

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar
Gépészeti Intézet
Épületgépészeti Tanszék

VARGA CSILLA

Az ember egészségi állapotára ható
komfortkörülmények – főként a hőkomfort
– vizsgálata

TDK DOLGOZAT

Pécs, 2014.

Tartalmi összefoglaló

Napjainkban előtérbe került az energiatakarékosság fogalma, ennek érdekében célszerű olyan épületgépészeti rendszereket kialakítani, melyek energiafelhasználása a lehető legalacsonyabb. Az épületek energiafelhasználásával kapcsolatos irányelvek is az egyre kisebb hőveszteségű, illetve az egyre légtömörebb épületek tervezését írják elő. [3.] [7.] Az épületgépészeti rendszerek megválasztásakor a gazdaságosság és a környezetvédelem mellett azonban a komfortkövetelményeket is szem előtt kell tartani. Ez azért is nagyon fontos, mert a fejlett országokban az emberek többsége élete döntő hányadát különböző épületeken belül tölti. A légtömör épületek szinte teljesen elválasztják a belső teret a külsőtől, tehát ennek a zárt térnek olyannak kell lennie, amely minden szempontból megfelel a benntartozkodók komfortigényeinek. Ebben a „mesterséges környezetben” be kell tartani az emberek megfelelő élettani működése szempontjából optimális egészségügyi követelményeket. [3.]

Egészségügyi végzettségemből adódóan érdekesnek találtam az ember egészségi állapotára ható komfortkörülmények – azon belül főként a hőkomfort – vizsgálatának elemzését. A dolgozat szakirodalom kutatás, melyben komfortelmélettel foglalkozom, ismertetem a termikus komforttal kapcsolatos fogalmakat, részletesen írok az ember hőtermeléséről, hőleadásáról, hőháztartásáról, hőérzetéről, komfortérzetéről, a komfort- és diszkomfort jellemzőkről és bemutatom ezek alkalmazását a tervezési gyakorlatban.

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	4
1. Komfortelmélet.....	6
1.1. Az ember és környezete.....	6
1.2. A hőérzet fogalma	7
1.3. Az ember hőháztartása, hőérzékelése	8
1.4. Hőtermelés és hőleadás	11
1.5. Komfortérzet.....	15
1.6. Komfortjellemzők.....	16
1.6.1. Bőrhőmérséklet	16
1.6.2. Ekvivalens hőmérséklet.....	17
1.6.3. Effektív hőmérséklet	17
1.6.4. A termikus komfort feltételei a DIN ISO 7730 (87.10) szerint.....	18
1.6.5. A „mesterséges fej”	18
2. Megoldási lehetőségek a tervezési gyakorlatban.....	19
Összefoglalás.....	24
Ábrajegyzék	25
Táblázatjegyzék.....	25
Irodalomjegyzék.....	26

Bevezetés

A belső, zárt terek tervezése során az építészeti előírások betartása mellett, nagy hangsúlyt kell fektetni az optimális mikrokörnyezet, a megfelelő komfortkörülmények kialakítására is, hiszen e feltételek és a környezetben végbemenő folyamatok hatással vannak az emberekre. Nagymértékben befolyásolják közérzetüket, ezáltal munkavégző képességüket, különféle tevékenységeiket, élettani működéseiket, a pihenést, a szórakozást, az alvást és az esetleges regenerálódást is. „A belső terek kialakításának elsődleges célja tehát az ember életfunkcióival kapcsolatos objektív vagy szubjektív igényeinek kielégítése.” [7. 17. o.] Emiatt elengedhetetlenül fontos, hogy az épületet, illetve az épületgépészeti és egyéb rendszereket tervező szakemberek tisztában legyenek azokkal a folyamatokkal, műszaki jellemzőkkel, emberi tényezőkkel, amelyek meghatározó szereppel bírnak az ember köz- és komfortérzetét illetően, mert csak ezen ismeretek birtokában lehet kialakítani az optimális, funkcionális és biztonságos belső környezetet.

A tervezés során nem a „túléléshez” szükséges paraméterek az irányadók, tehát nem csupán az a cél, hogy emberi tartózkodásra alkalmas legyen az adott épület, hanem prioritást élveznek a benntartózkodók kellemes közérzetét és komfortigényét szolgáló megoldások. „A megfelelő komfort az életminőség egyik jellemzője.”, amely függ a kortól, nemtől, kultúrától, életviteltől, pszichológiai és egészségi állapottól, illetve az éppen végzett tevékenység intenzitásától. [3. 32. o.]

Az igények és a hozzájuk kapcsolódó, a tervezés során alkalmazható megoldások dr. Kalmár Ferenc szerint:

1. „Szociális kapcsolatok: olyan terek, ahol nagyobb létszámban találkozhatnak egymással az épületben tartózkodók, olyan terek, amelyek vonzzák az embereket és elősegítik az egymás közötti kommunikációt.
2. Kulturális és társadalmi szempontok: ünnepek lebonyolításához alkalmas terek, a kulturális és a csoport identitásának szimbólumai, amelyek az egyediség érzését biztosítják.
3. Pihenés és pszichológiai feltöltődés: zajtalan helyiségek, amelyek a természetes környezettel állnak kapcsolatban és biztosítják a nyitott kilátást.
4. Egyedüllét, magány: biztosítják a félrevonulást, az egyedüllét lehetőségét, az igény szerint kontrollálható szociális kapcsolatok intenzitását.

–

5. Tanulás és információmegosztás: megfelelő akusztikájú terek, megfelelő vizuális feltételekkel, olyan elrendezéssel és közlekedéssel, amely biztosítja a kommunikációt és az információ átadását anélkül, hogy ez másokat zavarja.
6. Kapcsolat a természetes környezettel: kilátás a természetes környezetre, természetes világítás és természetes szellőzés, belső téri növények elhelyezése, megfelelő bútorok és bevonatok alkalmazása.
7. Az érzékelés folyamatos ingerlése: természetes világítás, természetes szellőzés, változó színek, minták és textúrák.
8. A természetes zajok hallhatósága: nyitható ablakok, amelyek biztosítják a serkentő természetes zajok hallhatóságát, az ipari jellegű zajok kiszűrését.
9. Érdekes vizuális környezet: lehetőség szerint organikus jellegű belső építészet alkalmazása, organikus formák, színek, minták, a hely jellemző hangulatát megteremtő belső környezeti elemek alkalmazása.
10. Fizikai mozgás: különböző gyakorlatok, a test fizikai terhelését biztosító tér kialakítása, ennek híján közlekedők, lépcsők kialakítása, amelyek testmozgásra kényszerítik a benntartózkodót.
11. A méltányosság: a terek olyan jellegű kialakítása, amely a benntartózkodókban azt az érzetet kelti, hogy törődnek az egészségükkel, a megfelelő köz- és komfortérzetükkel.”
[3. 33. o.]

