódosító hatása szembevetendő, a Bakony, a Vértes és a Gerecse mérsékelt hűvös, mérsékelt száraz. A Dunazug-hegység Ny-i felében a csapadék nagyobb mennyisége körvonalazódik. Az

expozíció (kiettség) hatása – a Mátrához hasonlóan – jól látszik a középhegység területének nagy részén. A DK-i kiettségű lejtők hőellátottsága értelemszerűen nagyobb, mint az északnyugatiaké. A Kisalföld mérsékelt meleg, száraz, de a régióra jellemző csapadékgradiens következtében a DNy-i vidékek vízellátottsága jelentősebb, ezért ezek a tájak már mérsékelt szárazak.

Az 1971–2000 közötti időszak éghajlata

Az 1971–2000 közötti időszak klímaterképét a 3. ábra mutatja be.

Magyarország területén tíz klímátípus fordul elő, ezek közül öt típus területe jelentős nagyságú (1., 2., 5., 6., 7.), egy, az ország Ny-i határszélén megjelenő – mérsékelt hűvös, mérsékelt nedves – típusú viszont elhanyagolható kiterjedésű (3. ábra). Az Alföld nagy része továbbra is meleg, száraz: Szegeden az évi csapadékösszeg nem éri el az 500 mm-t sem; Makó térségében a vegetációs időszak átlaghőmérséklete pedig 18,4°C. Az ország ÉK-i részei hűvösebbek, csapadékosabbak, ezért ÉK felé haladva először a mérsékelt meleg, száraz, majd a mérsékelt meleg, mérsékelt száraz klímátípus jelenik meg.



3. ábra Magyarország éghajlata az 1971–2000 közötti időszakban PÉCZELY GY. eredeti módszere alapján (az egyes kategóriák elnevezése a 3. táblázatban látható)

Figure 3 The climate of Hungary in the period 1971–2000 obtained by the original method of PÉCZELY, GY. (classes are presented in Table 3)

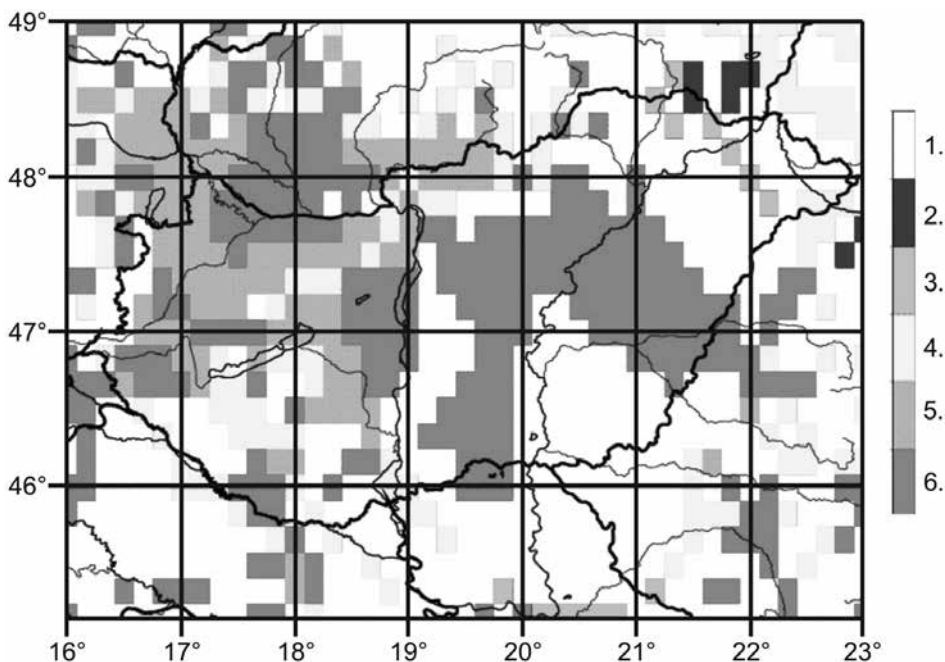
Az Északi-középhegység nagy része, főként az alacsonyabban fekvő tájakon, mérsékelt meleg és száraz. A magasabb hegységek – például a Börzsöny, a Mátra, a Bükk, a Zempléni-hegység –, valamint elszórtan az É-i határvidék klímája többnyire mérsékelt hűvös és mérsékelt száraz. A Bükk az ország leghidegebb tája, a vegetációs időszakban az átlaghőmérséklet 14,8°C, így – a Zempléni-hegység legészakabbi részével együtt – hűvös éghajlatú. Érdekes, hogy a hegységek évi csapadékösszege K felé nő; a Zempléni-hegység a legnedvesebb, évi csapadékösszege 690 mm.

