

Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék



Szellőzési hőveszteségek vizsgálata különböző fűtési módok esetén

Szerző: Győri Sándor Tamás Gépészmérnöki BSc

Témavezető: Prof. Dr. Kalmár Ferenc
Tanszékvezető: Prof. Dr. Lakatos Ákos

Debrecen
2023.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	1
2. A kutatás célja.....	2
3. A vizsgált épületek bemutatása.....	3
4. Hőszükségletek	7
5. A kiválasztott helyiségekben alkalmazott radiátorok kiválasztása	8
6. Besugárzási tényezők a két kiválasztott helyiségben.....	11
7. Felületi hőmérsékletek számításához használt összefüggések	26
8. Közepes sugárzási hőmérsékletek, operatív hőmérsékletek, bőrhőmérsékletek	29
9. Új lég- és közepes sugárzási hőmérsékletek	42
10. Korrigált szellőzési és transzmissziós hőveszteségek	44

1. Bevezetés

Az Európai Unió országában már több évtizede folyamatosak a törekvések, melyeknek célja az épületek energiafogyasztásának csökkentése. A közel nulla energiaigényű épületek (KNE) fogalma a 2010-es energetikai irányelv szövegében jelenik meg [1]. Több kutató tett kísérletet arra, hogy meghatározza a KNE fogalmát, [2-5]. Paleotti [6] és D'Agostino [7] arra a következtetésre jutott, hogy különböző európai országok eltérően értelmezik a KNE fogalmát, így eltérők a KNE követelmények is. Ugyanakkor kijelenthető, hogy a KNE követelményeknek köszönhetően az új épületek jelentősen kisebb energiaigénnyel rendelkeznek, mint a 2000 években vagy a 2000 év előtt épült épületek [5]. Nem csak az Európai Unió országai törekednek az épületek energiaigényének minimalizálására. Liu et al [8] ismertette, hogy Kínában hogyan értelmezik a közel nulla energiaigényű épületek fogalmát, illetve a jelenleg érvényben lévő szabályozást. Egy másik tanulmányában [9] ugyanez a szerző bemutatja azokat az épülettechnikai rendszereket és technológiákat, melyeket széles skálán alkalmaznak a KNE épületekben Kínában. A KNE épületek ugyanakkor nem jelentenek végleges megoldást az épületek energiafogyasztásának minimalizálása területén. Cao et al [10] készített egy összehasonlítást az EU, Kína és az USA vonatkozásában nulla energiaigényű épületek építésével elért energia megtakarításokra fókuszálva. Magrini et al [11] pedig már az energetikai rendszerbe visszatermelő épületek vonatkozásában készített tanulmányt. A dekarbonizált épületek fogalma csak néhány éve jelent meg és ebben az értelmezésben a fő cél a széndioxid kibocsátások minimalizálása az épület teljes életciklusa során [12-13]. A Debreceni Egyetem Épületgépészeti és Lésztéchnikai Tanszékén számos tanulmány és jelentős publikáció jelent meg az elmúlt évek során, melyek szorosan kapcsolódnak a KNE épületek megvalósításához. A tanszék kutatásainak egyik fő területe a hőszigetelő anyagok hőtechnikai paramétereinek vizsgálata [14-18]. Az alacsony exergiaigényű abszorpciós hűtési rendszerekkel, illetve az energiamegtakarítást eredményező hőszivattyúk alkalmazásával kapcsolatosan több eredmény is publikáltak [19-20]. A légtechnikai rendszerek energiatudatos üzemeltetése, pedig szintén a tanszék kutatási fókuszterületei közé tartozik [21-24]. Az energiafogyasztás minimalizálása azonban nem az egyetlen kiemelt célkitűzés az épületek vonatkozásában. Az épületekben tartózkodók komfortigénye is folyamatosan növekedett az elmúlt évek során. Rhee et al [25] kiemeli a tanulmányában, hogy az alacsony hőmérsékletű sugárzó fűtések egyik legfontosabb előnye a „hagyományos” konvekciós (radiátor, fan-coil) fűtésekkel szemben, a jobb hőérzet biztosítása. Természetesen az épületszerkezetek

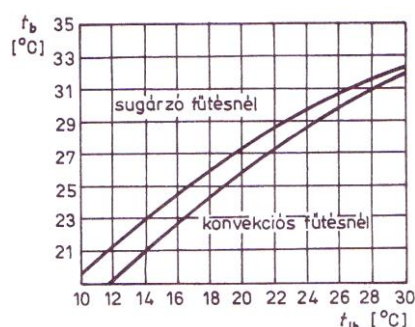
alkalmazása felületfűtésre nem újszerű. A Római Birodalomban (Hypocaustum), Kínában (Kang), illetve Koreában is (Ondol) több ezer éve is alkalmazták ezt a fajta fűtési módot [26]. A KNE épületekben előszeretettel alkalmazzák az alacsony hőmérsékletű felületfűtést, illetve a magas hőmérsékletű felülethűtést [27-30]. Hazánkban is nagy hagyománya van a sugárzó fűtésekkel kapcsolatos kutatásoknak. Elsőként Macskásy elemezte ezen rendszerek energetikai hatékonyságát a kivitelezési módok és üzemeltetési paraméterek függvényében [31]. Bánhidi számos sugárzó fűtésekkel kapcsolatos tanulmányt publikált és több doktori disszertáció is készült vezetésével ebben a témában [32-35]. A Debreceni Egyetem Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszékén is számos kutatás, publikáció és doktori disszertáció készült az elmúlt évek során, [36-43]. A komfortelmélet tankönyvben [44] megtalálható egy diagram, mely szerint a kialakuló átlagos bőrhőmérséklet magasabb a sugárzó fűtések esetében, mint a konvekciós fűtések esetében. Nem találtam azonban arra vonatkozó utalást, hogy ez a diagram pontosan milyen körülmények között alkalmazható? Milyen hőmérséklete lehet a sugárzópaneleknek? Milyen hőmérséklete lehet a környező felületeknek?

2. A kutatás célja

Az elmúlt két évtizedben (2002-2022) az épületek határolószerkezetire vonatkozóan három követelményrendszert különböztethetünk meg. Ennek megfelelően egy azonos geometriával rendelkező épület esetében a határoló felületek hőmérséklete azonos külső éghajlati paraméterek mellett (napsugárzás, hőmérséklet) eltérő lesz. Vizsgálataim célja az, hogy két hasonló alapterülettel és fűtött térfogattal rendelkező épület esetében (az egyik földszintes, a másik kétszintes) egy-egy kiválasztott helyiségben elemezzem a közepes sugárzási hőmérséklet, az operatív hőmérséklet és a bőrhőmérséklet alakulását a külső hőmérséklet függvényében három különböző követelményrendszer esetében: 2002, 2012 és 2022 évben érvényes hőtechnikai követelmények. Három különböző fűtési megoldást veszek figyelembe: radiátoros fűtés, padlófűtés, illetve padló- és mennyezetfűtés. Végül meghatározásra kerülnek azok a lég- és közepes sugárzási hőmérséklet értékek, melyek állandó operatív hőmérsékletet biztosítanak a fűtési idény során. Az új léghőmérsékletek ismeretében a szellőzési hőveszteségek kerülnek meghatározásra a vizsgált 18 esetben (kétféle épület, háromféle követelményrendszer és háromféle fűtési rendszer).

Kutatásaimhoz a rendelkezésemre álló szakirodalom alapján saját excel táblákat készítettem és ezek segítségével számoltam, illetve diagramokat készítettem.

Ismert, hogy a sugárzó fűtések alkalmazásával nagyobb lesz a bőrhőmérséklet, mint a hagyományos konvekciós fűtések alkalmazása esetében (2.1. ábra). A kutatás céljának alapját az a kérdés képezte, hogy mennyi lehet ennek a különbségnek a mértéke alacsony hőmérsékletű sugárzó fűtések vs. radiátoros fűtések esetében, különböző energetikai követelményeknek megfelelő lakóépületek esetében?



2.1 ábra: Az átlagos bőrhőmérséklet a léghőmérséklet és az alkalmazott fűtési rendszer függvényében, [45]

3. A vizsgált épületek bemutatása

A kutatásom során vizsgált épületek kiválasztásának alapját - ahogyan a bevezetőben is megemlítsük - az alapterület, a fűtött térfogat, illetve ezek hányadosa, az A/V arány jelentette.

Az elemzés kiindulásaként szolgáló földszintes családi ház Kunhegyesen található, a Feketehegy utca 28. szám alatt.

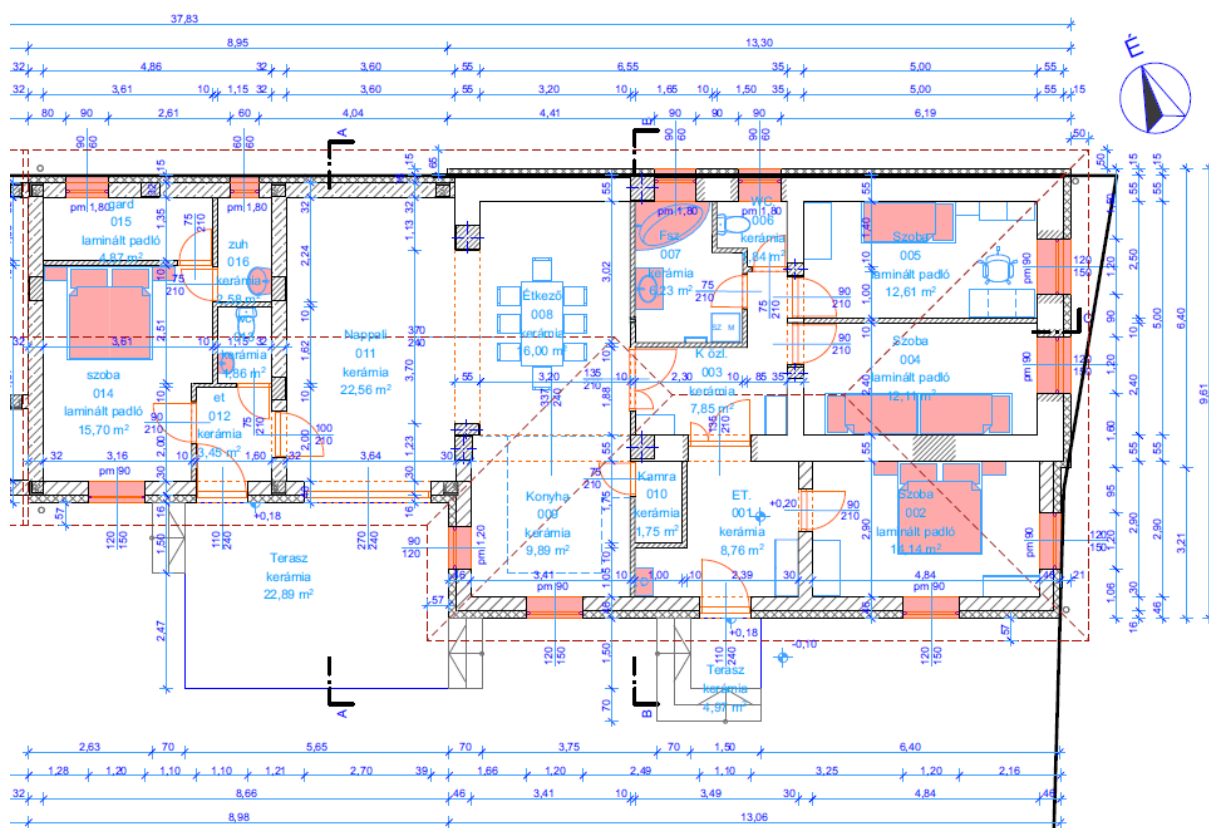


3.1 ábra: a vizsgált földszintes családi ház utcaképei

Történetét tekintve az 1930-as évek körül épülhetett, majd 2021-ben esett át egy átfogó rekonstrukción mind építészeti, mind a gépészeti rendszerét tekintve. Elhelyezkedés szempontjából megállapítható, hogy hossz tengelye Kelet-Nyugat tájolással, nagy felületű, Délre néző homlokzattal rendelkezik. Az épület szerkezeti között alapvetően megtalálható

külső homlokzati hőszigeteléssel ellátott vályogtégla-, illetve kunsági HB30 blokk-tégla falazat. A padlásfödém fagerendák közé és fölé helyezett kőzetgyapot hőszigetelés alkotja, amely alatt gipszkarton álmennyezet található. Az épület nyílászárói fokozott légzárású műanyag nyílászárók.

Fűtött nettó alapterülete $A=142,2 \text{ m}^2$, a 2,8 m belmagasság figyelembevételével a fűtött légtérfogat $399,84 \text{ m}^3$.



3.2 ábra: A vizsgált földszintes családi ház alaprajza

Személyes tapasztalattal rendelkezem ezzel az épülettel kapcsolatban, és kijelenthető, hogy az itt a gyakorlatban üzemelő padló- és mennyezetfűtési megoldás jelentős hatást gyakorolt rám, hogy ezen kutatást erre elvégezzem.

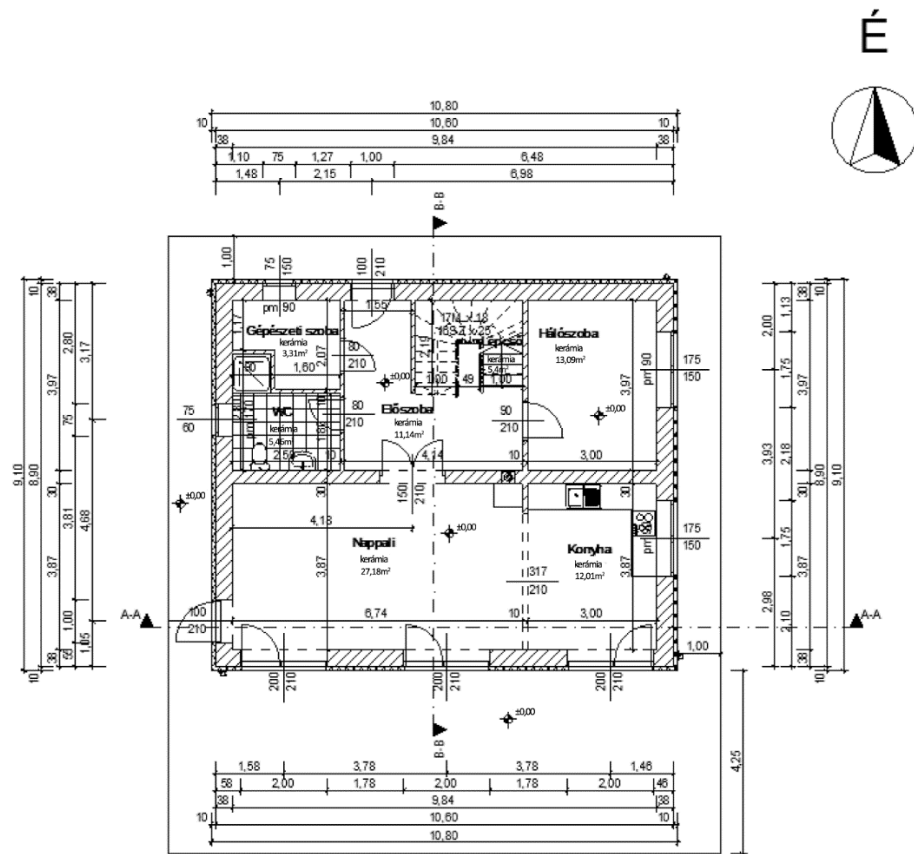
Az elemzés második alappillére egy Debrecenben található emeletes családi ház jelenti. Elhelyezkedését tekintve hossz tengelye Kelet-Nyugat tájolással rendelkezik. Az épülettel kapcsolatban megemlíteném, hogy alapesetben falazata külső homlokzati hőszigeteléssel ellátott POROTHERM üreges téglafalazat. A padlásfödém hőszigetelt monolit vasbeton födém. Az épület nyílászárói fokozott légzárású műanyag nyílászárók.

Fűtött nettó alapterülete $A=143,05 \text{ m}^2$, belmagassága a földszinten 2,67 m, emeleten 2,8 m.

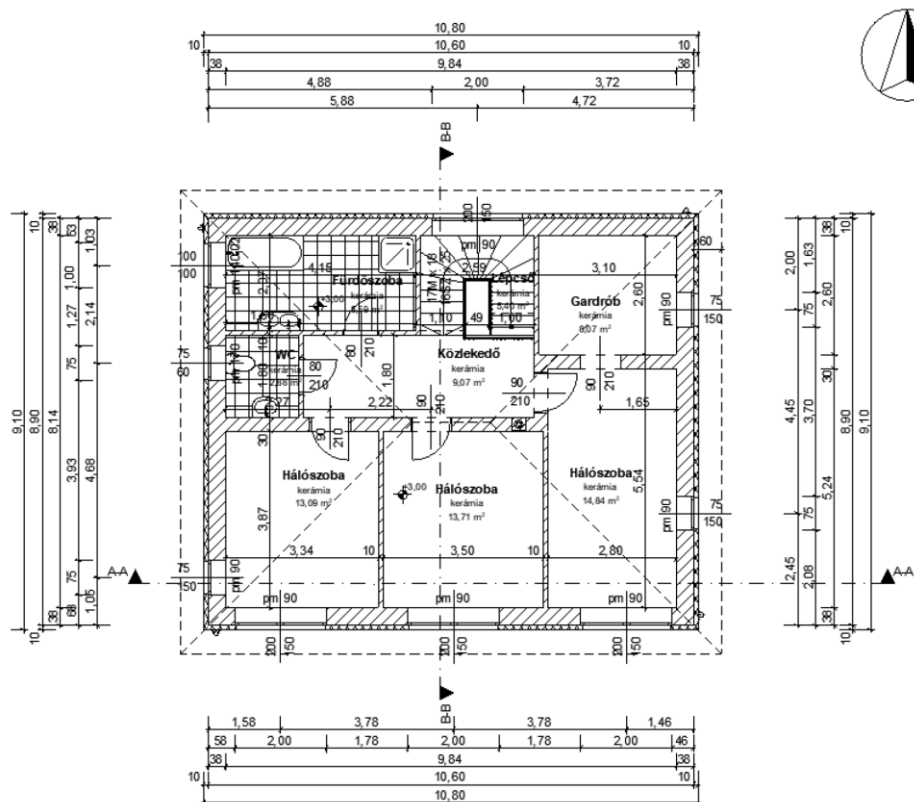
A fűtött légtérfogat $391,78 \text{ m}^3$.



3.3 ábra: A vizsgált emeletes családi ház utcaképe



3.4 ábra: A vizsgált emeletes családi ház földszinti alaprajza



3.5 ábra: A vizsgált emeletes családi ház emeleti alaprajza

Mivel a jelen kutatás célja a szellőzési hőveszteségek összehasonlítása, így az objektivitást szem előtt tartva a kiválasztott épületek külső határoló szerkezetei homogenizálásra kerültek. Ezen szerkezetek összeállításánál törekedtem, hogy az adott tárgyévra vonatkozó hőtechnikai paraméterek előírásainak való megfelelés mellett a korabeli építőanyag választékból dolgozzak. A három vizsgált évben hatályos hőtechnikai előírásokat a 3.1 táblázat tartalmazza.

3.1 táblázat: Az épületekkel szemben támasztott hőtechnikai előírások [46]:

Év	Követelmények	
2002	$U_{\text{külső fal, [W/m}^2\text{K]}}$	0.7
	$U_{\text{padlásfödém, [W/m}^2\text{K]}}$	0.4
	$U_{\text{ablak, [W/m}^2\text{K]}}$	3.0
	$U_e, [\text{W/m}^2\text{K}]$	2.0
	$q, [\text{W/m}^3\text{K}]$	$q = \frac{K_{tr}}{V} \leq 0.6 \frac{\sum A}{V} + 0.1$
2012	$U_{\text{külső fal, [W/m}^2\text{K]}}$	0.45
	$U_{\text{padlásfödém, [W/m}^2\text{K]}}$	0.25
	$U_{\text{ablak, [W/m}^2\text{K]}}$	1.60
	$q, [\text{W/m}^3\text{K}]$	$q = \frac{1}{V} \left(K_{tr} - \frac{Q_{sd} + Q_{sid}}{H} \right) \leq 0.38 \frac{\sum A}{V} + 0.086$
	$E_p, [\text{kWh/m}^2\text{a}]$	$120 \frac{\sum A}{V} + 74$
2022 (nzeb)	$U_{\text{külső fal, [W/m}^2\text{K]}}$	0.24
	$U_{\text{padlásfödém, [W/m}^2\text{K]}}$	0.17
	$U_{\text{ablak, [W/m}^2\text{K]}}$	1.15
	$q, [\text{W/m}^3\text{K}]$	$q = \frac{1}{V} \left(K_{tr} - \frac{Q_{sd} + Q_{sid}}{H} \right) \leq 0.2296 \frac{\sum A}{V} + 0.05143$
	$E_p, [\text{kWh/m}^2\text{a}]$	100
	Az E_p minimum 25%-át megújuló energiaforrásból kell fedezni	

Az adott határoló szerkezetek hőátbocsátási tényezőinek meghatározására alkalmazott összefüggések:

$$R_{\bar{o}} = \frac{1}{h_i} + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_e} \quad (3.1)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_e}} \quad (3.2)$$

A vizsgálat alatt alkalmazott szerkezetek listáját az 1. számú melléklet tartalmazza.

4. Hőszükségletek

A homogenizált szerkezetek segítségével az adott évekre meghatározhatóak az így kapott épületek hőszükségletei a vizsgált fűtési módokhoz társítva.

A hőszükségletszámítás során az alábbi összefüggések kerültek felhasználásra [47]:

Az adott épületszerkezet hővesztesége:

$$\dot{Q}_{tr} = C \cdot A \cdot U \cdot (t_i - t_e) \quad (4.1)$$

Talajra fektetett padló hővesztesége:

$$\dot{Q}_{tfp} = \psi_p \cdot l \cdot (t_i - t_e) \quad (4.2)$$

Hőhidak mentén keletkező hőveszteség:

$$\dot{Q}_{hh} = \sum (\psi \cdot l) \cdot (t_i - t_e) \quad (4.3)$$

Az adott helyiség szellőzési hővesztesége:

$$\dot{Q}_{sz} = 0,35 \cdot n \cdot V \cdot (t_i - t_e) \quad (4.4)$$

ahol $n=0,5$ 1/h

Helyiség hővesztesége:

$$\dot{Q} = \sum \dot{Q}_{tr} + \dot{Q}_{tfp} + \dot{Q}_{hh} + \dot{Q}_{sz} \quad (4.5)$$

A fűtési hőszükségletek meghatározása az Észak-Kelet és Kelet magyarországi méretezési állapot, $t_e = -15$ °C-os külső levegőhőmérséklet mellett került meghatározásra (A vizsgált földszintes épület eredeti, valós földrajzi elhelyezkedését tekintve ennek a kitételnek a valóságban is eleget tesz).

A hőhidak számításánál a vonalmenti hőátbocsátási tényezők az Épületfizika Jegyzetben [47] található értékek szerint lettek figyelembe véve.

Az épületek hőveszteségeit taglaló táblázatok a 2. számú mellékletben találhatók.

A vizsgálat folytatásához szükség van kettő közel azonos alapterületű, és hasonló geometriai méretekkel rendelkező helyiségre. Jelen esetben ezeknek a feltételeknek a földszintes épület 002-es számú, Szoba megnevezésű ($A=14,14$ m², $V=39,982$ m³), illetve az emeletes épület 106-os számú, Hálósoba megnevezésű ($A=14,84$ m², $V=41,552$ m³) helyiségpár eleget tesz.

5. A kiválasztott helyiségekben alkalmazott radiátorok kiválasztása

Mint ahogyan az már a dolgozat 2. bekezdésében megemlítsre került, a vizsgálatom során a radiátoros, tisztán padlófűtéses, illetve a padló-, és mennyezetfűtéses megoldásokat vizsgálom, amelyek szétválasztásának a későbbiekben lesz jelentősége.

	002 Szoba	106 Hálósoba
2002	1538 W	1424 W
2012	1140 W	988 W
2022	883 W	753 W

5.1 táblázat A kiválasztott helyiségek hőveszteségei radiátoros fűtési mód esetén

Az épületek esetén alkalmazott előremenő-, illetve visszatérő vízhőmérsékletek:

2002: 70/50 °C, $t_i=20$ °C

2012: 60/45 °C, $t_i=20$ °C

2022: 50/40 °C, $t_i=20$ °C

Az általam alkalmazott hőleadó a Vogel&Noot VONOVA T6 22K kompakt lapradiátor, amelynek a névlegesen leadott hőteljesítményét a gyártó 90/70/20 °C-os hőfoklépcső mellett adta meg. A típus műszaki adatait tartalmazó táblázatát a 3. számú melléklet tartalmazza.