1. Komfortelmélet

1.1. Az ember és környezete

Az ember kapcsolatát a külső és belső környezettel rengeteg fizikai, emberi, műszaki és adaptív tényező befolyásolja, ezek a paraméterek a teljesség igénye nélkül a következők:

Fizikai/belső környezeti tényezők:

- a levegő összetétele, hőmérséklete, légnyomás;
- légtechnikai paraméterek;
- zaj, elektromágneses sugárzás.

Emberi tényezők:

- életkor, nem, genetika, psziché;
- testtípus, fizikai kondíció.

Adaptív tényezők:

- aktivitás, ruházat;
- ösztönzés, szociális helyzet.

Műszaki/gépészeti tényezők:

- épület jellemzői;
- csövek, vezetékek jellemzői;
- gépészeti és egyéb berendezések paraméterei.

Külső környezeti tényezők:

- meteorológiai jellemzők;
- a levegő összetétele. [3.]

„Az ember és környezete közötti kapcsolatot számos tényező befolyásolja és az ezek alapján az emberben kialakuló szubjektív érzést nevezik közérzetnek.” [1. 277. o.] Az épületgépészeti berendezések főként az emberek kellemes köz- és komfortérzetét hivatottak szolgálni, ezért elengedhetetlen az emberekre gyakorolt hatásait vizsgálni. A közérzetet is számos összetevő befolyásolja, úgy, mint a hőmérséklet, a nedvesség, a légáramlás, az épület rezgése, mozgása, a napsütés, biztonsági tényezők, a napi életmenettel kapcsolatos tényezők, stb. [3.]

1.2. A hőérzet fogalma

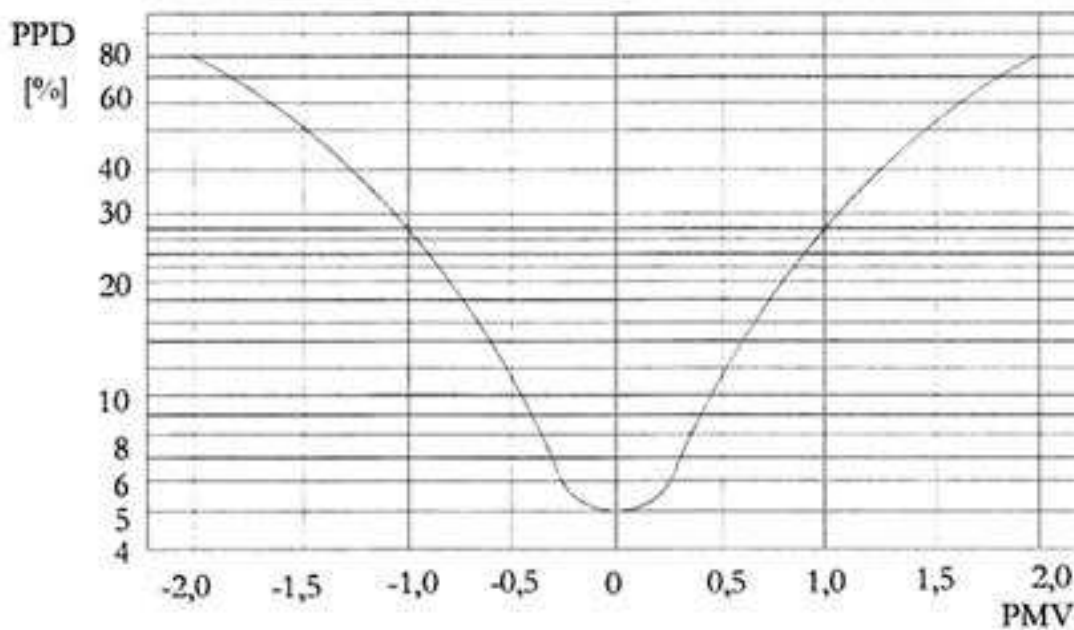
A szervezet egy adott környezethez való alkalmazkodása komplex folyamat, az egyes befolyásoló tényezők együttesen hatnak, és ezek összehatására reagál, a létrejövő szubjektív érzetet pedig hőérzetnek nevezzük. A hőérzetet befolyásoló tényezők a hőegyensúly fenntartása szempontjából fontosak, egy részük fizikai jellemző, másik részük az emberi szervezet alkalmazkodóképességével függ össze:

- a levegő hőmérséklete, térbeli és időbeli eloszlása, változása;
- a környező felületek közepes sugárzási hőmérséklete;
- a levegő relatív nedvességtartalma és a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása;
- a levegő sebessége;
- az emberi test hőtermelése, hőleadása és hőszabályozása;
- a ruházat hőszigetelő képessége és párolgást befolyásoló hatása. [1. 279. o.]

A szubjektív hőérzet egységesítésére létrehoztak egy hét pontos számszerűsítő skálát, ahol a +1 és a –1 közötti intervallumot határozták meg kellemes zónaként:

forró	+ 3
meleg	+ 2
kellemesen meleg	+ 1
semleges	0
kellemesen hűvös	– 1
hűvös	– 2
hideg	– 3 [1.]

Mivel a hőérzet rendkívül összetett és szubjektív fogalom, így jellemzésére az elégedettség valószínűségi értékeit használják. Az elégedettség megítélésére Fanger – laboratóriumi vizsgálatok eredményei alapján – globális hőkomfort mutatókat vezetett be, úgymint PMV (Predicted Mean Vote) és PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) mutatók, melyek az emberi test hőegyensúlyán alapszanak és a várható szubjektív hőérzetről adnak információt. A PMV jelenti a legkedvezőbb, míg a PPD értéke a legkedvezőtlenebb hőérzet százalékos valószínűségét egy adott zárt térben. [13.]



1. ábra: PMV diagram [10]

A diagram a PMV érték függvényében, a hőkönyezettel elégedetlenek várható százalékos arányát ábrázolja, akiknek vagy túlságosan melegük van, vagy akik túlságosan fáznak. A PDD megengedett értékei országoként változik, Magyarországon 20 % (összehasonlításként: a skandináv országokban ez az érték 10 %). [13.]

A komforttereket lehetőség szerint úgy kell tervezni, hogy mindenkinek kellemes legyen a hőérzete, azaz elégedett legyen, azonban a jelenlévők között mindig van 5 %, aki elégedetlen. Az ASHRAE (1981) 55-81 szabvány a következőképpen definiálja a kellemes hőérzet fogalmát: „A kellemes hőérzet az a tudati állapot, amely a termikus környezettel kapcsolatos elégedettséget fejez ki.” [13. 9. o.]

1.3. Az ember hőháztartása, hőérzékelése

Az emberi szervezet képes tehát a külső és belső környezethez alkalmazkodni, az egyes faktorok egymással kölcsönhatásban érvényesülnek és a szervezet erre az együttes hatásra reagál. [3.]