A Dunántúl éghajlata továbbra is a legváltozatosabb. Az országra jellemző klímátípusok közül csupán a hűvös éghajlat hiányzik. A Mezőföld meleg és száraz, itt a kis tengerszint feletti magasság a meghatározó. A Dunántúli-dombság nagy része mérsékelten meleg, de a meleg klímátípus az alacsonyabban fekvő belsőbb részsein, például Fonyód és Dombóvár térségében is megjelenik még. A DNY-ÉK-i irányú csapadé gradiens továbbra is jól megfigyelhető. A mérsékelten száraz klímátípus a Mohács–Sárvár vonaltól DNY-ra található. A legbőségesebb a csapadék a szlovén határ mentét jellemzi, az évi csapadék-összeg itt 800–830 mm. A Mecsek hőellátottsága – a korábban vizsgált időszakokkal ellentétben – jól kirajzolódik. Az Északi-Bakony mérsékelten hűvös, mérsékelten száraz éghajlata jelentősen eltér az alacsonyabban fekvő tájakétól. A meleg klímátípus területe a Dunazug-hegységig, valamint a Vértes és a Bakony lábáig húzódik. A Kisalföld egésze mérsékelten meleg, száraz klímájú.

Az 1901–2000 közötti időszak éghajlatváltozása

Az éghajlatváltozás jellegét a múlt században az 1901–1930 és az 1971–2000 közötti időszak éghajlatai jellemzőinek összevetésével állapítottuk meg. A PÉCZELY GY. eredeti módszerével kapott eredményeinek összevetése alapján kapott klímaváltozás-térképet a 4. ábra szemlélteti.

A címkékben vagy a hőellátottság, vagy a vízellátottság, vagy mindkettő változásai vannak feltüntetve. Az adott változások mindig „egylépcsősek”, azaz csak az egymással



4. ábra Magyarország éghajlatának változása a huszadik század eleje (1901–1930) és vége (1971–2000) közötti időszakban

PÉCZELY GY. eredeti módszere alapján. – 1 – nincs változás; 2 – hőmérsékletcsökkenés; 3 – csapadék-növekedés; 4 – csapadécsökkenés; 5 – hőmérsékletnövekedés és csapadécsökkenés; 6 – hőmérsékletnövekedés

Figure 4 The change of climate in Hungary between the beginning (time period 1901–1930)

and the end (time period 1971–2000) of the twentieth century according to the original method of PÉCZELY, GY.

– 1 – no change; 2 – temperature decrease; 3 – precipitation increase;

4 – precipitation decrease; 5 – temperature increase and precipitation decrease; 6 – temperature increase

szomszédos kategóriák közötti változások figyelhetők meg. Észrevehetjük, hogy hazánk legtöbb részén változik az éghajlat, legnagyobb mértékben a Dunántúlon. Egymáshoz közel fekvő területek éghajlataiban más-más típusú változások figyelhetők meg. Egyes területek melegek, mások szárazodtak, de az egyszerűen zajló melegedés és szárazodás is megfigyelhető.

Jelentős melegedést figyelhetünk meg az Alföldön, ami főleg a múlt század 20-as és 30-as éveiben zajlott. Ekkor a meleg éghajlatú területek nagysága háromszorosára nőtt. A század második felében nem tapasztaltunk ilyen mértékű változásokat, de a változás súlypontja kb. 40 km-rel nyugatabbra tolódott. Voltak olyan területek is – hazánk ÉK-i részeiben, kb. 1300 km²-es sávban –, amelyek nedvesebbé váltak.

Az Északi-középhegység K-i részének éghajlata – ellentétben a hegység Ny-i területeivel – kevésbé változott. A legjelentősebb változások a Cserhát-É-i felén voltak, ahol a levegő melegebbé és szárazabbá vált. Érdekes, hogy a középső és a K-i részben elszórtan vannak olyan, összességükben kb. 2300 km²-nyi területek is, amelyek melegebbé és nedvesebbé váltak a század első felében.

