



## A pulzus és a bőrfelszíni párolgás időjárástól való függése: elemzés kiválasztott nyári időjárási helyzetekre

Ács Ferenc, Kristóf Erzsébet, Zsákai Annamária

ELTE, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, acs@staff.elte.hu

DOI:10.56474/legkor.2024.4.4

A pulzusnak és a bőrfelszíni párolgásnak ( $E$ ) a nyári időjárás hőterhelésétől való függését elemeztük kiválasztott időjárási helyzetekben. A pulzust okosórával mértük, a bőrfelszíni párolgást szimuláltuk, mérve a kiizzadt vízmennyiség látens hőáram-sűrűségét ( $E$ ) és becsülve a légkör párolgató képességét ( $E_p$ ). A mérések során a ruházat változatlan volt: a viselkedési normákkal szabályozott minimális nyári ruházat. 3 aktivitás típus volt: fekvő helyzet, gyaloglás és futás. Ezeket a mozgás átlagos sebességével jellemeztük. Legfontosabb eredményeink: a) a pulzus csak az aktivitás függvényében változott, b) a bőrfelszíni párolgás  $40\text{--}330 \text{ Wm}^{-2}$  között fordult elő és c) a modell nem alkalmazható a bőrfelszín párolgással szembeni ellenállásának becslésére mindazon esetekben, amikor az  $E_i > E_p$ . Az individuális humán biometeorológiai elemzések gyakorisága jelentősen nőhet az okoseszközök elterjedésével és használatával.

### Weather dependence of heart rate and skin surface evaporation: an analysis for selected summer weather conditions

Dependence of the heart rate and skin surface evaporation ( $E$ ) on the thermal load of selected summer weather situations is analyzed. The heart rate is measured with a smart watch, the skin surface evaporation is simulated by measuring the latent heat flux density ( $E$ ) of the sweated water and estimating the potential evaporation of the atmosphere ( $E_p$ ). During the measurements, the clothing was unchanged: the minimum summer clothing determined by behavioral standards. There were 3 activity types: lying position, walking and running. These movement states were characterized by the average speed of the movement. Our most important results: a) the heart rate only changed depending on the movement state, b) the skin surface evaporation varied between  $40\text{--}330 \text{ Wm}^{-2}$  and c) the model cannot be applied to estimate the evaporative resistance of the skin surface in all those cases when  $E_i > E_p$ . The frequency of individual human biometeorological analyzes can increase significantly with the spread and use of smart devices.

Manapság még nem terjedt el az időjárás humán biometeorológiai szempontú elemzése. Egy ilyen elemzésnek testreszabottnak kell lennie, így értelemszerűen csak individuális humán információk ismeretében

végezhető el. Az individuális humán információk: 1) az emberi test állapothatározói (testtömeg, magasság, kor és nem), 2) az aktivitás típusa és 3) a viselt ruházat. E jellemzők többnyire ismeretlenek, mert ezen

információk begyűjtése sok esetben körülményes, megfigyelést, munkát igényel, így az időjárást nem elemezzük a kiváltott humán reakciók (pl. hőérzet, didergés, izzadás vagy valamilyen más típusú és intenzitású stressz) fényében.

E tanulmányban a Pannon-medence térségének nyári időjárására fókuszálunk, kiválasztva tipikus időjárási helyzeteket, összesen 13-at. Ezek értelemszerűen anticiklonális (magas hőmérséklet, gyenge szél, többnyire derült égbolt gomolyfelhő-képződéssel) és ciklonális (hidegfront érkezésével járó lehülés, nagyobb szél és markáns felhőképződés) időjárási helyzetek. Ezen időjárási helyzetekben a humán jellemzőket (ruházat, aktivitás, emberi állapothatározók) definiáltuk, megadtuk. Két humán folyamat megfigyelésére és becslésére fókuszáltunk: a pulzusra és a bőrfelszín párolgására, elemezve az időjárás hőterhelésétől való függőségüket. Legjobb tudásunk szerint nincsenek tanulmányok, amelyekben e folyamatok időjárástól való függését elemezték volna.

E tanulmány céljai a következők: 1) az emberi bőrfelszín párolgásának szimulálására szolgáló modell ismertetése, 2) a modelleredmények ismertetése és elemzése a kiválasztott tipikus időjárási helyzetekben három emberi aktivitás-típus esetében: pihenés fekvő pozícióban, gyaloglás és futás, valamint 3) a pulzus alakulásának nyomon követése és elemzése a környezeti hőterhelés és aktivitás függvényében.

## 1. Alapvető eszközök

A humán aktivitást jellemző információk begyűjtése során a következő eszközöket használtuk: 1) napozómatracral rendelkező nyugágy, 2) Orion gyártmányú személyi mérleg, 3) Apple Watch okosóra, 4) JUNSO stopperóra és 5) Fitness alkalmazással rendelkező Apple okostelefon. Az eszközök képei az 1. ábrán láthatók.



1. ábra. Eszközök képei a humán aktivitást jellemző információk begyűjtésére, 1-nyugágy, 2-személyi mérleg, 3-okosóra, 4-stopperóra és 5-Fitness alkalmazás.

## 2. Módszerek

Az időjárást három humán változó alakulásának fényében szemléltük: a szimulált ruházati termikus ellenállás, a bőrfelszín párolgásának (a verejtékes bőr párolgásának és a száraz bőrfelszín párolgásának összege) és a pulzus mértékének szempontjából. A verejtékkel borított bőrfelszín nagysága az izzadás mértékétől függ, ami az egységnyi idő alatt kiizzadt vízmennyiség. Így röviden ismertetjük az izzadás mértékének mérési módszertanát is. Emellett a gyaloglási és/vagy futási sebesség, valamint a pulzus mérésének módszertanáról is szót ejtünk.

