

A KÁRPÁT-RÉGIÓ HUMÁN TERMÍKUS KLÍMÁJÁNAK LEHETSÉGES VÁLTOZÁSÁIRÓL A XXI. SZÁZADBAN

Amanda Imola SZABÓ⁽¹⁾, Hajnalka BREUER⁽¹⁾, Erzsébet KRISTÓF⁽¹⁾⁽²⁾, Michal BELDA⁽³⁾, Ferenc ÁCS⁽¹⁾

⁽¹⁾ ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, e-mail: amanda.imola.szabo@gmail.com

⁽²⁾ ELKH Agrártudományi Kutatóközpont

⁽³⁾ Charles University, Department of Atmospheric Physics

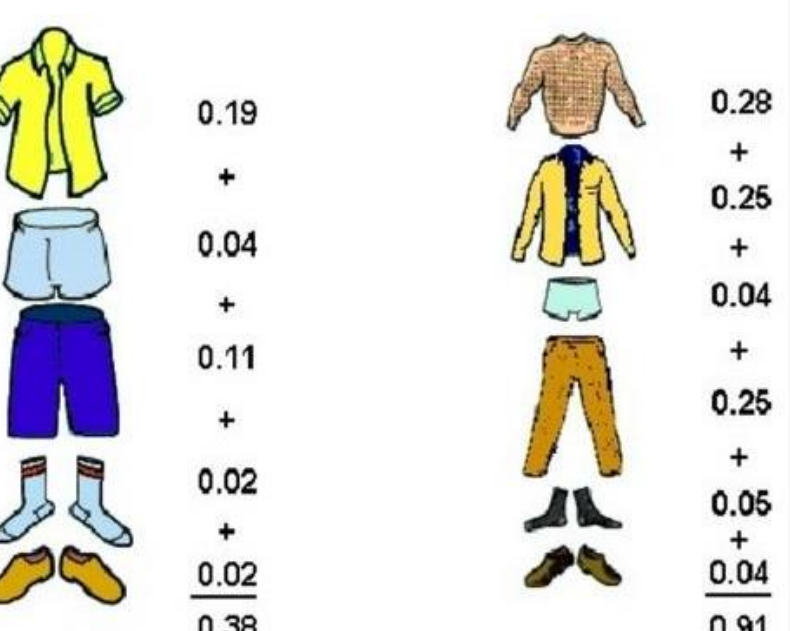


CHARLES UNIVERSITY

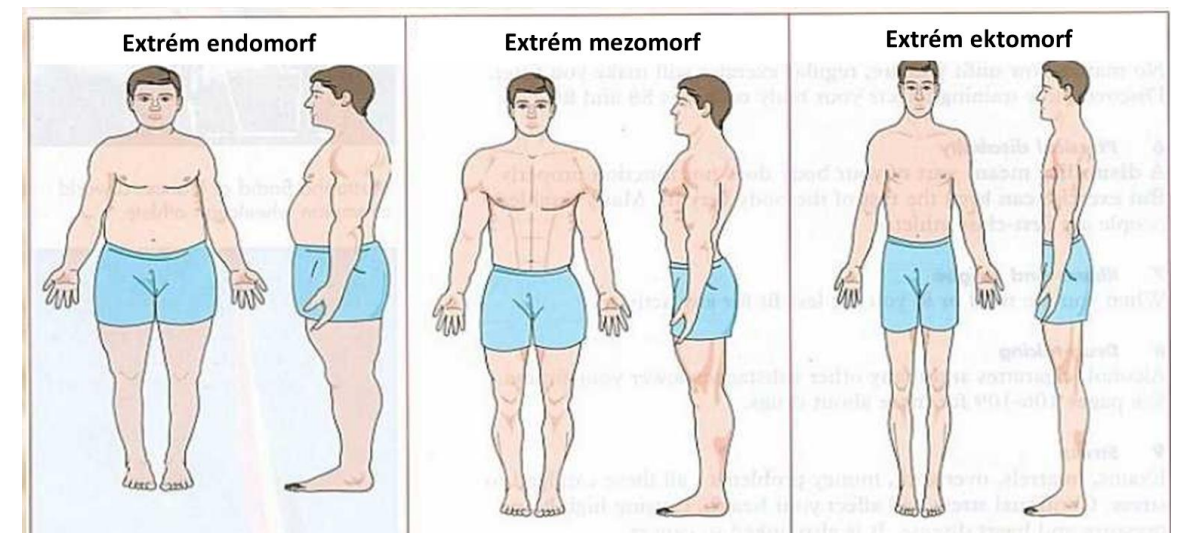
BEVEZETŐ

Hazánkban a felszínközeli hőmérséklet a globális átlagnál nagyobb mértékben nő, és az éghajlatváltozás a már korábban is tapasztalt extrém időjárási viszonyok fokozódásához vezet. Ilyen helyzetekben különösen fontos az egyénenként és területenként eltérő extrém hőterhelés meghatározása. Az éghajlatváltozás humán termikus klíma szempontból a Kárpát-régióban még kevésbé vizsgált. A kutatás során az emberi test-ruházat-légkör rendszer energia egyenlegén alapuló modellt használtuk. Az operatív hőmérséklet (To) és a potenciális evapotranszpiráció (PET) statisztikai kapcsolatán alapuló statisztikus-determinisztikus modell használtuk a ruházati hőcsere index (rcl, 1. ábra), becsülésére. A pozitív rcl index érték hőhiányt, a negatív rcl-index érték