A legnagyobb mértékű éghajlatváltozás a Dunántúlon volt, méghozzá a Kisalföld D-i részén és a Sió vidékén. Ugyanakkor a Völgyesség, az Alpokalja, valamint a Dunántúli-dombság DNy-i részein nem regisztráltunk változást. Érdekes, hogy a nedves klímátípus határa, ami a század elején az ország DNy-i határa mentén húzódott, keveset (kb. 20 km-nyit) mozdult el DNy-i irányba, ennek ellenére kiszorult hazánkból. Az igen jelentős szárazodás mintegy 12 200 km²-nyi területet ölelt fel. A száraz típusnak a mérsékelt száraz típusal szembeni térnyerése 1750 km²/(10 év) volt.

Az előbbieket során láthattuk, hogy Magyarország éghajlatát a század elején hét, míg a század végén öt klímátípus határozta meg. A mérsékelt hűvös, száraz és a mérsékelt hűvös, mérsékelt nedves típus már nem dominált, ugyanakkor a meleg, mérsékelt száraz klíma területi kiterjedése jelentősen nőtt. Az 1901–1930 közötti időszak legtöbb klímátípusa – leszámítva egy-egy vizsgálati pontot – a későbbi időszakokban is megtalálható. Meg kell jegyeznünk, hogy a mérsékelt hűvös, mérsékelt nedves éghajlat, ami az első vizsgált időszakban a Nyugat-Dunántúlon volt jellemző, elhanyagolhatóan kis területre zsugorodott a 20. század végére a Vasi-hegyhát és az Órség vidékeire.

A PÉCZELY GY. eredeti éghajlat-osztályozási módszerével kapott éghajlatváltozás képe más szempontok alapján is értékelhető, így a hőmérsékletváltozás területi eloszlása kevésbé változatos. Vannak továbbá módszertani hátrányok is. A meleg és száraz vidékekre nem kaphatunk még melegebb vagy szárazabb klímátípust, mivel ez a skála vége, így nagy különbségek lehetnek e területek között.

Az éghajlatváltozás statisztikai elemzése

A 20. századra elvégzett Kappa statisztika eredményeit az 5. táblázat tartalmazza. A statisztika az 1901–1930 az 1935–1964, valamint az 1901–1930 és 1971–2000 közötti időszakok között került meghatározásra külön a hőellátottsági, illetve vízellátottsági kategóriákra.

Az eredmények alapján elmondható, hogy mindkét vizsgált időszak esetében a hőellátottságban mutatkoznak jelentősebb változások. A század elején a Kappa együttható értéke 0,54, míg a teljes századra 0,52, ami MONSERUD, R. S.–LEEMANS, R. (1992) alapján korrekt egyezést mutat. A vízellátottság esetében az eltérések kisebbek, ugyanakkor jelentősebb a különbség a század elejei, illetve az egész századra vonatkozó változás között. Hiszen az 1901–1930 és 1935–1964 időszakok között az egyezés foka nagyon jó (0,79), míg az 1901–1930 és 1971–2000 időszakok között már csak jó (0,66).

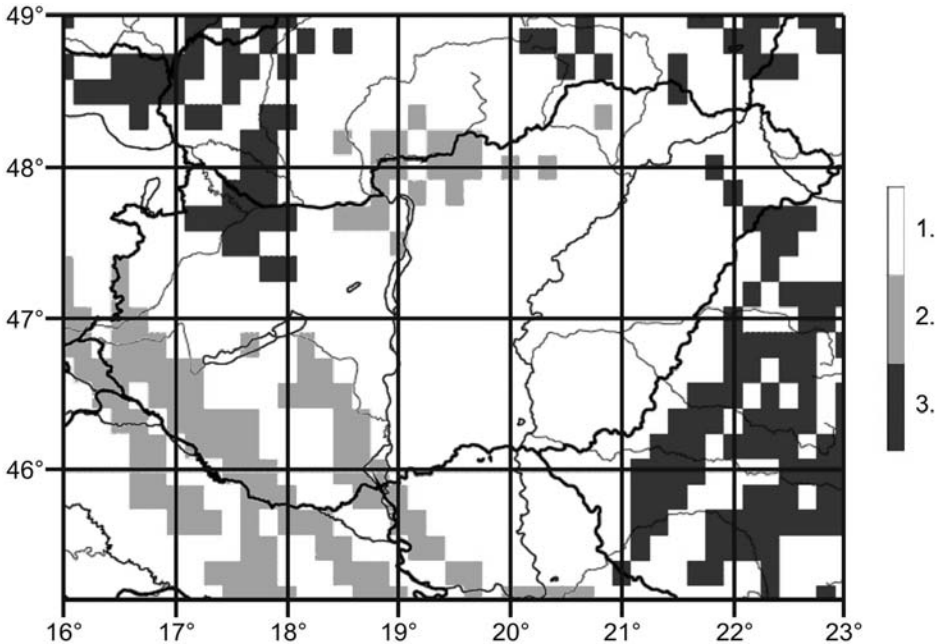
A Kappa együttható értékei, valamint az egyezés foka MONSERUD, R. S.–LEEMANS, R. (1992) alapján, az egyes éghajlati mutatókra az 1901–1930-as és az 1935–1964-es, valamint az 1901–1930-as és az 1971–2000-es időszakok között
Kappa coefficient values and the degree of agreement obtained by MONSERUD, R. S.–LEEMANS, R. (1992) for the climate indicators between 1901–1930 and 1935–1964 and between 1901–1930 and 1971–2000