### 2.1. Ruházati termikus ellenállás modell

Az időjárás okozta hőhiányt a ruházati termikus ellenállás modell alapján (Ács *et al.*, 2019, 2021, 2024) becsültük. A modell a környezettel (emberi test és levegő) termikus egyensúlyban levő ruházat termikus ellenállását ( $r_{cl}$ ) számítja a ruhával borított emberi test energiaegyenlege alapján. Aláhúzendő, hogy e szimulált ruházati termikus ellenállás érték legtöbbször eltér a viselt ruházat termikus ellenállás értékétől (Ács *et al.*, 2024). A modell kültérben  $1,1 \text{ m s}^{-1}$  ( $4 \text{ km h}^{-1}$ ) sebességgel gyalogló, nem izzadó embert szemlél, ezek alapján

$$r_{cl} = \rho \cdot c_p \cdot \frac{(T_s - T_a)}{M \cdot \lambda E_{sdm} - \lambda E_r - W} - r_{Hr} \cdot \left[ \frac{R_{ni}}{M \cdot \lambda E_{sdm} - \lambda E_r - W} + 1 \right], \quad (1)$$

ahol  $\rho$  a levegő sűrűsége ( $\text{kg m}^{-3}$ ),  $c_p$  a levegő állandó nyomáson vett fajhője ( $\text{J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $T_s$  a bőrfelszín hőmérséklete ( $^\circ\text{C}$ ) (állandó,  $34 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $r_{Hr}$  a teresztriális sugárzási és a konvektív hőtranszporttal szembeni kombinált ellenállás paraméter ( $\text{s m}^{-1}$ ),  $T_a$  a levegő hőmérséklete ( $^\circ\text{C}$ ),  $R_{ni}$  az izotermális sugárzási egyenleg energiaáram-sűrűsége ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $M$  az adott aktivitást jellemző metabolikus hőáram-sűrűség ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $\lambda E_{sdm}$  a  $T_s$  függvényében parametrizált száraz bőr párolgás ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $\lambda E_r$  a respirációs párolgás ( $\text{W m}^{-2}$ ) és  $W$  az izmok mechanikai munkavégzését jellemző hőáram-sűrűség ( $\text{W m}^{-2}$ ).

A levegőkörnyezet kültéri hőterhelését az operatív hőmérséklettel is jellemezhetjük.

$$T_o = T_a + \frac{R_{ni}}{\rho \cdot c_p} \cdot r_{Hr} \quad (2)$$

A  $T_o$  alkalmazásának előnye vagy hátránya az, hogy az  $M$ -től független.

## 2.2. Az izzadás mértékének mérése

Az izzadás mértéke a kiizzadt vízmennyiség (kg) az adott időintervallumban (perc). Méréssel becsültük rögzítve a testtömeg nagyságát (kg) és a testtömeg mérésének időpontját (perc) közvetlenül az aktivitás előtt, valamint azonnal az aktivitás után. Az időintervallum hossza a két tömegmérés közötti, nem pedig az aktivitás eleje és vége közötti időszak hossza. Megemlítendő, hogy mindig arra törekedtünk, hogy e két időszak hossza közötti különbség minél kisebb legyen. A ruhátlan testtömeget Orion gyártmányú személyi mérleggel mértük 0,1 kg-os felbontással. Az időpontokat óra-percben rögzítettük, az időintervallum hosszát percben fejeztük ki. Az aktivitások általában 20-30 percesek voltak, tehát nem hosszúak, hogy az intervallum közepére vonatkozó időjárás helyzet az intervallum időjárásának reprezentálására alkalmas legyen.

## 2.3. Pulzusmérés

A pulzust az Apple Watch óra pulzusmérője mérte. Az órát minden aktivitás (nyugalmi pozíció fekvő, gyaloglás, futás) során viseltük. A pulzusmérések görbéje mindig megtekinthető az Apple okostelefon Fitness nevű szoftver alkalmazásában, így nemcsak a pillanatnyi (kb. perces bontásban), hanem az átlag értékekre is rálátásunk volt. E görbék azonnal az aktivitás után – miután jeleztük, hogy befejeztük az aktivitást – megtekinthetők. Mi mindig az aktivitáshoz tartozó átlagos pulzus értéket néztük.

Láthatjuk, hogy az Apple Watch okosóra és az Apple okostelefon egységes kommunikációs rendszert alkotnak. *Espinosa et al.* (2020) munkája alapján az Apple Watch pulzusmérője jó eredményeket ad, csak az extrém terhelések esetén csökken az eredmények megbízhatósága.

## 2.4. Bőrfelszíni párolgás modell

A bőrfelszín párolgása ( $E$ ) a nedves bőrfelszín párolgásának ( $E_n$ ) és a száraz bőrfelszín párolgásának ( $E_s$ ) összege. A nedves bőrfelszín relatív nagysága ( $n$ ) a kiizzadt vízmennyiség relatív felszínborításának ( $n_i$ ) és a levegő potenciális párolgásának ( $E_p$ ) függvényében változik. Az  $n_i$  a kiizzadt víz látens hőáram-sűrűségének ( $E_i$ ) és a levegő potenciális párolgásának arányaként fejezhető ki (*Parsons, 1997*), azaz  $n_i = E_i/E_p$ . Az izzadtsággal nem borított bőrfelszín relatív nagysága értelemszerűen ( $1 - n_i$ ).  $E_n = E_p$ -vel, ugyanakkor *Gagge and Gonzales* (2011) alapján  $E_s = 0,06 \cdot E_p$ -vel.

Vegyük észre, hogy a száraz bőrfelszín párolgása függ a potenciális párolgástól, azaz a nem-izzadó, száraz bőrfelszín igen kicsi hányada nedvesnek tekinthető (*Gagge and Gonzales, 2011*). E módszer lényege az, hogy az  $E_i$ -t viszonyítjuk az  $E_p$ -hez, dacára annak, hogy az  $E_i$  független az  $E_p$ -től. Így az  $E_i$  lehet kisebb is, nagyobb is, mint az  $E_p$ . Mindezek alapján

$$E = n_i \cdot E_n + (1 - n_i) \cdot E_s = n_i \cdot E_p + (1 - n_i) \cdot 0,06 \cdot E_p, \quad (3)$$

$$n = n_i + (1 - n_i) \cdot 0,06, \quad (4)$$

ahol

$$E = \frac{\rho \cdot c_p}{\gamma} \cdot \frac{e_s(T_s) - e_a}{r_{skin} + r_{Ha}}, \quad (5)$$

$$E_p = \frac{\rho \cdot c_p}{\gamma} \cdot \frac{e_s(T_s) - e_a}{r_{Ha}}, \quad (6)$$

$$E_i = \frac{1}{A_f} \cdot \lambda \cdot \frac{dm}{dt} \quad (7)$$

és

$$E_s = \frac{\rho \cdot c_p}{\gamma} \cdot \frac{e_s(T_s) - e_a}{r_{skin,d} + r_{Ha}}, \quad (8)$$