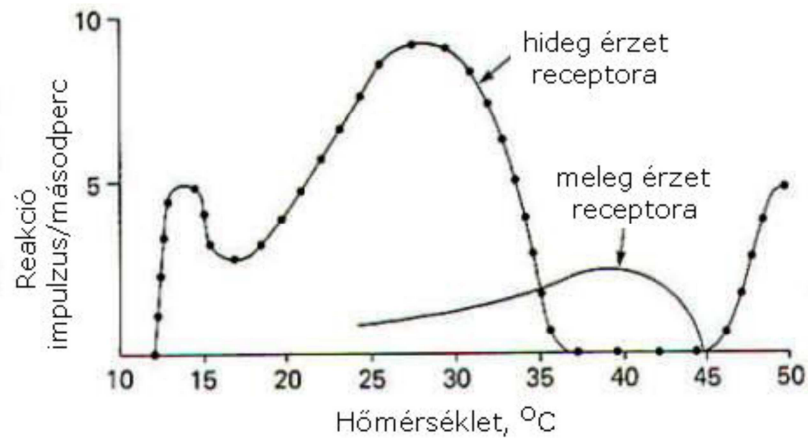
Az emberi test a számos tényező befolyása ellenére is közel állandó hőmérsékletet tud fenntartani, ezt a szabályozást a köztiagyban található hypothalamus végzi a bőrben található idegvégződéseken, az úgynevezett termoreceptorokon keresztül. [15.]

–

A hőérzékelő receptorok lehetnek hideg- (13 és 30 °C között érzékeny) és meleg-receptorok (35-48 °C-ig érzékeny), amelyek nem közvetlenül az adott környezet hőmérsékletét érzékelik, hanem a bőrhőmérsékletet. Vizsgálatok azt mutatták ki, hogy a bőrben nem egyenletesen oszlanak el a meleg és hideg érzékelő pontok; nagyobb arányban fordulnak elő a hideg-receptorok, mint a meleget érzékelők, az agyban viszont a meleg-receptorok száma magasabb. Az a test érezhető hidegnek, melynek hőmérséklete alacsonyabb a bőr hőmérsékleténél, melegnek pedig az, amelynek magasabb hőmérséklete, mint a bőrnek. A bőrhőmérséklet tehát egy viszonyítási alapnak tekinthető, egyfajta nullfoknak, amihez képest valami melegnek vagy hidegnek érezhető. A nullfok a bőr különböző részein eltérő, de általában 27-33 °C és ugyanazon a helyen, különböző időpontokban változhat. Minden, ami a bőr nullfokát megváltoztatja, az valamilyen hőérzetet okoz; a bőrhőmérsékletnél melegebb test hőt ad át, emiatt melegnek érezhető, a hidegebb hőt von el, ezért az hidegnek érzékelhető. A bőr egyes területein nem teljesen egyforma az érzékelési pontosság, tehát nem azonos a hőérzet, ennek oka, hogy a felhám rossz hővezető. Ahol az írhát vékonyabb felhám fedi, ott finomabb az érzékelés. Az érzékelési pontosságot a receptorok mennyisége, a hőnek kitett bőrfelület nagysága, az adaptáció és a hideg-receptor csatornák myelinizáltsága („szigeteltsége”) is meghatározzák. Minél több a receptor, minél nagyobb az érzékelési felület, annál intenzívebb a hőérzet. A myelin is gyorsabb információáramlást tesz lehetővé, így a hidegérzet 10-20 m/s-os sebességgel, a melegérzet pedig – mivel ezek az idegcsatornák nem myelinizáltak – 1-2 m/s-mal jut el az agyba. Ebből az következik, hogy a hideg ingerekre gyorsabb az agy reakciója. Az egyes testrészek is másként reagálnak az ingerekre, az arc és az ajkak a legérzékenyebbek, míg a lábak a legkevésbé érzékenyek. A reakció sebességét a hőmérsékletváltozás üteme is meghatározza: ha lassan – < 0,5 °C/min-t – emelkedik vagy csökken 4-5 °C-ot a környezeti hőmérséklet, akkor azt az ember alig érzékeli, viszont ha gyorsan – 0,1 °C/s – ingadozik, akkor még a kis változást is érzi.

Épületgépészeti szempontból fontos, hogy a receptorok ugyanúgy reagálnak a vezetéssel és a sugárzással átadott hőre. 30-36 °C-os bőrhőmérséklet esetén bár aktívak a termoreceptorok, működésük mégsem intenzív, nem jeleznek sem hideget, sem meleget; a hideg-receptorok 25-30 °C között, a meleg-receptorok 40-45 °C esetén a legaktívabbak és érzékenységük kisebb, mint a hideg-receptoroké. Az alábbi ábra a termoreceptorok reakciósebességét mutatja a külső hőmérséklet változásának függvényében.

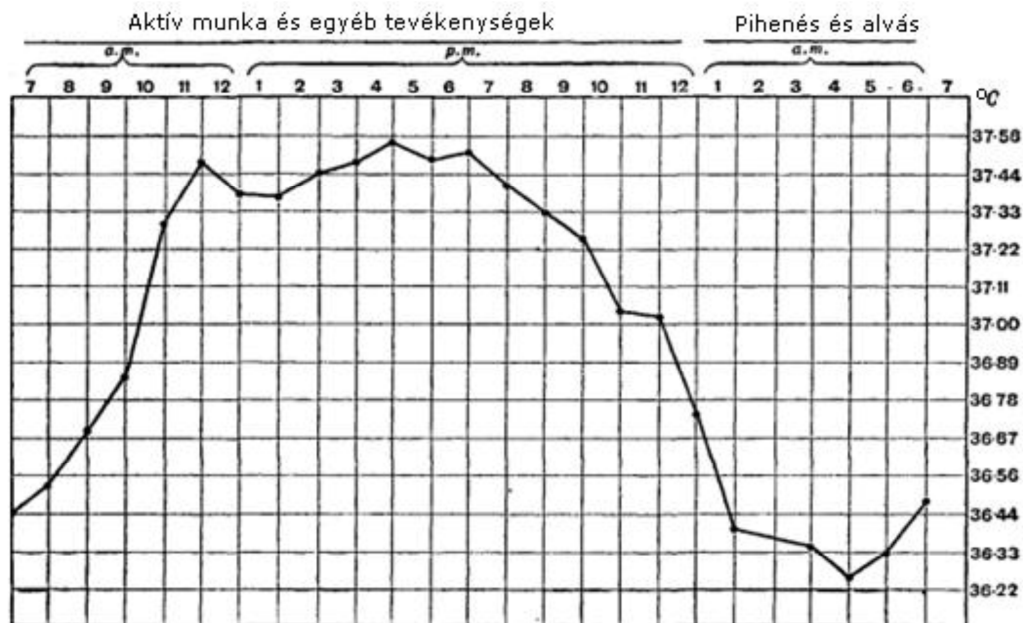
– Az ember egészségi állapotára ható komfortkörülmények – főként a hőkomfort – vizsgálata



2. ábra: Termoreceptorok [9.]

A termoreceptorokon kívül, a hő-fájdalom receptorok – nociceptorok – is a bőrben helyezkednek el, melyek káros hőmérséklet, sérülés esetén működnek; hatásukra azonnali választ ad az agy, például elrántjuk a kezünket a forró felülettől. Káros működés a láz is, amikor a hideg-receptorok az előbbi ábrán látható 45 °C-os hőmérséklethez nagyobb értékeket vesznek fel, ekkor lép fel a hidegrázás jelensége. További szélsőséges működés a hőérzékelő központ, vagyis az agy károsodásához vezethet. [3.]