Éghajlati mutató	Időszakok	Kappa együttható	Az egyezés foka
hőellátottság	(1901–1930)–(1935–1964)	0,54	korrekt
vízellátottság	(1901–1930)–(1935–1964)	0,79	nagyon jó
hőellátottság	(1901–1930)–(1971–2000)	0,52	korrekt
vízellátottság	(1901–1930)–(1971–2000)	0,66	jó

Péczy módszer területileg változó globálsugárzás alapján

A PÉCZELY Gy. eredeti módszere és a területileg változó globálsugárzás alapján kapott eredmények igen hasonlóak, ezért a közöttük adódó különbségekre fogunk koncentrálni. A vizsgált 30 éves átlagok közül a legnagyobb eltérés az 1935–1964 közötti időszakban látható, ezért itt ezt bemutatjuk be.

A két módszer közötti különbségeket az 1935–1964 közötti időszakra vonatkozóan az 5. ábra szemlélteti. Az eltérő mintájú foltok azt mutatják, hogy a területileg változó globálsugárzás figyelembevétele nedvesebb vagy szárazabb klímát eredményez.



5. ábra A területileg változó globálsugárzás alapján kapott klímaterkép eltérése PÉCZELY Gy. eredeti módszeréhez képest, az 1935–1964 közötti időszakra vonatkozóan. – 1 – nincs változás; 2 – szárazabb klíma; 3 – nedvesebb klíma
Figure 5 Climate map variations between the original method of PÉCZELY, Gy. and the method of PÉCZELY, Gy. supposing spatially variable global radiation in the period 1935–1964. – 1 – no change; 2 – drier climate; 3 – wetter climate

Klímatípusbeli eltéréseket nagyjából 16 500 km²-nyi területen kaptunk (kb. 3500 km²-en nedvesebb, míg 13 ezer km²-en szárazabb típust). Ez Magyarország területének valamivel kevesebb, mint 17,7%-a. Az Alföldön – néhány vizsgálati pont kivételével, amelyek nedvesebbnak adódtak – nincsenek eltérések.

Az Északi-középhegység esetében a Mátra és a tőle Ny-ra eső terület – mintegy 2300 km² – szárazabb (nagyobb területen mérsékelt meleg és száraz) lett. A hegységtől K-re nem nagyon láthatunk változást; a térség nagy része mérsékelt száraz. A Zempléni-hegység legészakabbi részén szintén változott, mérsékelt nedves lett a klímátípus. A régióban itt és a Bükkben a legnagyobb a vízellátottság, az ariditási index értéke mindkét helyen 0,97. A középhegység klímája valamivel inhomogénebbnek látszik.

A Dunántúlon megfigyelhető, hogy a szárazabbnak adódó területek sávjai DNy-i irányban húzódtak az előző esethez képest. Ez a csapadékmennyiség csökkenésével magyarázható. A Siótól DNy-i irányban látható egy nagyobb sáv, ahol az éghajlat szárazabbá vált. Más területek is szárazabbnak adódtak (mérsékelt szárazak lettek), mint a Zalai-dombság és Belső-Somogy D-i fele. A Dél-Dunántúl éghajlata nagy területen mérsékelt meleg, mérsékelt száraz. Ez alól a K-i és délebbi részei kivételek, ahol inkább a melegebb és szárazabb típusok dominálnak. A mérsékelt nedves éghajlat határvonala az ország DNy-i határával esik egybe. Az Északi-Bakony nedvesebb, mérsékelt nedves éghajlatú lett. Így három hegységünk, a Bükk, az Északi-Bakony, valamint a Zempléni-hegység É-i részének vízellátottsága ugyanolyan, mint a legcsapadékosabb DNy-i határvidéké. Győr környékén továbbra is kisebb a globálsugárzás évi összege, így a térség nedvesebbnak, azaz mérsékelt száraznak adódik.

