

A REKREÁCIÓS FUTÁS HUMÁNMETEOROLÓGIAI SZEMPONTBÓL: 1. RÉSZ: ELMÉLET

Ács Ferenc

ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
e-mail: acs@caesar.elte.hu

Bevezetés

Ha megnézzük az Országos Meteorológiai Szolgálat honlapján a „Humánmeteorológia” címszó alatti alcímeket, a következőket találjuk: UV sugárzás, orvosmeteorológia, pollenjelentés és budapesti légszennyezettség előrejelzés. Szembeötlő, hogy egy igen széles témakör, mint az emberek termikus komfort-érzete hiányzik. E témakörrel minden ember megszólítható: az árnyékban ücsörgő és az utca napi ritmusát szemlélő idős emberektől kezdve a rendszeresen futó, kondijukat éberem vigyázó fiatalokig, középkorúakig, akik talán még az aktuális időjárásra sincsenek tekintettel. Hogyan jellemezhető egy ülő öregasszony, vagy egy futó fiatal, vagy éppenséggel egy edzést végző élsportoló aktuális termikus komfort-érzete? E tanulmány e kérdést kívánja körbejárni a zöld övezetben, és a rekreáció céljából futó emberek esetében. Ebben az 1. részben az elméleti keretrendszer bemutatásával fogunk foglalkozni arra összpontosítva, hogy a meteorológiai tényezők és az egyén individuális tulajdonságainak szerepét minél érthetőbben ecseteljük. A tanulmány egy majdani 2. részében az elmélet alkalmazhatóságát és a kapott eredményeket fogjuk elemezni.

Egyenlegek, parametrizációk

Induljunk ki az emberi testre vonatkozó energia-egyenlegből (Campbell & Norman, 1997)! Az emberi test energia-egyenlegének meghajtói a külső sugárzási kényszer és a belső metabolikus energia. Ezek mérlege oszlik szét a test felszínéről felszabaduló látens és szenzibilis hőáram-sűrűségekre. Ezt fejezi ki az (1) egyenlet.

$$R_{ni} + M - \lambda E - (T_s - T_a) \cdot \frac{\rho \cdot c_p}{r_{Hr}} = 0. \quad (1)$$

R_{ni} az emberi test felszínének (bőr- vagy ruhafelszín) nettó izotermális sugárzási áramsűrűsége, M a metabolikus energiaáram-sűrűség, λE a respirációs párolgásnak (λE_{res}), a száraz bőr párolgásának (λE_{dry}) és az izzadásnak (λE_{sweat}) az összege, T_s a bőrfelszín hőmérséklete, T_a a levegő hőmérséklete közvetlenül a bőrfelszín feletti turbulens rétegben, ρ a levegő sűrűsége, c_p a levegő állandó nyomáson vett fajhője, $r_{Hr} = 1/r_{Ha} + 1/r_R$, ahol r_{Ha} a konvektív/advektív légáramhoz tartozó aerodinamikai ellenállás és r_R a hosszuhullámú sugárzási tag ellenállása ($\frac{4\epsilon\sigma T_a^3}{\rho c_p}$). ϵ a bőrfelszín (0,98) vagy az öltözék emisszivitása. A metabolikus energia a testhőmérséklet és a bőrfelszín hőmérsékletének függvényében is kifejezhető, ezt a (2) egyenlet szemlélteti.

$$M - \lambda E = \rho c_p \cdot \frac{T_b - T_s}{r_b}, \quad (2)$$

ahol T_b a test belső hőmérséklete (megközelítően $37\text{ }^\circ\text{C}$ -nak vehető), r_b pedig a test ellenállása, ami a sejtek belső ellenállásának (r_t) és az öltözék ellenállásának (r_c) sorba-kapcsolt eredő ellenállása ($r_b = r_t + r_c$). A sejtek belső ellenállását állandónak ($\sim 41\text{ s}\cdot\text{m}^{-1}$) vehetjük, az öltözék ellenállása viszont erősen változó. Humánmeteorológiában „különleges” mértékegysége is van, a Clo, ami $0,155\text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}\cdot\text{W}^{-1}$. Ha ezt a vezetést ellenállássá konvertáljuk a ρc_p taggal való beszorzással, az 1 Clo vezetésnek megfelelő ellenállás $186,74\text{ s}\cdot\text{m}^{-1}$. Ugyanis, az öltözék termális hatása mindig Clo-ban becsülendő, mert az irodalomban így van megadva. Ha a (2) egyenletből kifejezzük a T_S -t és behelyettesítjük az (1)-be, a következő egyenletet kapjuk:

$$R_{ni} + (M - \lambda E) \cdot \frac{r_{Hr} + r_b}{r_{Hr}} - \frac{\rho c_p}{r_{Hr}} \cdot (T_b - T_a) = 0. \quad (3)$$