Az emberi test hőmérséklete napközben is ingadozást mutat, a következő ábra ezt a változást szemlélteti.



3. ábra: Az emberi test hőmérséklet ingadozása [3.]

1.4. Hőtermelés és hőleadás

A hőérzékelő központba beérkező ingerek alapján a megfelelő hőcserét az agy a bőrvéráram változtatásával/szabályozásával éri el.

A belső szervek megfelelő működéséhez állandó testhőmérsékletre van szükség, melyet a hypothalamusban található szabályozó központ irányít. „A hőkarbantartó központot „emberi termosztátnak” is hívják, mivel nagy pontossággal képes tartani a beállított (elvárt) értéken a testhőmérsékletet.” [3. 67. o.]

A hőleadást a hypothalamus elülső részének aktivitása eredményezi a bőr ereinek tágulásával és az izzadással, melyek együttesen hőmérsékletcsökkenést okoznak; míg a hőmegőrzést, illetve a hőmérséklet fokozását, azaz a hőtermelést, a hátsó rész irányítja. [8.]

A test által termelt és leadott, illetve tárolt hő közötti egyensúlyt, azaz a $37 \pm 0,8$ °C-os testhőmérsékletet – más néven a maghőmérsékletet – a vérkeringés biztosítja. A keringés során minden testrészbe eljut a vér és minél távolabb kerül, annál inkább lehűl, majd a belső szervekben, az égési folyamatok révén újra felmelegszik. [15.]

Az emberi testben lezajló metabolizmus (égési folyamat) során a felszabaduló energia egy része hasznos fizikai munkára, izomműködésre fordítódik, másik része elraktározódik, egy további része pedig úgynevezett metabolikus hő formájában szabadul fel, mely hőt le kell adnia a szervezetnek, hogy egy állandó hőmérsékletet tarthasson fenn. Az emberi test annyi energiát ad le, amennyi az adott tevékenységhez szükséges. Ezt az energiát a bevitt élelmiszer oxidációjából nyeri. Az égés olyan kémiai reakció, amely oxigén jelenlétét feltételezi, a test nyugalmi állapotában az alapanyagcseréhez szükséges oxigén mennyisége 0,25 l/min. Ennek elégeésekor kb. 80-90 W hő szabadul fel. [1.] [13.]

A metabolikus hőtermelés átlagos fiatalembernél 1250 W, idős korban 730 W, nők esetében ezek az értékek kb. 30 %-kal alacsonyabbak, élsportolóknál viszont akár a 2000 W-ot is elérheti. [3.]

Fanger szerint az emberi szervezetben keletkező metabolikus hő (M) a külső mechanikai munkából (W) és a belső hőszükségletből (H) tevődik össze, tehát:

$$M = H + W \text{ [W].}$$

– Az ember egészségi állapotára ható komfortkörülmények – főként a hőkomfort – vizsgálata

–

A mechanikai munka értéke akkor pozitív, ha az fedezhető a metabolikus hőből, pl.: lépcsőn járás során; illetve akkor negatív, ha egy lejtőn lefelé sétálunk. Hányadosukkal kifejezhetjük a mechanikai munka hatásfokát:

$$\eta = \frac{W}{M}.$$

Az első egyenletbe visszahelyettesítve a következőt kapjuk:

$$H = M \cdot (1 - \eta) \text{ [W]},$$

Egységnyi testfelszínre is kifejezhető:

$$\frac{H}{F_{Du}} = \frac{M}{F_{Du}} \cdot (1 - \eta) \text{ [W/m}^2\text{]},$$

ahol F_{Du} az emberi test Du Bois felülete, amely az egyének metrikus adottságait is figyelembe veszi, kiszámítása:

$$F_{Du} = 0,203 \cdot G^{0,425} \cdot L^{0,725} \text{ [m}^2\text{]},$$

ahol G az egyén tömege kilogrammban, L pedig az egyén magassága méterben.

A nemzetközi gyakorlatban használatos még a „met” egység a különböző tevékenységek/munkavégzések hőegyenértékének számszerűsítésére: 1 met = 58 W/m².
Néhány – tetszés szerinti – tevékenységet táblázatba foglaltam. [1.]

1. táblázat: „met” egységek

Tevékenység	M/F _{Du}		η
	W/m ²	met	
Alvás	41	0,7	0
Nyugodt ülés	58	1,0	0
Takarítás	116-198	2,0-3,4	0-0,1
Irodai munka	70	1,2	0
Torna	175-232	3,0-4,0	0-0,1
Lakatos munka	128	2,2	0-0,1
Nehéz munka (árokásás)	350	6,0	0,2

Az emberi test a benne fejlődő hőt többféleképpen tudja leadni:

- konvekcióval a testfelületről a levegőbe,
- hővezetéssel az érintkezési felületeken (pl.: lábon, faron keresztül),
- sugárzással a testfelszínről a környező felületekre,
- párolgással a bőrön keresztül, illetve légzéssel,
- kis mértékben a kiválasztással, az étkezéssel, diffúzióval, stb.

A konvekciót, a hővezetést és a sugárzást száraz; a párolgást nedves hőleadásnak nevezzük.

Százalékos megoszlásuk a műszaki gyakorlatban, az összhőleadás tekintetében a következő:

- sugárzásos hőleadás: 42-44 %,
- konvekciós hőleadás: 32-35 %,
- párolgásos hőleadás: 21-26 %.

A sugárzás és a konvekció pozitív és negatív egyaránt lehet, a párolgás azonban csak negatív, tehát hőleadás lehet. [1.] [15.]

Az atmoszférikus paraméterek változása határozza meg, hogy a hőátadás melyik módja megy végbe: a hőmérséklet csökkenése és a légáramlás sebességének növekedése hatására nő a konvekciós hőleadás, 30-34 °C felett viszont a szervezet hőt vesz fel. [3.]

Ha a helyiségben a komforthatár alá süllyed a hőmérséklet, akkor a hideg hatására összeszűkülnek az erek, a bőr sápadtabbá és szárazzá válik és a bőr felületi hőmérséklete lecsökken. Ezzel párhuzamosan a konvekcióval, sugárzással és párolgással nő a környezetbe történő hőleadás, szabad szemmel látható jelei a libabőr és a didergés. Ha a külső hőmérséklet tovább csökken és tartósan fennáll és a testhőmérséklet 28 °C alá csökken, az megfagyáshoz, halálhoz vezethet. [3.] [15.]

Az átlagos – kb. 70 kg testsúlyú – emberi test fajlagos hőtartalma 3,49 kJ/kg°C, 1 °C hőmérsékletcsökkenés hatására 244 kJ az energiaveszteség. A 0,5 °C-os csökkenés még elfogadható diszkomfortot okoz, azonban 2,6 °C-os csökkenésnél már extrém magas diszkomfortról beszélhetünk. [3.]