hőtöbbletet fejez ki. Az egyensúlyi állapot eléréséhez hőhiány esetén fűtés, hőtöbblet esetén hűtés szükséges. A környezeti tényezőket és humán jellemzőket szintetizáló ruházati index modellel számszerűsíthető, hogyan hatnak eltérő testalkatú, magasságú, tömegű, nemű, életkorú emberekre a különböző éghajlati viszonyok.

A ruházati hőcsere index clo-ban adható meg. Egy clo 0,155 m² °C/W értéknek felel meg, amelyet a levegő állandó nyomáson vett fajhőjével és sűrűségével szorozva ellenállás jellegű mennyiséget kapunk, azaz 186,74 s/m értéket (Ács, 2016). Az index értéke függ az egyén metabolikus energiaáram sűrűségétől is, így a szomatotípusától (testalkatától, 2. ábra) is, emiatt individuálisan eltérő.



1. ábra: Néhány ruhadarab hővezető és hőszigetelő hatása a ruházati hőcsere index clo-ban megadott értékében kifejezve (Ács et al., 2021).



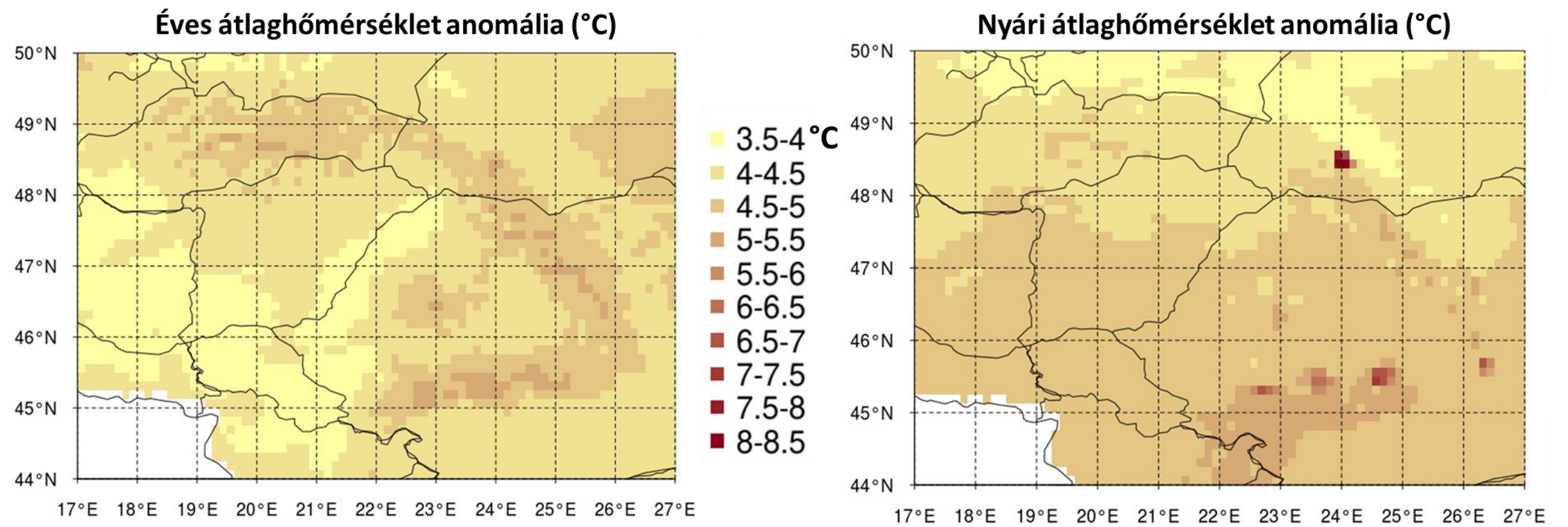
2. ábra: Endomorf, mezomorf és ektomorf szomatotípusok (Carter & Heath, 1990). Az endomorfa fejezi ki a testzsírtartalmat, a mezomorfa az izomzatot. Az ektomorfa pedig vékony testalkatra utal. A testalkatok, azaz a szomatotípusok megnevezése az előbbieket alapján: endomorf, mezomorf és ektomorf. A három testalkathoz tartozó energia-áram-sűrűség különböző.

