

# A túrázás humánmeteorológiai szempontból: 1 rész: elmélet

Ács Ferenc

ELTE, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék  
e-mail: acs@caesar.elte.hu

## 1. Bevezetés

Ha megnézzük az Országos Meteorológiai Szolgálat honlapján a „Humánmeteorológia” címszó alatti alcímeket, a következőket találjuk: UV sugárzás, orvos meteorológia, 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 túrázó fiatal, vagy éppenséggel egy edzést végző élsportoló aktuális termikus komfort-érzete? E tanulmány e kérdést kívánja körbejárni a háti zsák nélkül túrázó, sétáló emberek esetében. A tanulmány 1. részében az elméleti keretrendszer bemutatásával fogunk foglalkozni arra összpontosítva, hogy a meteorológiai tényezők és az egyén individuális tulajdonságainak szerepét minél érthetőbben ecseteljük. A tanulmány 2. részében az elmélet alkalmazhatóságát és a kapott eredményeket fogjuk elemezni

## 2. Egyenlegek, parametrizációk

Induljunk ki az emberi testet borító ruházat energia-egyenlegéből (Campbell and Norman, 1997) a sétáló, és séta közben nem izzadó ember esetében! A ruházat energia-egyenlegének meghajtói a külső sugárzási kényszer és a szenzibilis hőáram-sűrűséggé alakuló belső metabolikus energia. Ezt fejezi ki az (1)-es egyenlet.

$$R_{ni} + H_s - H_{cl} = 0. \quad (1)$$

$R_{ni}$  az emberi test felszínének (bőr- vagy ruhafelszín) nettó izotermális sugárzási áramsűrűsége,  $H_s$  a ruha alatti bőrfelszínről felszabaduló szenzibilis hőáram-sűrűség és  $H_{cl}$  a ruha felszínét elhagyó hőáram-sűrűség. A  $H_s$  forrása – mint ahogy mondtuk – a metabolikus energia felszabadulás ( $M$ ). Az  $M$  szenzibilis és látens hőáram-sűrűségekre oszlik meg az alábbiak szerint,

$$M - \lambda E = H_s, \quad (2)$$

ahol  $\lambda E$  a respirációs párolgásnak ( $\lambda E_{\text{res}}$ ), a száraz bőr párolgásának ( $\lambda E_{\text{dry}}$ ) és az izzadásnak ( $\lambda E_{\text{sweat}}$ ) az összege, A túrázó ember esetében a  $\lambda E_{\text{sweat}} = 0$ -val, míg a  $\lambda E_{\text{res}}$  és a  $\lambda E_{\text{dry}}$  az  $M$  százalékában fejezhető ki (összegük górombán kb. 10 %). A  $H_s$  parametrizálható mind testi, mind ruházati hő-transzporttal szembeni ellenállás paraméterek alapján,

$$\rho c_p \cdot \frac{T_b - T_s}{r_t} = \rho c_p \cdot \frac{T_s - T_{cl}}{r_{cl}}, \quad (3)$$

ahol  $T_b$  a test belső hőmérséklete (megközelítően 37 °C-nak vehető),  $T_s$  a bőrfelszín hőmérséklete (megközelítően 34 °C-nak vehető),  $T_{cl}$  a ruhafelszín hőmérséklete,  $\rho$  a levegő sűrűsége,  $c_p$  a levegő állandó nyomáson vett fajhője,  $r_t$  a test sejtjeinek belső hő-transzporttal szembeni ellenállása és  $r_{cl}$  egy ellenállás dimenzióval rendelkező, az öltözék hőszigetelő/vezető hatását kifejező paraméter. A sejtek belső ellenállását állandónak ( $\sim 41 \text{ sm}^{-1}$ ) vehetjük, az öltözék ellenállása viszont erősen változó. Humánmeteorológiában „különleges” mértékegysége is van, a Clo, ami  $0,155 \text{ m}^2 \text{ °C W}^{-1}$ . Ha ezt a vezetést ellenállássá konvertáljuk a  $\rho c_p$  taggal való beszorzással, az 1 Clo vezetésnek megfelelő ellenállás  $186,74 \text{ sm}^{-1}$ . Ugyanis, az öltözék termikus hatása mindig Clo-ban becsülendő, mert az irodalomban így van megadva. A  $H_{cl}$  a légköri kényszerek függvényében parametrizálendő,

