

HOGYAN OPTIMALIZÁLHATÓ A LAKÁSOK FŰTÉSE ÉS HŰTÉSE EGYSZERŰ LÉPÉSEKKEL?

Szalkai Zsófia , Ács Ferenc , Kristóf Erzsébet 

ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet,
Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

e-mail: 0zsofi@gmail.hu

Bevezetés

Az emberi hőkomfort vizsgálata az 1970-es évektől vált fontossá a mindennapi életben, a modern fűtő, szellőztető és légkondicionáló rendszerek elterjedésével. Napjainkban pedig egyre jobban előtérbe kerül az energiatakarékosság. A nemrég kifejlesztett ruházati ellenállás modell segítségével – amely megadja, hogy adott környezetben a hőegyensúly eléréséhez mennyi legyen a ruházat hőszigetelő képessége – belátható, hogy egyszerű lépésekkel a lakások fűtése és hűtése mérsékelhető.

Mérsékelt és hideg éghajlatú régiókban az ajánlott beltéri hőmérséklet 22-24 °C, a javasolt nedvességtartalom pedig 40-60% (Wolkoff et al., 2021). Jelen kutatás során elsőként a ruházati ellenállás modell alapján meghatározzuk, hogy ilyen környezetben (a fenti értékek mediánja mellett) mennyi ruházat szükséges a hőegyensúlyhoz. Ezután elemezzük, hogy ugyanilyen ruházat mellett, a páratartalmat megnövelve; illetve azonos páratartalom mellett, további ruhadarabok felöltésével milyen hőmérsékleten érhető el a hőegyensúly. Mindezek után kitekintünk a nők és az idősebb korosztály különleges igényeire. Végül kitérünk a nyári évszakban adódó lehetőségekre is.

Módszerek

A ruházati ellenállás modell (Ács et al., 2019) megadja, hogy adott környezeti viszonyok mellett, adott testalkatú és életkorú embernek, a hőegyensúly megvalósításához mennyi ruházatra van szüksége – ennek mérője a ruházat hőszigetelő képessége, hőtranszporttal szembeni ellenállása (ruházati ellenállás index - rcl index), melynek mértékegysége a clo (1 clo = 186,7 s/m = 0,155 m²K/W). Mint ellenállás, csak pozitív értéket vehet fel – mivel a ruházat a test hővesztésének csökkentésére alkalmas – így csak hőhiány esetén alkalmazható. A beltérben alkalmazandó egyszerűsített modell szerint az rcl index a következő képlettel számítható:

$$r_{cl} = \rho \cdot c_p \cdot \frac{T_s - T_a}{M - W - \lambda E_{sd} - Res} - r_{aH} \quad (1)$$

ahol ρ levegő sűrűsége (1,2 kg/m³), c_p a levegő állandó nyomáson vett fajhője (1005 J/kg°C), T_s a bőrfelszíni hőmérséklet (°C), T_a a léghőmérséklet (°C), M a metabolikus hőtermelés (W/m²), W a mechanikai munka (W/m²), λE_{sd} a száraz bőr párolgása (W/m²), Res a légzés általi szenzibilis és látens hőleadás (W/m²), r_{aH} a szenzibilis hőárammal szembeni ellenállás (s/m). Ahhoz, hogy az rcl indexet clo mértékegységben fejezzük ki, a kapott értéket el kell osztani 186,7-tel.

A metabolikus hőtermelés a bázikus metabolikus ráta (M_b , a létfenntartáshoz szükséges hőtermelés) és a végzett tevékenységhez tartozó hőtermelés (M_a) összege. Jelen vizsgálatban a referencia személy Fanger (1970) alapján 75 kg testtömegű, 175 cm magas, 55 éves, férfi, és ülve olvas vagy ír, metabolikus hőtermelése 58,15 W/m² ($M_b + M_a = 40,705 + 17,445$). Auliciems & Kalma (1979) szerint hozzávetőlegesen a bázikus metabolikus ráta feletti hőtermelés 25%-a alakul mechanikai munkává, azaz

$$W = 0,25 \cdot M_a \quad (2)$$

A száraz bőr párologtatását Fanger (1970) képletével fejezzük ki:

$$\lambda E_{sd} = 3.05 \cdot 10^{-3} \cdot (256 \cdot T_s - 3373 - e) \quad (3)$$

Ahol e az aktuális párányomás (Pa).

A légzés általi hőleadás szenzibilis (H_{res}) és látens (λE_{res}) részét szintén Fanger (1970) alapján parametrizáljuk:

$$H_{res} = 0.0014 \cdot M \cdot (T_s - T_a) \quad (4)$$

$$\lambda E_{res} = 1.7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - e) \quad (5)$$

A T_s bőrfelszíni hőmérséklet a vizsgált aktivitás és környezeti feltételek esetén 34 °C (Campbell & Norman, 1997).