Péczely módszere térben és időben átlagolt globálsugárzás alapján

A térben és időben átlagolt globálsugárzás alapján kapott klímaterképek igen hasonlóak a PÉCZELY eredeti módszerével kapott eredményekhez. Az 1901–1930 közötti időszakban nyolc, 1935–1964 között kilenc, míg 1971–2000 között három rácpontban volt nedvesebb klímátípus. Ezek alapján elmondható, hogy ismét az 1935–1964-es időszakban történt a legtöbb változás; az időszak klímaterképe a 6. ábrán látható.

Az effektív kisugárzást úgy választottuk meg, hogy a módszer felszíni sugárzási egyenlege minél inkább megközelítse az eredeti módszerben használt felszíni sugárzási egyenleget. Ez az érték 1753 MJm⁻²év⁻¹ nagyságú volt, ami csak 7 MJm⁻²év⁻¹ eltérést jelent az eredeti módszerben használt 1760 MJm⁻²év⁻¹ értékhez képest. Ez a hasonlóság biztosította azt, hogy az eredeti és a területileg változó globálsugárzás alapján számolt módszer ennyire hasonló eredményt adott.

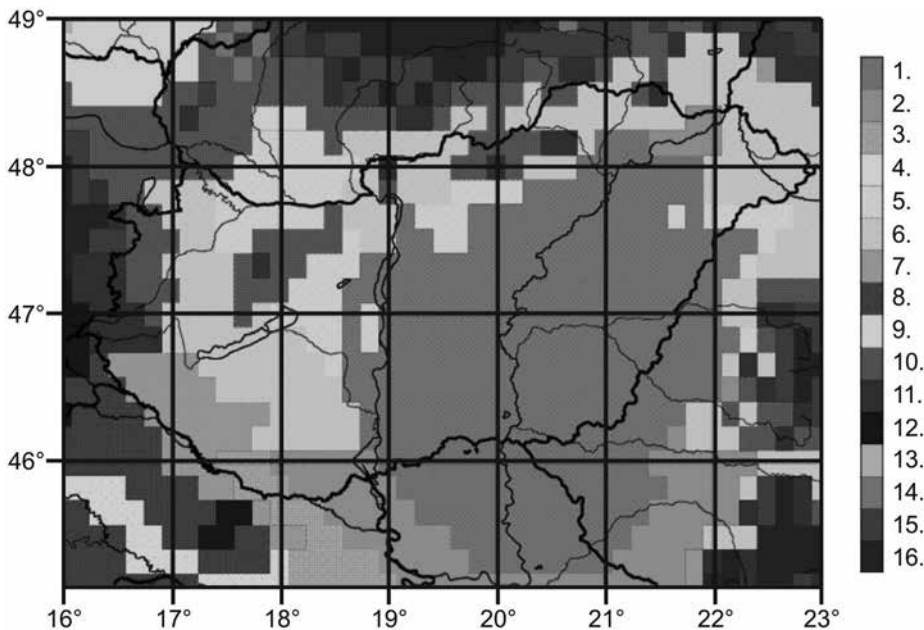
A modell érzékenysége a kisugárzás változására

Az ariditási index változása arányos a sugárzási egyenleg változásával, azaz

$$\Delta H = H_2 - H_1 = \frac{R_{n2} - R_{n1}}{L \cdot P}, \quad (9)$$

ahol H_2 az R_{n2} és H_1 az R_{n1} sugárzási egyenleghez tartozó ariditási index, L – a párolgási hő és P – az évi csapadékösszeg [kgm⁻²év⁻¹]. A mi esetünkben az $R_{n1} = 1753$ MJm⁻²év⁻¹, ekkor az effektív kisugárzás 63 Wm⁻² volt. Ha az effektív kisugárzást 57 Wm⁻²-re csökkentjük (MAJOR GY. et al. 2002), akkor az $R_{n2} = 1942$ MJm⁻²év⁻¹, így

$$\Delta H = H_2 - H_1 = \frac{189}{2,5 \cdot P} = \frac{75,6}{P}. \quad (10)$$



6. ábra Magyarország éghajlata az 1935–1964 közötti időszakban PÉCZELY Gy. szerint térben és időben átlagolt globálsugárzás és a 63 Wm^{-2} értékű effektív kisugárzás alapján (a kategóriák a 3. táblázatban láthatók)
 Figure 6 The climate of Hungary in the period 1935–1964 obtained by PÉCZELY, Gy. using spatially and temporally averaged global radiation and the effective outgoing radiation of 63 Wm^{-2} (classes are given in Table 3)