Legnagyobb hőmérséklete a nyugalomban lévő testnek van, terhelés hatására ez a hőmérséklet csökken, így gyorsabban megvalósul a hőleadás. Ha a helyiség levegőjének hőmérséklete a komforthatár fölé emelkedik, nő a szívfrekvencia – akár a 180/min értéket is elérheti – a kapillárisokba több vér áramlik, nő a bőr felületi hőmérséklete, ezáltal megvalósul a párologtatás és a konvekció. Látható jele, hogy a bőr kipirul. A test további hűtéséről a bőrben található verejtékmirigyek gondoskodnak, 28-29 °C-os környezeti hőmérséklet felett

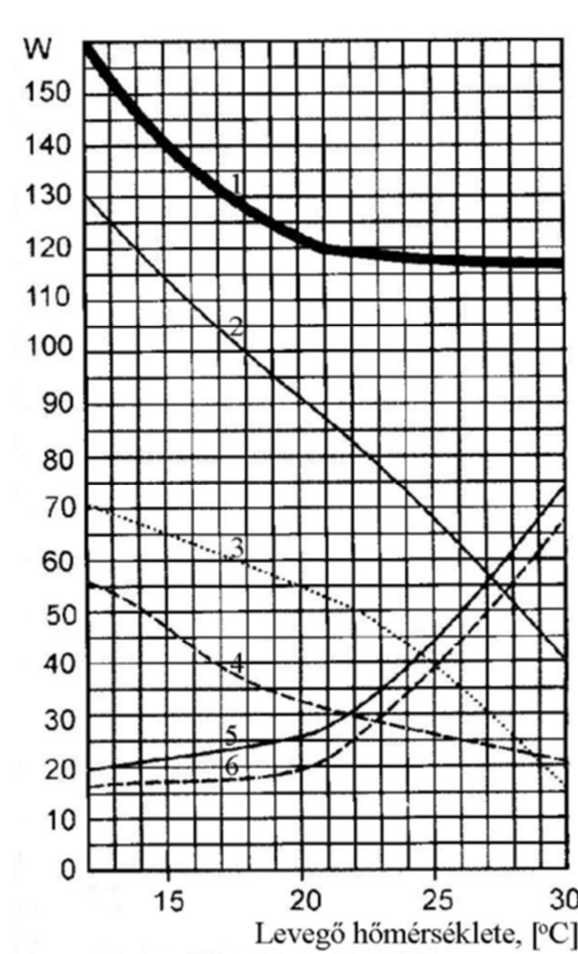
– Az ember egészségi állapotára ható komfortkörülmények – főként a hőkomfort – vizsgálata

megkezdődik a víz kiválasztása, azaz izzadni, párologtatni kezd. A verejtékezés egyfajta adiabatikus hűtésként is felfogható, mely a hőelvonas intenzitásának növeléséről gondoskodik. Ha a lehűlés valamilyen módon mégsem tud végbemenni, az a hipertermia miatt ájuláshoz, végső esetben pedig a keringés összeomlásához is vezethet. Az ember az 1,4 °C-os testközpont hőmérsékletnövekedést aránylag diszkomfort érzet nélkül elviseli, azonban a 2,8 °C-os növekedésre már ájulással reagál. 41 °C-os hőmérséklet már károsítja a hypothalamust, 43 °C felett pedig irreverzibilis folyamatok miatt beáll a halál. [3.] [15.]

Az emberi test hőleadását mutatja a következő ábra a levegő hőmérsékletének függvényében.

Az ábrán szereplő számok:

- 1 – összes hőleadás;
- 2 – száraz hőleadás;
- 3 – sugárzásos hőleadás;
- 4 – konvekciós hőleadás;
- 5 – nedves hőleadás: párolgás + légzés;
- 6 – párolgásos hőleadás: könnyű munka, normál ruházat, nyugvó levegő.



4. ábra: Az emberi test hőleadása [3.]

A felöltözött ember kb. 60 W/m^2 hőt ad le, eltérő azonban a különböző testrészek fajlagos hőleadása: a lábakon és a fejen keresztül „távozik” a legtöbb hő, a láb nagyon érzékeny a környező hőmérsékletváltozásra. A végtagok vannak leginkább kitéve a környezetből érkező hatásoknak, így ezek hőmérséklete a legjobb mutatója a hőérzetnek és ezáltal a folytatott tevékenység hatékonyságának. Ebből is látszik, mennyire fontos az épületgépészeti rendszerek tervezésekor az adott tér hőmérséklet eloszlása. A hőleadást befolyásolja még a nem, a testmagasság, a testfelület, a ruházat vastagsága, a végzett tevékenység intenzitása, stb. [3.] [13.] [15.]

Hőleadás szempontjából a ruházatnak van a legmeghatározóbb szerepe, hőellenállását, vagyis a hőszigetelő képességét a „clo” mértékegységgel fejezzük ki: $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{°C/W}$, értéktartományai a különböző típusú ruhák esetén:

2. táblázat: Ruházat „clo” értéke [13.]

Ruházat	clo érték
Normál utcai ruházat	1,0
Téli utcai ruházat	1,5 – 2,0
Sarkvidéki ruházat	4,0

1.5. Komfortérzet

Az emberek komfortérzete annak indikátora, hogy érzékszerveikkel, idegrendszerükkel, egészségi állapotukkal miként reagálnak az őket körülvevő, a külső környezetből érkező ingerekre, hatásokra. [13.]

A komfortérzetet befolyásoló tényezők:

- levegő (tisztasága, lélegeztetési állapot);
- a környező felületek hőmérséklete;
- ruházat, a környezettel való kapcsolat;
- nem, testalkat, kor;
- egészségi állapot;
- táplálékfelvétel;
- évszakok;
- a munkavégzés fajtája;

– Az ember egészségi állapotára ható komfortkörülmények – főként a hőkomfort – vizsgálata

–

- világítás, zajok, illatok, sugárzás;
- egyéb tényezők: falak színe, mennyezet, függönyök, bútorok.

Az összes tényező együttes hatását figyelembe véve normál öltözetű, tevékenységet nem folytató, ülő embernél a termikus komfortérzet határaiként a következők állapíthatók meg:

- A belső hőmérséklet legyen egyenletes, fejmagasságban és a falaktól legalább egy méter távolságban mérve lehetőség szerint 20-22 °C. A külső hőmérséklettől függően lehet magasabbra és alacsonyabbra is állítani.
- A légnedvesség télen és nyáron egyaránt $x = 5-12$ g/kg legyen.
- A légmozgás sebessége 0,2 m/s körüli érték legyen. [15.]

Az ember ugyan képes alkalmazkodni a változó külső körülményekhez, ennek ellenére létezik egy olyan meghatározható tartomány, amelyen belül a legjobban érzi magát, ez az úgynevezett komforttartomány. [15.]