ahol  $\gamma$  a pszichrometrikus állandó ( $0,65 \text{ hPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $e_s(T_s)$  a  $T_s$  hőmérsékleten levő telítési vízgőznyomás (hPa),  $e_a$  a levegő aktuális parciális vízgőznyomása (hPa),  $r_{Ha}$  az emberi test és a levegő közötti hő- vagy vízgőztranszporttal szembeni aerodinamikai ellenállás ( $\text{s m}^{-1}$ ),  $r_{skin}$  a bőrfelszín (száraz + nedves) vízgőztranszporttal szembeni felszíni ellenállása ( $\text{s m}^{-1}$ ),  $r_{skin,d}$  a száraz bőrfelszín vízgőztranszporttal szembeni felszíni ellenállása ( $\text{s m}^{-1}$ ),  $\lambda$  a víz párolgásának látens hője ( $2,5 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ ),  $dm/dt$  a  $dt$  időegységben kiizzadt  $dm$  vízmennyiség ( $\text{kg s}^{-1}$ ) és  $A_f$  az emberi test felszíne ( $\text{m}^2$ ). Az  $A_f$ -et *Dubois and Dubois* (1915) képlete alapján számítottuk. Legvégül, a (3), az (5) és a (6) kombinálásával kifejezhető az  $r_{skin}$  és hasonlóképpen a (8)-ból és az  $E_s$  és az  $E_p$  közötti kapcsolat alapján az  $r_{skin,d}$

$$r_{skin} = r_{Ha} \cdot \left( \frac{1}{n} - 1 \right), \quad (9)$$

$$r_{skin,d} = r_{Ha} \cdot \left( \frac{1}{0,06} - 1 \right). \quad (10)$$

Vegyük észre, hogy mindkét paraméter változik az  $E_p$  függvényében, azaz, függ az  $r_{Ha}$ -tól, melynek parametrizálása megtalálható *Ács et al.* (2021) munkájában.

### 2.5. A gyaloglás és/vagy futás sebességének mérése

Gyaloglás és/vagy futás során átlagos sebességeket becsültünk mérve a megtett út és az eltelt időszak hosszát. Az okosóra becsülte mindkét mennyiséget, de ezen értékeket független méréseinkkel is ellenőriztük. Független méréseink során ismertük az út hosszát (pl. 1 kör hossza a focipálya körül 404 m), és JUNSO stopperórával mértük az időtartam hosszát perc-másodperc pontossággal. Független méréseinkkel megállapítottuk, hogy az okosórával becsült úthosszak, időtartamok és átlagos sebességek megbízható értékekkel rendelkeznek. Megemlítendő az is, hogy minden aktivitás folyamán kicsi volt a sebesség-ingadozás, azaz többnyire egyenletes mértékű volt a mozgás.

### 3. A mérések, megfigyelések helyszíne

A megfigyelések helyszíne: Martonvásár, Ács Ferenc családi házának udvarában és/vagy a családi ház mellett kezdődő dűlőúton. A dűlőút egy része nyári napsütésben a 2. ábrán látható.

A nyugalmi, fekvő állapothoz tartozó megfigyeléseket az udvarban végeztük el, a gyaloglás és a futás helyszíne a dűlőút volt. Ezen helyszínek kiválasztása lehetővé tette azt, hogy a tömegmérés kezdete, vége, valamint az aktivitás kezdete, vége közötti időszak hossza a lehető legrövidebb legyen.



2. ábra. Martonvásár határában húzódó egyik dűlőút nyári napsütésben.

## 4. Adatok

Az elemzéshez felhasznált adatok két típusát, az időjárási és a humán adatokat az alábbiakban mutatjuk be.

### 4.1. Időjárási adatok

Az időjárási adatok közül a léghőmérsékletet, a légnedvességet, a szélesebességet, a szállókést, a felszíni légnyomást, a felhőzetet és relatív napfénytartamot használtuk. Az összes adatot az utóbbi kettő kivételével a HungaroMet (Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt.) vagy az Időkép cégek automata állomásairól írtuk át, melyek légvonalbeli távolsága a megfigyelések helyszínétől három km-nél kisebb. A felhőzet és a relatív napfénytartam adatokat a megfigyelő biztosította. A teljes besugárzást Mihailović és Ács (1985) tanulmánya alapján számítottuk. Összesen 13 időjárási helyzetet választottunk ki a 2023. május 25-től szeptember 5-ig tartó nyári időszakban. Ebben az időszakban összesen 136 mérést végeztünk. A 13 időjárási helyzet nyári viszonylatban

Nap	Idő (óra:perc)	$T_o$ [°C]	$R_{ni}$ [W m <sup>-2</sup> ]	$S$ [W m <sup>-2</sup> ]	$w$ [m s <sup>-1</sup> ]	$r$ [%]	$p$ [hPa]
2023.06.27	7:00	16,0	51	108	1,4	91	1014
	10:20	23,0	67	228	4,4	79	1014
	12:50	23,6	126	304	4,4	74	1015
2023.07.31	17:20	20,2	2	159	2,8	78	1015
	10:40	22,3	350	705	4,2	55	1015
	12:30	24,4	470	857	5,0	52	1015
2023.08.01	14:40	25,9	413	752	4,7	49	1014
	15:30	28,5	132	286	3,6	50	1005
	16:50	28,0	49	164	3,1	51	1004
2023.08.22	17:50	25,0	25	63	6,4	60	1006
	8:40	26,0	134	358	0,8	70	1021
	9:40	29,0	267	514	0,3	62	1021
	11:40	32,0	434	726	0,8	50	1021

1. táblázat. A kiválasztott időjárási helyzeteket jellemző meteorológiai mutatók értékei. Jelölések:  $T_o$  – a levegő hőmérséklete,  $R_{ni}$  – nettó izotermális sugárzás,  $S$  – a teljes besugárzás,  $w$  – átlagos szélesebesség,  $r$  – a levegő relatív nedvessége és  $p$  – a felszíni légnyomás.

extrém időjárásokat reprezentál, pl. hidegfront átvonuláskor, vagy nyári, vagy hőségnapokon, amikor mind a három típusú aktivitás, a nyugalmi fekvőhelyzet, a gyaloglás és a futás is megvolt. Ezen időjárási helyzetek meteorológiai mutatóit az 1. táblázat tartalmazza.

Június 27-én hidegfront átvonulás volt, ami nyáron kis besugárzást (mindössze  $300 \text{ W m}^{-2}$ ), nagy szelet ( $4 \text{ m s}^{-1}$ ), nagyobb páratartalmat (80%) és a déli órákban 21-24 °C-os léghőmérsékleteket jelent. Július 31-én igen nagy volt a besugárzás, de a szél is. A levegő száraz, tipikus nyári hőmérsékleti értékekkel (22-26 °C). Augusztus 1-jén délután hidegfront közeledett. Ez egyértelműen érezhető volt a felhőzet növekedéséből (kicsi globálsugárzás értékek) és a szél erősödéséből (estefelé igen erős szél). Augusztus 22-én anticiklon uralta a térséget: a besugárzás nagy, a levegő meleg, száraz és nincs légmozgás.

## 4.2. Humán adatok

Humán méréseket mindössze 1 ember végzett: a tanulmány első szerzője. A humán adatok információt adnak 1) a humán állapotathatózokról, 2) a viselt ruházatról és 3) az aktivitás jellemzőiről (a mozgásállapot átlagos sebességéről, a mozgásállapotot jellemző átlagos pulzus értékéről és a testtömegről közvetlenül az aktivitás előtt és után).