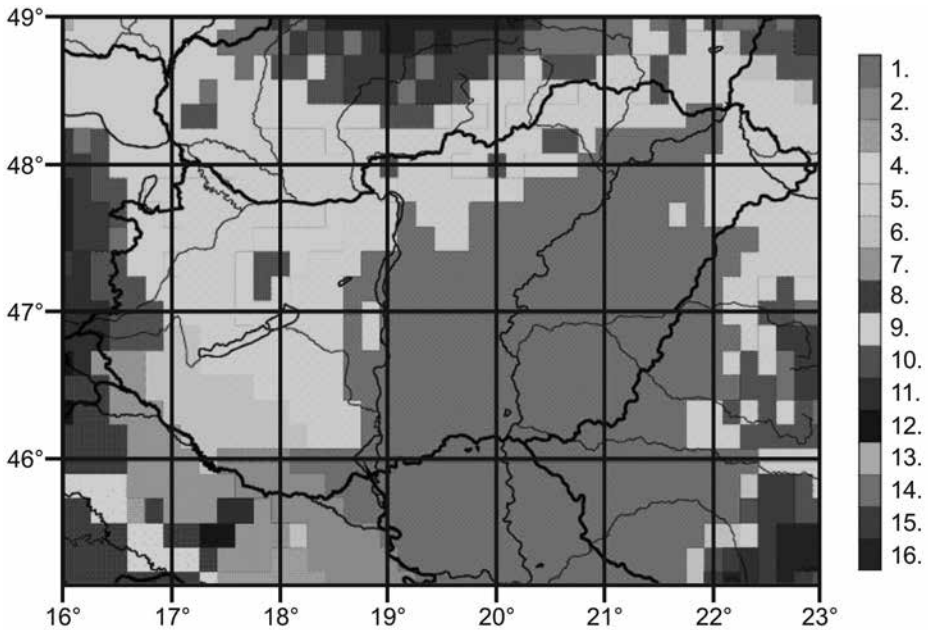
Láthatjuk, hogy az ariditási index változása a csapadékösszegtől is függ és vele fordítottan arányos. A szárazabb területek (kisebb P) érzékenyebbek az effektív kisugárzás változásaira.

Az 57 Wm^{-2} -es effektív kisugárzási értékhez tartozó, térben és időben átlagolt globálsugárzás módszerrel kapott klímaterképet az 1935–1964 közötti időszakra a 7. ábrán mutatjuk be. Azért választottuk ezt az időszakot, mert ennek nedvességi viszonyai még olyanok, hogy a sugárzásegyenleghi változások még egyértelműen észrevehetők.

Magyarország területén 8 klímátípus fordul elő, amelyek közül az 1., az 5. és a 6. jelenik meg a legnagyobb kiterjedésben. Az Alföld klímáját csak kisebb mértékben változtatta meg az effektív kisugárzás csökkentése. Az ÉK-i részek szárazabb klímátípusúak, így az Alföld egésze száraz.

Az Északi-középhegység már más képet mutat. Gyakorlatilag egész területe szárazabb lett. Alacsonyabb részei mérsékelten meleg, száraz, míg a magasabb hegyei mérsékelten hűvös, mérsékelten száraz klímátípusúak. A magasabb részek körül megjelenik a mérsékelten hűvös száraz éghajlat is.