1.6. Komfortjellemzők

Egy adott légállapot meghatározásához legalább négy – ma már öt – jellemzőre van szükség, ezek: a léghőmérséklet, a közepes falfelület-hőmérséklet, a légnedvesség és a légsebesség (illetve ötödikként említhető a belső levegőminőség). Egészségügyi szakemberek arra törekedtek, hogy a négy adat helyett, egy egységes mennyiséget hozzanak létre a termikus komfortérzet jellemzésére. Az úgynevezett klímaösszegmérés kísérletei:

1.6.1. Bőrhőmérséklet

A bőr hőmérséklete az egyes testrészeken eltérő, a levegővel való hő- és vízcsera mértékétől függően. „Általában a komfortérzet mutatójaként – a verejtékleadás mellett – egy adott személy közepes bőrhőmérséklete szolgál.” [15. 69. o.] A bőrben lévő hidegérzékelő receptorok és az elülső agytörzsben lévő melegérzékelő receptorok – összefoglaló néven termoreceptorok – irányítják a szervezet hőháztartását és ezáltal meghatározzák a termikus komfortérzetet. Ha a bőrhőmérséklet lecsökken 33 °C alá, akkor fázunk, ha azonban 37 °C fölé emelkedik, megindul a verejtékezés. A bőrben helyezkednek el a hidegérzékelő receptorok, melyek érzékenyek a huzattal és a hideg fallal szemben is.

1.6.2. Ekvivalens hőmérséklet

„Az ekvivalens hőmérséklet egy elképzelt helyiség belső felületi hőmérséklete azonos belső felület- és léghőmérséklettel és nyugvó levegővel, mellyel egy pl.: 34 °C-ra fűtött test ugyanazt a hőmennyiséget cseréli ki sugárzás és konvekció által, mint a tényleges helyiséggel.” [15. 69. o.] Eltér az operatív hőmérséklettől, mert figyelembe veszi a léghőmérséklet, a környező felületek hőmérsékletének és a légmozgás emberi testre gyakorolt hatásait is. (Az operatív hőmérséklet a konvektív és a sugárzási hőmérsékletek hőátadási tényezőkkel súlyozott átlaga.)

Az ekvivalens hőmérséklet a következő összefüggéssel határozható meg:

$$t_{eq} = \frac{\alpha_s \cdot t_{ks} + \alpha_c \cdot t_a}{(\alpha_s + \alpha_c)} = t_{cl} - \frac{R + C}{F_{Du} \cdot (\alpha_s + \alpha_c)}$$

ahol:

t_a : levegő hőmérséklete [°C]

t_{cl} : a ruházat külső felületi hőmérséklete [°C]

t_{ks} : közepes sugárzási hőmérséklet [°C]

α_s : sugárzási hőátadási tényező [W/m²°C]

α_c : konvektív hőátadási tényező [W/m²°C]

R: a ruházat felületéről sugárzással távozó hő [W]

C: a ruházat felületéről konvekcióval távozó hő [W]

F_{Du} : az emberi testfelület Du-Bois féle meghatározása [m²] (Nilsson 2004)

Ha a helyiségben egyenlő a levegő hőmérséklete a felületi hőmérséklettel, akkor az ekvivalens hőmérséklet a légmozgástól függ; nyugvó levegő esetén az ekvivalens hőmérséklet megegyezik az operatív hőmérséklettel.

1.6.3. Effektív hőmérséklet

Más néven hatásos hőmérséklet, amely egy fiktív fogalom, azonos komfortérzetet előidéző léghőmérséklet, nedvesség és légmozgás kombinációja, melyek mérési értékeiből lehet kiszámítani és az 50 %-os relatív nedvesség görbéről olvasható le a skála. „Az azonos effektív hőmérsékleti görbéket embereken végzett tömegkísérletekkel állapították meg és

– Az ember egészségi állapotára ható komfortkörülmények – főként a hőkomfort – vizsgálata

–

diagramokon ábrázolják.” [15. 69. o] Növekvő effektív hőmérséklet mellett emelkedik a légnedvesség.

1.6.4. A termikus komfort feltételei a DIN ISO 7730 (87.10) szerint

A szabvány szerint a komfort egy olyan képlettel számítható ki, melyet 1000 személyre határoztak meg és következő jellemzők tartoznak bele:

- aktivitási fok,
- a ruházat hővezetési ellenállása,
- belső léghőmérséklet,
- a környező falak közepes sugárzási hőmérséklete,
- légsebesség,
- légnedvesség. [15.]

1.6.5. A „mesterséges fej”

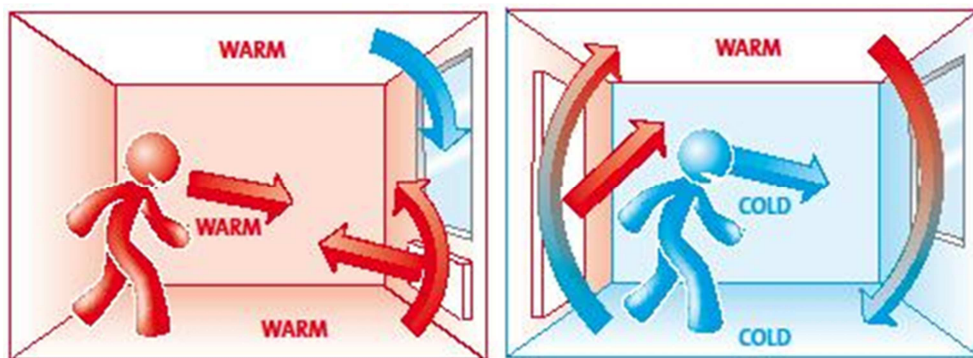
Egy irányérzékeny, négy hőszigetelt gömbszeletből álló, hőáramot mérő golyót elektromos fűtőellenállással fűtenek úgy, hogy állandó marad a felületi hőmérséklete. Segítségével irányfüggően érzékelhető a lég- és a falhőmérséklet, illetve a légmozgás is. Érdekessége, hogy a hidegebb – ablak felőli – oldalát jobban szükséges fűteni, mint egy belső falfelület felé eső részét. $100-130 \text{ W/m}^2$ hőleadás jellemző a komforttartományra, ami ettől eltérő, abban az esetben az ember vagy nagyon fázik, vagy túl melege van.

Összefoglalva a kísérleti módszereket, megállapítható, hogy nem létezik egy olyan komfortjellemző, ami egyesítené a négy – illetve öt – alapvető jellemzőt, így azokra mindig külön-külön szükséges kitérni. [15.]

2. Megoldási lehetőségek a tervezési gyakorlatban

Az egyes helyiségekben kialakuló hőérzeti jellemzőket az adott helyiség alapterületének geometriai középpontja felett, kb. 1-1,5 m-es magasságban lévő pontra szokták ellenőrizni. A kapott eredmények elemzésekor azonban figyelembe kell venni, hogy bizonyos paraméterek (felületi hőmérséklet, léghőmérséklet, huzat) egyenlőtlen térbeli eloszlása miatt a helyiség egyes pontjain lokális diszkomfort alakulhat ki. Erre különösen olyan helyiségekben, például tanterem, iroda, lakószoba kell odafigyelni, ahol a benntartózkodás hosszabb időtartamra terjed ki. A felületi hőmérséklet egyenlőtlen eloszlása miatt a hidegebb felületek felé intenzívebb sugárzásos hőáram távozik az emberi testről. Főként az ablakok környezetében kell ezzel számolni. A hideg felületek okozta aszimmetrikus sugárzás hatásait ki lehet küszöbölni például egy ablak alatt elhelyezett fűtőtesttel. [6.]