### 4.2.1. Humán állapotathatózók

A humán állapotathatózók a következők: testtömeg (a legfontosabb), magasság, nem és a kor. A megfigyelő ezen adatait a 2. táblázat tartalmazza.

Személy	Testtömeg [kg]	Magasság [cm]	Nem	Kor [év]
Ács Ferenc	89.0	190.0	férfi	68

2. táblázat. A megfigyelő humán állapotathatózói.

### 4.2.2. Viselt ruházat

A méréseket, megfigyeléseket gyalogláskor és futáskor mindig ugyanabban a ruházatban végeztük: zokni, tornanadrág, tornacipő. Fekvő helyzetben csak tornanadrágot viselt a megfigyelő. A lényeg, hogy a felsőtest mindig ruhátlan volt. A ruhadarabok a 3. ábrán láthatók.



3. ábra. A mérések során viselt ruházat.

### 4.2.3. Az aktivitással kapcsolatos adatok

A méréseket, megfigyeléseket a) nyugalmi, fekvő helyzetben, b) gyaloglás és c) futás során végeztük. Mértük a) az átlagos sebességet, b) a pulzust (a szívütések száma 1 percben) és c) a testtömeget közvetlenül az aktivitás előtt és után, feljegyezve a mérések időpontjait. A testtömeg értéke 3 mérési eredmény átlaga. E mérési adatokat (testtömegek és a testtömegmérések közötti időtartam hossza; az átlagos sebesség; pulzus) minden egyes időjárási helyzetre vonatkozóan a 3. táblázat tartalmazza.

## 5. Eredmények

Minden egyes napra külön-külön elemezzük az időjárás-bőrfelszíni párolgás és az időjárás-pulzus kapcsolatrendszerét. Mindezt – mint ahogy már említettük – különböző aktivitás-típusok esetében szemléltük. A bőrfelszíni párolgással és a pulzussal kapcsolatos eredményeket a kiválasztott 13 időjárási helyzetre vonatkozóan a 4. táblázat tartalmazza.

A lehetséges kapcsolatokat az 1. és a 4. táblázat adatainak összehasonlításával deríthetjük ki.

### 5.1. Pulzus-időjárás kapcsolat

Az átlagos pulzus értékek markánsan különböznek különböző aktivitások esetén. Tempós futáskor (futási sebesség  $2,1-2,4 \text{ m s}^{-1}$ ) ezek az értékek 120-130 BPM körüliek, és alig változnak (4. ábra). Fekvő, nyugalmi helyzetben ezek az értékek jóval alacsonyabban, 60-70 BPM körüliek. Gyalogláskor ez az érték-tartomány 80-90 BPM. Futáskor a 120-130 BPM

Nap	Idő (óra:perc)	Aktivitás	Testtömeg [kg] aktivitás előtt	Testtömeg [kg] aktivitás után	Testtömegmérések közötti időtartam [perc]	Sebesség [m s <sup>-1</sup> ]	Pulzus [BPM]
2023.06.27	7:00	-	-	-	-	-	-
	10:20	futás	89,6	89,2	30	2,31	127
	12:50	futás	88,8	88,6	29	2,34	131
	17:20	futás	89,4	89,1	30	2,30	127
2023.07.31	10:40	fekvés	89,6	89,2	53	0	60
	12:30	fekvés	89,4	89,1	35	0	65
	14:40	fekvés	88,9	88,7	28	0	60
2023.08.01	15:30	gyaloglás	89,1	88,8	35	1,33	81
	16:50	gyaloglás	89,1	88,9	34	1,36	80
	17:50	gyaloglás	89,1	89,1	32	1,68	89
2023.08.22	8:40	gyaloglás	90,0	89,7	35	1,26	81
	9:40	fekvés	89,9	89,7	25	0	70
	11:40	futás	89,4	88,6	46	2,33	131

3. táblázat. Az aktivitást jellemző mért humán adatok a kiválasztott 13 időjárási helyzetre vonatkozóan.

Nap	Idő (óra:perc)	$E_p$ [W m <sup>-2</sup> ]	$E_i$ [W m <sup>-2</sup> ]	$n$	$E$ [W m <sup>-2</sup> ]	$E_i$ [W m <sup>-2</sup> ]	$r_{skin}$ [s m <sup>-1</sup> ]	$r_{skind}$ [s m <sup>-1</sup> ]	$r_{skin}$ [hPa·m <sup>2</sup> /W]	$r_{skind}$ [hPa·m <sup>2</sup> /W]	Pulzus [BPM]
2023.06.27	7:00	353,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10:20	530,3	259,9	0,52	276,1	31,8	100	1698	0,0538	0,9158	127
	12:50	541,2	134,4	0,29	158,8	32,5	261	1698	0,1407	0,9158	131
	17:20	473,9	194,9	0,45	211,6	28,4	168	2128	0,0908	1,1481	127
2023.07.31	10:40	494,5	147,1	0,34	167,9	29,7	280	2254	0,1509	1,2159	60
	12:30	524,3	167,1	0,36	188,5	31,5	235	2066	0,1267	1,1144	65
	14:40	501,8	139,2	0,32	161,0	30,1	288	2131	0,1553	1,1494	60
2023.08.01	15:30	522,0	167,1	0,36	188,4	31,3	212	1877	0,1145	1,0125	81
	16:50	487,0	114,7	0,28	137,0	29,2	330	2022	0,1779	1,0911	80
	17:50	705,3	0,00	0,06	42,3	42,3	1408	1408	0,7594	0,7594	89
2023.08.22	8:40	216,4	167,1	0,79	170,0	13,0	69	3981	0,0374	2,1478	81
	9:40	97,6	155,9	1,56	152,4	5,9	-(193)	8433	-0,1044	4,5496	70
	11:40	214,6	339,0	1,54	331,5	12,9	-(90)	3981	-0,0484	2,1478	131

4. táblázat. A szimulált bőrfelszíni párolgással és a pulzussal kapcsolatos humán adatok a kiválasztott 13 időjárási helyzetre vonatkozóan.



4. ábra. A megfigyelő pulzusának időbeli változása a futás során 2023. június 27-én 10 és 11 óra között.



5. ábra. A megfigyelő pulzusának időbeli változása fekvés közben 2023. július 31-én 12 és 13 óra között.



6. ábra. A megfigyelő pulzusának időbeli változása gyaloglás közben 2023. augusztus 1-én 15 és 16 óra között.

értéktartomány egyaránt megvolt nagy besugárzás és igen kicsi szél (augusztus 22.), valamint kicsi besugárzás és igen nagy szél (június 27.) esetén.