Az általam alkalmazott vízhőmérsékletek mellett így a radiátor által leadott valós hőteljesítmény az alábbi összefüggéssel számolható [48]:

$$q = q_0 \cdot \left(\frac{\Delta t_{ln}}{\Delta t_{ln0}} \right)^n \quad (5.1)$$

ahol:

- q_0 – a radiátor névleges paraméterek mellett leadott hőteljesítménye [W]
- Δt_{ln} -az adott évben alkalmazott hőmérsékletekből számolt logaritmikus hőmérsékletkülönbség [K]
- Δt_{ln0} – a gyártó által megadott hőmérsékletek mellett számolt logaritmikus hőmérsékletkülönbség [K]
- n – exponenciális kitevő, 600 mm építési magasságú 22K radiátor esetén $n=1,343$

A logaritmikus hőmérsékletkülönbségek meghatározására alkalmas összefüggés [48]:

$$\Delta t_{ln} = \frac{t_s - t_r}{\ln \frac{t_s - t_i}{t_r - t_i}} \quad (5.2)$$

ahol:

- t_s – az előremenő csővezetékben a vízhőmérséklet [°C]
- t_r – a visszatérő csővezetékben a vízhőmérséklet [°C]
- t_i – a helyiség belső hőmérséklete [°C]

Az így kapott logaritmikus hőmérsékletkülönbségek a következők:

$\Delta t_{ln0}=59,44$ K

$\Delta t_{ln2002}=39,15$ K

$\Delta t_{ln2012}=31,91$ K

$\Delta t_{ln2022}=24,66$ K

Radiátor kiválasztás a földszintes épület 002 helyiségébe:

alkalmazott hőleadók:

600 mm építési magasságú, 720 mm hosszúságú 22K radiátor névleges hőteljesítménye:

$$q_0=1576 \text{ W}$$

2002:

2db 720 mm hosszú radiátor hőleadása az alkalmazott paraméterekkel:

$$q = 2 \cdot 1576 \cdot \left(\frac{39,15}{59,44} \right)^{1,343} = 1799,02 \text{ W}$$

2012:

2db 720 mm hosszú radiátor hőleadása az alkalmazott paraméterekkel:

$$q = 2 \cdot 1576 \cdot \left(\frac{31,91}{59,44} \right)^{1,343} = 1367,01 \text{ W}$$

2022:

2db 720 mm hosszú radiátor hőleadása az alkalmazott paraméterekkel:

$$q = 2 \cdot 1576 \cdot \left(\frac{24,66}{59,44} \right)^{1,343} = 967 \text{ W}$$

Radiátor kiválasztás az emeletes épület 106 helyiségébe:

alkalmazott hőleadók:

600 mm építési magasságú, 400 mm hosszúságú 22K radiátor névleges hőteljesítménye:

$$q_0=875 \text{ W}$$

600 mm építési magasságú, 920 mm hosszúságú 22K radiátor névleges hőteljesítménye:

$$q_0=2013 \text{ W}$$

2002:

1db 400 mm +1db 920 mm hosszú radiátor hőleadása az alkalmazott paraméterekkel:

$$q = (875 + 2013) \cdot \left(\frac{39,15}{59,44} \right)^{1,343} = 1648,34 \text{ W}$$

2012:

1db 400 mm +1db 920 mm hosszú radiátor hőleadása az alkalmazott paraméterekkel:

$$q = (875 + 2013) \cdot \left(\frac{31,91}{59,44} \right)^{1,343} = 1252,52 \text{ W}$$

2022:

1db 400 mm +1db 920 mm hosszú radiátor hőleadása az alkalmazott paraméterekkel:

$$q = (875 + 2013) \cdot \left(\frac{24,66}{59,44}\right)^{1,343} = 886,05 \text{ W}$$

A kiválasztott radiátorok a helyiségek nyílászáró méreteinek megfelelően kerülnek elhelyezésre az ablakok alá, középre, a padlótól 0,15 m magasságban.

6. *Besugárzási tényezők a két kiválasztott helyiségben*

A mai korunk embere számára kiemeleten fontos a kellemes hőérzet megteremtése. Az emberi szervezet, mint minden más test, termodinamikai kölcsönhatásban van a környezetével. A hőtán három alapvető hőközlési formát különböztet meg. Ezek a hővezetés, konvekció, illetve a hősugárzás. Ezen folyamatok közül az emberi testet nézve a hővezetésnek igen alacsony jelentősége, csekély mértékben érvényesül. A testünk így hősugárzás, konvekció és párolgás útján ad át hőt, illetve vesz fel a környezetétől.

Ezek aránya az alábbi [45]:

- hősugárzás: 42-44%
- konvekció: 32-35%
- párolgás: 21-26%

Ebből kiindulva könnyű belátni, hogy az emberi szervezetre a hősugárzással a bőr felületére érkező hőáramok a legdominánsabbak, éppen ezért az általunk érzékelt hőmérséklet nem a minket közvetlenül körülvevő levegő hőmérséklete, hanem az úgynevezett operatív hőmérséklet.

Az operatív hőmérséklet meghatározására alkalmas összefüggés [45]:

$$t_{op} = \frac{h_r \cdot \bar{t}_r + h_c \cdot t_a}{h_r + h_s} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (6.1)$$

ahol:

- h_r – sugárzásos hőátadási tényező
- $\bar{t}_r$ – közepes sugárzási hőmérséklet
- h_c – konvekciós hőátadási tényező
- t_a – levegő hőmérséklet

Az operatív hőmérséklet meghatározásához tehát szükséges a közepes sugárzási hőmérséklet ismerete, amely a következő összefüggés segítségével számítható [45]:

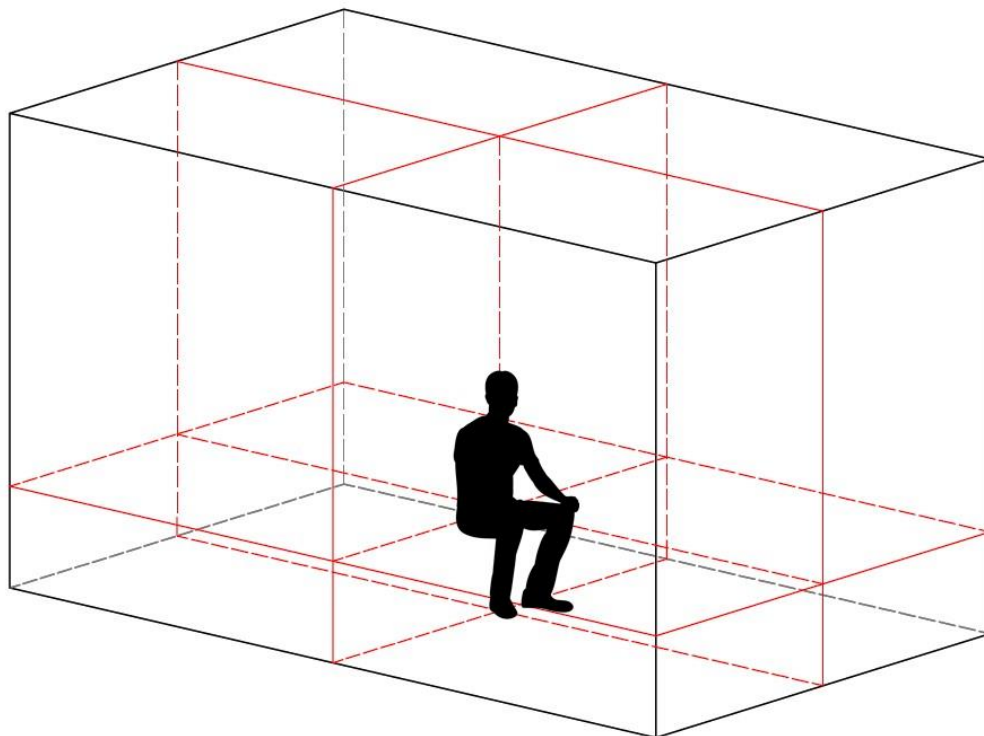
$$\bar{t}_r = \sqrt[4]{\sum_{j=1}^n \varphi_j \cdot T_j^4} - 273 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (6.2)$$

T_j -a felület hőmérséklete Kelvinben

φ_j - besugárzási tényező az ember és a felület között

Az így szükséges besugárzási tényezők meghatározása Fanger által kidolgozott elmélet, és a hozzá tartozó diagramok [49] segítségével lehetséges.

Jelen esetben a kettő kiválasztott helyiségben a vizsgálat alanya a helyiségek mértani közepén foglal helyet, ülő pozícióban, nyugalmi állapotban.

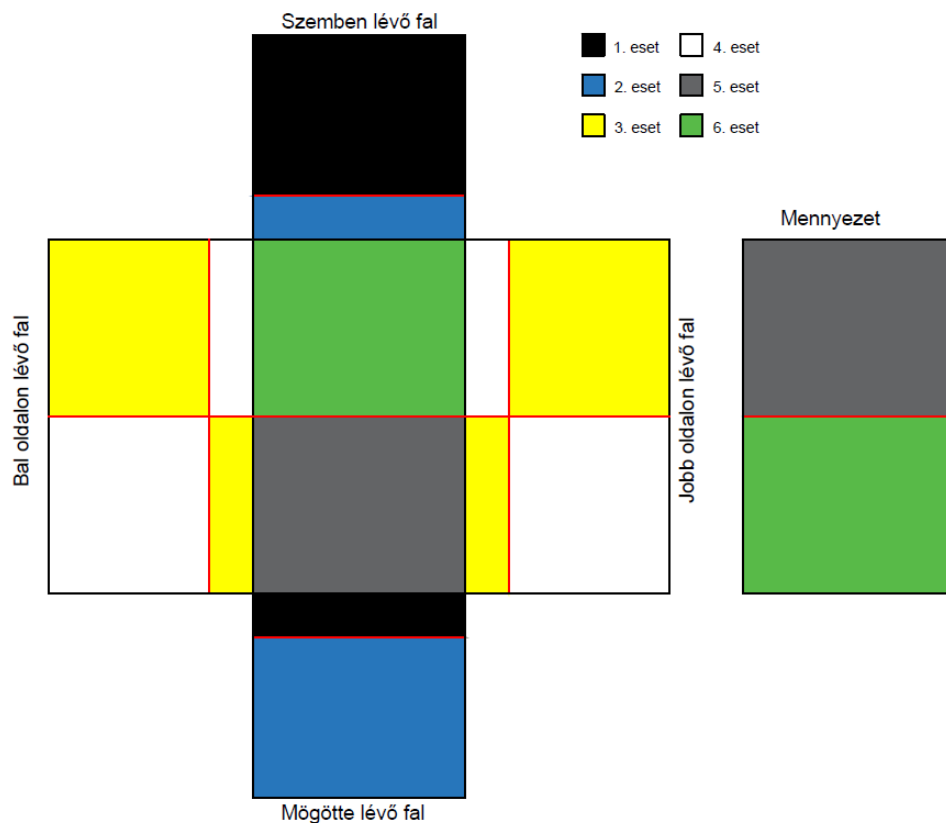


6.1 ábra: A besugárzási tényezők vizsgálatához szükséges alaphelyzet illusztrációja

Fanger kidolgozott elmélethez 6 esetre ad meg a gyakorlatban használható diagramokat:

1. Az egyénnel szemben, középpontja felett vagy háta mögött, középpontja alatt lévő függőleges felület
2. Az egyénnel szemben, középpontja alatt vagy háta mögött, középpontja felett lévő függőleges felület
3. Az egyén oldala melletti függőleges felületek, elől középpontja felett, vagy hátul középpontja alatt
4. Az egyén oldala melletti függőleges felületek, elől középpontja alatt vagy hátul középpontja felett
5. Az egyén középpontja előtt, a feje fölött (mennyezet) és középpontja mögött hátul, alul (padló) elhelyezkedő vízszintes felületek
6. Az egyén középpontja előtt, alul (padló) és középpontja mögött, hátul, feje felett (mennyezet) lévő vízszintes felületek

Az aktuálisan vizsgált helyiségek geometriájához hasonló, a fentebb látott ábrához készült szemléltető ábra a 6 esetre:



6.2 ábra: Fanger emberre vonatkoztatott besugárzási tényezőinek 6 alapesetének szemléltetése

Az emberrel szemben lévő falon elhelyezett radiátor 0,6 m alatt:

$$a=0,61 \ b=0,45 \ c=2,42 \ a/c=0,252 \ b/c=0,186 \ - \ \varphi=0,003$$

Az emberrel szemben lévő falon elhelyezett radiátor 0,6 m alatt balról:

$$a=0,11 \ b=0,45 \ c=2,42 \ a/c=0,0454 \ b/c=0,1859 \ - \ \varphi=0,0007$$

Az emberrel szemben lévő falon elhelyezett radiátor + fal 0,6 m felett - $\varphi=0,0075$

Az emberrel szemben lévő falon elhelyezett radiátor 0,6 m felett balról:

$$a=0,11 \ b=0,15 \ c=2,42 \ a/c=0,0454 \ b/c=0,0619 \ - \ \varphi=0,0003$$

Az emberrel szemben lévő falon 0,6 m feletti összes felület (fal + ablak + radiátor):

$$a=1,45 \ b=2,2 \ c=2,42 \ a/c=0,599 \ b/c=0,909 \ - \ \varphi=0,036$$

Az emberrel szemben lévő falon 0,6 m felett, balra ablak + fal + radiátor felület:

$$a=0,35 \ b=1,8 \ c=2,42 \ a/c=0,144 \ b/c=0,743 \ - \ \varphi=0,0065$$

Az emberrel szemben lévő falon fal + ablak:

$$a=0,35 \ b=0,3 \ c=2,42 \ a/c=0,144 \ b/c=0,124 \ - \ \varphi=0,0025$$

$$\text{Ebből az ablak rész: } 0,0065 - 0,0025 = \varphi=0,004$$

Az emberrel szemben lévő falon elhelyezett radiátor 0,6 m felett jobb oldalon:

$$a=0,61 \ b=0,15 \ c=2,42 \ a/c=0,252 \ b/c=0,0619 \ - \ \varphi=0,001$$

Az emberrel szemben lévő fal összes felülete (fal + ablak + radiátor): $\varphi=0,036$

Az emberrel szemben lévő fal + ablak + radiátor rész:

$$a=0,85 \ b=1,8 \ c=2,42 \ a/c=0,351 \ b/c=0,743 \ - \ \varphi=0,0185$$

Az emberrel szemben falon a fal rész (radiátor területét magába foglalja):

$$a=0,85 \ b=0,3 \ c=2,42 \ a/c=0,351 \ b/c=0,124 \ - \ \varphi=0,002$$

$$\text{Az emberrel szemben lévő fal ablak része: } 0,0185 - 0,002 = \varphi=0,0165$$

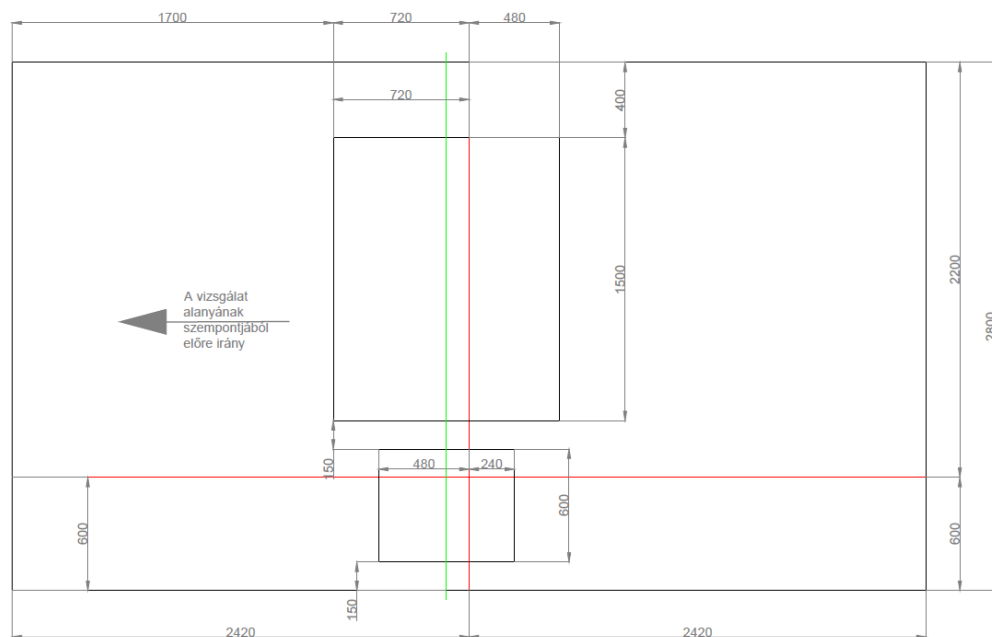
$$\text{Bal oldali ablak rész: } \varphi=0,004$$

$$\text{Az egész ablak az emberrel szemben lévő falon: } \varphi=0,0205$$

$$\text{Radiátor: } 0,001 + 0,0003 + 0,003 + 0,0007 = \varphi=0,005$$

$$\text{Az emberrel szemben lévő falon tömör falszerkezet } (0,0075 \times 2 + 0,036 \times 2) = 0,0205 - 0,005 = \varphi=0,0615$$

Az ülő ember jobb oldalán lévő fal:



6.5 ábra: A földszintes épületben az ember jobb oldalán lévő fal felbontással, méretekkel

Az ember jobb oldalán lévő fal az ember előtt, 0,6 m alatt:

Szemben lévő falon a radiátor:

$$a=0,48 \quad b=0,45 \quad c=1,45 \quad a/c=0,331 \quad b/c=0,310 \quad - \quad \varphi=0,006$$

Az egész felület (fal + radiátor):

$$a=2,42 \quad b=0,6 \quad c=1,45 \quad a/c=1,669 \quad b/c=0,414 \quad - \quad \varphi=0,0277$$

Az ember jobb oldalán lévő falon elhelyezett radiátor az ember mögött 0,6 m alatt:

$$a=0,24 \quad b=0,45 \quad c=1,45 \quad a/c=0,165 \quad b/c=0,310 \quad - \quad \varphi=0,0035$$

Az ember jobb oldalán lévő fal egész felülete 0,6 m alatt (fal + radiátor):

$$a=2,42 \quad b=0,6 \quad c=1,45 \quad a/c=1,669 \quad b/c=0,414 \quad - \quad \varphi=0,0315$$

Az ember jobb oldalán lévő fal az ember mögött 0,6 m felett egész felület:

$$a=2,42 \quad b=2,2 \quad c=1,45 \quad a/c=1,669 \quad b/c=1,517 \quad - \quad \varphi=0,0610$$

A jobb oldali falra szerelt radiátor az ember mögött 0,6 m felett:

$$a=0,24 \quad b=0,15 \quad c=1,45 \quad a/c=0,1655 \quad b/c=0,103 \quad - \quad \varphi=0,0045$$

Az ember jobb oldalán lévő falon az ablak + fal + radiátor rész:

$$a=0,48 \quad b=1,8 \quad c=1,45 \quad a/c=0,31 \quad b/c=1,241 \quad - \quad \varphi=0,0175$$

Ebből a fal (az ablak sarokig) + radiátor:

$$a=0,48 \quad b=0,3 \quad c=1,45 \quad a/c=0,31 \quad b/c=0,207 \quad - \quad \varphi=0,004$$

$$\text{Ablak rész: } 0,0175 - 0,004 = \varphi = 0,0135$$

Az ember jobb oldalán lévő fal összes felülete az ember előtt 0,6 m felett:

$$a=2,42 \text{ b}=2,2 \text{ c}=1,45 \text{ a/c}=1,669 \text{ b/c}=1,517 - \varphi=0,071$$

Ebből a radiátor:

$$a=0,48 \text{ b}=0,15 \text{ c}=1,45 \text{ a/c}=0,331 \text{ b/c}=0,103 - \varphi=0,003$$

Az ember jobb oldalán lévő falon az ablak + fal +radiátor az ember előtt 0,6 m felett:

$$a=0,72 \text{ b}=1,8 \text{ c}=1,45 \text{ a/c}=0,496 \text{ b/c}=1,124 - \varphi=0,0315$$

Az ember jobb oldalán lévő falon a falszerkezet az ember előtt 0,6 m felett:

$$a=0,72 \text{ b}=0,3 \text{ c}=1,45 \text{ a/c}=0,496 \text{ b/c}=0,207 - \varphi=0,0085$$

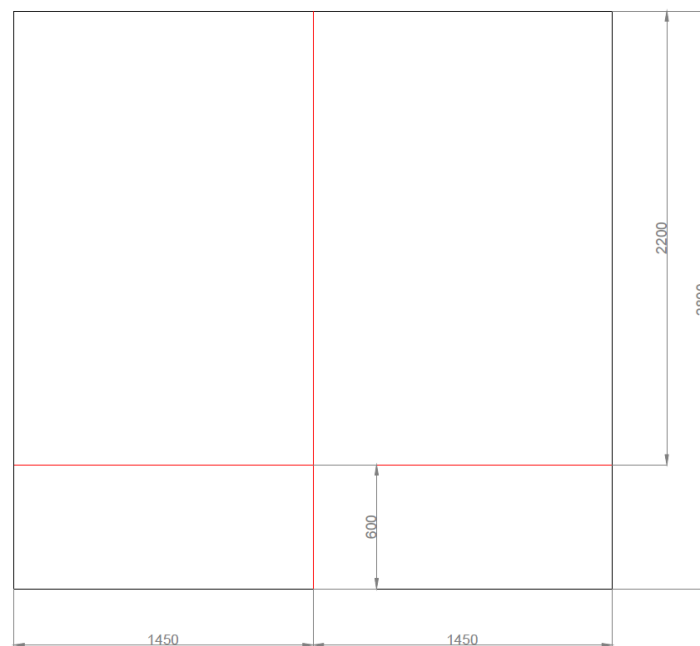
Az ember jobb oldalán lévő falon az ablak rész előtte, 0,6 m felett: $0,0315-0,085= \varphi=0,023$

Az ember jobb oldalára eső falon az ablak rész: $0,023+0,0135= \varphi=0,0365$

Az ember jobb oldalán lévő falra szerelt radiátor: $0,006+0,0035+0,0045+0,003= \varphi=0,017$

Az ember jobb oldalán lévő tömör falszerkezet: $(0,0277+0,0315+0,61+0,071) - 0,0365-0,017= \varphi=0,1377$

Az ember mögött lévő fal:



6.6 ábra: A földszintes épületben az ember mögött lévő fal felbontással, méretekkel
Az ember mögött lévő fal:

-falfelület 0,6 m alatt jobb oldalról:

$$a=1,45 \text{ b}=0,6 \text{ c}=2,42 \text{ a/c}=0,599 \text{ b/c}=0,248 - \varphi=0,013$$

-falfelület 0,6 m alatt bal oldalról: $\varphi=0,013$

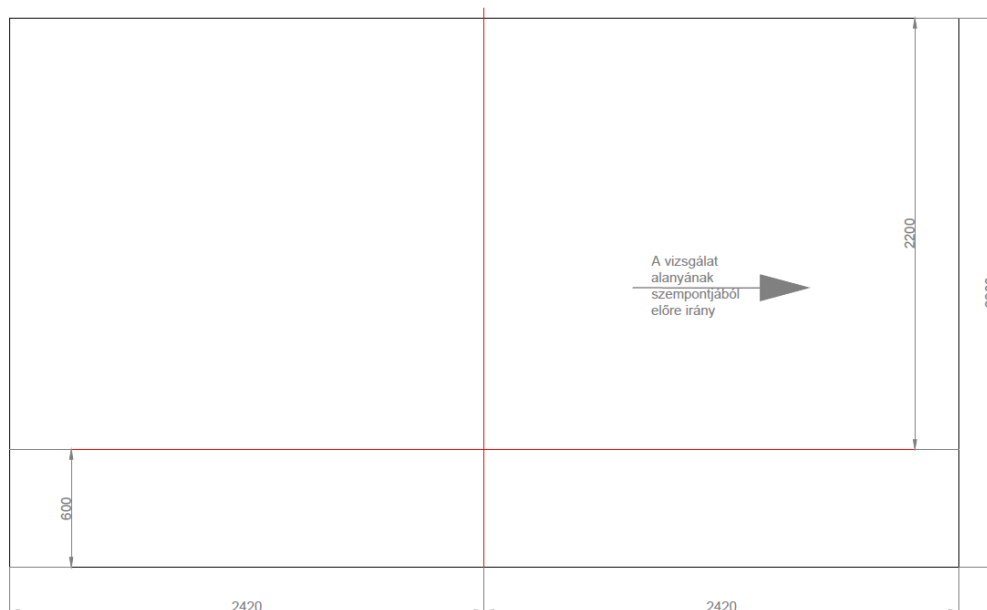
-falfelület 0,6 m felett jobb oldalról:

$$a=1,45 \text{ b}=2,2 \text{ c}=2,42 \text{ a/c}=0,599 \text{ b/c}=0,909 - \varphi=0,027$$

-falfelület 0,6 m felett bal oldalról: $\varphi=0,027$

Összesen az ember mögött lévő fal: $\varphi=0,08$

Az ember bal oldalán lévő fal:



6.7 ábra: A földszintes épületben az ember bal oldalán lévő fal felbontással, méretekkel

Az ember bal oldalán lévő fal:

-falfelület az ember előtt 0,6 m felett:

$$a=2,42 \text{ b}=2,2 \text{ c}=1,45 \text{ a/c}=1,669 \text{ b/c}=1,517 - \varphi=0,073$$

-falfelület az ember mögött 0,6 m felett:

$$a=2,42 \text{ b}=2,2 \text{ c}=1,45 \text{ a/c}=1,669 \text{ b/c}=1,517 - \varphi=0,0605$$

-falfelület az ember előtt 0,6 m alatt:

$$a=2,42 \text{ b}=0,6 \text{ c}=1,45 \text{ a/c}=1,669 \text{ b/c}=0,413 - \varphi=0,0285$$

-falfelület az ember mögött 0,6 m alatt:

$$a=2,42 \text{ b}=2,2 \text{ c}=1,45 \text{ a/c}=1,669 \text{ b/c}=0,413 - \varphi=0,031$$

Összesen az ember bal oldalán lévő fal: $\varphi=0,193$

Padló:

Padló az ember mögött bal oldalról:

$$a=1,45 \text{ b}=2,42 \text{ c}=0,6 \text{ a/c}=2,417 \text{ b/c}=4,033 - \varphi=0,096$$

Az ember mögött jobb oldalról: $\varphi=0,096$

Az ember mögött lévő padló: $\varphi=0,192$

Padló összesen: $\varphi=0,334$

Mennyezet:

Az ember előtt bal oldalról:

$$a=1,45 \quad b=2,42 \quad c=2,2 \quad a/c=0,659 \quad b/c=1,1 \quad \varphi=0,0325$$

Az ember előtt jobb oldalról: $\varphi=0,0325$

Az ember előtt: $\varphi=0,065$

Az ember mögött bal oldalról:

$$a=1,45 \quad b=2,42 \quad c=2,2 \quad a/c=0,659 \quad b/c=1,1 \quad \varphi=0,024$$

Mennyezet az ember mögött bal oldalról: $\varphi=0,024$

Mennyezet az ember mögött: $\varphi=0,048$

Mennyezet összesen: $\varphi=0,113$

Összesítve:

Mennyezet: $\varphi=0,113$

Padló: $\varphi=0,334$

Az ember mögött lévő fal: $\varphi=0,08$

Az ember bal oldalán lévő fal: $\varphi=0,193$

Tömör falszerkezet az ember jobb oldalán:

$$\varphi=0,1377$$

Az ember jobb oldalán lévő falra szerelt
radiátor: $\varphi=0,017$

Az ember jobb oldalán lévő fal ablaka:

$$\varphi=0,0365$$

Tömör falszerkezet az emberrel szemben:

$$\varphi=0,0615$$

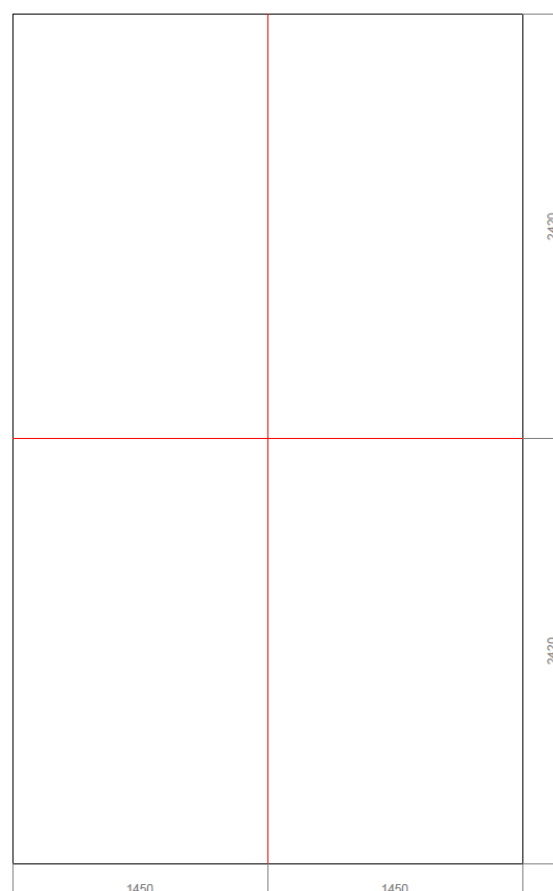
Az emberrel szemben lévő falra szerelt

radiátor: $\varphi=0,005$

Az emberrel szemben lévő fal ablaka:

$$\varphi=0,0205$$

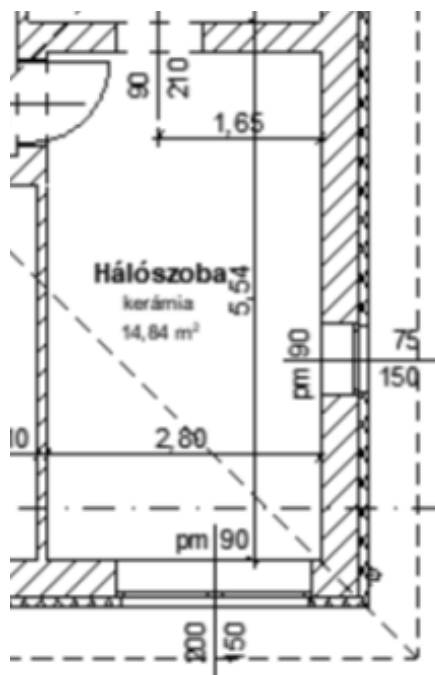
Összesen: $\varphi=0,9982$



6.8 ábra: A földszintes épületben a padló és mennyezet felbontása, méretekkel

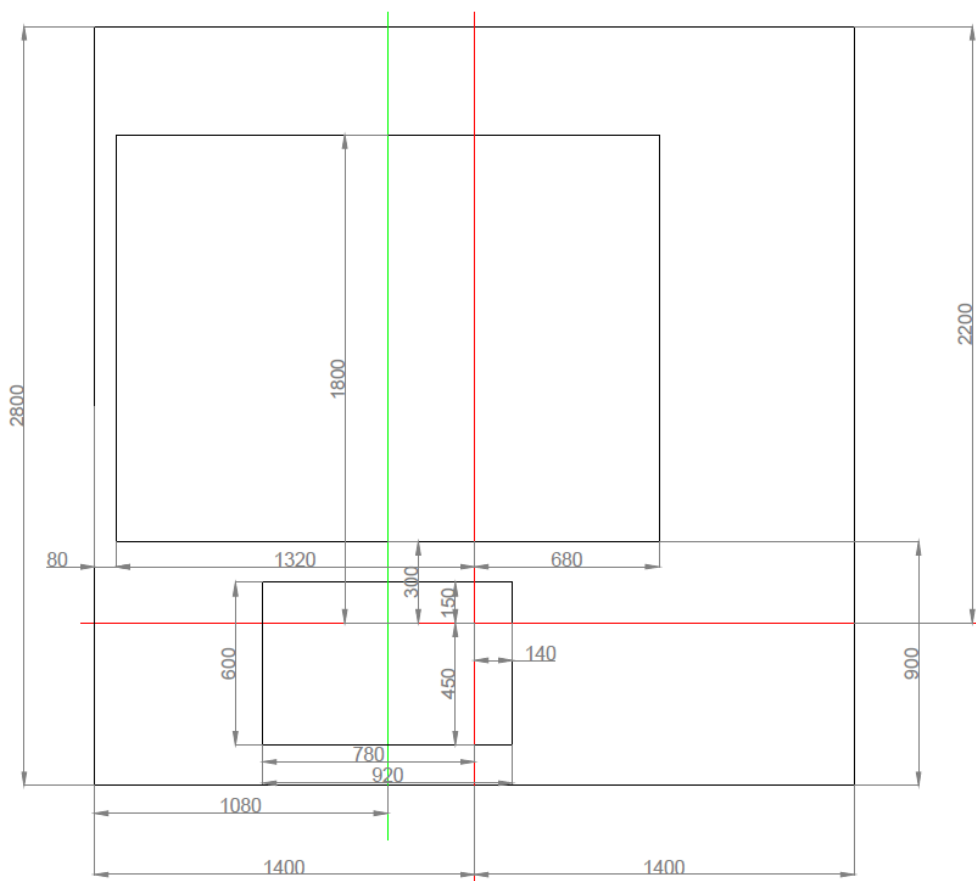
Térszögek meghatározása a földszintes épület kiválasztott 002-es helyiségében:

A vizsgált helyiség az alaprajzon:



6.9 ábra: A kiválasztott 106 Hálószoza helyiség alaprajza

Az emberrel szemben lévő fal:



6.10 ábra: Az emeletes épületben az emberrel szemben lévő fal felbontása, méretekkel

Az emberrel szemben lévő egész falrész 0,6 m alatt jobb oldalról:

$$a=1,4 \text{ b}=0,6 \text{ c}=2,77 \text{ a/c}=0,5054 \text{ b/c}=0,2166 - \varphi=0,0085$$

Az emberrel szemben lévő falon elhelyezett radiátor 0,6 m alatti része jobb oldalról:

$$a=0,14 \text{ b}=0,45 \text{ c}=2,77 \text{ a/c}=0,0505 \text{ b/c}=0,1624 - \varphi=0,00085$$

Az emberrel szemben lévő egész falrész 0,6 m alatt bal oldalról:

$$a=1,4 \text{ b}=0,6 \text{ c}=2,77 \text{ a/c}=0,5054 \text{ b/c}=0,2166 - \varphi=0,0085$$

Az emberrel szemben lévő falon elhelyezett radiátor 0,6 m alatti része bal oldalról:

$$a=0,78 \text{ b}=0,45 \text{ c}=2,77 \text{ a/c}=0,02815 \text{ b/c}=0,1624 - \varphi=0,0045$$

Az emberrel szemben lévő egész felület 0,6 m felett bal oldalról:

$$a=1,4 \text{ b}=2,2 \text{ c}=2,77 \text{ a/c}=0,5054 \text{ b/c}=0,7942 - \varphi=0,027$$

Az emberrel szemben lévő falon elhelyezett radiátor 0,6 m feletti része balról:

$$a=0,78 \text{ b}=0,15 \text{ c}=2,77 \text{ a/c}=0,2815 \text{ b/c}=2,77 - \varphi=0,001$$

Az emberrel szemben lévő falon 0,6 m felett bal oldalról ablak + radiátor + közöttük lévő fal:

$$a=1,32 \text{ b}=1,8 \text{ c}=2,77 \text{ a/c}=0,4765 \text{ b/c}=0,6498 - \varphi=0,023$$

Az emberrel szemben lévő falon 0,6 m felett bal oldalról fal (az ablak sarokig) + radiátor:

$$a=1,32 \text{ b}=0,3 \text{ c}=2,77 \text{ a/c}=0,4765 \text{ b/c}=0,1083 - \varphi=0,005$$

Az emberrel szemben lévő 0,6 m feletti egész felület jobb oldalról:

$$a=1,4 \text{ b}=2,2 \text{ c}=2,77 \text{ a/c}=0,504 \text{ b/c}=0,7942 - \varphi=0,027$$

Az emberrel szemben lévő falon elhelyezett radiátor 0,6 m felett jobb oldalról:

$$a=0,14 \text{ b}=0,15 \text{ c}=2,77 \text{ a/c}=0,05054 \text{ b/c}=0,05415 - \varphi=0,0003$$

Az emberrel szemben lévő falon 0,6 m felett ablak + radiátor + a köztes falfelület:

$$a=0,68 \text{ b}=1,8 \text{ c}=2,77 \text{ a/c}=0,2454 \text{ b/c}=0,6498 - \varphi=0,015$$

Az emberrel szemben lévő falon 0,6 m felett radiátor + fal jobb oldalról (az ablak sarokig):

$$a=0,68 \text{ b}=0,3 \text{ c}=2,77 \text{ a/c}=0,2454 \text{ b/c}=0,0108 - \varphi=0,0035$$

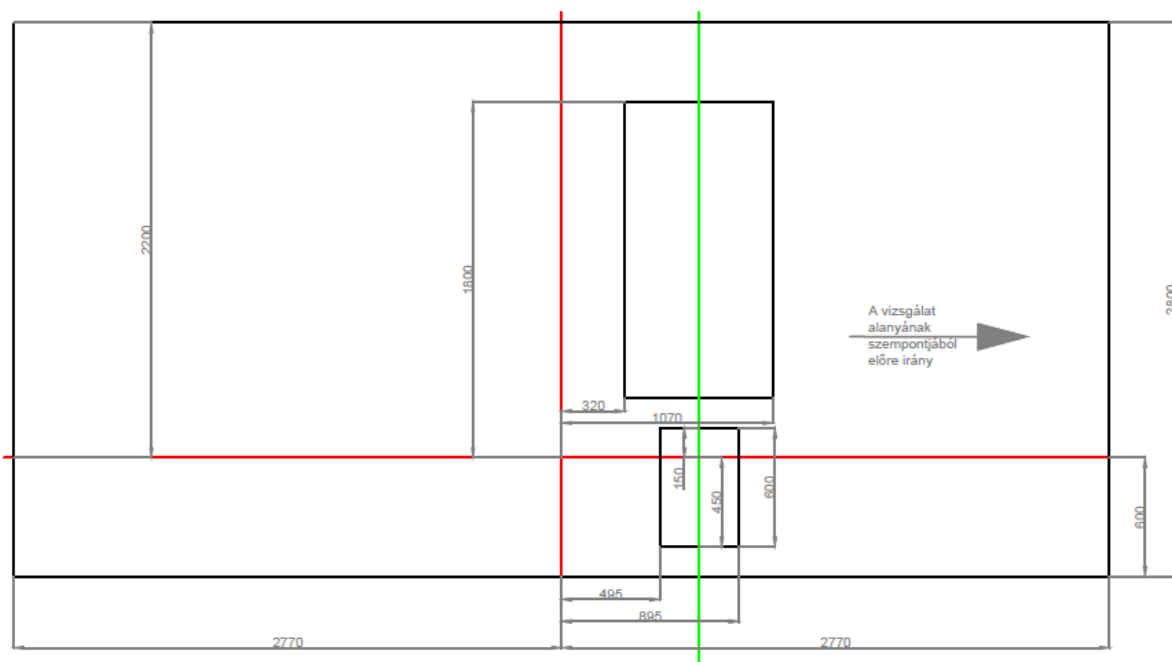
$$\text{Ablak bal oldalon } 0,6 \text{ m felett: } 0,025-0,005= \varphi=0,02$$

$$\text{Ablak jobb oldalon } 0,6 \text{ m felett: } 0,015-0,0035= \varphi=0,0115$$

$$\text{Ablak az emberrel szemben lévő falon: } 0,02+0,0115= \varphi=0,0315$$

$$\text{Radiátor az emberrel szemben lévő falon: } 0,00085+0,0045+0,001+0,0003= \varphi=0,00665$$

Az ember bal oldalán lévő fal:



6.11 ábra: Az emeletes épületben az ember bal oldalán lévő fal felbontása, méretekkel

Az ember mellett balra lévő fal egész felület 0,6 m alatt, az ember előtt:

$$a=2,77 \quad b=0,6 \quad c=1,4 \quad a/c=1,9785 \quad b/c=0,4285 \quad - \quad \varphi=0,03$$

Az ember mellett balra lévő 0,6 m alatti, az ember előtti radiátor + fal:

$$a=0,895 \quad b=0,45 \quad c=1,4 \quad a/c=0,639 \quad b/c=0,3214 \quad - \quad \varphi=0,013$$

Az ember mellett balra lévő fal, 0,6 m alatt, az ember előtti falrész a radiátorig:

$$a=0,495 \quad b=0,45 \quad c=1,4 \quad a/c=0,353 \quad b/c=0,321 \quad - \quad \varphi=0,006$$

Az ember mellett bal oldalon lévő falra elhelyezett radiátor 0,6 m alatt: $0,013-0,006=$
 $\varphi=0,007$

Az ember mellett balra lévő egész falfelület, az ember mögött, 0,6 m alatt:

$$a=2,77 \quad b=0,6 \quad c=1,4 \quad a/c=1,9785 \quad b/c=0,4285 \quad - \quad \varphi=0,032$$

Az ember mellett balra lévő egész falfelület, az ember mögött, 0,6 m felett:

$$a=2,77 \quad b=2,2 \quad c=1,4 \quad a/c=1,9785 \quad b/c=1,571 \quad - \quad \varphi=0,0775$$

Az ember mellett bal oldalon lévő egész falfelület, az ember előtt, 0,6 m felett:

$$a=2,77 \quad b=2,2 \quad c=1,4 \quad a/c=1,9785 \quad b/c=1,5714 \quad - \quad \varphi=0,076$$

Az ember mellett bal oldalon lévő ablak + radiátor + fal felülete az ember előtt, 0,6 m felett:

$$a=1,07 \quad b=1,8 \quad c=1,4 \quad a/c=0,7942 \quad b/c=1,2857 \quad - \quad \varphi=0,041$$

Az ember mellett bal oldalon lévő falon 0,6 m felett, az ember előtti falrész ablakig:

$$a=0,32 \quad b=1,8 \quad c=1,4 \quad a/c=0,2285 \quad b/c=1,2857 \quad - \quad \varphi=0,0155$$

Az ember mellett bal oldalon lévő falon 0,6 m felett, az ember előtt a fal + radiátor felület az ablak alatt:

$$a=1,07 \text{ b}=0,3 \text{ c}=1,4 \text{ a/c}=0,7643 \text{ b/c}=0,2142 - \varphi=0,01$$

Az ember mellett bal oldalon lévő falon 0,6 m felett, az ember előtt fal + radiátor:

$$a=0,895 \text{ b}=0,15 \text{ c}=1,4 \text{ a/c}=0,6392 \text{ b/c}=0,107 - \varphi=0,006$$

Az ember mellett bal oldalon lévő falon 0,6 m felett, az ember előtt a falfelület az ablak síkjáig, a radiátor széléig:

$$a=0,495 \text{ b}=0,3 \text{ c}=1,4 \text{ a/c}=0,356 \text{ b/c}=0,214 - \varphi=0,005$$

Az ember mellett bal oldalra lévő fal 0,6 m felett, az ember előtt a radiátorig:

$$a=0,495 \text{ b}=0,15 \text{ c}=1,4 \text{ a/c}=0,3535 \text{ b/c}=0,107 - \varphi=0,0015$$

Az ember mellett bal oldalra lévő falra szerelt radiátor 0,6 m felett: $0,06-0,0015= \varphi=0,0045$

Az ember mellett bal oldalon lévő falra szerelt radiátor (kisebb): $0,0045+0,007= \varphi=0,0115$

Az ember mellett bal oldalon lévő fal ablaka (kisebb): $0,41-0,0155-0,01+0,005= \varphi=0,0205$

Az ember mellett bal oldalon lévő egész felület az ember előtt, 0,6 m alatt:

$$a=2,77 \text{ b}=0,6 \text{ c}=1,4 \text{ a/c}=1,978 \text{ b/c}=0,42857 - \varphi=0,03$$

Az ember mellett bal oldalon lévő falon, 0,6 m alatt, az ember előtt radiátor + fal felülete:

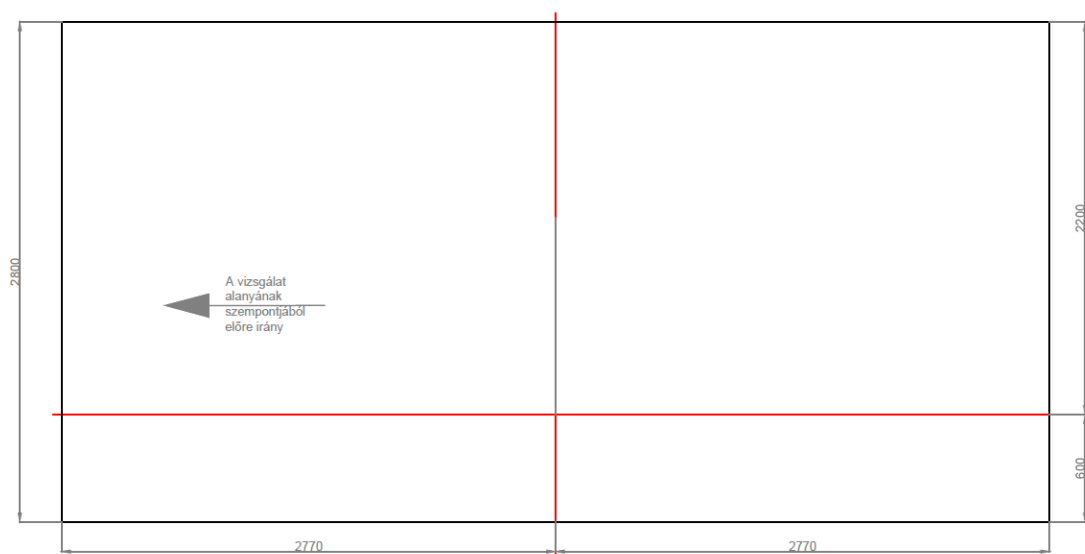
$$a=0,895 \text{ b}=0,45 \text{ c}=1,4 \text{ a/c}=0,6392 \text{ b/c}=0,3214 - \varphi=0,013$$

Az ember mellett bal oldalon lévő falrész a radiátorig, 0,6 m alatt, az ember előtt:

$$a=0,495 \text{ b}=0,45 \text{ c}=1,4 \text{ a/c}=0,3535 \text{ b/c}=0,3214 - \varphi=0,0065$$

$$\text{radiátor alul: } 0,011-0,0055=0,0065$$

Az ember mellett jobbra lévő fal:



6.12 ábra: Az emeletes épületben az ember jobb oldalán lévő fal felbontása, méretekkel

Az ember mellett jobbra lévő fal az ember előtt, 0,6 m alatt:

$$a=2,77 \ b=0,6 \ c=1,4 \ a/c=1,9785 \ b/c=0,4285 \ - \ \varphi=0,029$$

Az ember mellett jobbra lévő fal az ember előtt, 0,6 m felett:

$$a=2,77 \ b=2,2 \ c=1,4 \ a/c=1,9785 \ b/c=1,5714 \ - \ \varphi=0,077$$

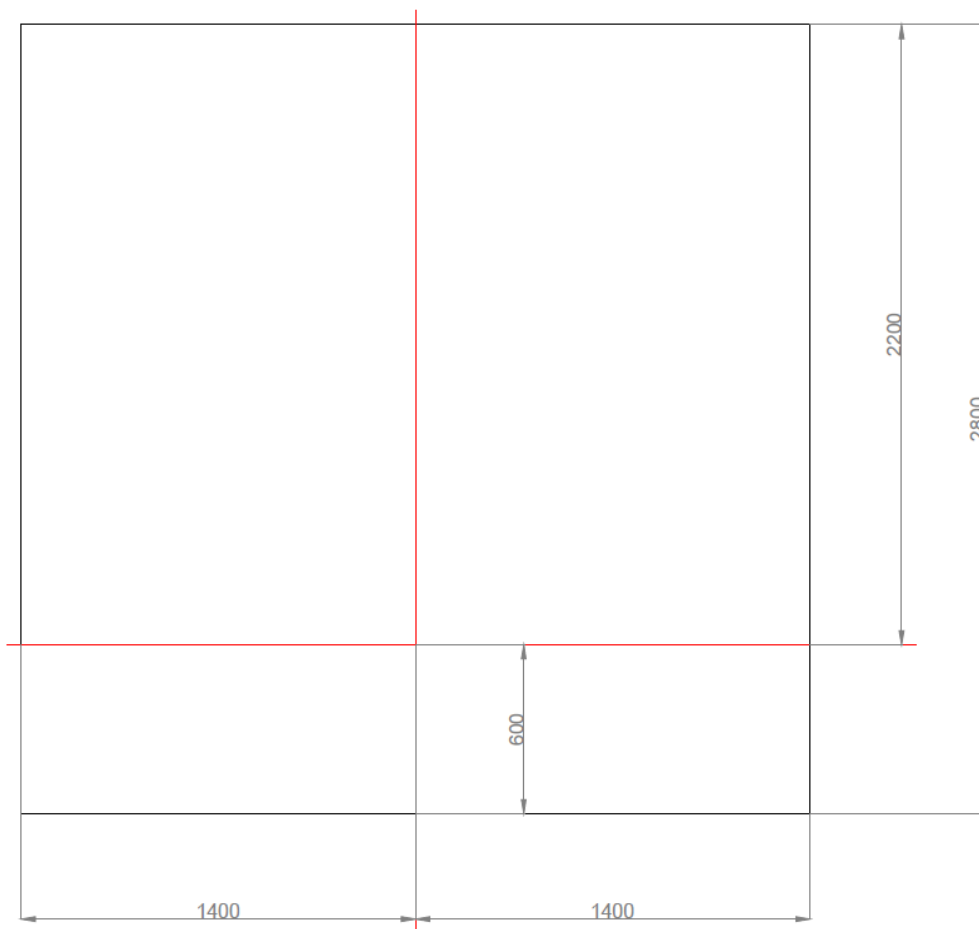
Az ember mellett jobbra lévő fal az ember mögött, 0,6 m alatt:

$$a=2,77 \ b=0,6 \ c=1,4 \ a/c=1,9785 \ b/c=0,4285 \ - \ \varphi=0,032$$

Az ember mellett jobbra lévő fal az ember mögött, 0,6 m felett:

$$a=2,77 \ b=2,2 \ c=1,4 \ a/c=1,9785 \ b/c=1,5714 \ - \ \varphi=0,0625$$

Az ember mögött lévő fal:



6.13 ábra: Az emeletes épületben az ember mögött lévő fal felbontása, méretekkel

Az ember mögött lévő fal 0,6 m alatt bal oldalról:

$$a=1,4 \ b=0,6 \ c=2,77 \ a/c=0,505 \ b/c=0,2166 \ - \ \varphi=0,011$$

Az ember mögött lévő fal 0,6 m alatt jobb oldalról:

$$a=1,4 \ b=0,6 \ c=2,77 \ a/c=0,505 \ b/c=0,2166 \ - \ \varphi=0,011$$

Az ember mögött lévő fal 0,6 m felett jobb oldalról:

$a=1,4$ $b=2,2$ $c=2,77$ $a/c=0,505$ $b/c=0,794$ – $\varphi=0,021$

Az ember mögött lévő fal 0,6 m felett bal oldalról:

$a=1,4$ $b=2,2$ $c=2,77$ $a/c=0,505$ $b/c=0,794$ –

$\varphi=0,021$

Mennyezet:

Mennyezet az ember előtt:

$a=1,4$ $b=2,77$ $c=2,2$ $a/c=0,6363$ $b/c=1,259$

$2 \times 0,0385 = \varphi=0,077$

Mennyezet az ember mögött:

$a=1,4$ $b=2,77$ $c=2,2$ $a/c=0,6363$ $b/c=1,259$

$2 \times 0,026 = \varphi=0,052$

Mennyezet összesen: $0,077+0,052=$

$\varphi=0,129$

Padló:

Padló az ember előtt:

$a=1,4$ $b=2,77$ $c=0,6$ $a/c=2,33$ $b/c=4,61667$

$2 \times 0,074 = \varphi=0,148$

Padló az ember mögött:

$a=1,4$ $b=2,77$ $c=0,6$ $a/c=2,33$ $b/c=4,61667$

$2 \times 0,095 = \varphi=0,19$

Padló összesen: $0,148+0,19= \varphi=0,338$

Összesítve:

Mennyezet: $\varphi=0,103$

Padló: $\varphi=0,338$

Az ember mögött lévő fal: $\varphi=0,064$

Az ember jobb oldalán lévő falszerkezet: $\varphi=0,2005$

Tömör falszerkezet az ember bal oldalán: $\varphi=0,1845$

Az ember bal oldalán lévő falra szerelt radiátor: $\varphi=0,0115$

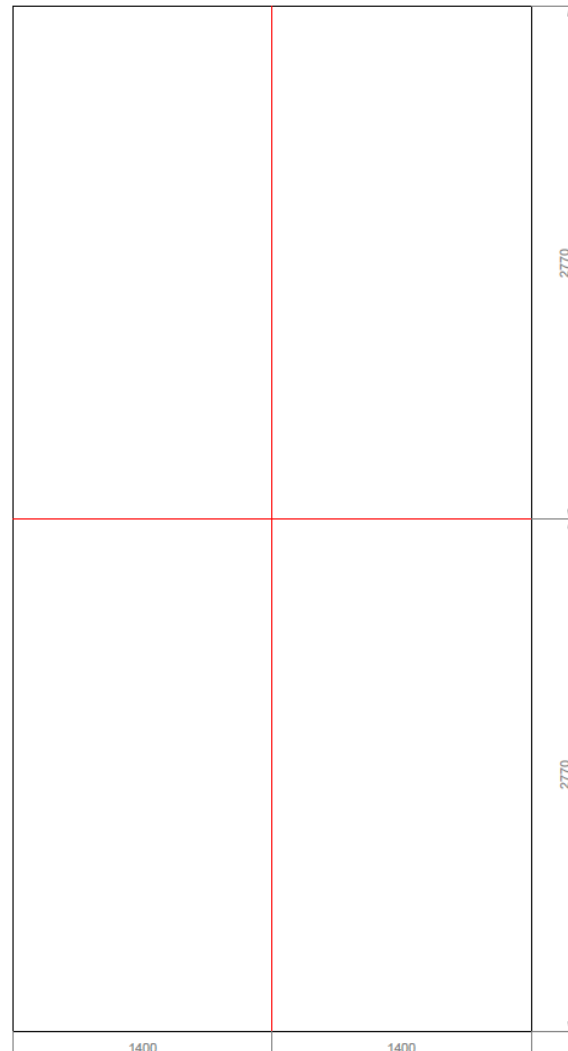
Az ember bal oldalán lévő fal ablaka: $\varphi=0,0205$