Ahogy látjuk, ez az egyenlet már nem tartalmazza a T_S -t, mint ismeretlent. Ugyanakkor az is látható, hogy a sugárzási és konvektív kényszerek (R_{ni} és a $T_b - T_a$ különbség) hatása ellensúlyozható egy új „egyensúlyi léghőmérséklet” (T_e) bevezetésével (ilyen szempontból a T_e -t egyensúlyi sugárzás-konvektív hőmérsékletnek is nevezhetjük) úgy, hogy ha a (3) egyenletben az $R_{ni} = 0$ -val, akkor $T_a = T_e$. Így

$$M - \lambda E = \rho c_p \cdot \frac{T_b - T_e}{r_{Hr} + r_b}. \quad (4)$$

Ha behelyettesítjük a (4)-t a (3)-ba, a T_b eliminálódik és kapunk egy összefüggést a T_a és a T_e között. Ennek alakja:

$$T_e = T_a + R_{ni} \cdot \frac{1}{\rho c_p} \cdot \frac{r_{Ha} \cdot r_R}{r_{Ha} + r_R}. \quad (5)$$

Az angol nyelvű irodalomban az egyensúlyi T_e léghőmérsékletet „operative temperature”-nek (Campbell & Norman, 1997) nevezik. Ahogy látjuk, többnyire a környezeti tényezőktől függ (T_a , R_{ni} , szél), de az egyén karakterisztikáitól is az r_{Ha} és az r_R tagokon keresztül. Az r_{Ha} aerodinamikai ellenállás-tag parametrizálása során az emberi test egy átlagos átmérővel (d) rendelkező hengerként közelítendő. A mérések alapján a következő képlettel becsülhető (Campbell & Norman, 1997):

$$r_{Ha} = 7,4 \cdot 41 \cdot \sqrt{\frac{d}{u}}, \quad (6)$$

ahol a 7,4 értékű szorzótényező a parametrizálási, míg a 41 a $\text{m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{mol}^{-1}$ dimenzióban kifejezett vezetés $\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$ dimenzióba való konvertálási együtthatója. A d [m]-ben, míg az u szélsebesség [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] mértékegységben fejezendő ki. Az R_{ni} szintén parametrizálendő. Bőrfelszín esetén

$$R_{ni} = R_{sol} \cdot [1 - (1 - \epsilon)] - \sigma T_a^4 \cdot (\epsilon - \epsilon_a), \quad (7)$$

ahol R_{sol} a globálsugárzás. R_{sol} legalább annyira fontos kényszer, mint a T_a , ilyen szempontból parametrizálása igen fontos. ϵ_a pedig az égbolt emisszivitása. Felhőmentes égbolt esetén értéke 0,8 körüli, a felhőzet növekedésével viszont közelít az 1-hez. Mivel a rekreációs futás

általában óra időléptékű, az R_{sol} -t óraösszegként fejeztük ki Mihailovic & Ács (1985) munkája alapján. Eszerint

$$R_{sol} = Q_0 \cdot \left[\alpha + (1 - \alpha) \cdot \frac{n}{N} \right], \quad (8)$$

ahol Q_0 a maximális globálsugárzás óraösszeg-értéke, α az adott óraintervallumra vonatkozó együtttható, az n/N pedig az órán belüli relatív napfénytartam. Q_0 és α értékei minden egyes hónap minden egyes óraintervallumára adottak (Mihailovic & Ács, 1985).

Miután becsültük a T_e -t, kanyarodjunk vissza a (4) egyenlethez! A T_b és a T_e ismerete alapján becsülhetjük a λE_{sweat} -et is maradék tagként. Aláhúzendó, hogy a λE_{sweat} becslésére nincs parametrizáció, mert nagyon, de nagyon egyénfüggő mennyiség is. Ezt az alábbi képlet illusztrálja:

$$\lambda E_{sweat} = (M - W - \lambda E_{res} - \lambda E_{dry}) - \rho c_p \cdot \frac{T_b - T_e}{r_{Hr} + r_b}, \quad (9)$$

ahol W az M mechanikai munkává való átalakulási hatékonysága. Az embernél ez általában az M 20%-a. A két látens hőáram-sűrűségi tag függ az M -tól, de e tagok általában kis értékűek, összegük általában $10\text{--}15 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ körüli. A T_b szintén függ az M -tól és az M függvényében egyszerűen parametrizálható. Az M viszonylag egyszerűen parametrizálható az M_b , a teljes nyugalmi állapothoz tartozó M függvényében (Campbell & Norman, 1997). M_b viszont erősen egyénfüggő, individuális. Függ a nemtől, kortól, súlytól, magasságtól, az elhízottság mértékétől, ezért igen sok parametrizációja is van. Itt egy olyan parametrizációt fogunk javasolni, ahol az elhízottság mértékén kívül az összes többi tényezőtől való függés szerepel. E számításoknál sokszor az emberi test felszínének (A) nagyságát is becsülni kell, pl. a tömeg (m) és a magasság (h) függvényében. Mindezen empirikus képletek a következők:

$$M_b = 9,99 \cdot \text{tömeg}[kg] + 6,25 \cdot \text{magasság}[cm] - 4,92 \cdot \text{kor}[\text{év}] + 5. \quad (10)$$