Fekvő helyzetben sem látszott a nagy besugárzás hőterhelő hatása a pulzus értékeiben, dacára annak, hogy egy ilyen félórás fekvés a tűző napon stresszes (5. ábra) akár nagyobb, akár kisebb széljárás esetén. Gyaloglásaink során a nagy szelekkel járó tekintélyes hűtő hatás sem látszik a pulzus értékek alakulásában (6. ábra).

Eredményeink üzenete az, hogy a pulzus nem érzékeny a levegőkörnyezet hőterhelésére, hanem csak az aktivitásra, ezen esetben a különböző sebességű mozgásállapotokra.

### 5.2. Bőrfelszíni párolgás-időjárás kapcsolat

Vajon milyen lehet a bőrfelszíni párolgás kapcsolata az időjárással? A modellünk alapján e függést alapvetően az  $E_p$  és az  $E_i$  időjárástól való függése, valamint az  $n$ -en keresztül az  $E_p$  és az  $E_i$  egymás közötti viszonya határozza meg.

Nézzük előbb az  $E_p$  időjárás-függését! Az  $E_p$  a légkör bőrfelületre vonatkoztatott párolgató képessége. A (6)-os egyenlet alapján parametrizáltuk (Parsons, 1997), amely egy gradiens-képlet, így függ a levegő nedvességtartalmától és az aerodinamikai átviteltől, ami erősen szélesebesség-függő. Aláhúzendő, hogy nem függ az emberi test sugárzási egyenlegétől, azaz a (6) érzéketlen, „nem látja” a nagy besugárzást, ami viszont igen fontos légköri változó az emberi hőterhelés becslése során. Eseteink többségében a széljárás erős volt, ezért az  $E_p$  értékek magasak, többnyire  $450-700 \text{ W m}^{-2}$  közöttiek. Még akkor is, ha a besugárzás kisebb. Az is megemlítendő, hogy szélcsend közeli állapotokban, amikor a besugárzás igen nagy is lehet (augusztus 22-én 9:40-kor), az  $E_p$  értékek igen alacsonyak, mondhatjuk, irreálisan alacsonyak, mert az  $E_p$  nem lehet  $100 \text{ W m}^{-2}$  körüli, ha a globálisugárzás  $500 \text{ W m}^{-2}$  körül van. A mondottakból 2 tanulságunk is van: a) az  $E_p$  erősen függ az időjárástól, főleg a széljárástól és b) az  $E_p$  parametrizálása (mondhatjuk, parametrizálási módszertana) igen fontos része a bemutatott bőrfelszíni párolgás modellnek.

Mi van az  $E_i$  időjárásfüggőségével? A kb. fél óráig tartó aktivitások során a testtömegcsökkenés többnyire 0,1-0,3 kg (3. táblázat) között változott. A testtömeg csökkenéséhez több folyamat járul hozzá: 1) az izzadás, 2) a respiráció, azaz a kilélegzett vízgőz és széndioxid okozta tömegcsökkenés és 3) a cukor/fehérje/zsír tömegének csökkenése az aktivitáshoz szükséges izommunka energiafedezéséhez. A felsorolt folyamatok közül az 1. a legszámottevőbb, még akkor is, ha kicsi. Utána következik a 3. majd az 1. folyamat. Mekkora ezek az értékek? A megfigyelő futási sebességeihez (2,1-2,4  $\text{ms}^{-1}$ ) tartozó  $M$  értékek  $200 \text{ W m}^{-2}$ , az izommunka értékek  $40 \text{ W m}^{-2}$ , a respirációs értékek  $5-10 \text{ W m}^{-2}$  körüliek. Ha a testtömeg csökkenés mértéke 0,3 kg/(30 perc), ami egyáltalán nem nagy érték, télen (hőhiányos helyzetek) közepes nagyságú, míg nyáron ez az érték kicsinek mondható, akkor az ekkora tömegcsökkenéshez tartozó látens hőáram-sűrűség  $198 \text{ W m}^{-2}$ , ha a megfigyelő testfelszíne  $2,1 \text{ m}^2$ .

A 0,1-0,3 kg/(30 perc) verejtékezési mértékek esetén a besugárzás és a szél is változó volt. Az  $E_i$  legnagyobb értékei (260 és  $340 \text{ W m}^{-2}$  értékek) futáskor voltak. A legnagyobb értéket (augusztus 22-én 11:40-kor) futáskor igen nagy besugárzás ( $720 \text{ W m}^{-2}$ ) és kicsi szél ( $0,8 \text{ m s}^{-1}$ ) esetében regisztráltuk. Ezt extrém esetnek tekinthetjük. Az eredményeink alapján, a legnagyobb  $E_i$  értékek futáskor vannak, de az időjárástól való függés nem áll fenn, legalább is olyan módon, mint az  $E_p$  esetében.

Mivel az  $E$  egyaránt függ az  $E_i$ -től, ami kevésbé függ, vagy független az időjárástól, és az  $E_p$ -től, ami függ az időjárástól, az  $E$  időjárástól való függése gyenge, vagy nehezen ismerhető fel, nem egyértelmű. A gyenge függés dacára, van egy biztos pont: az a legalacsonyabb hőtöbblet, ami alatt már biztosan nem lesz mérhető izzadás és ezt külön kell választani gyaloglás, valamint fekvés esetében. A méréseket végző személy gyaloglás esetén ezt meg is figyelte (augusztus 1-én 17:50-kor): a gyaloglási sebesség kifejezetten nagy ( $1,7 \text{ m s}^{-1}$ ), a levegő meleg ( $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) és száraz (60%), a szél több mint erős ( $6,4 \text{ m s}^{-1}$ ), viharos, de a besugárzás szinte nem létező ( $63 \text{ W m}^{-2}$ ). A nagy gyaloglási sebesség ellenére a megfigyelő semmit sem izzadt. A száraz bőr párolgása  $42 \text{ W m}^{-2}$ , de úgy, hogy az  $E_p$   $705 \text{ W m}^{-2}$ , ami, véleményünk szerint irreálisan magas érték. Így, az  $E_p$  irreális értéke ellenére, az  $E$  értéke – tekintettel arra, hogy a megfigyelő nem izzadt – elfogadhatóan kicsi.