Tömör falszerkezet az emberrel szemben: $\varphi=0,03285$

Az emberrel szemben félő fal ablaka: $\varphi=0,0315$

Az emberrel szemben lévő falon elhelyezett radiátor: $\varphi=0,00665$

Összesen: $\varphi=0,993$



6.14 ábra: Az emeletes épületben a padló és a mennyezet felbontása, méretekkel

7. Felületi hőmérsékletek számításához használt összefüggések

Ahogy az már az előző bekezdés elején említésre került, az operatív hőmérsékletek meghatározásához szükséges közepes sugárzási hőmérsékletek számításához elengedhetetlen a vizsgálat alanyát körülvevő felületek belső oldali hőmérsékleteinek ismerete. Ezeket a külső határoló szerkezetek esetén a következő összefüggések adják [47]:

$$t_{bf} = t_i - (t_i - t_e) \cdot \frac{U}{h_i} \quad (7.1)$$

$$t_{bf} = t_i - (t_i - t_e) \cdot \frac{R_i}{R_0} \quad (7.2)$$

A radiátoros fűtési mód esetén ezeken a felületeken kívül számításba kell venni a radiátorok felületi hőmérsékleteit. Ezen értékeket a radiátorba belépő, illetve kilépő fűtési víz hőmérsékletének számtani átlagával kapjuk meg:

$$t_{rad} = \frac{t_s + t_r}{2} \quad (7.3)$$

Az összefüggésben szereplő vízhőmérsékletek meghatározásához szükség van az adott évhez az 5. bekezdésben társított hőfoklépcsőkre, valamint a hozzájuk tartozó szabályozási görbékre, amelyek meghatározását az alábbi összefüggések teszik lehetővé [49]:

A visszatérő vízhőmérséklet a méretezési állapottól eltérő hőmérséklet esetén:

$$t_r = \frac{\frac{t_e}{t_{e0}} \cdot (t_{s0} - t_{r0})}{\exp \left[\left(\frac{t_e}{t_{e0}} \right)^{\frac{1}{m+1}} \cdot \ln \frac{t_{s0}}{t_{r0}} \right] - 1} \quad (7.4)$$

Az előremenő vízhőmérséklet a méretezési állapottól eltérő hőmérséklet esetén:

$$t_s = \frac{\frac{t_e}{t_{e0}} \cdot (t_{s0} - t_{r0}) \cdot \exp \left[\left(\frac{t_e}{t_{e0}} \right)^{\frac{1}{m+1}} \cdot \ln \frac{t_{s0}}{t_{r0}} \right]}{\exp \left[\left(\frac{t_e}{t_{e0}} \right)^{\frac{1}{m+1}} \cdot \ln \frac{t_{s0}}{t_{r0}} \right] - 1} \quad (7.5)$$

Az előző összefüggések által tartalmazott értékek:

t_{e0} – külső méretezési hőmérséklet

t_e – külső hőmérséklet, amely a méretezési állapottól eltér

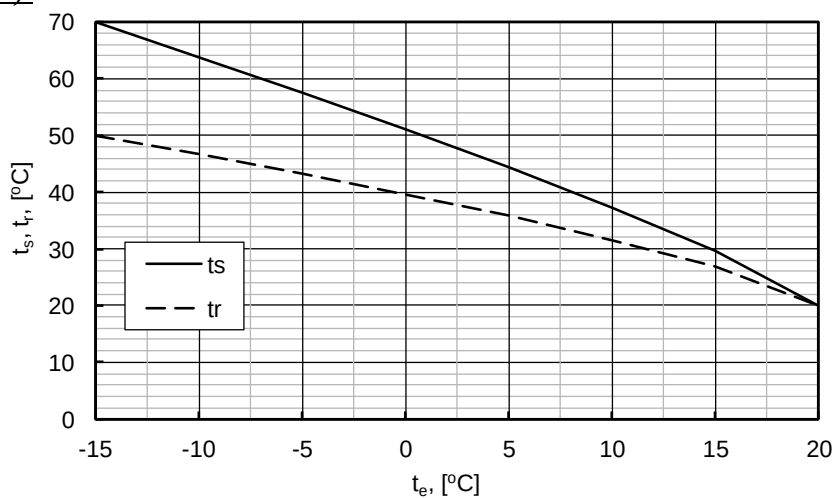
t_{s0} – az alkalmazott hőfoklépcső névleges előremenő hőmérséklete

t_{r0} – az alkalmazott hőfoklépcső névleges visszatérő hőmérséklete

m – a fűtőközeg tömegárama

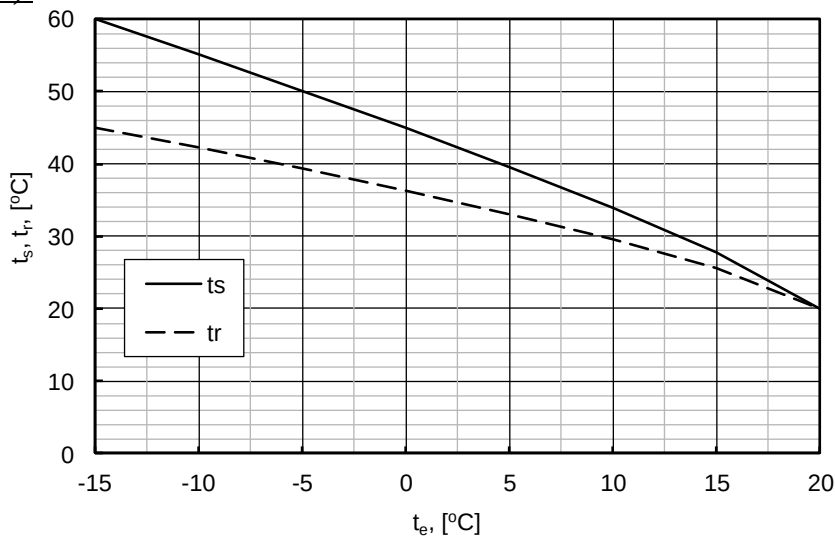
A bemutatott összefüggések használatával elkészített szabályozási görbék a következők:

2002 (70/50/20):



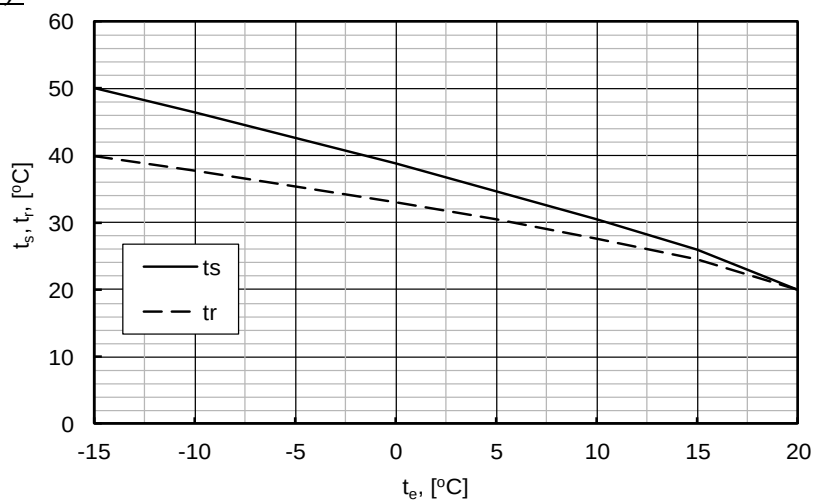
7.1 ábra: 2002-es esetben alkalmazott szabályozási görbe

2012 (60/45/20):



7.2 ábra: 2012-es esetben alkalmazott szabályozási görbe

2022 (50/40/20):



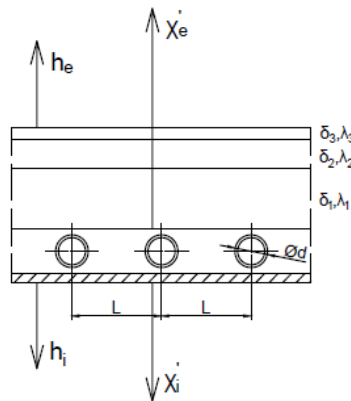
7.3 ábra: 2022-es esetben alkalmazott szabályozási görbe

A sugárzó fűtési módok esetén bizonyos határoló felületek a hőleadóink. Ezek felületi hőmérsékleteit jelen vizsgálat során a helyiségek hőveszteségeiből származtatva kapjuk meg, az 1 m²-re eső hőveszteség (q_i) segítségével [46].

$$q_i = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (7.6)$$

A fajlagos hőveszteség ismeretében meghatározható a sugárzó felülethez tartozó túlhőmérséklet:

$$\theta_{mi} = \frac{q_i}{h_i} \quad (7.7)$$



7.4 ábra: Az alkalmazandó hőátadási tényező értékeinek magyarázata

A sugárzó felület felületi átlaghőmérséklete az alábbi összefüggés segítségével számítható a hozzá tartozó túlhőmérséklet ismertében:

$$t_{mi} = \theta_{mi} - t_i \quad (7.8)$$

Ugyanakkor a fűtőfelület felületi hőmérsékletének meghatározásához használható az alábbi, másik számítási megoldás:

$$\theta_{mi} = \theta'_m \cdot \frac{\chi'_i}{h_i} \quad (7.9)$$

ahol

- θ'_m a fűtőréteg felületi hőmérséklete
- χ pedig a hőátbocsátási tényezőnek megfelelő érték (jelen esetben a belső oldali, a fűtött tér felé)

$$\chi_i = \frac{1}{\frac{1}{h_h} + \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad (7.10)$$

Az ehhez a fűtőréteg felületi hőmérsékletéhez tartozó vízhőmérséklet értéket az alábbi összefüggés rendezésével kapjuk:

$$\theta'_m = \theta_w \cdot \frac{\tanh \frac{m \cdot l}{2}}{\left(1 + h_i \cdot \frac{\delta}{\lambda}\right) \cdot \frac{m \cdot l}{2}} \quad (7.11) \rightarrow \theta_w = \theta'_m \frac{\left(1 + h_i \cdot \frac{\delta}{\lambda}\right) \cdot \frac{m \cdot l}{2}}{\tanh \frac{m \cdot l}{2}} \quad (7.12)$$

ahol

$$\theta_w \text{ a víz átlag túlhőmérséklete } \theta_w = \bar{t}_w - t_i \quad (7.13)$$

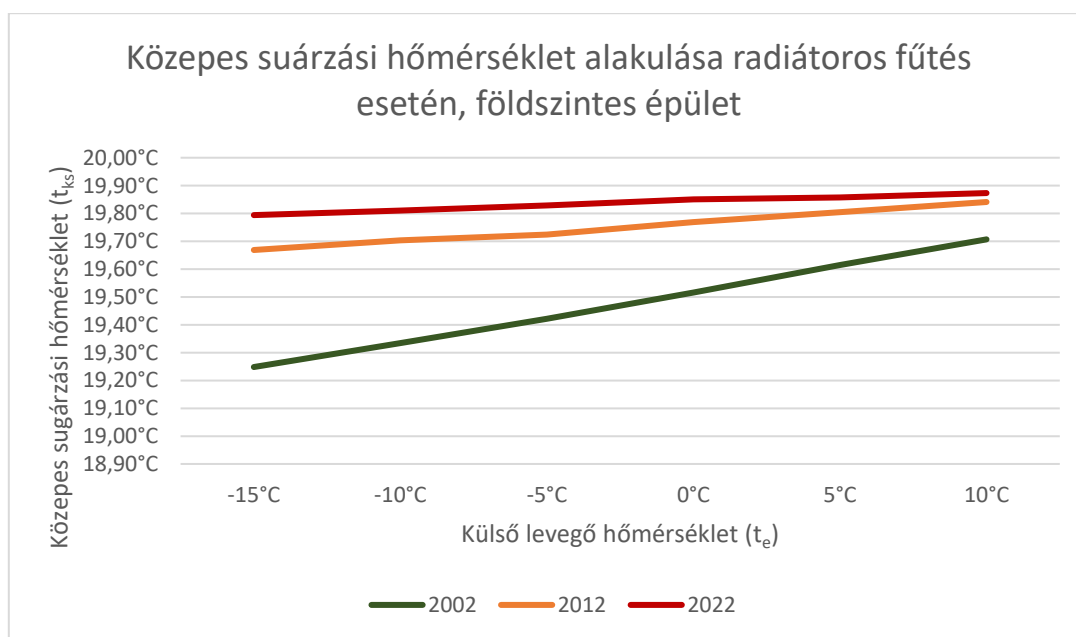
$$\bar{t}_w = \frac{t_s + t_r}{2} \quad (7.14)$$

- l a fűtőrétegben elhelyezett csövek tengelyeinek távolsága méterben
- $m = \sqrt{\frac{\chi'_i + \chi'_e}{\delta_{hl} \cdot \lambda}}$, a differenciálegyenlet levezetéséhez szükséges állandó (7.15), amelyben
- χ'_e a fűtőrétegtől a hidegebb, fűtetlen tér irányába értelmezett hőátbocsátási tényezővel ekvivalens érték
- δ_{hl} a fűtőréteg vastagsága $\delta_{hl} = d + 2 \cdot \delta \quad (7.16)$
- λ a fűtőréteg hővezetési tényezője

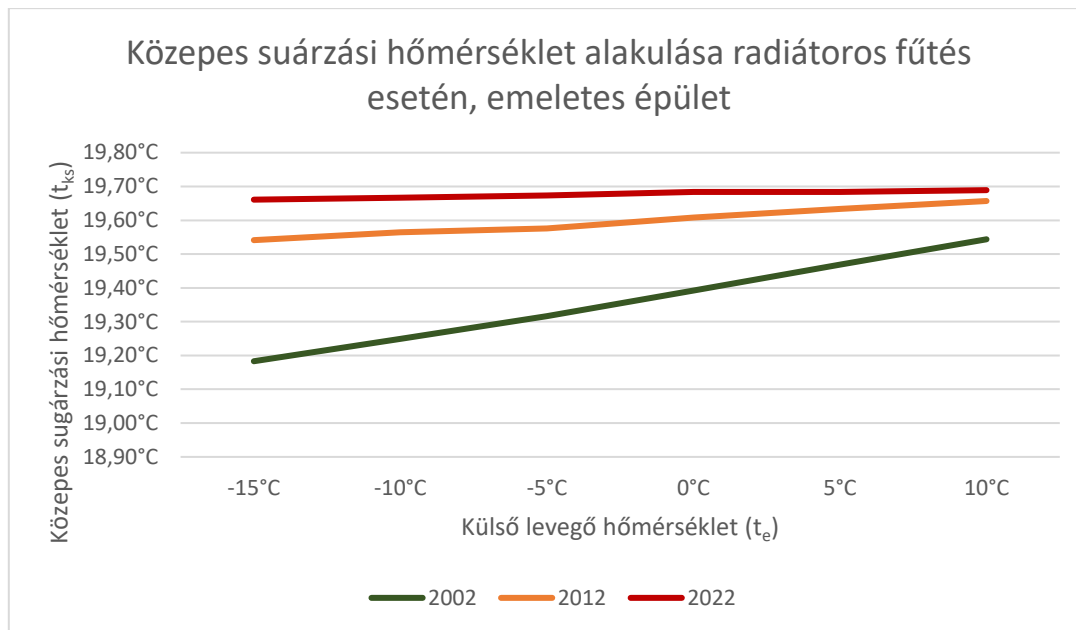
8. Közepes sugárzási hőmérsékletek, operatív hőmérsékletek, bőrhőmérsékletek

A kiválasztott helyiségek közepes sugárzási hőmérséklete a felületi hőmérsékletek és a hozzájuk tartozó térszögek ismeretében a már említett 6.2 összefüggéssel számolható. Jelen vizsgálat alanya egy-egy 20 °C állandó levegőhőmérsékletű szobába lett elhelyezve, amelyek eleget tesznek a 3. bekezdésben szereplő táblázatban leírt hőtechnikai előírásoknak, illetve fűtési módjaik: radiátoros-, padló-, illetve padló-, és mennyezetfűtés.

Az így kapott közepes sugárzási hőmérsékleteket, és azok változását a következő diagramok szemléltetik a radiátoros fűtési esetre:



8.1 ábra



8.2 ábra

Ezen diagramok alapján kijelenthető, hogy mindhárom vizsgált évben a külső levegő hőmérsékletének emelkedésével a radiátoros fűtési mód esetén a közepes sugárzási hőmérsékletek növekvő tendenciát mutatnak. Ebben az esetben ugyan a hőleadók átlag felületi hőmérsékletei csökkennek, de a többi határoló szerkezeté növekszik, és a hozzájuk tartozó, jelentősen nagyobb térszög érték hatására növekvő irányba mozdítják el a t_{ks} értékét. Ezen felül megfigyelhető, hogy a szigorúbb hőtechnikai előírásoknak megfelelő esetekben a növekedés léptéke csökken, de a méretezési állapotban, illetve a +10 °C-ig vizsgált külső hőmérsékletek melletti értékek törvényszerűen magasabbak, ugyanakkor nem érik el a 20 °C-os belső levegő hőmérsékletének értékét.

Az itt meghatározott közepes sugárzási hőmérsékletekből a 6.1 összefüggés segítségével kiszámíthatóak az azokhoz tartozó operatív hőmérsékletek [47].

$$t_{op} = \frac{h_r \cdot \bar{t}_r + h_c \cdot t_a}{h_r + h_s} \quad (8.1)$$

A sugárzásos hőátadási tényező:

$$h_r = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \varepsilon \cdot \frac{F_r}{F_{Du}} \cdot \frac{(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4}{(t_{cl} - \bar{t}_r)} \quad (8.2)$$

- $\frac{F_r}{F_{Du}}$ – effektív sugárzó felület és a test Du Bois-felülete közötti arány, amelynek értéke 0,7 ülő ember esetében
- ε a ruházattal borított és nem borított test emissziós tényezője (0,9)
- t_{cl} – a (ruházat és ruházattal nem borított) testfelület átlagos hőmérséklete

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl} \left\{ h_r f_{cl} 10^{-8} \left[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4 \right] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \right\} \quad (8.3)$$

iterációs számítás

- W – a végzett izommunka (értéke ülő ember esetében 0)
- M – metabolikus hő (1 met=58 W/m²)

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290 I_{cl} & \text{for } I_{cl} < 0.078 \text{ m}^2\text{K/W} \\ 1.05 + 0.645 I_{cl} & \text{for } I_{cl} > 0.078 \text{ m}^2\text{K/W} \end{cases} \quad (8.4)$$

$I_{cl}=0.155 \text{ m}^2\text{K/W}$ (1 clo).

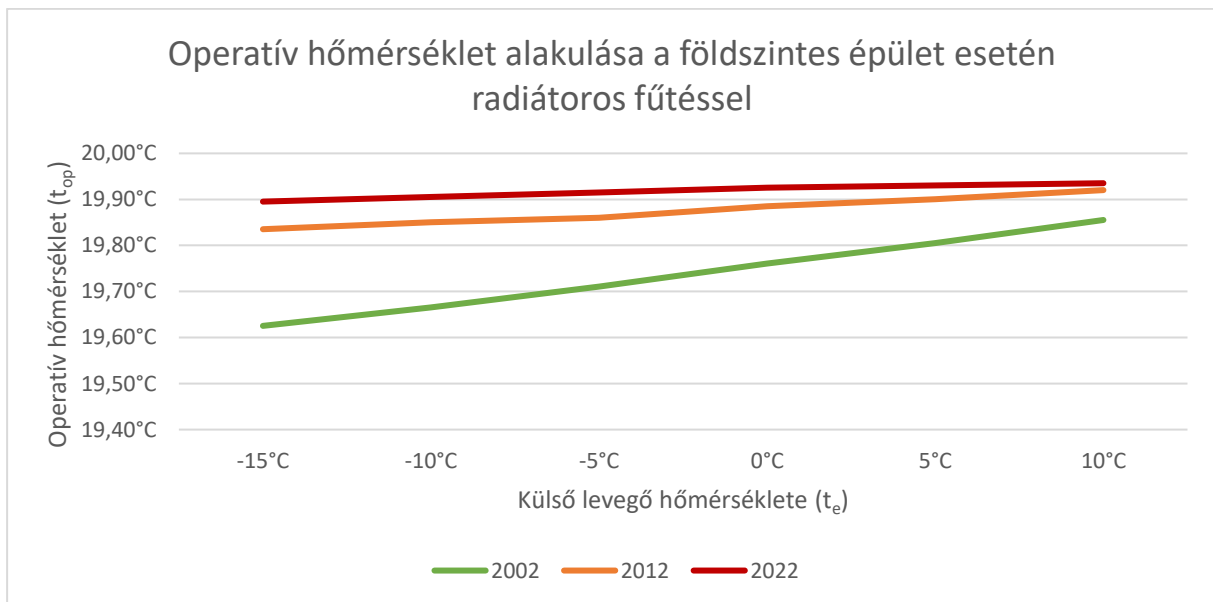
A konvekciós hőátadási tényező:

$$h_c = \begin{cases} 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} & \text{ha } 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{v_{ar}} \\ 12.1\sqrt{v_{ar}} & \text{ha } 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (8.5)$$

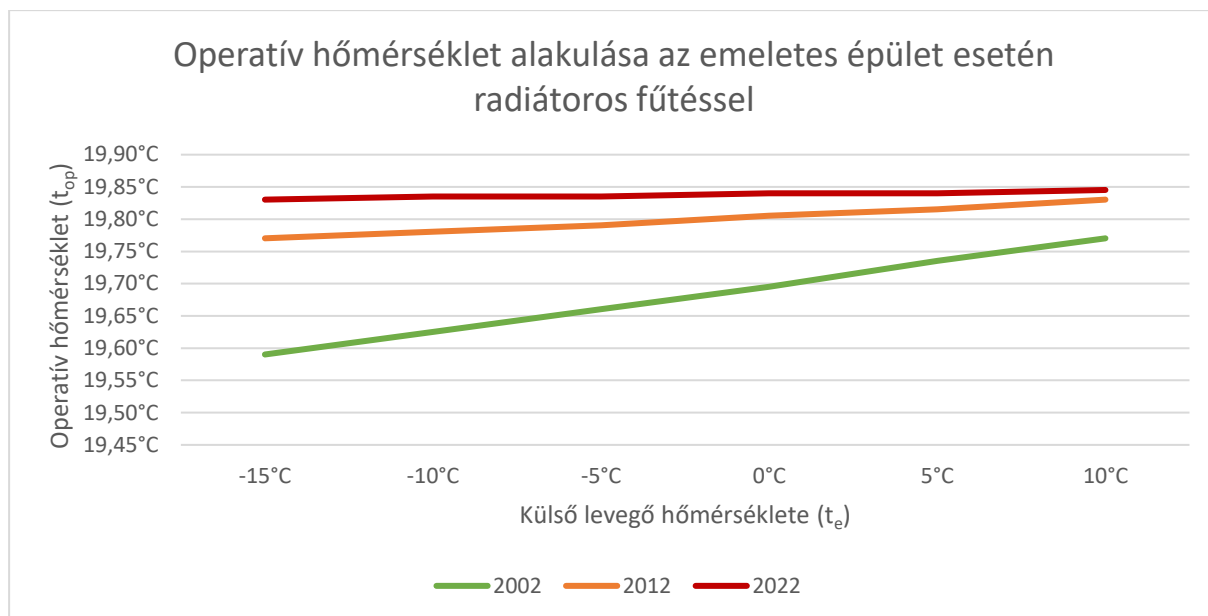
$v_{ar}=0,08 \text{ m/s}$

A konvekciós hőátadási tényező értékét mind a kettő összefüggéssel meghatároztam, és minden esetben a nagyobb értéket figyelembe véve folytattam a számításaimat.