A hőmérséklet rétegződésének következménye a tér egyenlőtlen hőmérséklet eloszlása függőleges irányban. A vízszintes egyenlőtlenség attól függ, hol van elhelyezve a fűtőtest. Ez az egyenlőtlenség akkor kisebb, ha a fűtőtest a külső falak mentén található. [6.]



5. ábra: Fűtőtest hőleadása [2.]

Az ablak alatt elhelyezett fűtőtest konvekciós és sugárzási hőleadása optimális beltéri környezetet biztosít, így nincs az ablak alatt hideg huzatérzet. [2.]

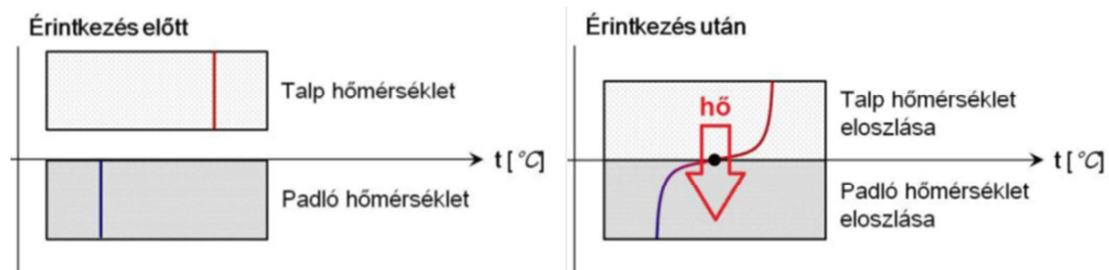
A hőmérsékletkülönbség nagyobb konvekciós fűtés esetén, mint a sugárzásos fűtések alkalmazásakor. [6.]

„Állandó emberi tartózkodásra szánt helyiségek padlóit hőelnyelés szempontjából méretezni, illetve ellenőrizni kell.” [11.]

– Az ember egészségi állapotára ható komfortkörülmények – főként a hőkomfort – vizsgálata

–

Két különböző hőmérsékletű test érintkezése során, hőáram indul meg közöttük, ami addig tart, amíg ki nem alakul egy közös hőmérséklet mindkét test érintkezési felületén. A hőáram nagysága változik, az összeérintés pillanatában a legnagyobb, majd fokozatosan csökken a hőmérséklet kiegyenlítődésével párhuzamosan. [5.]



6. ábra: Hőáram [5.]

A talpunkkal érzékeljük a padló hőmérsékletét; hogy milyen gyorsan vezeti el a hőt a talpunkról, attól függően érezzük hidegnek vagy melegnek. A padlók hőérzeti megítélésének alapja a hőelnyelési tényező, melyet „b”-vel jelölünk. Ez alapján a padlók hőérzeti besorolása:

- hidegpadló: $b < 0,7$
- félmeleg: $0,7 \leq b \leq 0,84$
- melegpadló: $b > 0,84$

A szabvány azt is kimondja, hogy padlófűtésnél a téli hőérzeti megítélés alapja a fűtött szerkezet felületi hőmérséklete.

A hőelnyelési tényező kiszámítása egyrétegű padló esetén:

$$b = \sqrt{\lambda \rho c} \left[\frac{W s^2}{mK} \right]^{\frac{1}{2}}. [5.] [11.]$$

3. táblázat: Hőelnyelési tényezők [2.]

Anyag	b (JKs ^{0,5} /m ²)
Parafa	126
Tölgyfa	314
Kerámia	1425
Beton	1675
Acél	21630
Emberi talp	1120 (kb.)

A padló szükséges felületi hőmérséklete függ a szigetelés mértékétől és a burkolat típusától. A fának és parafának lényegesen kisebb a hőmérsékletvezetési tényezője, mint az emberi talpnak, ezért azzal ezeket az anyagokat mezítláb lényegesen melegebbnek érezzük, mint a kerámiát vagy betont. [2.]

Mezítláb ugyanazt a semleges hőérzetet a padlólapok 26,4 °C a tölgy pedig 21,0 °C felületi hőmérsékleten biztosítják. A padlólapok 21,0 °C és a tölgy 7,0 °C felületi hőmérsékleten ugyanolyan hűvös hőérzetet okoznak. Az úgynevezett „hideg” burkolatok mint a padlólapok nyáron gyakran okoznak rossz hőérzetet, ennek megoldására a szabvány szezonális szőnyegborítást ajánl. [11.] [14.]

Az MSZ 04-140-2:1991-es szabvány leírja a padlók minőségére vonatkozó hőérzeti követelményeket, ezek:

- lakóhelyiség, kórterem, bölcsőde, óvoda és más hasonló nagy hőtechnikai igényű helyiségek: „meleg”;
- iroda, színház és olyan üzemek, ahol a dolgozók huzamosan egyhelyben tartózkodnak: legalább „félmeleg”;
- mellékhelyiség, ipari üzemek általában, raktárak, alárendeltebb helyiségek, stb. esetében megengedhető a „hideg”.

Manapság előszeretettel alkalmazunk felületfűtéseket, hiszen a nagy felületek egyenletes és alacsony hőmérséklete miatt nincsenek hőérzeti problémák. A tervezéskor figyelembe kell venni az egyes felületi hőmérsékletek megválasztását, például padlófűtés esetén a hatályos ajánlások 29 °C-os felületi hőmérsékletet javasolnak, melynek élettani megfontolásai is vannak. Ismert tény, hogy a talp és a padló közötti hőáram nagysága a köztük lévő hőmérsékletkülönbségtől függ. A túl alacsony hőmérsékletkülönbség következtében nem indul be olyan intenzív hőáram, melynek hatására a véráram is csökken. A lassult véráram számos egészségügyi problémát okozhat, melyek közül – elsősorban idős korban – a legelterjedtebb az alsó lábszár varicositasa, azaz visszeres megbetegedése.

Az emberi test hőleadásában fontos szerepet játszik a környező felületek átlaghőmérséklete, más néven a közepes sugárzási hőmérséklet, hatása megközelíti a léghőmérséklet befolyásoló szerepét. Például ha a falhőmérséklet jóval alacsonyabb, mint a belső levegő hőmérséklete, akkor a helyiség hőmérséklete is hidegebbnek érződik. Ebben az esetben a kellemes komfortérzet fenntartása érdekében növelni kell a belső hőmérsékletet. „A lég- és

– Az ember egészségi állapotára ható komfortkörülmények – főként a hőkomfort – vizsgálata

–

falhőmérséklet középértékét operatív helyiség hőmérsékletnek vagy érzékelt hőmérsékletnek nevezzük...” [15. 54. o.]