Méréseink során minden esetben a hőcserét lebonyolító felszín a bőrfelszín. Ez is jellemezhető, még hozzá a vízgőztranszporttal szembeni felszíni ellenállás értékekkel (4. táblázat). Szembetűnő a verejtékkel borított és a verejték nélküli bőrfelszín ellenállás érté-

kei közötti különbség. Ezeket az ellenállás értékeket nem csak  $\text{sm}^{-1}$ -ben, hanem a humán biometeorológiában inkább használatos  $\text{hPa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$  mértékegységben szemléltetjük. Az  $r_{\text{skin,d}}$  értékei minimum 1700 és maximum  $8400 \text{ s m}^{-1}$  között változtak. Ugyanakkor a verejtékkel borított bőrfelszín legkisebb ellenállás értékei  $0-100 \text{ s m}^{-1}$  körüliek. Vegyük észre, hogy kapunk negatív értékeket is, ami fizikailag nem értelmezhető, mégis feltüntettük ezeket, csak azért, hogy ezek az esetek egyértelműen láthatók legyenek. Ezekben az esetekben a bőrfelszíni párolgás modell nem alkalmazható. A modell alkalmazhatóságával kapcsolatos elemzésünk a 6. fejezetben olvasható.

Mindezek után elemezzük egyenként az időjárási helyzeteket!

### 5.3. A bőrfelszín párolgása június 27-én

Június 27-én a levegőkörnyezet hőterhelése kicsi, mert a globálsugárzás mindössze  $300 \text{ W m}^{-2}$  körüli, a szél pedig inkább erős ( $3-4 \text{ ms}^{-1}$ ), mint mérsékelt. Reggel 7 órakor a ruházat termikus ellenállás értéke  $0,39 \text{ clo}$ . Ez kicsi hőhiány, amelyben az emberek óriási többsége „neutrális” hőérzet kategóriát jelentene (Ács et al., 2022). A nap folyamán e hőhiány megmaradt vagy minimálisan csökkent, ezt az alapján mondhatjuk, hogy a kb. félórás, tempós futás után a kiizzadt verejték mennyisége  $0,2-0,4 \text{ kg}$  között változott. Az egészből az a tanulság, hogy neutrális hőérzet esetén futáskor mindig izzadni fogunk, azaz a testünk hőtöbblettel fog rendelkezni a fel szabaduló metabolikus energiaáram-sűrűség miatt.

### 5.4. A bőrfelszín párolgása július 31-én

A július 31-ei nap alapvetően abban különbözött június 27-től, hogy ekkor a besugárzás igen nagy ( $700-850 \text{ W m}^{-2}$ ) volt. Ennek megfelelően az aktivitásunk: pihenő, fekvő helyzet. Ilyen erős besugárzás alatt  $30-50$  percet fekvő helyzetben stresszes. A stressz dacára a pulzus értékek a nyugalmi helyzethez tartozó értékeket (5. ábra) mutatták, a kiizzadt verejték mennyisége  $0,2-0,4 \text{ kg}$  között változott, a nedves bőr  $30-40\%$ -os relatív borítását a megfigyelő személyesen is megtapasztalta. Megemlítendő, hogy a szimulációs eredmények személyes megtapasztalása volt e mérések (összesen 136) legnagyobb élménye. Ugyanis, a mérések után azonnal megtörtént az adatfeldolgozás, így a szimulációs eredmények azonnal ellenőrizve lettek a tapasztalatok alapján. E módszer egyik kritikus paramétere az  $n$  (a nedves bőrfelszín relatív borítása), melyről goromba becslést végezhetünk saját testünk megfigyelésével.



### 5.5. A bőrfelszín párolgása augusztus 1-jén

Ezen a napon kicsi a besugárzás (1. táblázat), meleg és száraz a levegő, valamint mérsékelt erő a szél. Az utolsó méréskor viszont a szél kifejezetten erős volt. Az időjárást a nap délutáni szakaszában a közeledő hidegfront határozta meg, ennek markáns felhőzetét a 7. ábrán láthatjuk is. Aktivitásunk a gyaloglás.

A magasabb léghőmérsékletek ellenére, nincs nagy hőtöbblet, mondhatjuk, hogy a hőérzet „neutrális”, elsősorban a nagyobb szélesebesség értékek miatt. A kb. fél óra alatt kiizzadt verejték mennyisége 0,2-0,3 kg, de az utolsó méréskor nem is volt izzadás, elsősorban a kicsi besugárzás és a nagy szél miatt. A megfigyelő tehát nem izzadt (vagy 100 g-nál kevesebbet izzadt) gyors gyalogláskor ( $1,7 \text{ m s}^{-1}$ ) sem, amikor igen kicsi a bejövő napsugárzás ( $100 \text{ W m}^{-2}$ ), a levegő meleg ( $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ), száraz (60%) és a szél viharos ( $6 \text{ m s}^{-1}$ ).

### 5.6. A bőrfelszín párolgása augusztus 22-én

E nap időjárását a nagy besugárzás és a szélcsend jellemezte. Az aktivitások sorrendben: gyaloglás, fekvő helyzet, futás. A két utóbbi aktivitás olyan szempontból érdekes, hogy ezekben az esetekben az  $E_i > E_p$ , amiért a módszer fizikailag értelmezhetetlen bőrfelszín ellenállás értéket ad (az ellenállás nem lehet negatív értékű). 25 perc alatt, a fekvés során kiizzadt verejték mennyisége 0,2 kg, ez nem nagy érték, ennek dacára az  $E_i > E_p$ -nél, mivel a szélcsend miatt az  $r_{Ha}$  igen nagy ( $538 \text{ s m}^{-1}$ ) lett, amiért az  $E_p$  drasztikusan lecsökkent a nagy besugárzás ( $514 \text{ W m}^{-2}$ ) ellenére. Summázva: ebben az esetben a módszer azért nem alkalmazható, mert kicsi  $E_p$  értéket adott a nagy besugárzás ellenére. Megjegyezzük, hogy a módszer akkor sem lett volna



7. ábra. A hidegfront közeledését jelző változatos, szürke felhőzet.

alkalmazható, ha a kiizzadt verejték mennyisége minimális értékű, azaz 0,1 kg lett volna. Mindezek arra utalnak, hogy a szélesebesség – főleg kicsi szélesebesség értékek esetén – igen fontos meteorológiai változó, főleg akkor, ha az  $E_p$  parametrizálására gradiens-képletet alkalmazunk. A módszer futáskor sem volt alkalmazható, de ebben az esetben már kettős hatásról beszélhetünk: a kicsi szélértékek mellett a nagyobb mértékű ( $0,8 \text{ kg}/(46 \text{ perc})$ ) verejtékezés is közrejátszott. Azonban jegyezzük meg, hogy a verejtékezés mértéke nem ebben az esetben volt a legnagyobb. Summázva: ezen a napon voltak olyan extrém körülmények, amelyek azt a benyomást keltik, hogy az  $E_i$  függhet az időjárástól.