Az így meghatározott operatív hőmérsékleteket, és változásukat a következő diagramok mutatják be a két épület radiátoros fűtési mód esetén:



8.3 ábra

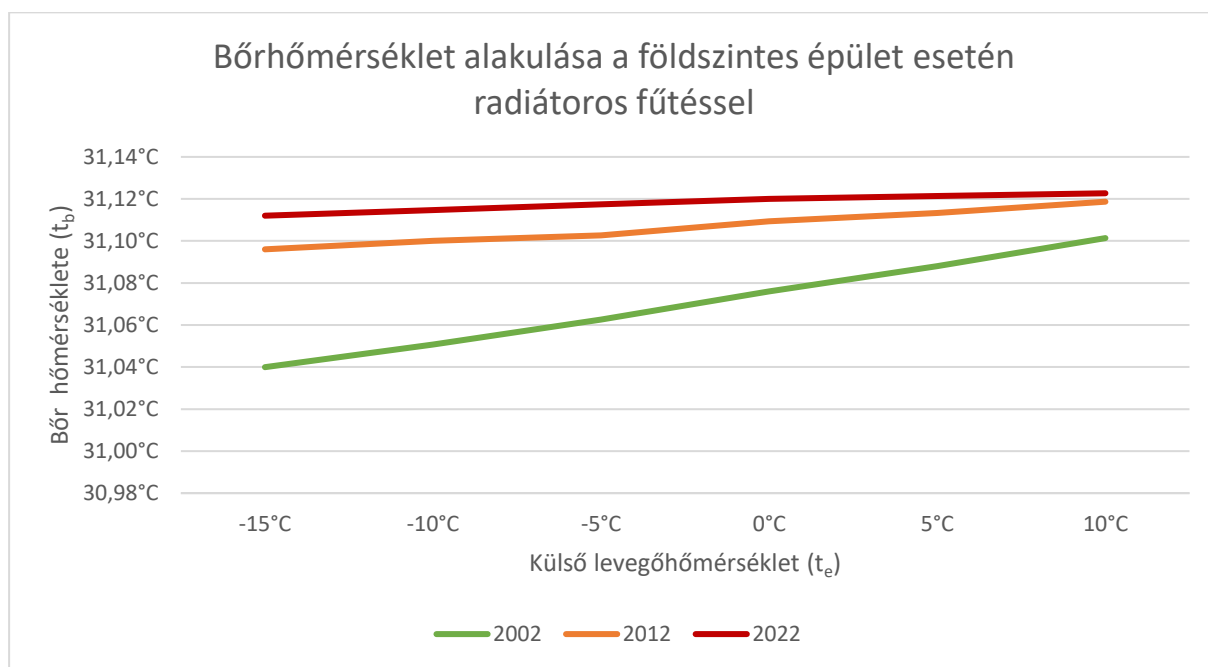


8.4 ábra

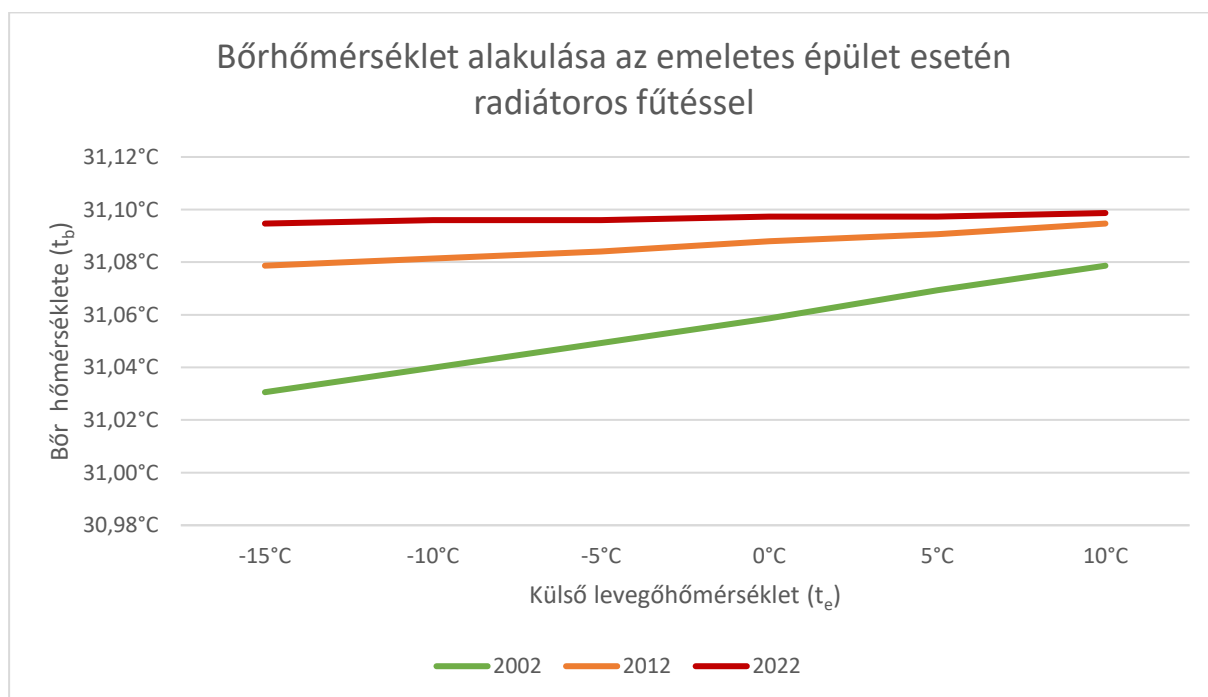
Ezekről a diagrammokról megállapítható – hasonlóan a közepes sugárzási diagrammokhoz -, hogy az operatív hőmérsékletek radiátoros fűtés esetén a külső levegő hőmérsékletének növekedésével szintén emelkednek. Szintén kijelenthető, hogy minél jobb hőtechnikai paraméterekkel rendelkezik az adott épület adott helyisége, az operatív hőmérséklet növekedésének a léptéke alacsonyabb. Továbbá elmondható az is, hogy az operatív hőmérsékletek alacsonyabbak a 20 °C-os belső levegő hőmérsékletnél. Az a tény könnyen belátható, hogy az ember számára a kellemes, komfortos környezet érzékelésének egyik fontos mérője a bőrhőmérséklet. A bőr hőmérséklete és az érzékelt operatív hőmérséklet szoros összefüggésben vannak egymással [47]:

$$t_b = 25,8 + 0,267 \cdot t_{op} \quad (8.6)$$

Az így kapott bőrhőmérséklete diagramjai radiátoros fűtés esetén:

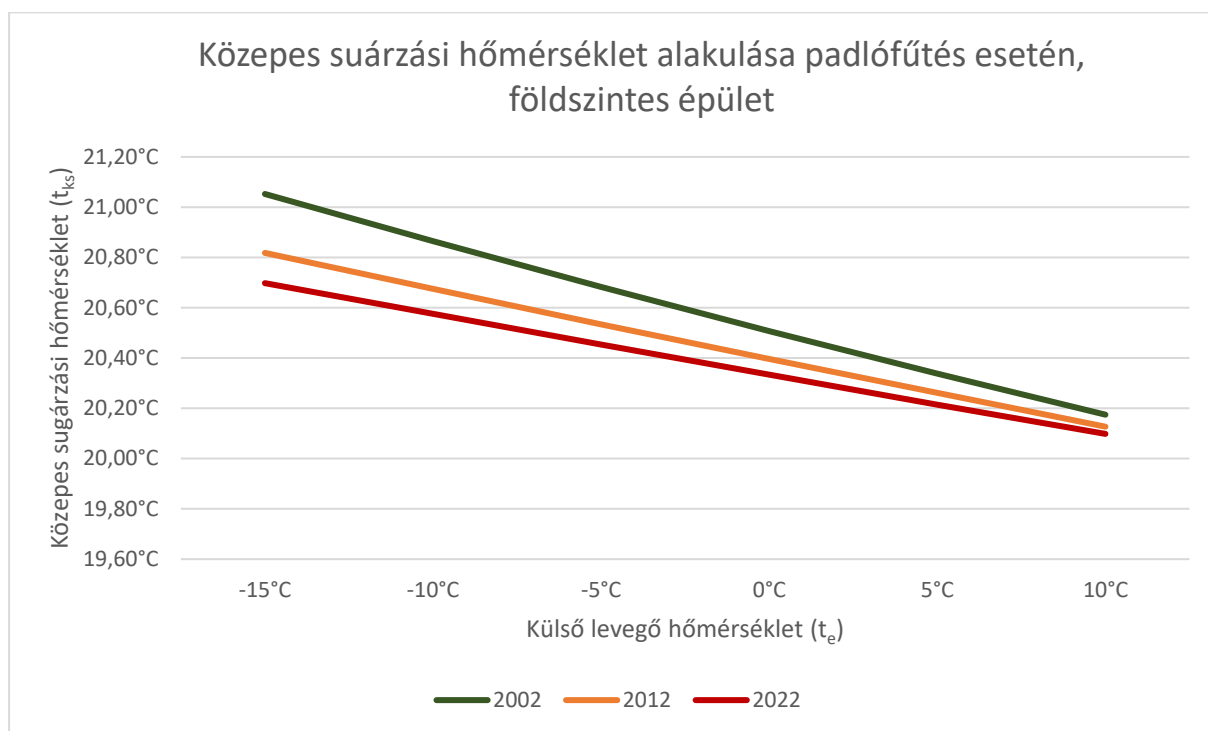


8.5 ábra

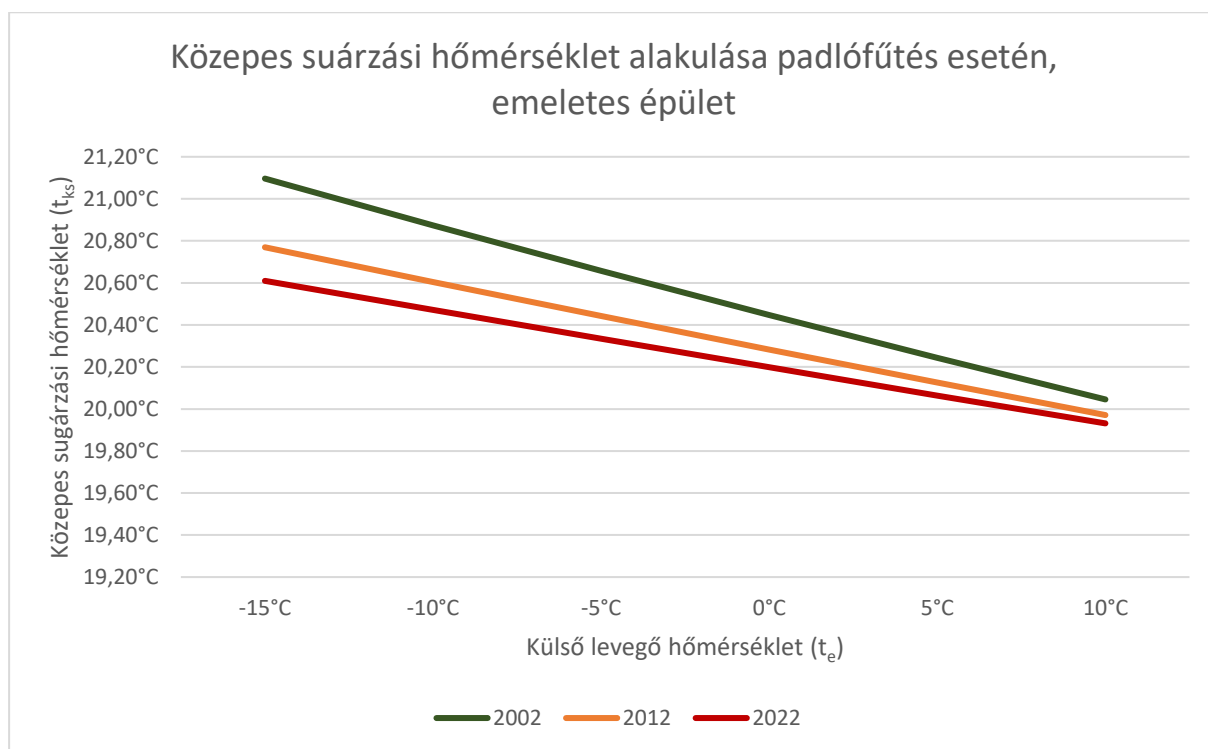


8.6 ábra

Padlófűtés esetén a közepes sugárzási hőmérsékletek az alább látható módon alakulnak:



8.7 ábra

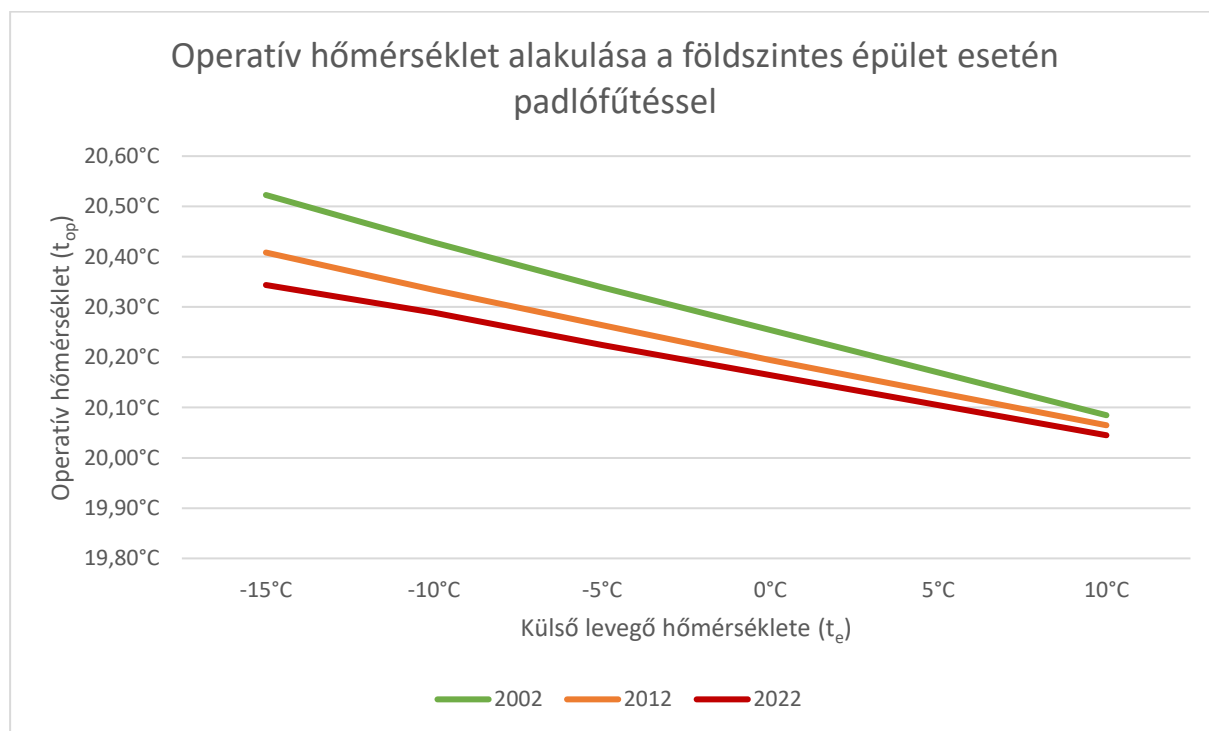


8.8 ábra

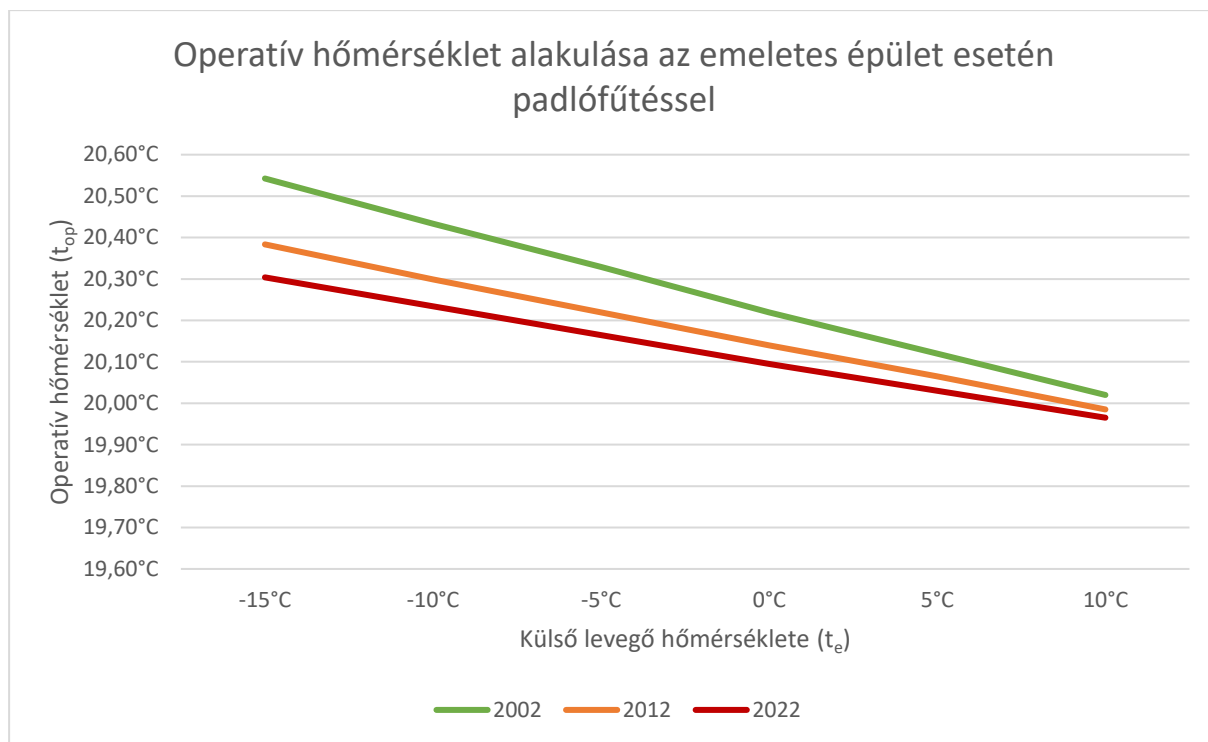
A tisztán padlófűtéses esetben a közepes sugárzási hőmérsékletek alakulásáról a diagramok alapján elmondható, hogy a radiátoros esettel ellentétben, a közepes sugárzási hőmérséklet értékek csökkennek a külső hőmérséklet emelkedésével, illetve ugyanez figyelhető meg, ha a

hőtechnikai korszerűség alapján vizsgáljuk ezt a tendenciát. Erre a jelenségre a magyarázatot a 7.6 és 7.7 összefüggések, és a hőveszteségek alakulásának figyelembevételével lehet logikusan megadni. A padlófűtés és egyéb sugárzó fűtések esetén a fűtőfelület hőveszteségét (jelen esetben a padlóét) nem vesszük figyelembe, ezáltal szignifikáns eltérés mutatkozik a radiátoros esethez képest, így a fajlagosan leadandó hőmennyiség is jelentősen kevesebb. Ez azt eredményezi, hogy a jelenlegi esetben padló hőmérséklete fokozatosan csökken, amely a legmagasabb térszög értékkel bír mind a kettő helyiség esetében. Így a kisebb φ értékkel rendelkező, de folyamatosan növekvő hőmérsékletű felületek ezt nem tudják kellőképpen kompenzálni, és emelni a közepes sugárzási hőmérsékletet. Ugyanakkor érdemes azt érdemes megjegyezni, hogy a 2 helyiség esetén minden vizsgált évre és azon belül is a padlófűtés esetén magasabb a közepes sugárzási hőmérséklet, mint a radiátoros fűtés esetén. Emellett a közepes sugárzási hőmérséklet meg is haladja a legtöbb esetben a 20 °C-os tartani kívánt belső levegőhőmérsékletet.

A közepes sugárzási hőmérséklet ismeretében a padlófűtés esetén kapott operatív hőmérsékletek:



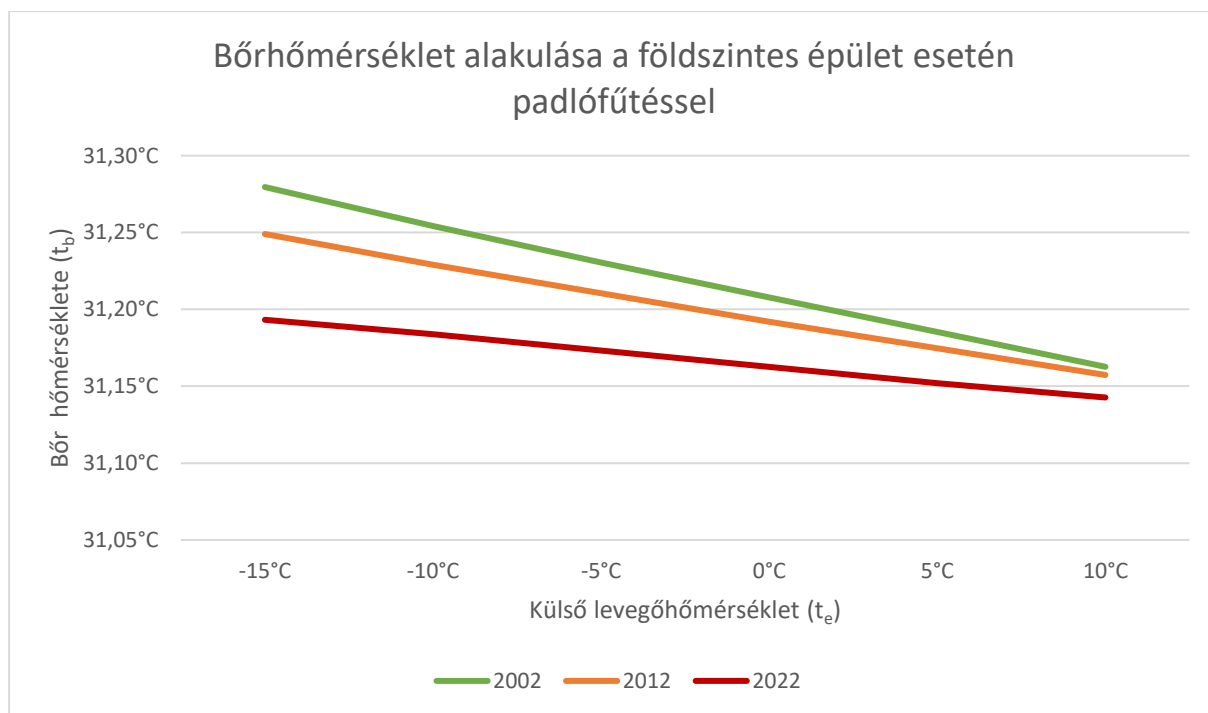
8.9 ábra



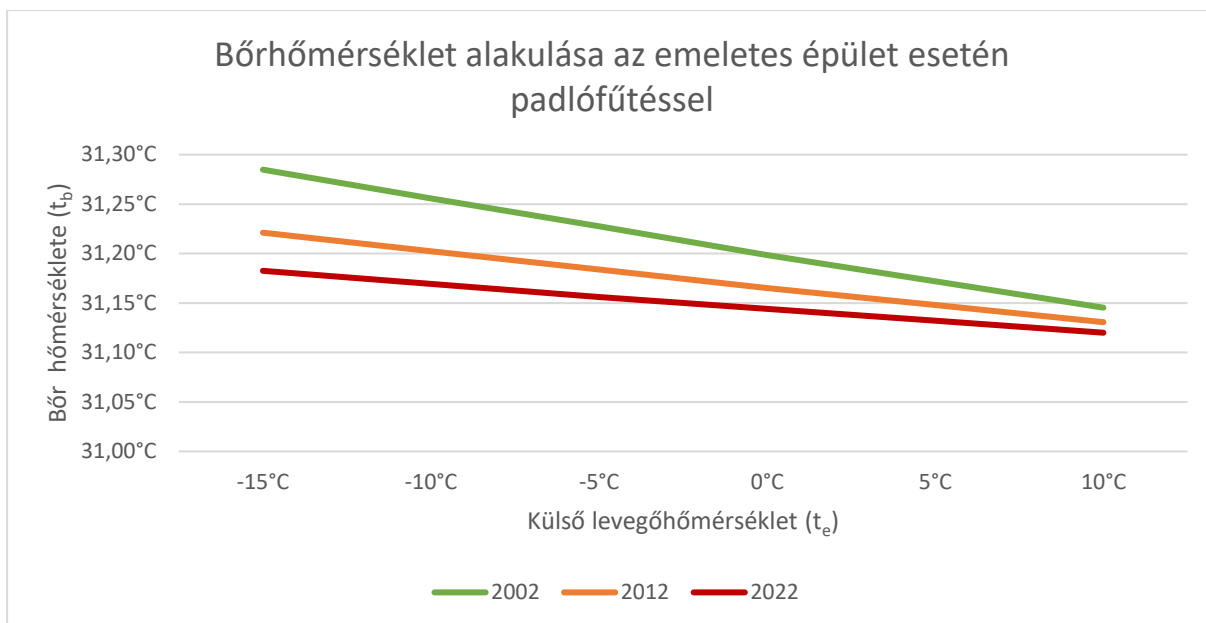
8.10 ábra

A kapott adatok alapján megállapítható, hogy a padlófűtéses esetben az operatív hőmérsékletek értéke magasabb, mint a radiátoros fűtési mód esetén, illetve a közepes sugárzási hőmérséklethez hasonlóan a külső hőmérséklet növekedése ellenére csökkenő tendenciát mutat.

Padlófűtés esetén a bőrhőmérséklet:



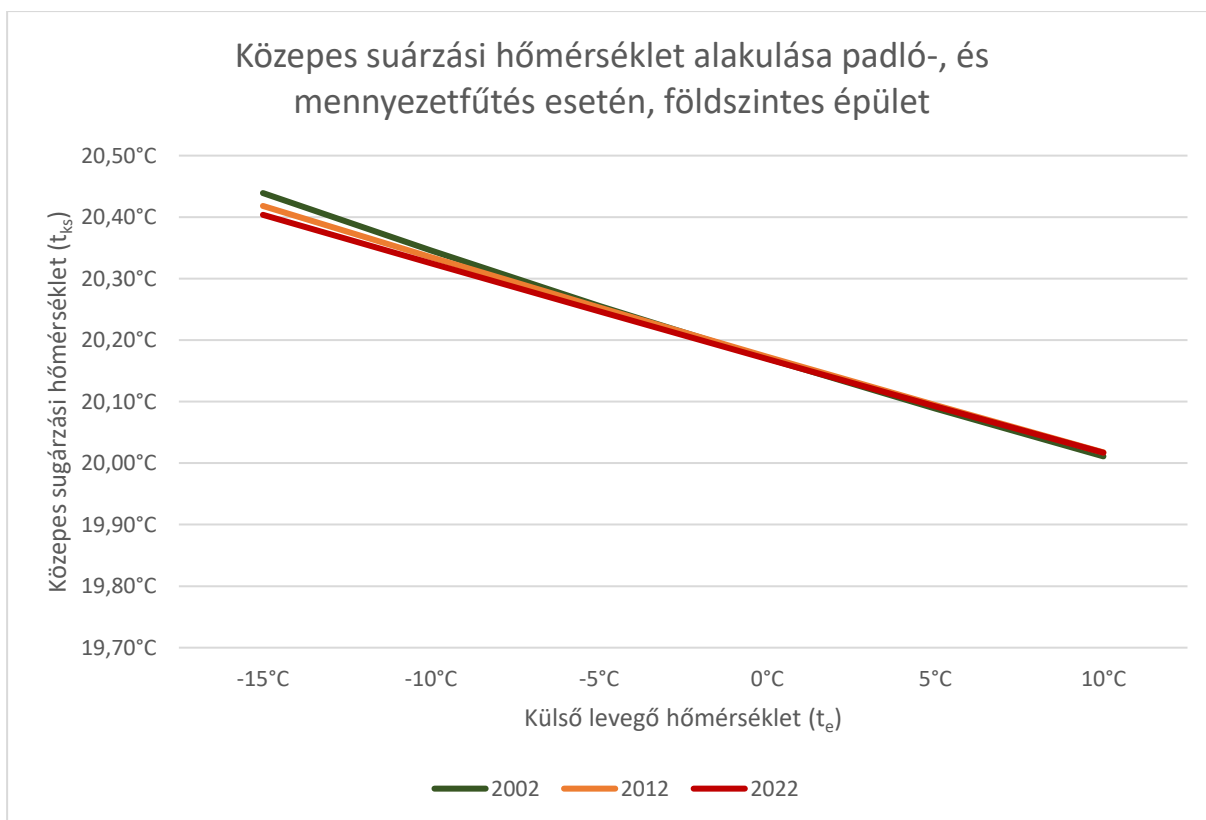
8.11 ábra



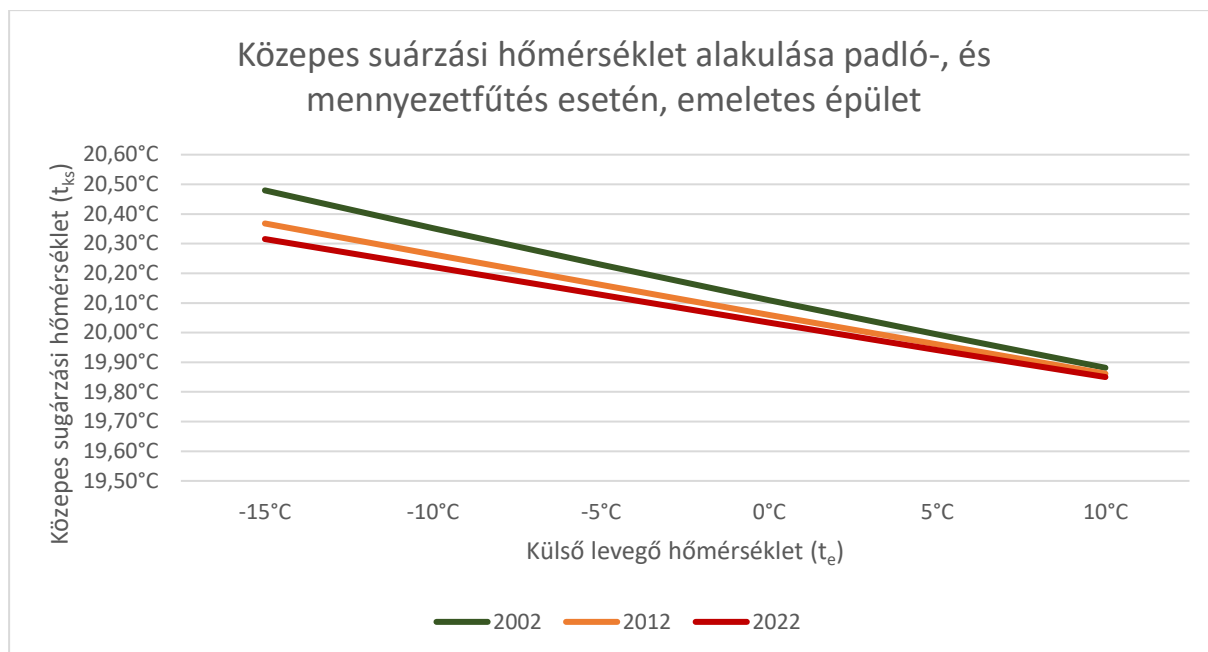
8.12 ábra

A padlófűtés esetén kialakuló bőrhőmérséklet hasonló irányba változik, mint a közepes sugárzási-, illetve az operatív hőmérsékletek ugyanezen fűtési megoldásnál. Külső hőmérséklet emelkedés hatására csökken, de magasabb, mint a radiátoros esetben.