Campbell & Norman (1997) és Ács et al. (2019) alapján a szenzibilis hőárammal szembeni ellenállás az alábbi képlettel becsülhető:

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

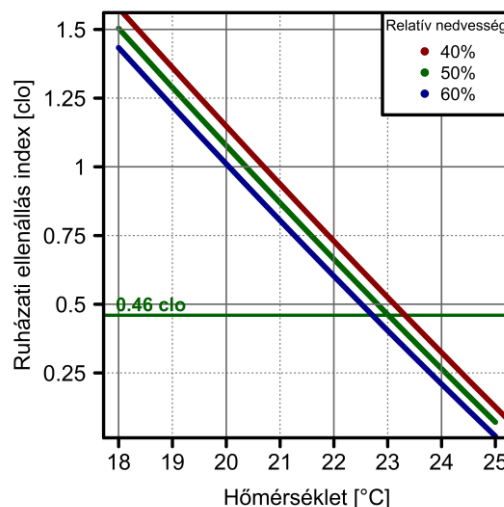
ahol u az 1,1 m magasságban érvényes légáramlási sebesség, d a henger alakúnak tekintett az emberi test átmérője, a mellkas magasságában mérhető. A referencia környezetben a légáramlási sebesség 0,3 m/s (Jendritzky et al., 2012).

Amikor a téli félévet vizsgáljuk, rövidek a nappalok és kevés a napsugárzás, a sugárzási komponenstől eltekintünk. Pesszimista esetet tekintünk, amikor a szoba északi fekvésű, és nem süt be a Nap az ablakon. Az egyszerűség kedvéért nyáron is ezt a helyzetet vesszük, ekkor ez az optimista eset. Ha mégis besütne a Nap, akkor nem a vizsgált személyre, így csak a szoba hőmérsékletét emeli meg, ezáltal kevésbé kell befűteni, vagy jobban kell hűteni, de ugyanaz a célhőmérséklet.

Eredmények

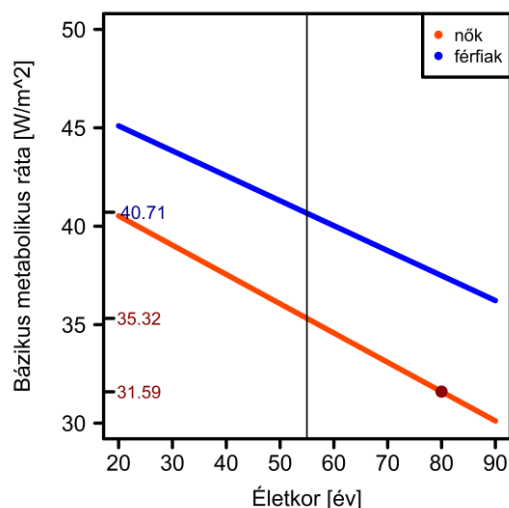
A referencia környezetben a referencia személynek 0,46 clo mennyiségű ruházatra van szüksége, amely a következő ruhadarabok együttes viselésével érhető el: hosszúujjú ing, hosszúszerű, vékony nadrág, zokni.

Egy vékony pulóver felvételével a hőmérséklet 1,2-1,3 °C-kal csökkenthető, egy vastag pulóver felvételével 1,7-1,8 °C-kal. A páratartalom minden 10%-kal való emelése a hőmérséklet 0,3 °C-os mérséklését teszi lehetővé (1. ábra). Ez nem tűnik soknak, de a páratartalmat 10%-kal emelve és egy pulóvert felvéve akár 21-21,5 °C is kellemes lehet.



1. ábra: Az rcl index a hőmérséklet függvényében különböző relatív nedvesség értékek mellett.

A nők esetében a bázikus metabolikus ráta általában kisebb, mint a férfiaknál; és az életkor előrehaladtával értéke folyamatosan csökken (2. ábra). Az átlagos nő – ISO 8996 szabvány (2021) alapján 60 kg testtömegű, 160 cm magas, 55 éves – metabolikus hőtermelése 87%-a az átlagos férfiénak, neki még a referencia környezetben is szüksége van egy vékony pulóverre és egy mamuszra.

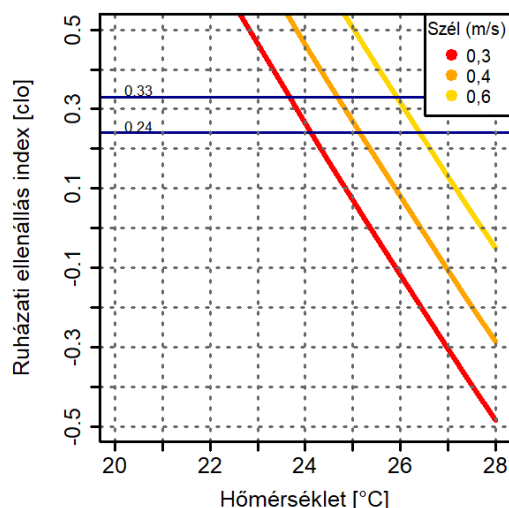


2. ábra: Az átlagos testalkatú férfi és nő bázikus metabolikus rátája az életkor függvényében.