ADAT ÉS MÓDSZERTAN

A hőérzet-kategóriák számszerűsítésére használt rcl-index meghatározása: Az rcl indexet az Ács et al. (2019) által publikált adatigényes ruházati hőcsere index modell helyett az Ács et al. (2021) által létrehozott egyszerűsített, ún. statisztikus-determinisztikus modell alapján becsültük. Az alkalmazásához mindössze a havi 2 m-es átlaghőmérséklet és a havi 10 m-es átlagos szélesség adatokra van szükség. Az adatok az 1971-2000 közötti referencia időszakra a CarpatClim adatbázisból (Szalai et al., 2013), a 2069-2098 közötti periódusra pedig az RCA4-EC-EARTH modell EURO-CORDEX EUR-11 (Jacob et al., 2014) RCP4.5 és RCP8.5 forgatókönyveken alapuló szimulációiból származnak (3. ábra). A To-PET kapcsolatot leíró regressziós görbék meghatározásához a prediktorként alkalmazott PET értékeit Thornthwaite (1948) képlete alapján számítottuk ki.

2. tábla: Hőérzet-kategóriák öt, egymástól jelentősen eltérő testalkatú személy hőérzetre vonatkozó megfigyelései és rcl értékeinek átlaga alapján. (Összesen 2034 megfigyelés került figyelembe vételre. Hőérzetkategorióként az rcl értékek 1. percentilise alatti és a 99. percentilise feletti rcl értékek megfigyeléseket kizártuk.)

Hőérzet	rcl-index
nagyon hideg	1,83 < rcl
hideg-nagyon hideg	1,39 < rcl < 1,83
hideg	1,14 < rcl < 1,39
hideg-hűvös	0,89 < rcl < 1,14
hűvös	0,61 < rcl < 0,89
hűvös-neutrális	0,22 < rcl < 0,61
neutrális	-0,14 < rcl < 0,22
neutrális-kicsit meleg	-0,7 < rcl < -0,14
kicsit meleg	-1,13 < rcl < -0,7
kicsit meleg-meleg	-1,62 < rcl < -1,13
meleg	-2,04 < rcl < -1,62
meleg-nagyon meleg	-2,18 < rcl < -2,04
nagyon meleg	rcl < -2,18



3. ábra: A 2069-2098 közötti időszakra vonatkozó éves és nyári átlaghőmérsékleti anomáliák (°C) az RCP 8.5 forgatókönyv alapján (Referencia időszak: 1971-2000)

A hőérzet-kategóriák kialakításához felhasznált észlelések adatbázisa: Az öt személy 2020 áprilisa és 2021 októbere között gyűjtött adatokat (1. tábla). Észlelésenként feljegyezték a hőérzetüket (2. tábla), valamint az rcl-index meghatározásához szükséges, időjárást jellemző állapotváltozások értékeit.

1. tábla: A hőérzet-észleléseket végző személyek adatai (Ács et al., 2021).

Sorszám	Nem	Életkor (év)	Testtömeg (kg)	Testmagasság (cm)	Bázikus metabolikus hőáram-sűrűség (Wm ⁻²)	Séta közbeni energiaáram-sűrűség (Wm ⁻²)	Teljes energiaáram-sűrűség (Wm ⁻²)
P1	Férfi	64	89	190	40,8	94,5	135,3
P2	Nő	34	64,5	160,5	38,6	103,9	142,5
P3	Nő	45	68,7	165,1	37,3	102,7	140
P4	Férfi	24	80	176	44,6	100,7	145,3
P5	Nő	20	55	169	40,6	86,9	127,5