Padló-, és mennyezetfűtés esetén a közepes sugárzási hőmérsékletek alakulása:



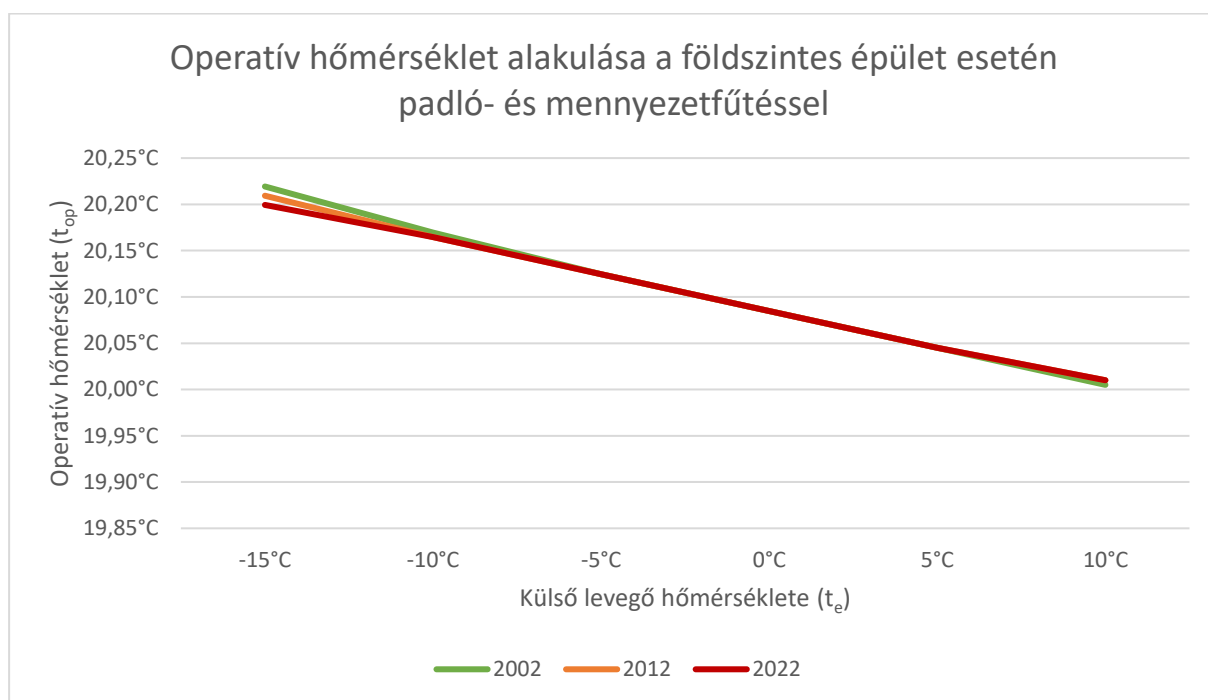
8.13 ábra



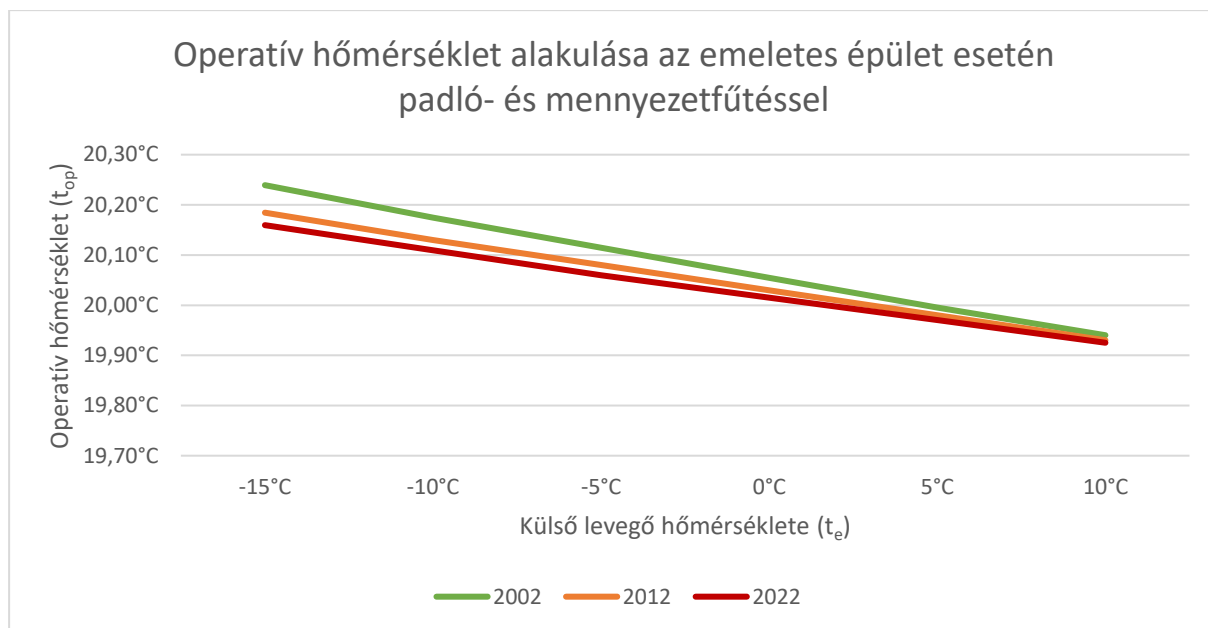
8.14 ábra

A padló-, és mennyezetfűtés esetén kapott közepes sugárzási hőmérsékletek alakulása jellegében hasonlít a padlófűtéses esetére, a külső hőmérséklet növekedése mellett az érték csökken ugyanazon okból, illetve magasabb a kapott közepes sugárzási hőmérséklet értéke, mint a radiátoros esetben. A közepes sugárzási hőmérsékletek értékei vagy magasabbak, mint a tartani kívánt 20 °C levegőhőmérséklet, vagy alulról közelítik azt.

Padló-, és mennyezetfűtés esetén az operatív hőmérsékletek alakulása:



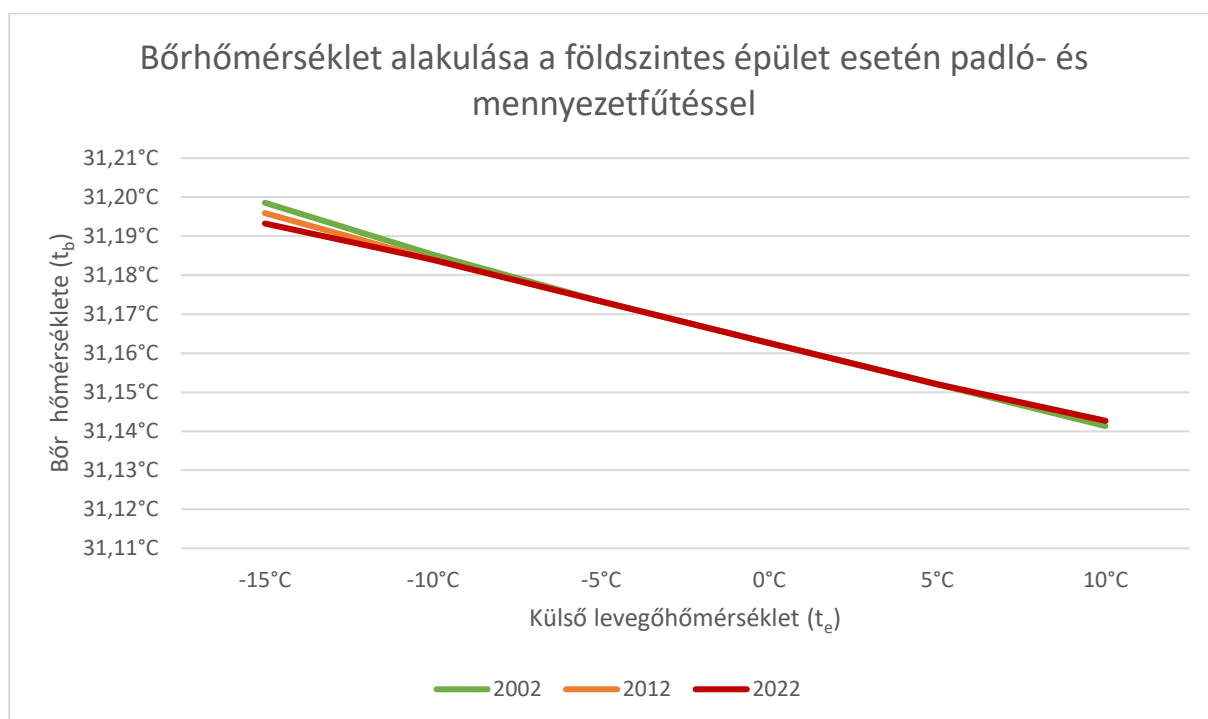
8.15 ábra



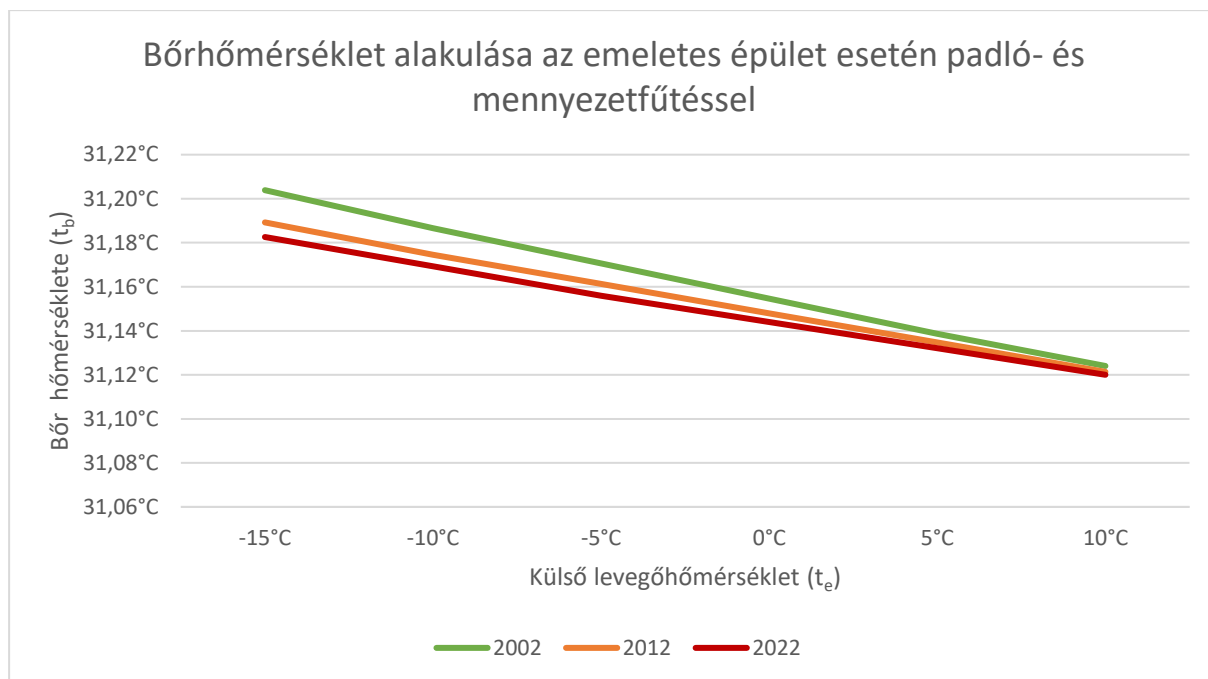
8.16 ábra

A padló-, és mennyezetfűtés esetében az operatív hőmérséklet – a padlófűtési megoldáshoz hasonlóan- a külső hőmérséklet növekedésére csökkenéssel reagál, amelynek oka a nagy felületű, ezzel együtt a vizsgálat alanyára térszög szempontjából nagy befolyást gyakorló alacsony hőmérsékletű fűtőfelületek felületi hőmérséklete, amely jelenség a fokozatosan csökkenő fajlagos hőveszteség okából lép fel.

Padló-, és mennyezetfűtés esetén kialakuló bőrhőmérséklet:



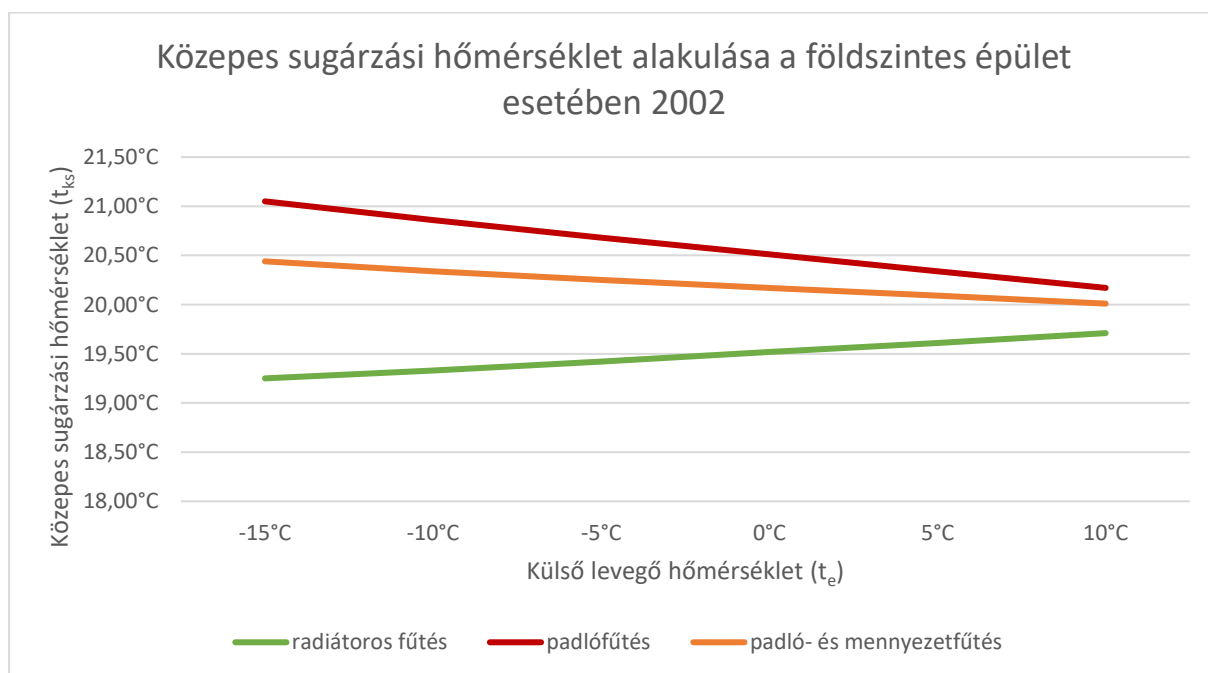
8.17 ábra



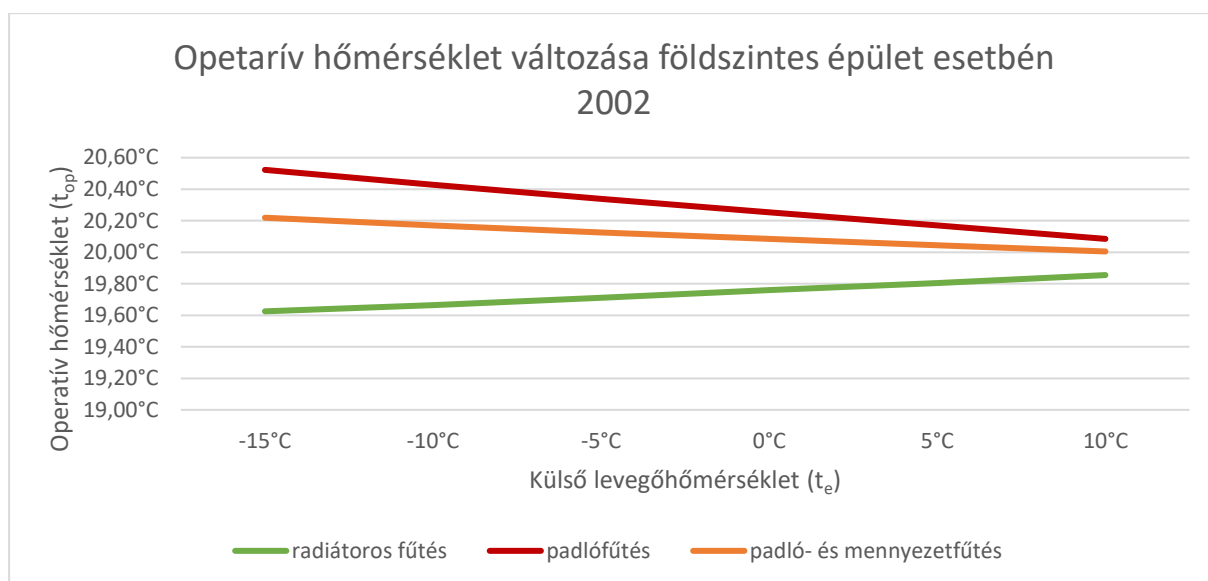
8.18 ábra

A padló-, és mennyezetfűtés esetén a bőr hőmérséklete a vizsgálat alanyának a külső hőmérséklet növekedés hatására csökken, pont, mint a padlófűtéses esetben, de túlnyomó többségben még mindig magasabb, mint a radiátoros módnál tapasztalt.

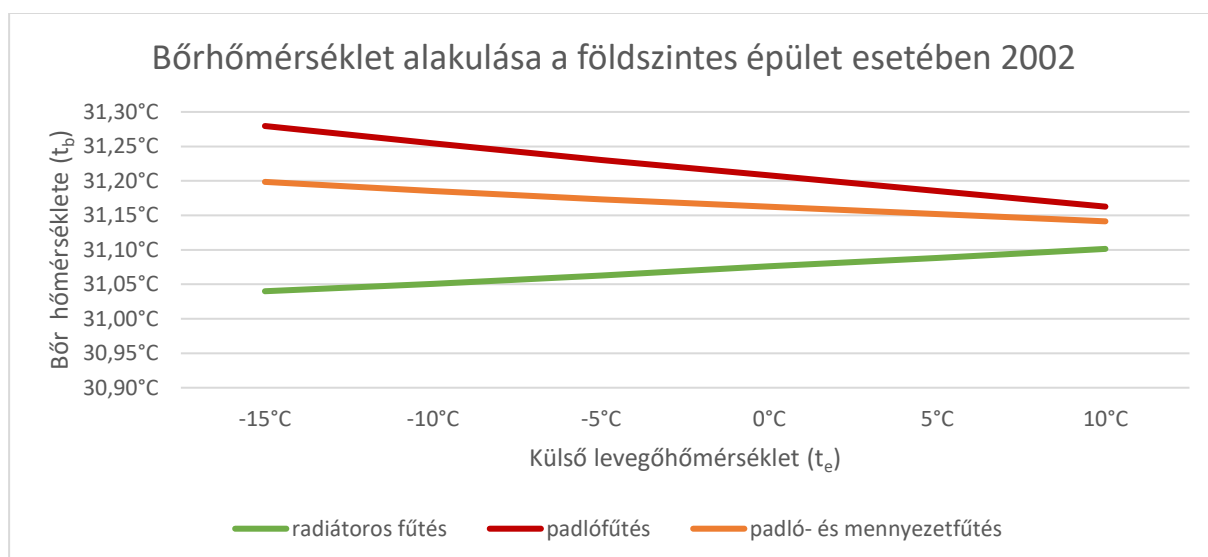
Az így kapott értékeket a fűtési mód helyett az adott tárgyékhez rendelve az alábbi operatív hőmérséklet diagramokat kapjuk:



8.19 ábra



8.20 ábra



8.21 ábra

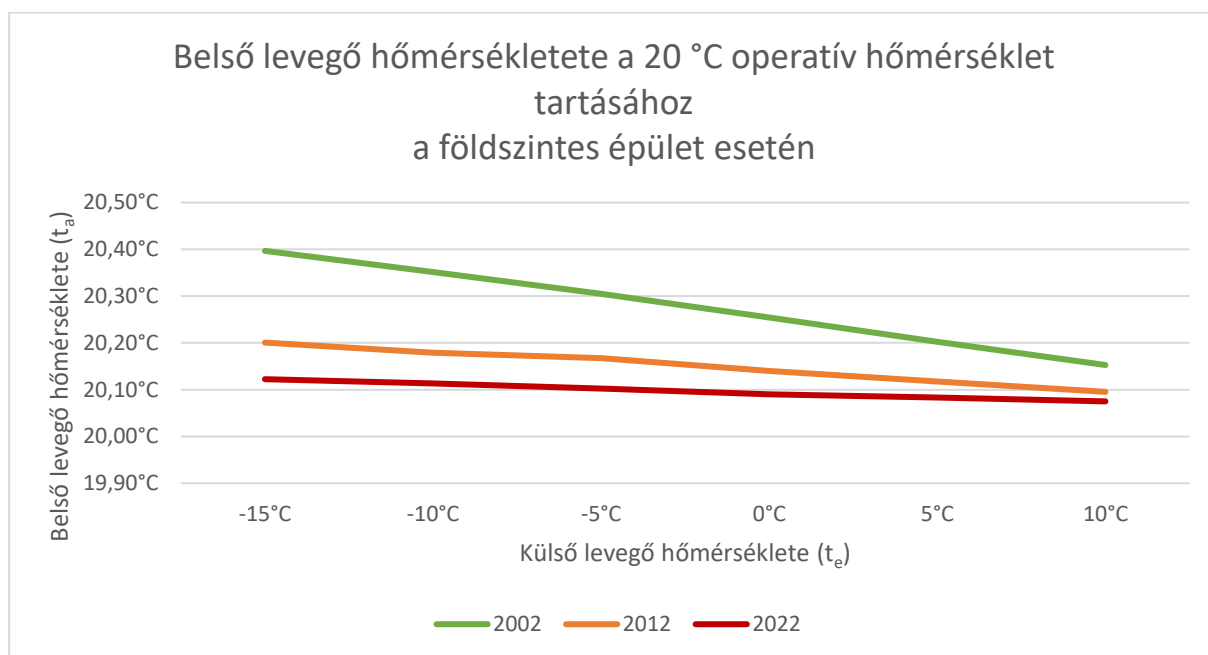
A vizsgált évekre bontva megfigyelhető, hogy ugyanazon épület ugyanazon helyisége más-más fűtési módszert alkalmazva eltérő komfortkörülményeket eredményez. Mindkét épület esetében az összes vizsgált esetről megfigyelhető, hogy a közepes sugárzási-, az operatív-, illetve a bőrhőmérsékletek értékeinek sorrendje a következő (a legmagasabbtól a legalacsonyabbig):

1. Padlófűtés
2. Padló- és mennyezetfűtés
3. Radiátoros fűtés

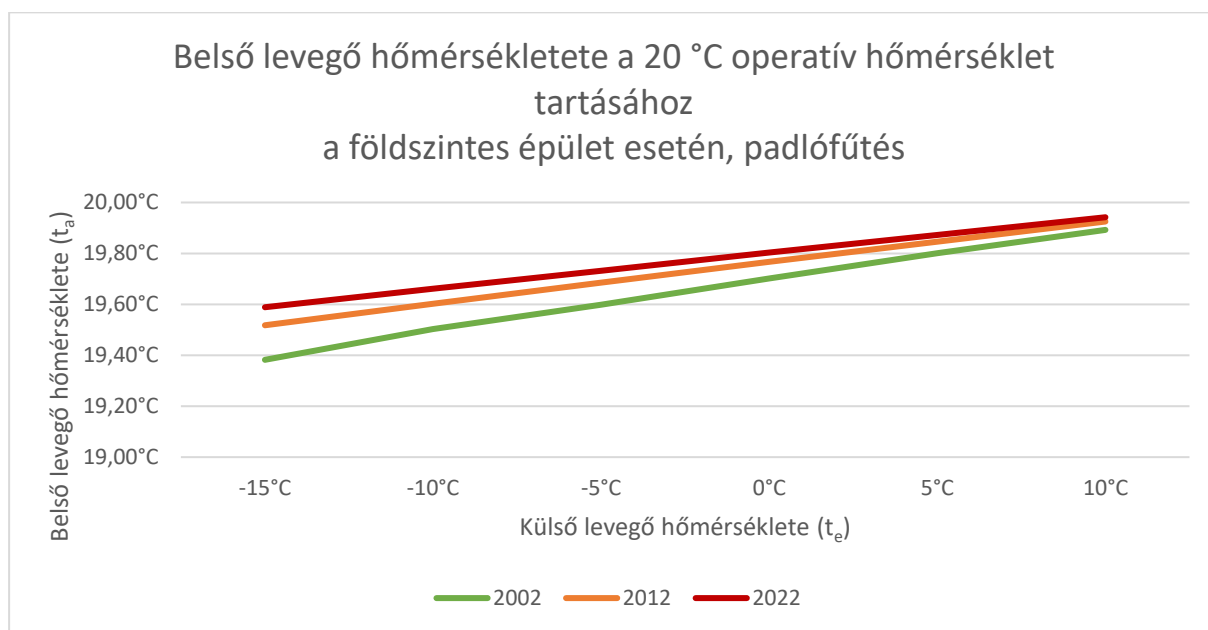
A földszintes épület 2012 és 2022, valamint az emeletes épület a 2002, 2012 és 2022 esetén a közepes sugárzási-, operatív és bőrhőmérsékleteket szemléltető diagramok a 4. számú mellékletben találhatók meg.