$$H_{cl} = \rho c_p \cdot \frac{T_{cl} - T_a}{r_{Hr}}, \quad (4)$$

ahol  $1/r_{Hr} = 1/r_{Ha} + 1/r_R$ , ahol  $r_{Ha}$  a konvektív/advektív légáramhoz tartozó aerodinamikai ellenállás és  $r_R$  a hosszuhullámú sugárzási tag ellenállása ( $\frac{4\epsilon\sigma T_a^3}{\rho c_p}$ ).  $\epsilon$  a bőrfelszín (0,98) vagy az öltözék emisszivitása és  $\sigma$  a Stefan-Boltzmann állandó. Ha a (3)-as egyenletből kifejezzük a  $T_{cl}$ -t és behelyettesítjük az (1)-be, a következő egyenletet kapjuk:

$$R_{ni} + \left(1 + \frac{r_{cl}}{r_{Hr}}\right) \cdot (M - \lambda E) - \frac{\rho c_p}{r_{Hr}} \cdot (T_s - T_a) = 0. \quad (5)$$

Az  $(M - \lambda E)$  tagot a (2)-es és a (3)-as egyenlet alapján vezettük be. Láthatjuk, hogy a sugárzási és konvektív kényszerek ( $R_{ni}$  és a  $T_s - T_a$  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 (5)-ös egyenletben

az  $R_{ni} = 0$ -val, akkor  $T_a = T_e$ -vel. Így,

$$M - \lambda E = \rho c_p \cdot \frac{T_s - T_e}{r_{Hr} + r_{cl}}. \quad (6)$$

Ha behelyettesítjük a (6)-ot az (5)-be, a  $T_s$  kiiktatható és egy új  $T_a$  és  $T_e$  közötti összefüggés kapható. Ennek alakja:

$$T_e = T_a + R_{ni} \cdot \frac{1}{\rho c_p} \cdot \frac{r_{Ha} \cdot r_R}{r_{Ha} + r_R}. \quad (7)$$

Az angol nyelvű irodalomban az egyensúlyi  $T_e$  léghőmérsékletet „operative temperature”-nek (Campbell and Norman, 1997) nevezik. Ahogy látjuk, többnyire a környezeti tényezőktől függ ( $T_a$ ,  $R_{ni}$ , szél), de az egyén karakterisztikáitól is függ az  $r_{Ha}$ -án és az  $r_R$  tagokon keresztül. De a  $T_e$  individuális volta még inkább a (6)-on keresztül látható! 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 and Norman, 1997):

$$r_{Ha} = 7,4 \cdot 41 \cdot \sqrt{\frac{d}{u}}, \quad (8)$$

ahol a 7,4-es tényező a parametrizálási, míg a 41 a  $m^2 \cdot s \cdot mol^{-1}$  dimenzióban kifejezett vezetési  $sm^{-1}$  dimenzióba való konvertálási együtthatója. A  $d$  [m]-ben, míg az  $u$  mellmagasságban levő szélesség [ $ms^{-1}$ ] mértékegységben fejezendő ki. Az  $R_{ni}$  szintén parametrizálandó. Ruhafelszín esetén

$$R_{ni} = R_{sol} \cdot [1 - (1 - \epsilon)] - \sigma T_a^4 \cdot (\epsilon - \epsilon_a), \quad (9)$$

ahol  $R_{sol}$  a globálsugárzás.  $R_{sol}$  legalább annyira fontos kényszer, mint a  $T_a$ , ilyen szempontból parametrizálása igen fontos. Az öltözék  $\epsilon$  emisszivitását első közelítésben 1-nek vehetjük.  $\epsilon_a$  az égbolt emisszivitása. Felhőmentes égbolt és száraz levegő esetén értéke akár 0,6 körüli is lehet, a felhőzet növekedésével viszont közelít az 1-hez. Mivel a séta vagy a túrázás általában óra, vagy néhány óra időtartamú esemény, az  $R_{sol}$  óraösszegben fejezendő ki (Mihailovic and Ács, 1985). Eszerint

$$R_{sol} = Q_0 \cdot \left[ \alpha + (1 - \alpha) \cdot \frac{n}{N} \right], \quad (10)$$

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

Miután becsültük a  $T_e$ -t, visszahelyettesíthetjük a (6)-ba. Az új egyenlet alakja:

$$M - \lambda E = \rho c_p \cdot \frac{T_S - T_a}{r_{Hr} + r_{cl}} - R_{ni} \cdot \frac{r_{Hr}}{r_{Hr} + r_{cl}}. \quad (11)$$