### 6. Röviden a humán adatok megbízhatóságáról, a modellről és az alkalmazhatóságáról

A testtömeg méréseket személyi mérleggel végeztük, melynek pontossága 0,1 kg. Hogyan hat ez a pontosság az  $E_i$  becslült értékeire? Tétélezzük fel, hogy a mérleg csak  $\geq$  értékeket mutat! Ez alapján, például, a 0,1 kg-os tömegesökkenés lehet akár 0,18 kg, de akár 0,02 kg is. A 0,18 kg/(30 perc) és a 0,02 kg/(30 perc) verejtékezési mértékekhez tartozó látens hőáram-sűrűség értékek 119 és  $13 \text{ W m}^{-2}$  értékűek, ha a testfelszín nagysága  $2,1 \text{ m}^2$ . E két érték átlaga  $66 \text{ W m}^{-2}$ , ami a 0,1 kg/(30 perc)-es verejtékezési mérték hőáram-sűrűsége. Tehát az átlagos érték csak akkor megbízható, ha a mérések során ezen szélső értékek gyakorisági előfordulásai között nincs markáns különbség. A mérések, azaz az esetek számának növekedésével e gyakoriságok közötti számbeli eltérések nyilván csak csökkenhetnek. Ezért minél több a regisztrált adott nagyságú tömegkülönbség (pl. 0,1, vagy 0,5 kg), annál nagyobb a megbízhatósága.

Ezen bőrfelszíni párolgás modell alapparamétere az  $n$ , ami a „nedves” bőrfelszín relatív borítása. Az  $n$  függ az  $n_i$ -től, ami a verejtékkel borított bőr relatív borítása és az  $E_p$ -től, ami a bőrfelszín feletti, a bőrfelszínre vonatkozó potenciális párolgás. Az  $n_i$ -t az  $E_i$  és az  $E_p$  arányaként kapjuk meg, az  $E_i$  az izzadságmirigyekből kibocsájtott verejték látens hőáram-sűrűsége. Kihangsúlyozandó, hogy az  $E_i$  független az  $E_p$ -től, a két hőáram-sűrűség ugyan viszonyítható egymáshoz, de ez az arány semmiféleképpen sem fejezi ki a „nedves” bőrfelszín relatív felszínborítását. Az  $E_i$  időjárásfüggésének mértéke egyelőre teljesen tisztázatlan, ugyanakkor – feltételezhetően – nagyon individuumspecifikus.

A módszer negatív értéket ad a bőrfelszín párolgási ellenállására, azaz nem alkalmazható, amikor az  $E_i > E_p$ -nél. Ez nyilván akkor fordulhat elő, amikor

az  $E_i$  értékek túl nagyok (nagyon intenzív verejtékezés), vagy az  $E_p$  értékek túl kicsik, pl. szélcsend alkalmával, vagy amikor kifejezetten fülledt a levegő közvetlenül a csapadékhullás után, a teljes vízbőségben. Summázva: a bőrfelszíni párolgás modellek közül e módszer potenciális párolgás alapú, nyilván azért, mert a verejték potenciálisan párolog.

### 7. Diskusszió

Mint ahogy már említettük, a humán biometeorológiai elemzés nem lehet teljeskörű, ha hiányoznak, vagy nem definiáltak a humán információk, azaz a ruházat, az aktivitás és az individuum humán állapothatározói (testtömeg, magasság, nem és kor). Vagy másképpen: az elemzés nem mellőzheti az „ember állapotát” jellemző információkat, amelyek egyén-specifikusak. E tanulmányban a ruházat minimális, viselkedési normákkal meghatározott nyári ruházat; az aktivitás: fekvő helyzet nyugalomban, gyaloglás, futás, ezek definiáltak a mozgásállapothoz tartozó átlagos sebességgel, és a személy, jelen esetben e tanulmány 1. szerzője.

Tekintettel a ruházat jellegére, az „aktív”, a hőcséret lebonyolító felszín a bőrfelszín. Aláhúzendó, hogy a ma használatos humán biometeorológiai indexek közül egy sem vonatkozik bőrfelszínre. A bőrfelszíni párolgást jellemző információk értelemszerűen újak, de bőrspecifikusak is. Ezért nem mellőzhetjük a megfigyelő bőrtípusát jellemző alapinformációkat! A bőrtípus meghatározásánál a Fitzpatrick-féle bőrtípezési módszert használtuk. A módszer bemenő adatként használja a bőrszín (számérték 1-30-ig terjedő skálán), a szemek színét (számérték 1-16-ig terjedő skálán) és a fiatalokú ember hajszínét (számérték 1-10-ig terjedő skálán). A 3 tulajdonságot jellemző számértékeket az ELTE Embertani Tanszékén becsültük, ezek a fenti sorrendben 7, 8, 8, a bőrtípus-kategória e számértékek összege (23) alapján állapítandó meg. A megállapított bőrtípus: IV. kategória: közepesen barna (világos és sötét barna közötti), mediterráni/spanyol. A szerzők legjobb tudása szerint, nincs olyan tanulmány, amely a verejtékmirigyek tulajdonságait, működését bőrtípusok szerint vizsgálta volna. *Rawlings* (2006) munkájában található több információt a különböző embercsoportok közötti verejték-mirigy eltérésekről.

A kapott  $E$  eredmények jó illeszkednek a világhálón közzétett (*Parsons*, 1997) eredményekhez. Az  $E$  40-330  $W m^{-2}$  között változott. A 40  $W m^{-2}$ -es érték a száraz bőr párolgása, a 330  $W m^{-2}$ -es értéknél nagyobb értékek is lehetnek, a felső határt 400  $W m^{-2}$  körülnek vélelmezzük. Ez kijelenthető annak dacára, hogy



8. ábra. Kristóf Erzsébet pulzusának időbeli változása a futás során 2023. június 30-án 21 és 22 óra között.

a bemutatott módszer az ilyen extrém esetekben már sokszor nem alkalmazható, más módszerekkel viszont megkaptuk ezen extrém eredményeket. Az  $E$  felső határa alapvetően az  $E_i$  felső határától függ. Az  $E_i$  viszont egyértelműen erősebben függ az aktivitástól, mintsem az időjárás hőterhelésétől. Az  $E_i$  időjárástól való függése az alsó határértékével kapcsolatban vehető észre leginkább. Az  $E_i$  63  $W m^{-2}$  alatti (0,1 kg/(30 perc)) a mérsékelt tempósan gyalogló (1,3–1,4  $m s^{-1}$ ) megfigyelő (testfelszíne 2,1  $m^2$ ) esetében, ha a léghőmérséklet 21–23 °C, kicsi a bejövő napsugárzás (300  $W m^{-2}$  alatti), mérsékelt erős a szél (1,5–2,5  $m s^{-1}$ ) és száraz a levegő (50–60%). A módszer lehetővé teszi a bőrfelszíni ellenállás értékek becslését. A száraz bőr felszíni, vízgőztranszporttal szembeni ellenállás értékei 1500–4000  $s m^{-1}$  között változtak, ami az irodalomból (*Campbell and Norman*, 1998) becsült értékhez képest valamelyest kisebb. A teljesen verejtékes bőr esetében ezek az értékek 0-100  $s m^{-1}$  érték közöttiek. Megemlítendő, hogy a bőrfelszín párolgási ellenállását jellemző szakirodalmi adatokkal nem találkoztunk irodalmi kutatásaink ellenére.