9. Új lég- és közepes sugárzási hőmérsékletek

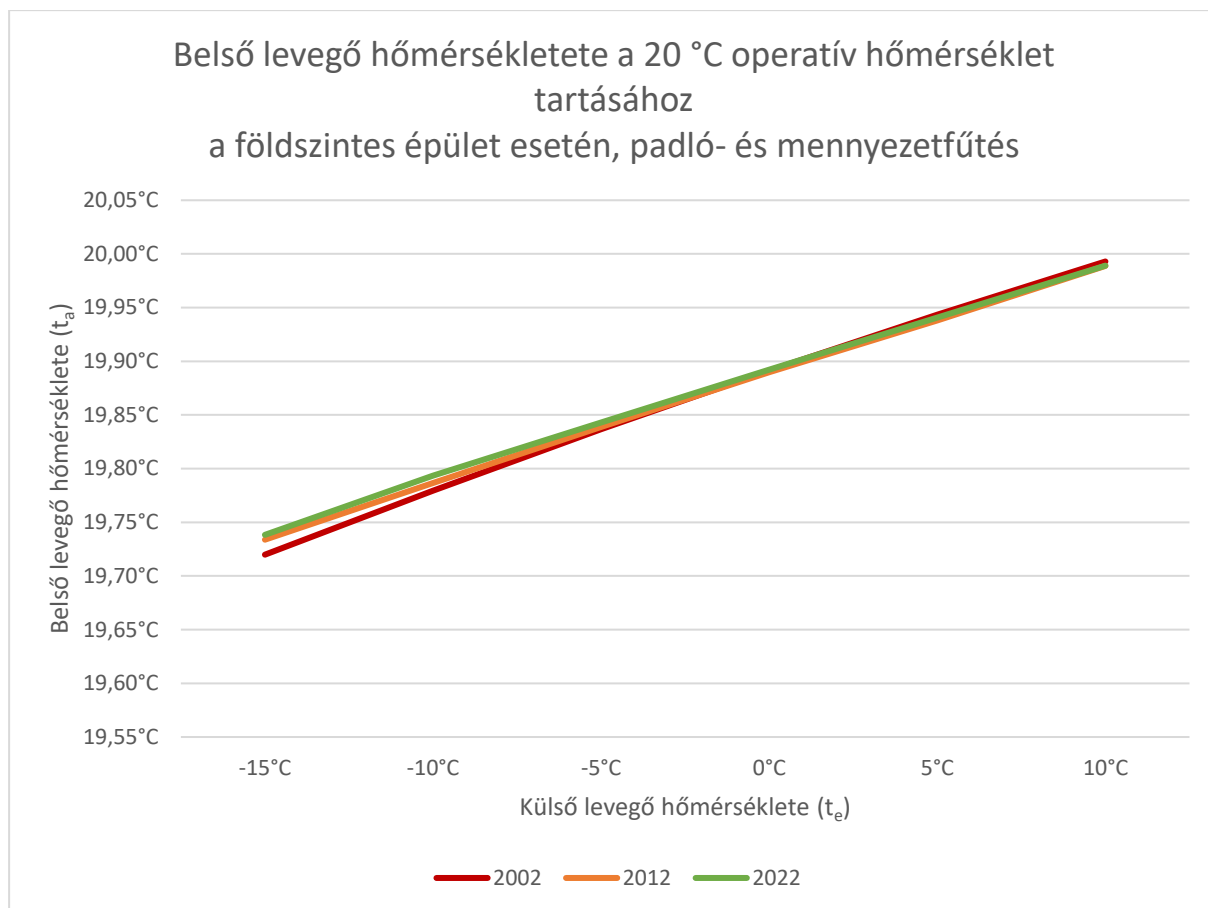
Az előző bekezdéshez hasonlóan ugyan azon 2 helyiséget veszem górcső alá, szinte változatlan paraméterekkel. Az egyetlen dolog, ami változik, az az állandó jelleggel a belső térben tartani kívánt hőmérséklet, ami jelen esetben (az előzővel ellentétben) a 20 °C operatív hőmérséklet. A 8.6 összefüggés segítségével belátható, hogy az állandó operatív hőmérséklet elméletben állandó bőrhőmérsékletet eredményez, mondhatni a vizsgálat alanyának komfortérzete állandó. Ezen esetben a $t_{op}=20\text{ °C}$ tartásához szükséges levegőhőmérsékleteket határoztam meg, amelyeket a következő diagramok mutatnak be:



9.1 ábra



9.2 ábra



9.3 ábra

Az előzőleg bemutatott diagramok alapján megállapítható, hogy a 3 fűtési mód közül a radiátoros az, ahol a 20 °C operatív hőmérséklet tartásához többször, jelentősen meg kell haladnia az adott levegőhőmérsékletnek az operatív értéket, hogy az az adott rében kialakítható, illetve fenntartható legyen. Ugyanakkor megfigyelhető, hogy a sugárzó fűtések közül is a tisztán padlófűtési opció teszi azt jobban lehetővé, hogy ugyan olyan hőérzet mellett alacsonyabb levegőhőmérsékletet kelljen tartani.

Összegezve általánosan kijelenthető, hogy állandó operatív hőmérséklet tartása esetén a legmagasabb belső levegő hőmérsékletre radiátoros fűtési mód esetén, van szükség, ezt követi a padló-, és mennyezetfűtési megoldás, a legalacsonyabb levegőhőmérsékletet tartani pedig a padlófűtés esetén lehet a vizsgált esetek közül.

Az emeletes épületre vonatkozó levegő hőmérséklet diagramokat az 5. számú melléklet tartalmazza, a hozzá-, illetve a földszintes épülethez tartozó, közepes sugárzási hőmérséklet diagramokat szintén tartalmazza a melléklet.

10. Korrigált szellőzési és transzmissziós hőveszteségek

A kiválasztott fűtött helyiségben tartott állandó operatív hőmérséklet értéke esetén az adott tér levegőhőmérséklete eltér a dolgozat elején meghatározottaktól, így könnyű belátni, hogy az ebben az esetben fennálló hőveszteségek azoktól különböznek. Ennek egyik összetevője a határoló szerkezetek esetén bekövetkező belső oldali hőmérséklet emelkedése, vagy éppen csökkenése, ennek hatására változnak a transzmissziós hőveszteségek. A második összetevő önmagában a levegőhőmérséklet változása, amelyből a szellőzési hőveszteség megváltozása ered.

Az itt meghatározott hőveszteségek számítása megegyezik a 4. bekezdésben ismertetett módszerrel, alkalmazott összefüggésekkel.

A két kiválasztott helyiség teljes hőveszteségei a méretezési állapotokban:

002 Szoba	<u>2002</u>	<u>2012</u>	<u>2022</u>
radiátoros fűtés	1555 W	1146 W	886 W
padlófűtés	1285 W	898 W	685 W
padló-, és mennyezetfűtés	1141 W	809 W	624 W

10.1 táblázat: 002 Szoba helyiség hőveszteségei évek és fűtési módok szerint

102 Hálószoza	<u>2002</u>	<u>2012</u>	<u>2022</u>
radiátoros fűtés	1442 W	995 W	757 W
padlófűtés	1398 W	975 W	745 W
padló-, és mennyezetfűtés	1248 W	882 W	681 W

10.2 táblázat: 106 Hálószoza helyiség hőveszteségei évek és fűtési módok szerint

Amelyekből a szellőzési hőveszteségek:

002 Szoba	<u>2002</u>	<u>2012</u>	<u>2022</u>
radiátoros fűtés	245 W	244 W	243 W
padlófűtés	238 W	239 W	240 W
padló-, és mennyezetfűtés	240,6 W	240,66 W	240,72 W

10.3 táblázat: 002 Szoba helyiség szellőzési hőveszteségei évek és fűtési módok szerint

102 Hálószoza	<u>2002</u>	<u>2012</u>	<u>2022</u>
radiátoros fűtés	258 W	256,2 W	255,8 W
padlófűtés	250 W	251 W	252 W
padló-, és mennyezetfűtés	252 W	252,8 W	253,0 W

10.4 táblázat: 106 Hálószoza helyiség szellőzési hőveszteségei évek és fűtési módok szerint

Az így kapott, korrigált hőveszteségek adataiból az a megállapítás tehető, hogy az előző bekezdéshez tartozó közepes sugárzási diagramokon ábrázolt tendenciák megjelennek, a szellőzési hőveszteségek értékeiben. Emellett megállapítható, hogy a szellőzési veszteségek a

hőtechnikai előírások szigorodásával egyre nagyobb hányadot foglalnak el a helyiség teljes hőszükségletéből, amelynek nagyságát az alkalmazott fűtési mód is befolyásolja.

Az így kapott hőveszteségek értelmezésekor nem szabad elfeledkezni arról a tényről, hogy ezek az eredmények egy időpillanatra vonatkoztatott értékek, nem veszik figyelembe az idő múlását, teljesítmény-jellegűek. Amennyiben ezt megtesszük, akkor már energia-jellegű mennyiségekről beszélhetünk.

Egy fűtési idény során a külső hőmérséklet értékei változnak, ennek hatására nyilvánvaló az is, hogy az előzőekben meghatározott szellőzési hőszükségletek értékei nem az egész időszak alatt állnak fenn.

Ennek értelmében a jelenlegi adatokat ismerve meghatározható az egy fűtési idényre vonatkozó, helyiségbe bevitt friss levegő méretezési hőmérsékletre való felfűtéséhez szükséges hőteljesítmény. Ehhez azonban meg kell határozni következő lépésben az adott épületnél a fűtési idény hosszát.

A fűtési idény meghatározásának módszerét [47], illetve összefüggéseit az 6. számú melléklet tartalmazza.

Az így kapott fűtési idények hossza:

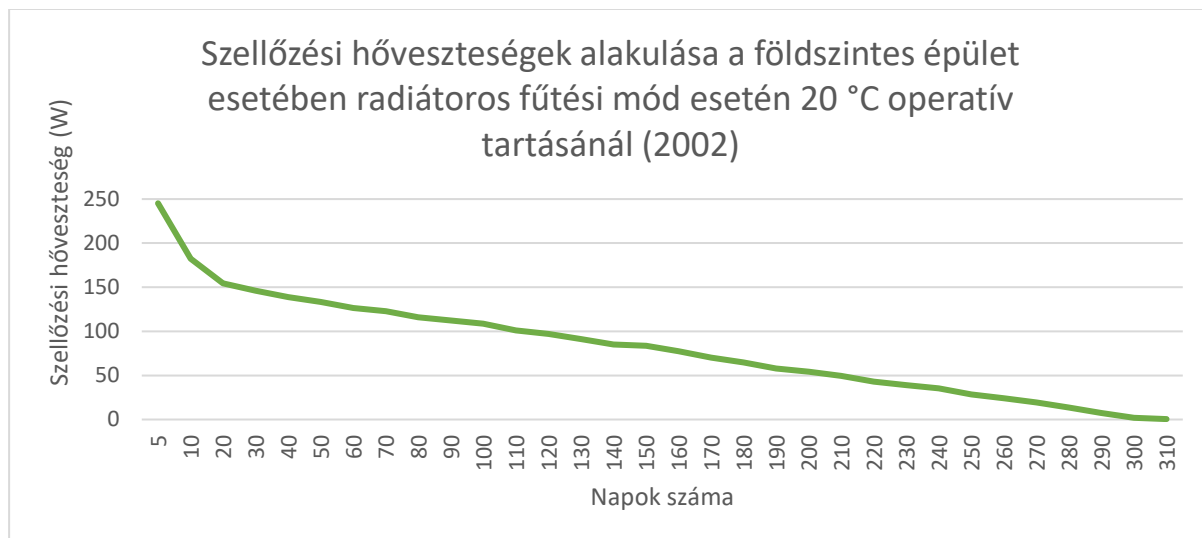
Fűtési határhőmérséklet, földszintes épület			Fűtési napok	Fűtési órák
2002	14,01	°C	220	5280
2012	12,36	°C	203	4872
2022	10,76	°C	180	4320

10.5 táblázat: Fűtési határhőmérséklet és fűtési idény hossza a földszintes épület esetén

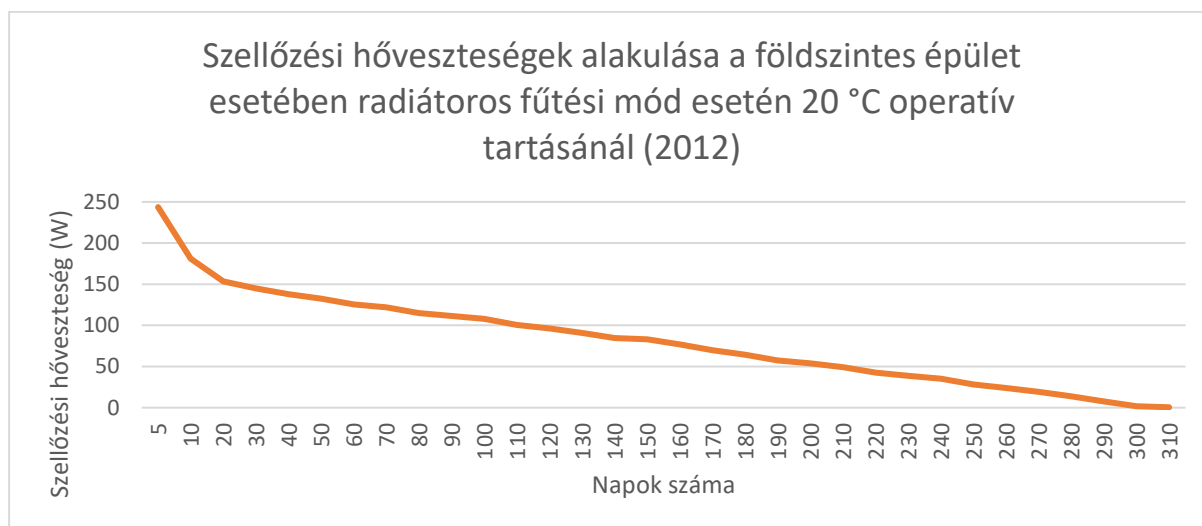
Fűtési határhőmérséklet, emeletes épület			Fűtési napok	Fűtési órák
2002	13,34	°C	210	5040
2012	11,71	°C	190	4560
2022	10,18	°C	170	4080

10.6 táblázat: Fűtési határhőmérséklet és fűtési idény hossza az emeletes épület esetén

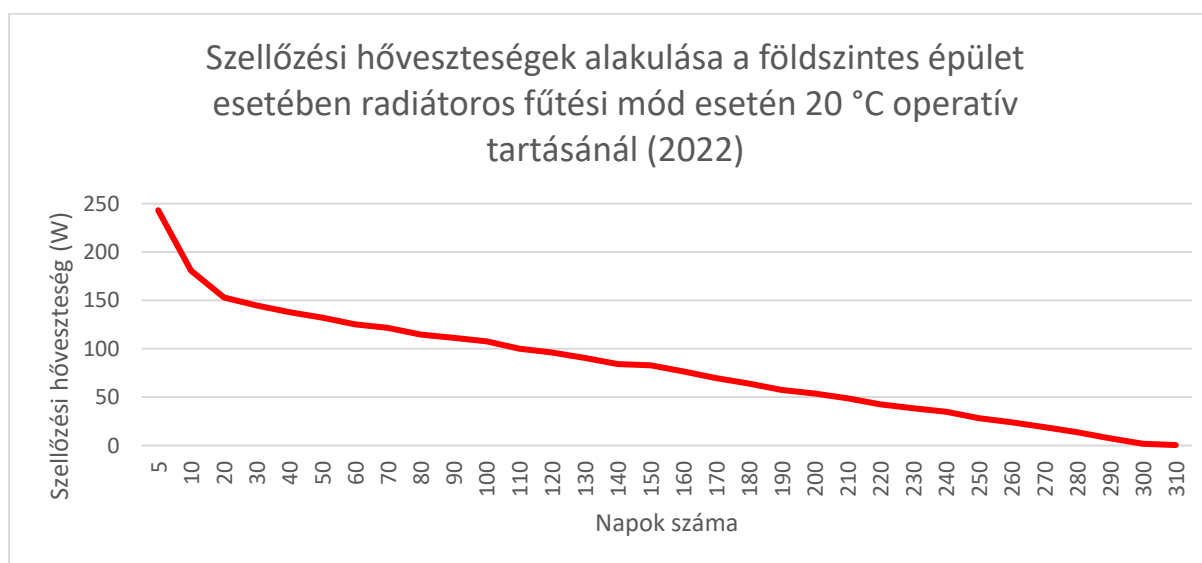
A különböző külső hőmérsékletekhez tartozó 20 °C operatív hőmérséklet esetén kialakuló szellőzési hőveszteségek alakulását a következő diagramok szemléltetik (Az ábrákon látható napok számához tartozó hőmérséklet értékeket a hőfokgyakorisági görbéről [47] leolvasva kaptam):