Egy 80 éves asszony metabolikus hőtermelése 78%-a az átlagos férfiénak. Neki a referencia környezetben 1,07 clo mennyiségű ruházatra van szüksége, amely azt jelenti, hogy az átlagos nőhöz képest minden ruhadarabból sokkal vastagabbat kell felvennie. Egy idős asszonyt még egy sarkkutató öltözete is legfeljebb 17 °C-ig védene meg a kihűléstől, tekintve, hogy a hőszabályozó-képessége is már gyengébb, viszont ilyen ruházatban már alig tudna mozogni (Cena & Clark, 1978).

Ha a referencia személy 1,07 clo mennyiségű ruházatot venne fel, 20,1 °C hőmérséklet is megfelelő lenne a hőegyensúly fenntartásához. Ha viszont a nyolcvanéves asszony 0,46 clo mennyiségű ruházatot viselne, 25,1 °C hőmérsékletre kellene befűteni; ekkor az átlagos nőnek csak rövidnadrágra és ujjatlan felsőre lenne szüksége (0,23 clo).

A szélesebbesség hatását a 3. ábra mutatja (ahol az rel index negatív értéket vesz fel, ott a modell értelemszerűen nem alkalmazható, mivel hőtöbblet van). A nyári évszakban, ha a referencia személy a 0,33 clo összértékű nyári referencia ruházatot viseli (capri nadrág, rövidujjú ing, zokni) az alap légáramlás (0,3 m/s) mellett, akkor 23,6 °C-ra kellene hűteni a szobát. Ha ujjatlan felsőt és rövidnadrágot viselne (0,24 clo), 24,1 °C is megfelelő hőmérséklet lenne. Ha a légáramlás sebességét 0,4 m/s-ra növelnénk, 24,6 °C is kellemes hőmérséklet lenne a nyári referencia öltözetben. Megjegyzendő, hogy kis szélesebbesgnél a ruházati modell érzékeny a sebesség változtatására, és az emberi szervezet is érzékenyen reagálhat a huzatra. 0,6 m/s légmozgás mellett már 25,9 °C is elfogadhatónak tűnik, viszont ilyen fokú légáramlás már huzatnak számít. Megjegyzendő, hogy az egyszerűsége törekvő modell nem tartalmaz fiziológiai válaszreakciókat, így például az izzadás által kiváltott hűtő hatást és diszkomfort érzést sem veszi figyelembe.



3. ábra: Adott szélességek mellett a szükséges ruházat a szoba hőmérséklete függvényében.

Összegzés

Az eredmények szerint a páratartalom minden 10%-kal való emelése a hőmérséklet 0,3 °C-os mérséklését teszi lehetővé, míg egy pulóver felvételével a hőmérséklet 1,5 °C-kal csökkenthető. Egy idős asszonynak viszont a hőegyensúlyhoz a megadott ruházat mellett 2,1 °C-kal magasabb hőmérsékletre, illetve a megadott referencia környezetben 2,3-szer nagyobb hőszigetelő képességet nyújtó ruházatra van szüksége.

Következésképpen, a hőkomfort és az energiatakarékosság érdekében a fűtési szezonban:

- 1) Öltözzünk fel melegen!
- 2) Kissé növeljük meg a páratartalmat!
- 3) Figyeljünk oda az idősebb korosztályra!

A nyári évszakban öltözzünk szellősen és biztosítsunk megfelelő légmozgást.

Hivatkozások

- Ács, F., Kristóf, E., Szalkai, 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>
- Auliciems, A., Kalma, J.D., 1979: A Climatic Classification of Human Thermal Stress in Australia. *Journal of Applied Meteorology*, 18(5): 616–626. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1979\)018<0616:ACCOHT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1979)018<0616:ACCOHT>2.0.CO;2)
- Campbell, G.S., Norman, J., 1997: An Introduction to Environmental Biophysics, 2. kiadás, Springer, New York. 307p.
- Cena, K., Clark, J.A., 1978: Thermal insulation of animal coats and human clothing. *Physics in Medicine & Biology*, 23(4): 565–591. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/23/4/001>
- Fanger, P.O., 1970: Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering, Danish Technical Press, Copenhagen. 244p.
- ISO 8996, 2021: Ergonomics of the thermal environment — Determination of metabolic rate. Standard. International Organization for Standardization, Geneva.
- Jendritzky, G., de Dear, R., Havenith, G., 2012: UTCI-why another thermal index? *International Journal of Biometeorology*, 56(3): 421–428. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0513-7>

Wolkoff, P., Azuma, K., Carrer, P., 2021: Health, work performance, and risk of infection in office-like environments: The role of indoor temperature, air humidity, and ventilation. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 233: 113709.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113709>

ORCID

Szalkai Zs.  <https://orcid.org/0000-0001-7497-8376>

Ács F.  <https://orcid.org/0000-0002-1611-6839>

Kristóf E.  <https://orcid.org/0000-0001-9892-9552>