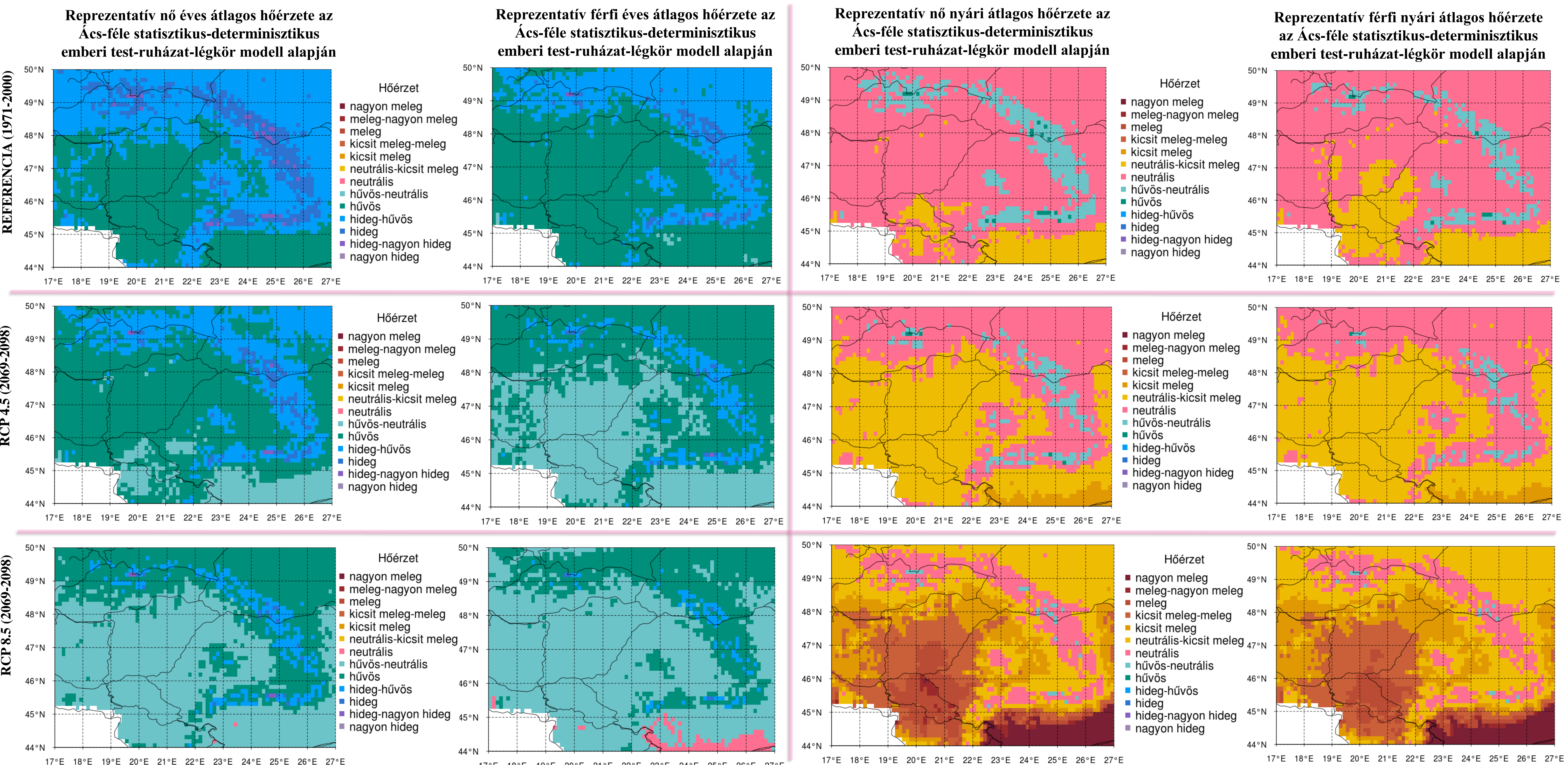
Hőérzet becsülésének módszertana: A kutatás során kísérletet tettünk az egyénenként eltérő emberi hőérzet területi eloszlásának XXI. század végi becsülésére. Ehhez Ács et al. (2019) emberi test-ruházat-légkör modelljének statisztikus-determinisztikus megközelítését alkalmaztuk (Ács et al. 2019). A jövőre vonatkozó eloszlásokat a referencia időszak mérési adatai alapján meghatározott rcl(To) trendegyenletekkel becsültük meg, feltételezve, hogy a referencia időszakra megállapított statisztikai kapcsolat változatlan marad.

Az individuális rcl-index jövőre vonatkozó értékeinek becsüléséhez felhasznált humán adatok: Korábbi kutatási eredményeink megmutatták, hogy az rcl értékére jelentős hatással van az egyén testalkata és neme, így a jövőre vonatkozó becsülések során két, a hazai adatbázis alapján reprezentatív nő és férfi humán termikus klímáját vizsgáltuk (3. tábla).