A (10) férfire vonatkozik és $[\text{kcal}\cdot\text{nap}^{-1}]$ mértékegységben van kifejezve. A (10) nőre vonatkozó alakja, csak abban tér el, hogy az utolsó +5 tag helyett -161 szerepel.

$$A[m^2] = 0,2 \cdot m[kg]^{0,425} \cdot h[m]^{0,725}. \quad (11)$$

$$M = M_b \cdot \left(1 + \frac{9 \cdot a}{a_M} \right), \quad (12)$$

ahol az a az a_M -hez viszonyított aktivitás [%]-ban kifejezve. a_M a maximális fenntartható aktivitás. Az a_M mértékegysége lehet pl. sebesség vagy liter O_2 vagy más mértékegység a körülményektől függően.

$$T_b = 36,5 + 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot M_b. \quad (13)$$

Mindezek alapján látható, hogy a λE_{sweat} leginkább az M -tól és a T_e -től függ az r_{Hr} és az r_b mellett. A T_e és az r_{Hr} integrálja a környezeti tényezők hatását, az M és az r_b viszont kifejezi az egyén individuális tulajdonságait.

Mérések

Ahhoz, hogy számolhassuk a T_e -t és becsülhessük a λE_{sweat} -et, mérnünk kellene a rekreációs futás időtartamára vonatkozó átlagos szélesebbeséget testünk magasságának közepe táján (a 10 m-es magasságban mért érték könnyen számítható e magassági szintre a logaritmikus szélprofil feltételezésével), az átlagos léghőmérsékletet (T_a), a relatív napfénytartamot (n/N), és az átlagos relatív légnedvességet is, habár az adott képletekben explicit módon nem fordul elő. Ezek az adatok elfogadható pontossággal letölthetők az Országos Meteorológiai Szolgálat honlapjáról a relatív napfénytartam kivételével. Az n/N értéket viszont a futó ember könnyen regisztrálhatja vizuálisan.

A futó ember individuális karakterisztikái a következők: a futó ember testét közelítő henger alapjának átmérője (d) (felnőtt esetben ez durván 0,2–0,3 m), a futó ember testét alkotó sejtek átlagos belső ellenállása (r_t) (irodalomból vett érték), a bőr vagy a ruházat emisszivitása (ϵ), a futáskor viselt öltözék [Clo]-ban becsült vezetése (irodalomból vett értékek alapján összeállítandó), a futó ember neme, súlya, magassága és kora (az M_b becsléséhez), valamint a futó ember átlagos sebessége (a). Ez az érték csak akkor használható, ha a futó ember ismeri a fenntartható maximális sebességét (a_M) is, azaz, pl. a 100 m-en mért átlagos sebességét is. E sebességek méréséhez viszont nélkülözhetetlen a stopper-óra használata. Legeslegvégül a számított λE_{sweat} ellenőrizhető egy mért λE_{sweat} -el, amit egy súlymérővel hajthatunk végre mérve a súlyt futás előtt és után. Aláhúzendó, hogy a súlymérő legalább olyan fontos eszköz, mint a stopper-óra.

Befejezés

Feltételezésünk szerint a vázolt módszertan alkalmas a T_e és az M , valamint a λE_{sweat} és az M kapcsolatának elemzésére függetlenül attól, hogy milyennek mutatkozik majd a $\lambda E_{sweat}^{számított}$ és a $\lambda E_{sweat}^{mért}$ megegyezése. E kapcsolatok nem csak különböző időjárási helyzetekben, azaz, légköri rétegződések során elemezhetők, hanem különböző évszakokban is, így az időjárás alapú megközelítés klimatológiai jellegűvé is válhat. Az eredmények nyilván egyén-specifikusak, ami véleményünk szerint külön motiváció is lehet a munka sikeres elvégzéséhez. Mindez igen egyszerű eszközökkel valósítható meg: stopper-órával, súlymérővel, az internetes adatok letöltésével és sok-sok futással, amihez e tanulmány külön motivációt kívánt adni.

Hivatkozások

- Campbell, G.S., Norman, J.M., 1997: An Introduction to Environmental Biophysics. Second edition, Springer, 286p. ISBN 0-387-94937-2.
- Mihailovic, D.T., Ács, F., 1985: Calculation of daily amounts of global radiation in Novi Sad. *Időjárás*, 89: 257–261. (in Hungarian)