A Dunántúl igen nagy területen szárazabbá vált. Kivétel az Északi-Bakony, amely – tengerszint feletti magassága miatt – mérsékelten hűvös, mérsékelten száraz maradt. A domborzat hatása megmutatkozik a Mecsek Ny-i felének vízellátottságában is. Az említett vonaltól DNy-ra a mérsékelten száraz klímátípust nagyobb területen találjuk. A mérsékelten nedves vízellátottság határa sokáig az országhatárt követi, de megjelenik a Zalai-dombság és a Vasi-hegyhát területén is, mintegy jelezve, hogy ezek az ország legcsapadékosabb részei. A Dél-Dunántúlon a mérsékelten meleg, száraz és a mérsékelten meleg, mérsékelten nedves éghajlat a legjellemzőbb. 63 Wm^{-2} effektív kisugárzás esetén a régió



7. ábra Magyarország éghajlata az 1935–1964 közötti időszakban PÉCZELY Gy. szerint térben és időben átlagolt globálsugárzás és az 57 Wm^{-2} értékű effektív kisugárzás alapján (a kategóriák a 3. táblázatban láthatók)
 Figure 7 The climate of Hungary in the period 1935–1964 obtained by PÉCZELY, Gy. using spatially and temporally averaged global radiation and the effective outgoing radiation of 57 Wm^{-2} (classes are in Table 3)

háromnegyed részén a mérsékelt száraz és a mérsékelt nedves típusok jellemzők. E területek nagy része – az effektív kisugárzás csökkenése miatt – szárazabb lett, mindössze 4400 km^2 -en maradt a klíma változatlan.

Összességében megállapíthatjuk, hogy a 6 Wm^{-2} -rel csökkent effektív kisugárzás mellett a klíma jelentősen szárazabbá vált. Azokban a térségekben, ahol nem tapasztaltunk változást, az esetek többségében eredetileg is száraz klíma uralkodott.

Összefoglalás

Tanulmányunkban Magyarország 20. századi éghajlatát vizsgáltuk PÉCZELY Gy. (1979) módszere alapján. Eszerint hazánk klímája az 1901–1930 közötti időszakban viszonylag változatos volt, bár igen nagy területeken a mérsékelt meleg, száraz típus dominált. A század végi 1971–2000 közötti időszakban az éghajlat területi eloszlása valamelyest homogénebb lett. Az ország fele meleg, száraz klímájúvá vált, és a mérsékelt hűvös és jobb vízellátottsággal jellemezhető klímátípusok jelentősen visszaszorultak, főleg az Észak-Dunántúlról és a hegységeink egy részéből. A területileg változó, valamint a térben és időben átlagolt globálsugárzás eredményei igen hasonlóak a PÉCZELY eredeti módszerével kapott eredményekhez, ezért ezeket nem részletezzük. Az eredmények alapján elmondható, hogy PÉCZELY Gy. szerint Magyarország hőellátottsága mérsékelt meleg és meleg, és KÖPPEN, W. (1936) szerint mérsékelt meleg. Láthatjuk tehát, hogy PÉCZELY a KÖPPEN-féle osztályozásnál is melegebbet ad, ami annak tulajdonítható, hogy a PET -et kiegyenlíti az R_n -nel. Ugyanakkor meg kell említeni, hogy hazánk hőellátottsága FEDDEMA szerint (ÁCS, F. et al. 2014) hűvös.

Mivel a PÉCZELY-féle éghajlat-osztályozási módszer a sugárzási egyenleg számításán alapul, a sugárzási egyenleg becslése – ami egyáltalán nem könnyű feladat – meghatározó a módszer szempontjából. Ennek fényében a sugárzási egyenleget meghatározó effektív kisugárzás változásaira való érzékenységet is elemeztük. Eredményeink szerint az ariditási index érzékenysége az effektív kisugárzás változásaira egyértelműen észrevehető (6–7. ábra).

SKARBIT NÓRA
ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, Budapest
skarbitnora@gmail.com

ÁCS FERENC
ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, Budapest
acs@caesar.elte.hu

BREUER HAJNALKA
ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, Budapest
breuer.hajni@gmail.com

KRAKKER DÁVID
ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, Budapest
krakker.david@t-online.hu