Innen kifejezhető az aktuális szélviszonyokra vonatkozó  $r_{cl}$ , azaz, amikor a sétáló ember hőegyensúlyban van a környezetével,

$$r_{cl} = \rho c_p \cdot \frac{T_S - T_a}{M - \lambda E} - r_{Hr} \cdot \left( \frac{R_{ni}}{M - \lambda E} + 1 \right). \quad (12)$$

A szélcsendhez tartozó  $r_{cl}(0)$  értéke:  $r_{cl}(0) = r_{cl} \cdot (1 + c \cdot u)$ , ahol  $c$  0,05 és 0,2 között változó állandó. Ar  $r_{cl}(0)$  érték számítását azért adtuk meg, mert az irodalomban csak  $r_{cl}(0)$  értékek szerepelnek. Mint ahogy mondtuk, a  $\lambda E$  az  $M$  százalékában adható meg, továbbá az  $M$ -ből a mechanikai munkává ( $W$ ) konvertálódó  $M$ -részt is le kell vonni. Ezek a veszteségek általában az  $M$  20%-a körül vannak. Az  $M$  viszonylag egyszerűen parametrizálható az  $M_b$ ,, a teljes nyugalmi állapothoz tartozó  $M$  függvényében (Campbell and 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:

$$M_b = 9,99 \cdot \text{tömeg}[kg] + 6,25 \cdot \text{magasság}[cm] - 4,92 \cdot \text{kor}[\text{év}] + 5. \quad (13)$$

A (13) férfire vonatkozik és  $[\text{kcal} \cdot \text{nap}^{-1}]$  mértékegységben van kifejezve. A (13) nőre vonatkozó alakja, csak abban tér el, hogy a +5 helyett -161 van.

$$A[m^2] = 0,2 \cdot m[kg]^{0,425} \cdot h[m]^{0,725}. \quad (14)$$

$$M = M_b \cdot \left(1 + \frac{9 \cdot a}{a_M}\right), \quad (15)$$

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<sub>2</sub> vagy más mértékegység a körülményektől függően. Mindezek alapján látható, hogy mind  $T_e$  (6), mind  $r_{cl}$  (12) nemcsak a környezeti, hanem az individuálisan változó emberi tényezőktől is függ. A  $T_a$ , az  $R_{ni}$  és az  $r_{Hr}$  integrálja a környezeti tényezők hatását, az  $M_b$  és az  $a_M$  viszont kifejezi az egyén individuális tulajdonságait.

### 3. Mérések

Ahhoz, hogy számolhassuk a  $T_e$ -t és az  $r_{cl}$ -t, mérnünk kellene a túrázás időtartamára vonatkozó átlagos szélesebbeséget testünk magasságának közepe táján (a 10 m-es magasságban mért érték könnyen átszámítható 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 túrázó ember vizuálisan könnyen regisztrálhatja.

A túrázó ember individuális karakterisztikái a következők: az ember testét közelítő henger alapjának átmérője ( $d$ ) (felőtt esetében ez gorombán 0,2-0,3 m), a bőr vagy a ruházat emisszivitása ( $\epsilon$ ), az ember neme, súlya, magassága és kora (az  $M_b$  becsléséhez), valamint a túrázás átlagos sebessége ( $a$ ). Ez az érték csak akkor használható, ha a túrázó 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.

### 4. Befejezés

A túrázó embert jellemző  $T_e$  és  $r_{cl}$  értékek számítása végezhető mind meteorológiai, mind klimatológiai adatsorokon. Az eredmények nyilván egyén-specifikusak, ami véleményünk szerint külön motiváció is lehet a munka sikeres elvégzéséhez. Mind ez igen egyszerű eszközökkel valósítható meg: stopper-órával, és az internetes adat letöltésével. E tanulmány motivációt kíván adni az ilyen mérésekhez és számításokhoz.

### Irodalomjegyzék

Campbell, G.S. and Norman, J.M., 1997: An Introduction to Environmental Biophysics. Second edition, Springer, 286 pp, ISBN 0-387-94937-2.

Mihailovic, D.T. and Ács, F., 1985: Calculation of daily amounts of global radiation in Novi Sad. *Időjárás*, **89**, 257-261 (in Hungarian).