3. tábla: Az ELTE Embertani Tanszék nemzetközi standardoknak megfelelő, több mint 3000 fő paramétereit tartalmazó adatbázisból kiválasztott reprezentatív magyar nő és férfi adatai (Zsákai et al., 2015).

	Kor (év)	Testtömeg (kg)	Testmagasság (cm)	Bázikus metabolikus hőáram-sűrűség (Wm ⁻²)	Séta közbeni energiaáram-sűrűség (Wm ⁻²)	Teljes energiaáram-sűrűség (Wm ⁻²)
Magyar nő	33	65,5	169	38,8	96,1	134,9
Magyar férfi	19	85,5	179	45,2	101,7	146,9

BECSÜLT HŐÉRZET-KATEGÓRIÁK TERÜLETI ELOSZLÁS TÉRKÉPEI



FELHASZNÁLT IRODALOM

Ács, F. (2016) A rekreációs futás humánmeteorológia szempontból: 1. rész: elmélet. Egyetemi Meteorológiai Füzetek (Szerk.: Pongrácz, R., Mészáros, R., Kis, A.), 27, 25-28.

Ács, F., Kristóf, E. and Zsákai, A. (2019) New clothing resistancescheme for estimating outdoor environmental thermal load. Geographica Pannonica, 23(4), 245-255. DOI: 10.5937/gp23-23717.

Ács, F., Zsákai, A., Kristóf, E., Szabó, A.J., Feddema, J., Breuer, H. (2021) Clothing resistance and potential evapotranspiration as thermal climate indicators-The example of the Carpathian region. International Journal of Climatology, 41, 3107-3120. DOI: 10.1002/joc.7008

Ács, F., Kristóf, E., Zsákai, A., Kelemen, B., Szabó, Z., Vieira, L. A. M. (2021) Weather in the Hungarian Lowland from the Point of View of Humans. Atmosphere, 12, 84 DOI: 10.3390/atmos12010084

Carter, J.L. and Heath, B.H. (1990) Somatotyping: Development and Applications. Cambridge: Cambridge University Press, p. 503

Jacob, et al. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. Reg Environ Change, 14, 563-578. DOI: 10.1007/s10113-013-0499-2

Szalai, S., Auer, I., Heibl, J., Milkovich, J., Radim, T., Stepanek, P., Zahradnick, P., Bihari, Z., Lakatos, M., Szentimrey, T., Limanowka, D., Kilar, P., Cheval, S., Deak, Gy., Mihic, D., Antolovic, V., Nejedlik, P., Stastny, P., Mikulova, K., Nabyanets, I., Skyrky, O., Krakovskaya, S., Vogt, J., Antofie, T., Spinoni, J.: Climate of the Greater Carpathian Region. Final Technical Report. www.carpatclim.eu.

Thornthwaite, C.W. (1948) An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, 38, 5-94. DOI: 10.2307/210739.

Zsákai, A., Mascio-Taylor, N., Bodzsár, E.B., (2015) Relationship between some indicators of reproductive history, body fitness and the menopausal transition in Hungarian women. Journal of Physiological Anthropology, 34, 35-42. DOI: 10.1186/s40101-015-0076-0.

EREDMÉNYEK

A becsült hőérzet-kategóriák területi eloszlásának térképein azonosítható az egyének közötti eltérés: Az éghajlatváltozás várható hatása az emberi hőérzetre nemcsak testalkatonként, hanem területileg is eltérő. Az éves átlagok területi eloszlásának térképeiről megállapítható, hogy szinte teljesen eltűnik a hideg-nagyon hideg és nagyon hideg hőérzet-kategória mindkét RCP-szenárió esetén. Hangsúlyossá válik a neutrális hőérzet-kategória, amely az ember ruházat nélküli termikus egyensúlyára utal. Nyáron a neutrálisnál gyakoribbá válik a neutrális-kicsit meleg hőérzet-kategória. Az RCP 8.5 a közép és magas hegységek (tengerszint feletti magasság > 1000 m) kivételével mindenhol a meleg hőérzet-kategória lesz jellemző, és az Alföld, a Vajdaság és a Havasalföld területein a meleg, meleg-nagyon meleg és nagyon meleg kategóriák lesznek a leggyakoribbak. Ez az emberi test-ruházat-légkör modell alapján folyamatosan hőtöbbletet és hűtési igényt jelent. A kutatás következő lépéseként megkíséreljük a hőérzetváltozást az eredeti, Ács et al. (2019) által publikált modellje alapján becsülni.