Definíció szerint az operatív hőmérséklet egy helyiségben a levegő és a felületek közepes sugárzási hőmérsékletének hőátadási tényezőkkel súlyozott átlaga:

$$t_o = \frac{\alpha_s \cdot t_{ks} + \alpha_c \cdot t_a}{\alpha_s + \alpha_c}$$

ahol:

t_o – operatív hőmérséklet [°C]

t_{ks} – közepes sugárzási hőmérséklet [°C]

t_a – levegő hőmérséklete [°C]

α_c – konvekciós hőátadási tényező [W/m²°C]

α_s – sugárzási hőátadási tényező [W/m²°C]

Huzamosabb emberi tartózkodásra alkalmas helyiségekben a külső levegővel alulról érintkező födém szerkezeteket úgy kell kialakítani, hogy az átlagos felületi hőmérséklet legfeljebb 2,5 K-nel legyen alacsonyabb a padlón az előírt belső helyiség hőmérsékleténél. A külső határoló szerkezeteket és nyílászárókat is úgy kell kialakítani, hogy a helyiséget burkoló összfelület súlyozott átlagos hőmérséklete legfeljebb 2,5 K-nel, több lehűlő felület és/vagy nagy üvegezési arány esetén annnyival legyen alacsonyabb az előírt belső helyiség hőmérsékleténél, amekkora eltérést a belső levegő hőmérséklete és az előírt belső hőmérséklet között az MSZ 04-140-3:1987 szabvány a lehűlő felületek száma és az üvegezési arány függvényében megad. A hőérzeti helyesbítéseket a következő táblázat tartalmazza:

4. táblázat: Korrekciós tényezők [12.]

Lehűlő felületek száma	Ebből üvegezett	A belső levegő hőmérséklete és a helyiség hőmérséklet különbsége, ha az üvegezett felület a lehűlő felülethez viszonyítva	
		≤ 50 %	> 50 %
1	1	0	1
2,3	1	1	2
	2	2	3
	3	3	4
4	1	2	3
	2	3	4
	3	4	5

A hőérzeti növekményekről szóló táblázatot megvizsgálva, láthatjuk, hogy az egy 1987-ben kiadott szabványban jelent meg, így felmerülhet a kérdés, hogy napjainkban mennyire van aktualitása. Az épületszerkezetek egyre vastagabb szigeteléssel vannak ellátva, tehát hőátbocsátási tényezőjük egyre alacsonyabb. Minél alacsonyabb az U-érték, annál magasabb a felületi hőmérséklet és ebben az esetben nem feltétlenül szükséges ilyen mértékű korrekciós tényezőket alkalmazni. Ennek szemléltetésére, számítások alapján a következő táblázatot készítettem el:

5. táblázat: Felületi hőmérsékletek alakulása

U	t_{bf}	Megjegyzés
[W/m ² K]	[°C]	
6	-6,3	
5	-1,9	
4	2,5	
3	6,9	Ablak (80'-as évek követelménye)
2	11,3	
1,6	13,0	Ablak (jelenlegi követelménye, TNM rendelet)
1,5	13,4	Kisméretű téglafal
1,15	15,0	Ablak (várható követelménye, 2020/31/EU direktíva)
1	15,6	
0,7	16,9	Külső fal (80'-as évek követelménye)
0,45	18,0	Külső fal (jelenlegi követelménye, TNM rendelet)
0,4	18,3	
0,35	18,5	
0,3	18,7	
0,24	19,0	Külső fal (várható követelménye, 2020/31/EU direktíva)
0,19	19,2	

A táblázat a 20 °C-os helyiséghőmérséklet, -15 °C-os külső méretezési hőmérséklet és 8 m²K/W hőátadási tényező figyelembevételével mellett kialakuló belső felületi hőmérsékleteket mutatja. A 80'-as évek követelményeihez képest kb. 1 °C-kal emelkedett a külső falak belső felületi hőmérséklete és a hamarosan életbe lépő követelmények újabb 1°C-os növekedést indukálnak. Az ablakok esetében markánsabb növekedés tapasztalható, a 80'-as évek adataihoz képest, a jelenlegi csaknem a kétszerese. Az új követelmények bevezetésével a felületi hőmérsékletek további növekedésére lehet számítani. Ezen adatok is azt a tényt támasztják alá, hogy nincs szükség ilyen mértékű hőérzeti növekmények alkalmazására.

Összefoglalás

Az épületek és a tervezés sajátosságainak (pl.: szigetelés) átalakulása bizonyos kérdések újragondolását és átértékelését teszi szükségessé.

A tervezés során a megfelelő körülményeket biztosító épületgépészeti rendszerek létrehozása a cél. Az általam felvázolt problémák is jelzik, hogy ez egy rendkívül összetett feladat és csak a tényezők részletes ismeretével, illetve azok mérlegelésével születethet helyes döntés.

Ábrajegyzék

1. ábra:	PMV diagram.....	8
2. ábra:	Termoreceptorok.....	10
3. ábra:	Az emberi test hőmérséklet ingadozása.....	11
4. ábra:	Az emberi test hőleadása.....	15
5. ábra:	Fűtőtest hőleadása.....	20
6. ábra:	Hőáram.....	21

Táblázatjegyzék

1. táblázat:	„met” egységek.....	13
2. táblázat:	Ruházat „clo” értéke	16
3. táblázat:	Hőelnyelési tényezők.....	22
4. táblázat:	Korrekciós tényezők.....	24
5. táblázat:	Felületi hőmérsékletek alakulása.....	24

Irodalomjegyzék

1. Bajnóczy Gábor, Bánhidi László és mtsai: Épületgépészet 2000 - Alapismeretek I, Épületgépészet Kiadó Kft., Budapest, 2000
2. Baumann Mihály előadás jegyzet (Purmo)
3. Dr. Kalmár Ferenc: A belső környezet minősége, TERC Kiadó, Budapest, 2013
4. Épületgépészet Kiadó Kft., Budapest, 2001
5. Fülöp László: Épületfizika I. előadásvázlata 2014
6. Fülöp László: Hőérzet című előadás jegyzete
7. Homonnay Györgyné, Barna Lajos és mtsai: Épületgépészet 2000 - Fűtéstechika II, Épületgépészet Kiadó Kft., Budapest, 2000
8. <http://hu.wikipedia.org/wiki/Hipotalamusz> (2014. november 3.)
9. <http://www.neurophysiology.ws/receptors.htm> (2014. november 20.)
10. http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2010-0019_Epuletenergetika/ch04.html (2014. november 5.)
11. MSZ 04-140-2:1991 – Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai, Hőtechnikai méretezés
12. MSZ 04-140-3-1987 – Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai, Fűtési hőszükségletszámítás
13. Prof. Barótfi István PhD, Halász Györgyné PhD: Irodaépületek épületgépészeti kialakításának energetikai összefüggései, Gödöllő, 2012. július
14. Purmo katalógus
15. Recknagel, Sprenger, Schramek: Fűtés- és klímatechnika 2000 I. kötet, Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs, 2000