IRODALOM

- ÁCS F.–BREUER H. 2012: Biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek. – Egyetemi jegyzet. pp. 44–61.
- ÁCS, F.–BREUER, H.–SKARBIT, N. 2014: Climate of Hungary in the twentieth century according to Feddema. – Theoretical and Applied Climatology, DOI: 10.1007/s00704-014-1103-5
- BERÉNYI D. 1943: Magyarország Thornthwaite rendszerű éghajlati térképe és az éghajlati térképek növény-földrajzi vonatkozásai. – Időjárás, 47. 81–91. pp. 117–125.
- BERGERON, T. 1928: Ueber die dreidimensional verknüpfende Wetteranalyse; erster Teil: Prinzipielle Einführung in das Problem der Luftmassen-und Frontenbildung. – Geofysiske Publikasjoner, 5. 6. pp. 1–111.
- BUDYKO, M. I. 1974: Climate and life. – Academic Press, Orlando, Florida, USA. 508 p.
- CARLETTA, J. 2004: Assessing Agreement on Classification Tasks: The Kappa Statistic. – Computational Linguistics, 22. 2. pp. 249–254.
- COHEN, J. 1960: A coefficient of agreement for nominal scales. – Educ. Psychol. Meas. 20. pp. 37–46.
- DRUCZA, M.–ÁCS, F. 2006: Relationship between soil texture and near surface climate in Hungary. – Időjárás, 110. 2. pp. 135–153.
- EASTERLING, D. R.–PETERSON, T. C. 1995: A new method for detecting undocumented discontinuities in climatological time series. – International Journal of Climatology, 15. pp. 369–377.
- FÁBIÁN, Á. P.–MATYASOVSKY, I. 2010: Analysis of climate change in Hungary according to an extended Köppen classification system, 1971–2060. – Időjárás, 114. pp. 251–263
- HETTNER, A. 1930: Die Klimate der Erde. – Geographische Schriften (Leipzig and Berlin), 5. 115 p.
- HOLDRIDGE, L. R. 1947: Determination of world formulations from simple climatic data. – Science, 105. pp. 367–368.
- KAKAS J. 1960: A lehetséges évi evapotranszspiráció. Az évi vízfölösleg. Az évi vízhiány. – In: Magyarország Éghajlati Atlasza. – Akadémiai Kiadó, Budapest. 46 p./2–4. térkép.
- KÖPPEN, W. 1936: Das geographische System der Klimate. – In: KÖPPEN, W.–GEIGER, R. (eds): Handbuch der Klimatologie. –Verlag von Gebrüder Borntraeger. 44 p.
- MAJOR GY.–NAGY Z.–TÓTH Z. 2002: Éghajlat-energetikai tanulmányok Magyarország felett. – A Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem Környezettudományi Intézetének tanulmányai, 9. 52 p.
- MITCHELL, T. D.–CARTER, T. R.–JONES, P. D.–HULME, M.–NEW, M. 2004: A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901–2000) and 16 scenarios (2001–2100). – Tyndall Centre Working Paper, 55. pp. 2–7.

- MITCHELL, T. D.–JONES, P. D. 2005: An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. – *International Journal of Climatology*, 25. pp. 693–712.
- MONSERUD, R. S.–LEEMANS, R. 1992: Comparing global vegetation maps with the Kappa statistics. – *Ecol. Model.* 62. pp. 275–293.
- PÉCZELY Gy. 1979: Éghajlatlan. – Tankönyvkiadó, Budapest. pp. 238–284.
- PETERSON, T. C.–EASTERLING, D. R. 1994: Creation of homogenous composite climatological reference series. – *International Journal of Climatology*, 14. pp. 671–679.
- PETERSON, T. C.–EASTERLING, D. R.–KARL, T. R.–GROISMAN, P.–NICHOLLS, N.–PLUMMER, N.–TOROK, S.–AUER, I.–BOEHM, R.–GULLETT, D.–VINCENT, L.–HEINO, R.–TUOMENVIRTA, H.–MESTRE, O.–SZENTIMREY, T.–SALINGER, J.–FORLAND, E.–HANSEN-BAUER, I.–ALEXANDERSSON, H.–JONES, P.–PARKER, D. 1998: Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review. – *International Journal of Climatology*, 18. pp. 1493–1517.
- RÉTHLY A. 1933: Kísérlet Magyarország klímaterképének szerkesztésére a Köppen féle klímabeosztás értelmében. – *Időjárás*, 9. pp. 105–115.
- SZELEPCSÉNYI Z.–BREUER H.–ÁCS F.–KOZMA I. 2009: Biofizikai klímaklasszifikációk, 2. rész: Magyarországi alkalmazások. – *Léggör*, 54. 4. pp. 18–24.
- SZEPESINÉ L. A. 1966: A Kárpát-medence hidroklímájának jellemzői. Beszámoló az 1965-ben végzett tudományos kutatásokról. – *Az Országos Meteorológiai Intézet hivatalos kiadványai*, 29. pp. 86–114.
- SZESZTAY, K. 1958: Estimation of water balance of catchment areas in Hungary. – *Időjárás*, 62. pp. 313–328.
- THORNTHWAITE, C. W. 1948: An approach toward a rational classification of climate. – *Geogr. Review*, 38. pp. 55–93.