Az is nyilvánvaló, hogy a pulzus adatok személy-specifikusak és nem rendelhetők ember csoporthoz. A személy-specifikus pulzus-adatok igen markánsan is különbözhetnek. Ezt láthatjuk, ha az alábbi 8. ábrát összevetjük az 4. ábrával. A 8. ábra e tanulmány 2. szerzője pulzusának időbeli változását szemlélteti futás esetén. A futási sebesség  $2,5 \text{ m s}^{-1}$  körüli, ami csak valamelyest nagyobb sebesség, mint a 4. ábra pulzus-adatsorához tartozó átlagsebesség.

Az Apple Watch órákkal becsült pulzus-adatok megbízhatóságával kapcsolatban már több tanulmány született (*Espinosa et al.*, 2020). E cikkek eredményei alapján az így nyert pulzus-adatok csak a nagy  $M$ -értékek esetében, pl. sprintelések során, mondhatók kevésbé megbízhatóknak. Erről egyébként a megfigyelő meg is győződött a mérései során. Mivel a pulzus független az időjárás hőterhelésétől, az  $M$  statisztikailag becsülhető az  $M$ -pulzus adatpár párhuzamos, egyidejű becsülésével, mérésével. Ez a jövőbeni munkánk egyik célja: legalább egy személy esetében, a személyes „emberenergetikai képlet” megállapítása.

Manapság már az okoseszközök korában vagyunk. Nélkülük e tanulmány nem is valósult volna meg, ez főleg a pulzus adatok vonatkozásában igaz. Az  $E_i$  adatokat azonban egy 0,1 kg-os pontosságú személyi mérleg használatával becsültük, amely eszközzel mindenki rendelkezhet. Azonban az eszközöknél is fontosabb a megfigyelő, méréseket végző ember. Az ilyen megfigyelések megvalósításához szabad idő, motiváció és elhivatottság kell, amellett, hogy az illető rendelkezik alapvető meteorológiai és embertani ismeretekkel. Így nyilvánvalóan individualizálódni fog az időjárás humán biometeorológiai elemzése, és a szerzők e fejlődési irány szószólói, művelői.

## 8. Konklúzió

Két humán folyamatnak, az emberi bőrfelszín párolgásának és a pulzusnak az időjárás hőterhelésétől való függését elemeztük kiválasztott nyári időjárási helyzetekben. Az időjárási helyzetekben a levegőkörnyezet hőtöbblete igen széles határok között változott; hőérzet-kategóriákban gondolkodva (*Ács et al.*, 2022) a „neutrálístól” a „nagyon melegig”. A modell, amely alapján becsültük a bőrfelszíni párolgást (*Parsons*, 1997), először kerül bemutatásra anyanyelvünkön. A modell sajátossága, különlegessége az, hogy a bőrfelszíni párolgást kapcsolatba hozza a légkör párologtató képességével. Eredményeink és elemzéseink alapján a következő konklúziókat vonhatjuk le: 1) mivel a kiizzadt vízmennyiség látnak hőáram-sűrűségének ( $E_i$ ) időjárástól való függése

determinisztikusan nem szimulálható, a bőrfelszíni párolgás ( $E$ ) és az időjárás hőterhelésének kapcsolata csak statisztikus módszerek alkalmazásával jellemezhető, 2) a pulzus nem függ az időjárás hőterhelésétől, belső folyamatokkal szabályozott, a tanulmányban előforduló mozgási sebességek tartományában nő a metabolikus hőáram-sűrűség ( $M$ ) növekedésével és 3) a modell nem alkalmazható a bőrfelszín párolgással szembeni ellenállásának becsülésére mindazon esetekben, amikor az  $E_i > E_p$ .

E tanulmány nem született volna meg az okos eszközök használata nélkül. Az okos eszközök szerepe és használata nagy valószínűséggel nőni fog mind a humán biometeorológiai kutatásokban, mind az individuális humán biometeorológiai elemzésekben.

## Irodalom

- Ács, F., Kristóf, E., Zsákai, A.*, 2019: New clothing resistance scheme for estimating outdoor environmental thermal load. *Geographica Pannonica* 23(4), 245–255. <https://doi.org/10.5937/gp23-23717>
- Ács, F., Zsákai, A., Kristóf, E., Szabó, A., Breuer, H.*, 2021: Human thermal climate of the Carpathian Basin. *Int. J. Climatol.* 41, E1846–E1859. <https://doi.org/10.1002/joc.6816>
- Ács, F., Zsákai, A., Kristóf, E., Szabó, A.I., Breuer, H.* 2022: Individual local human thermal climates in the Hungarian lowland: Estimations by a simple clothing resistance-operative temperature model. *Int. J. Climatol.* 43(3), 1273–1292. <https://doi.org/10.1002/joc.7910>
- Campbell, G.S., Norman, J.M.*, 1998: An introduction to Environmental Biophysics. Springer, New York, USA, 286 pp.
- Dubois, D., Dubois, E.F.*, 1915: The Measurement of the Surface Area of Man. *Arch. Inter. Med.* 15, 868–881. <https://doi.org/10.1001/archinte.1915.00070240077005>
- Espinosa, H.G., Thiel, D.V., Sorell, M., Rowlands, D.*, 2020: Can We Trust Inertial and Heart Rate Sensor Data from an APPLE Watch Device? *Proceedings*, 49, 128: <https://doi.org/10.3390/proceedings2020049128>.
- Gagge, A.P., Gonzales, R.R.*, 2011: Mechanisms of Heat Exchange: Biophysics and Physiology. In: Handbook of Physiology, Environmental Physiology, Supplement 14, 45–84. <https://doi.org/10.1002/cphy.cp040104>
- Mihailović, D.T., Ács, F.*, 1985: Calculation of daily amounts of global radiation in Novi Sad. *Iđójárás* 89, 257–261. (in Hungarian).
- Parsons, R.A.*, 1997: 1997 ASHRAE Handbook, Chapter 8 (Thermal Comfort), Evaporative Heat Loss from Skin, 8.3 pp.
- Rawlings, A.V.*, 2006: Ethnic skin types: are there differences in skin structure and function? *Int. J. Cosmetic Sci.*, 28, 79–93. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2494.2006.00302.x>