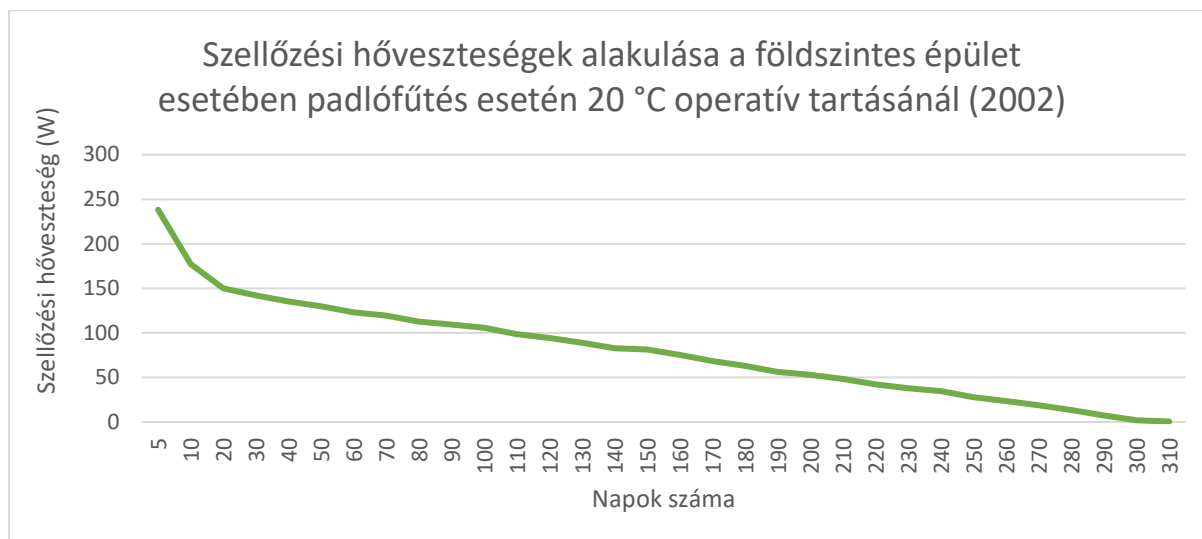
10.1 ábra



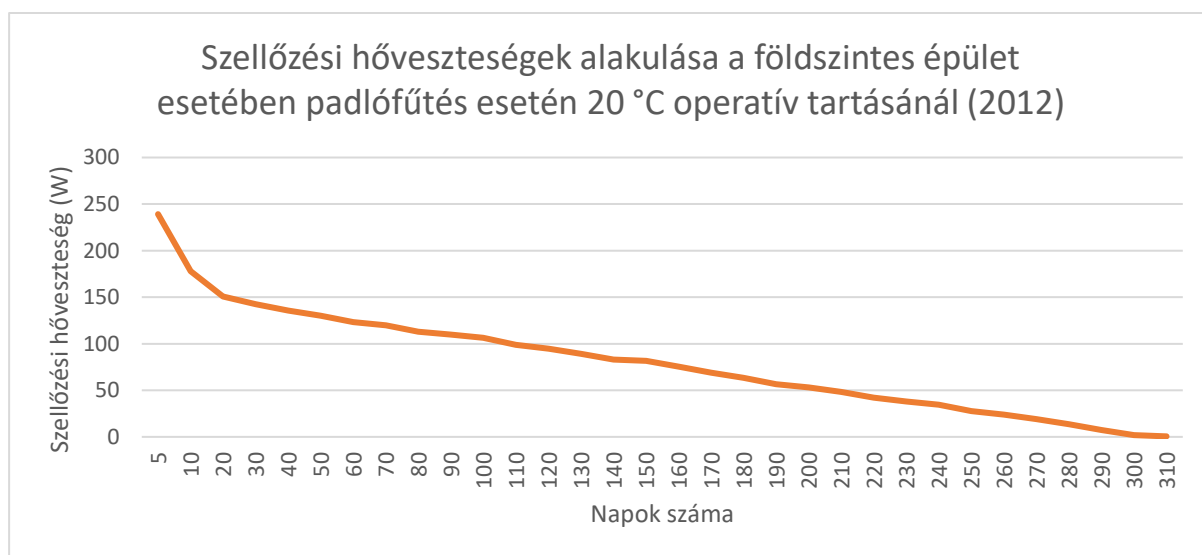
10.2 ábra



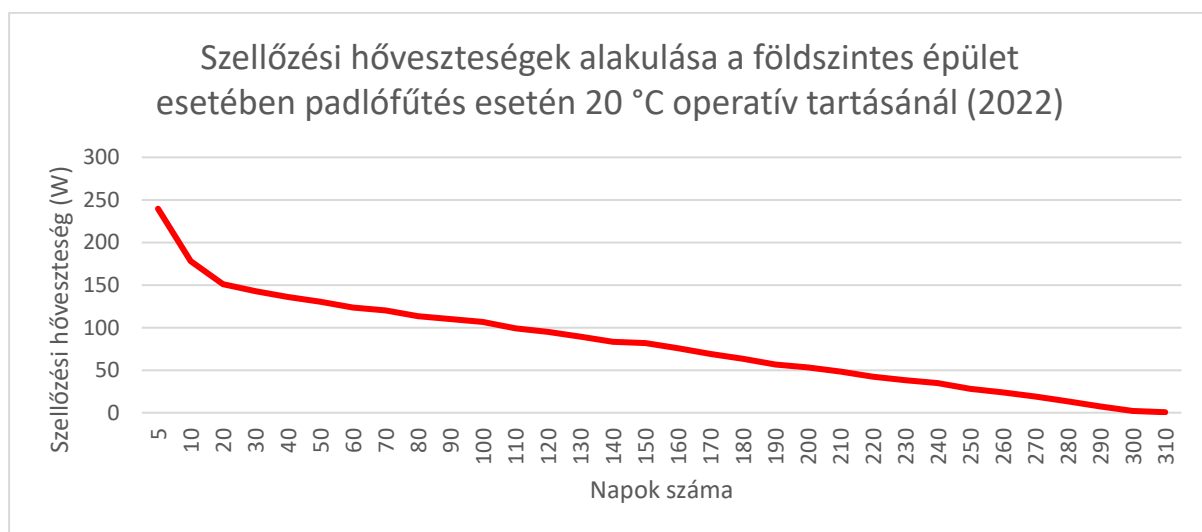
10.3 ábra



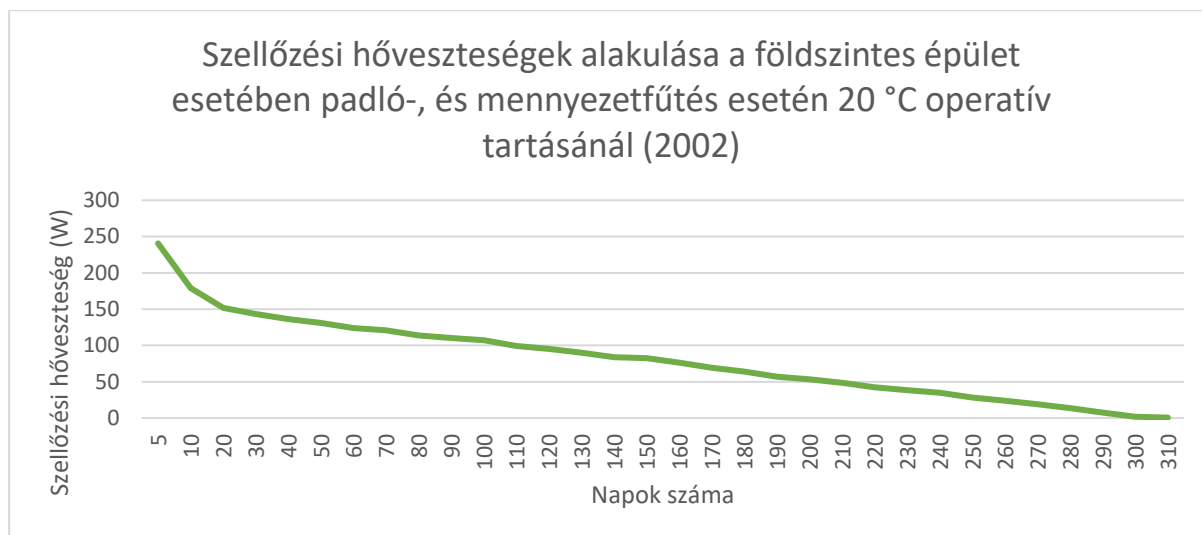
10.4 ábra



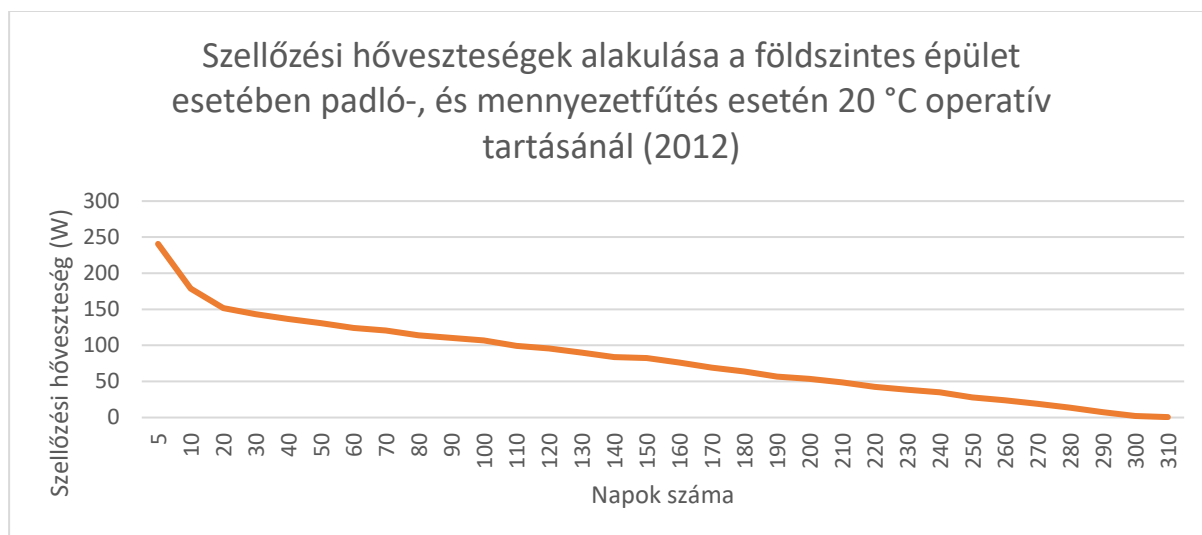
10.5 ábra



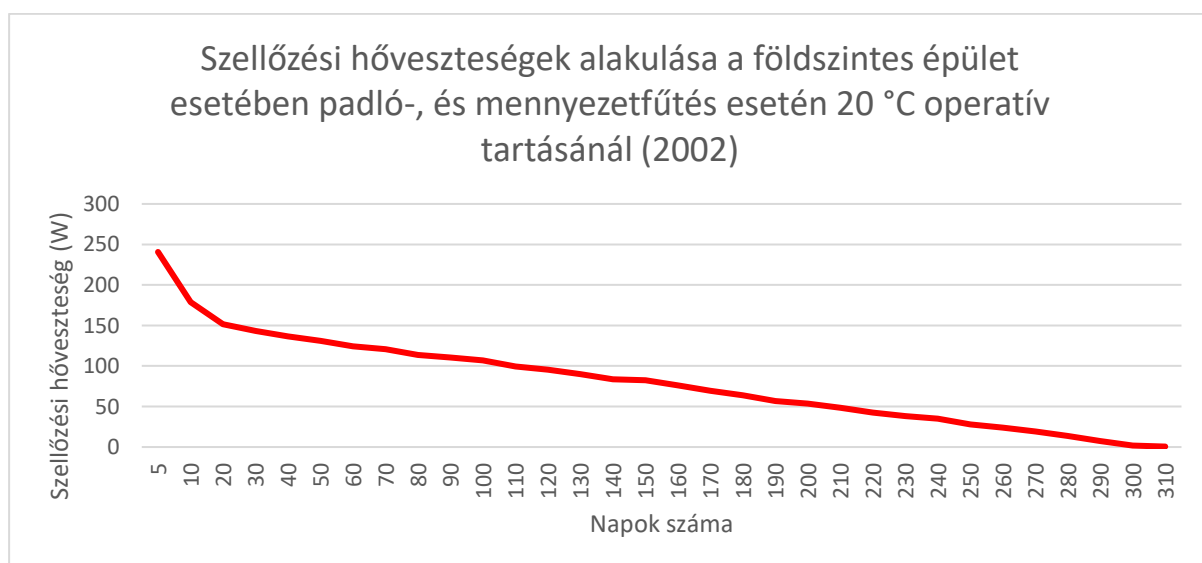
10.6 ábra



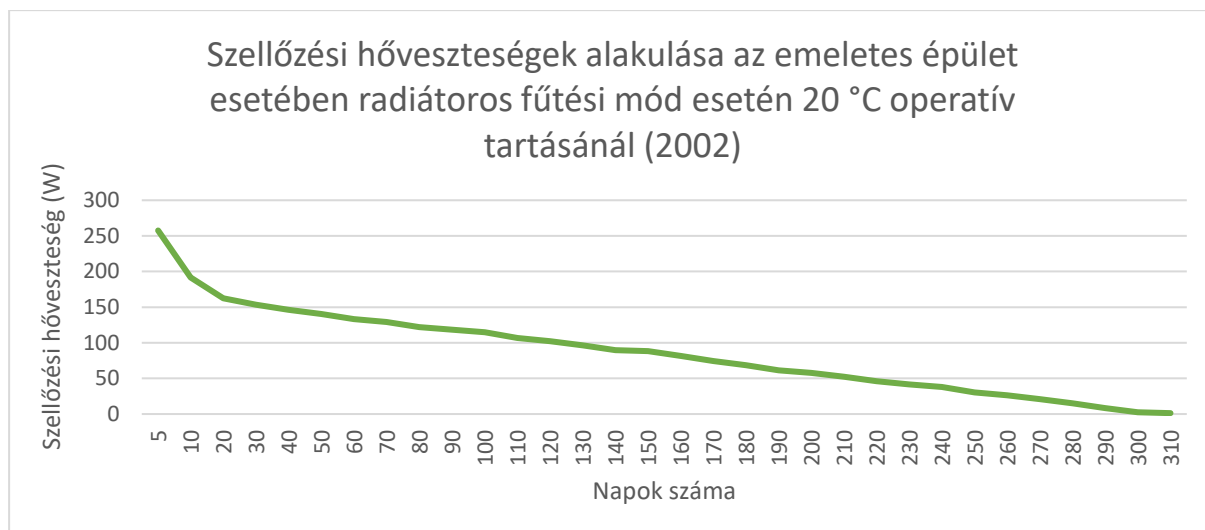
10.7 ábra



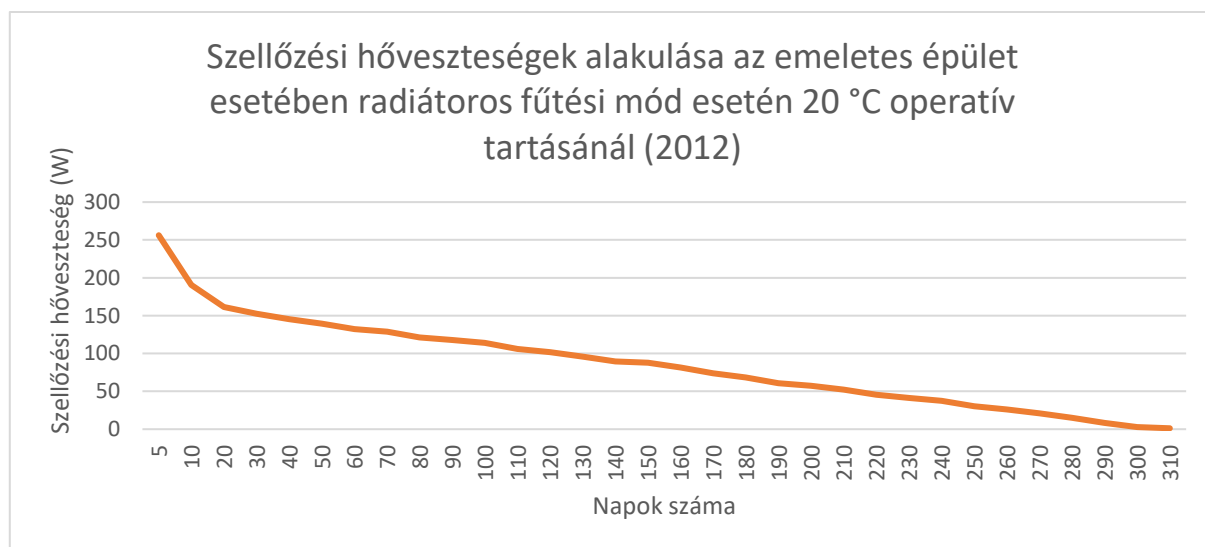
10.8 ábra



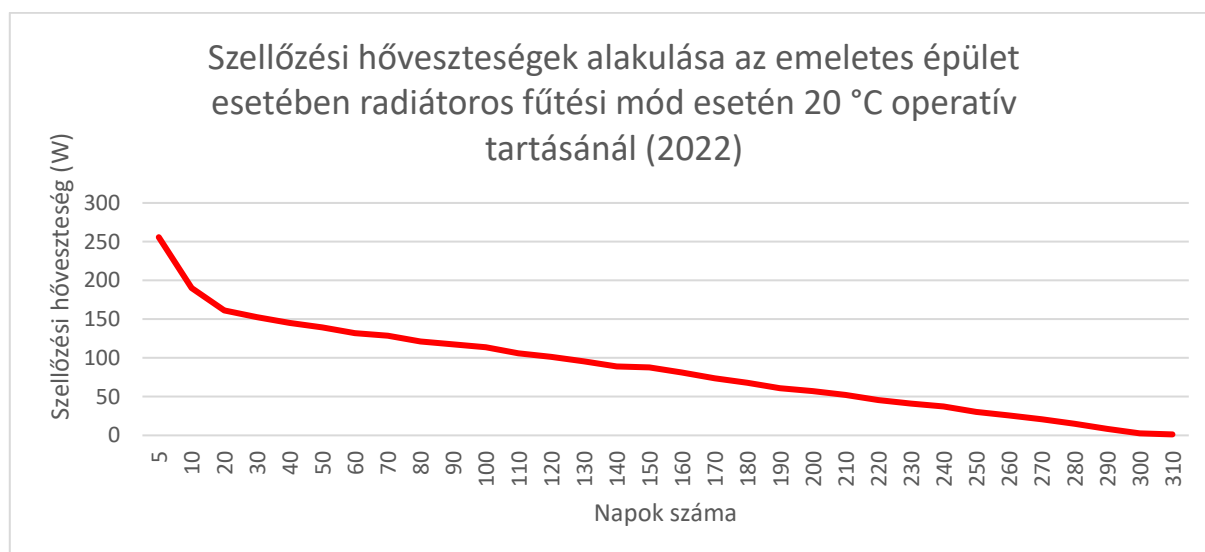
10.9 ábra



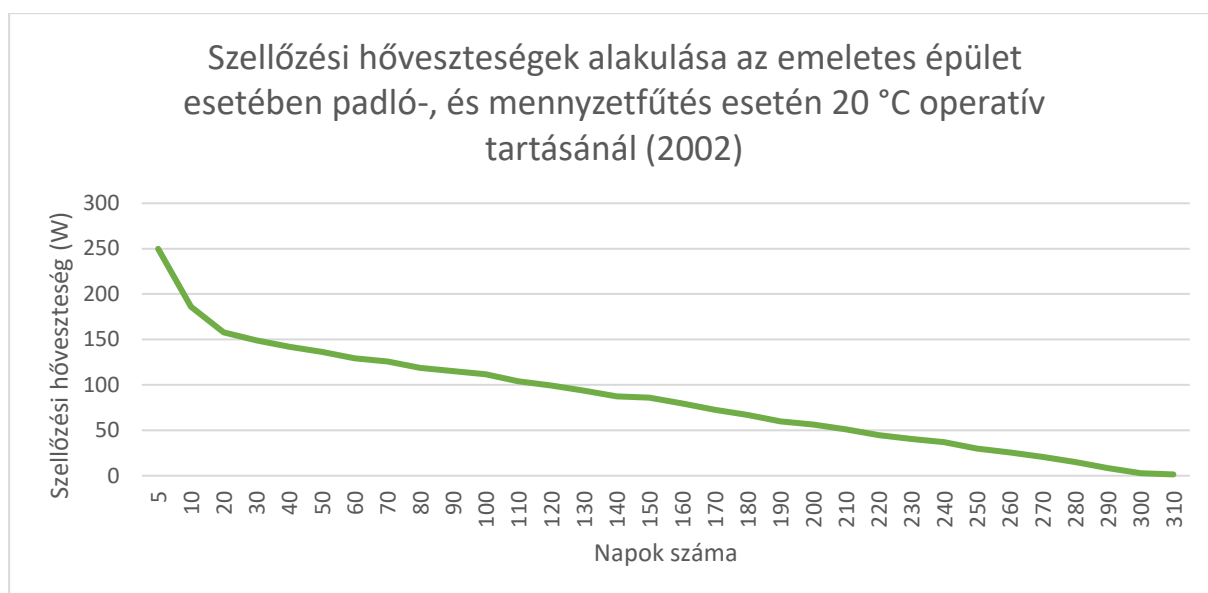
10.10 ábra



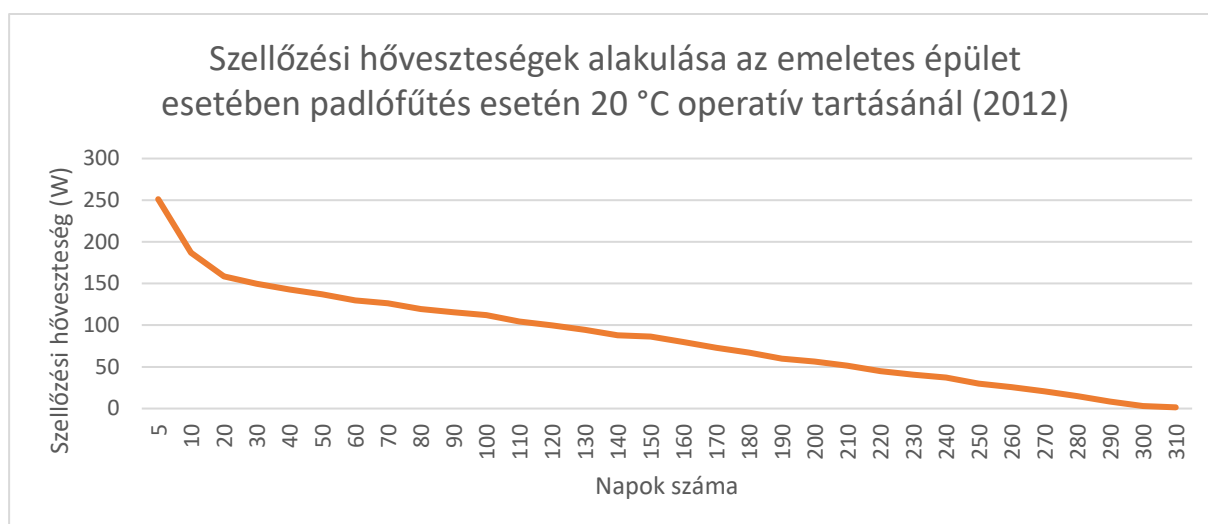
10.11 ábra



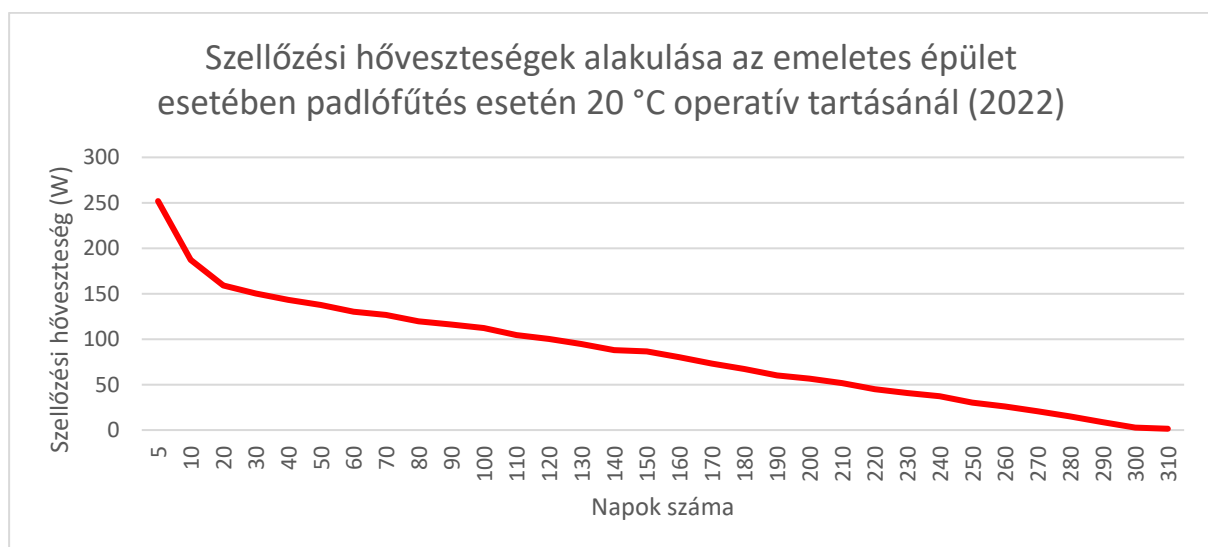
10.12 ábra



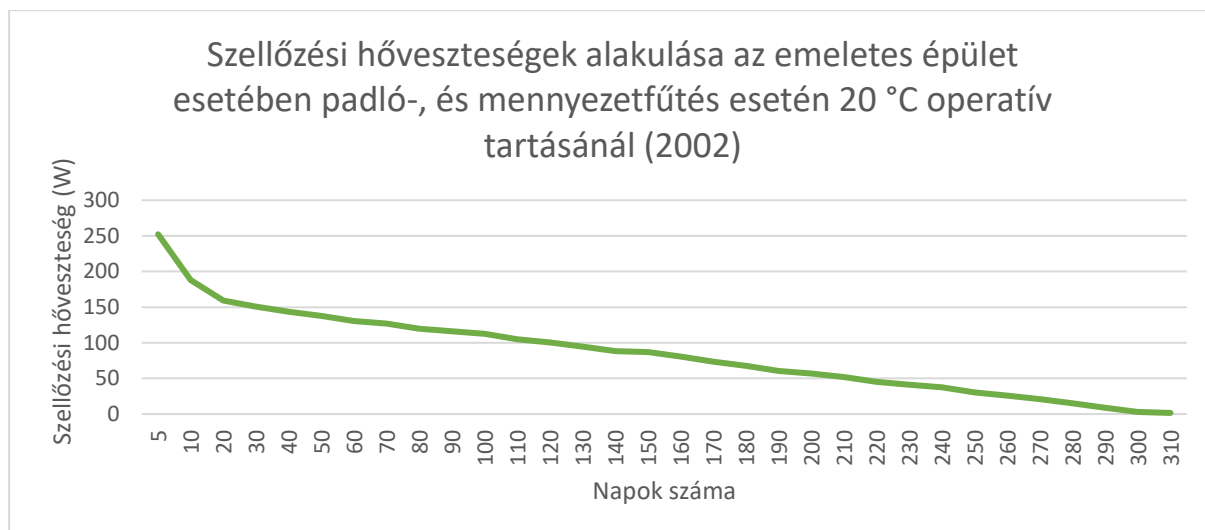
10.13 ábra



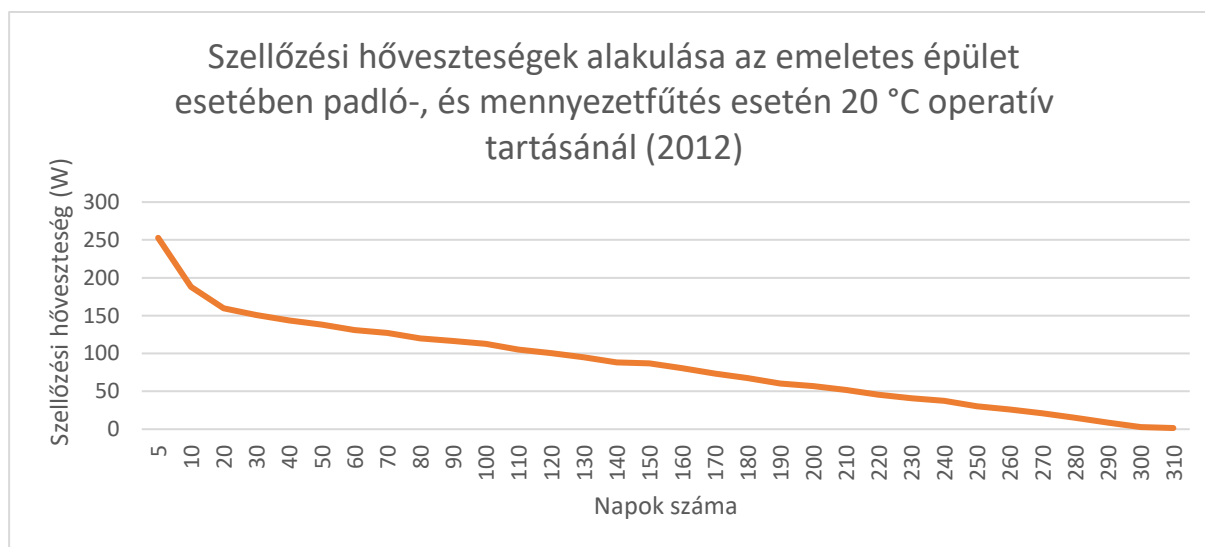
10.14 ábra



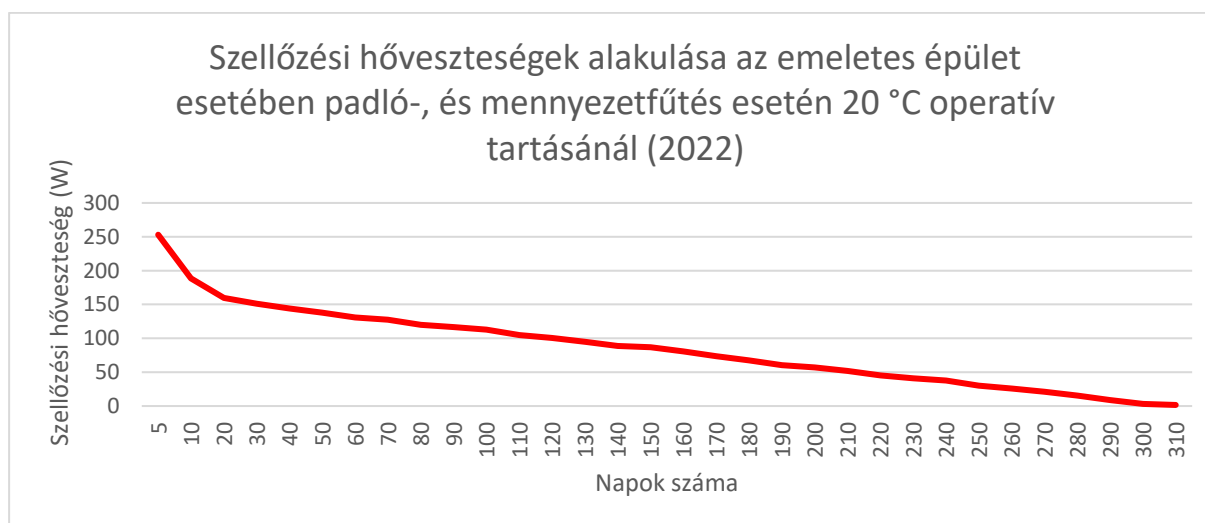
10.15 ábra



10.16 ábra



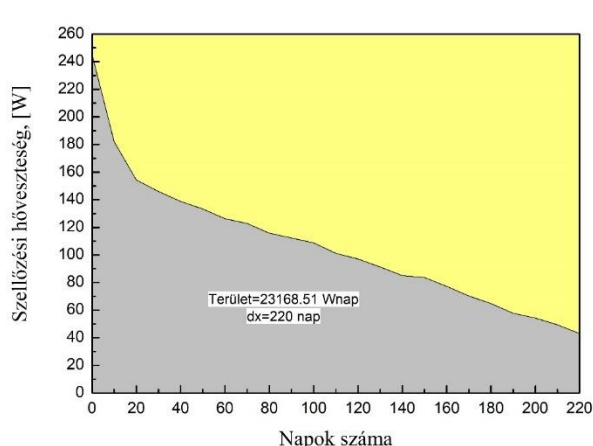
10.17 ábra



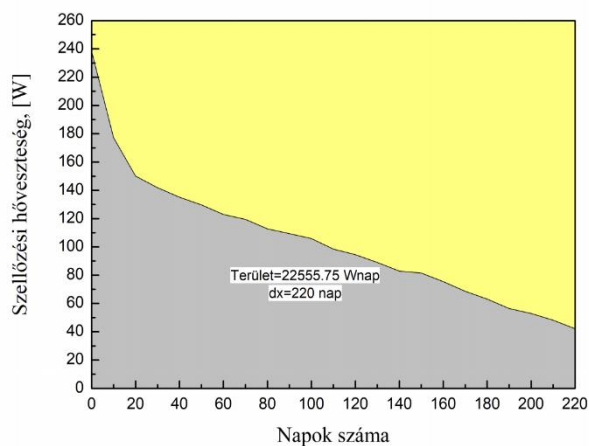
10.18 ábra

A fenti diagramok által ábrázolt adatok az 8. számú mellékletben táblázatosan megtalálhatóak.

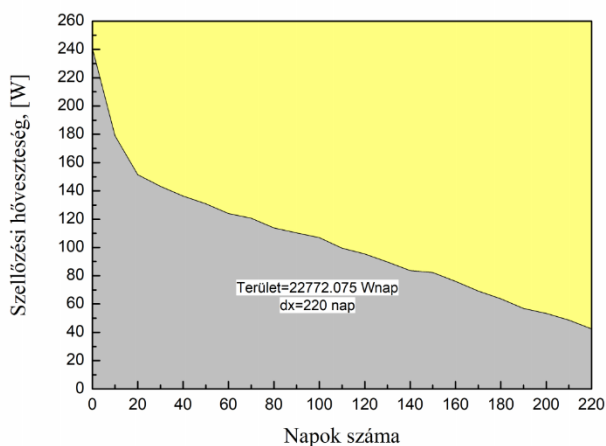
A rendelkezésre álló adatok alapján az integrálást elvégezve az eredmények a következők:



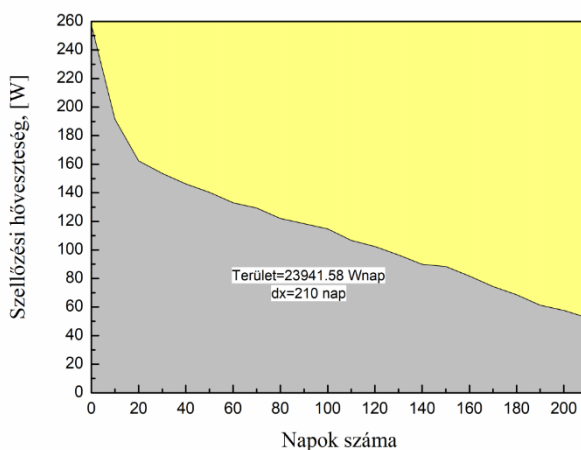
10.19 ábra: Szellőzési hőveszteség a fűtési idény során, földszintes épületben radiátoros fűtés esetén 2002



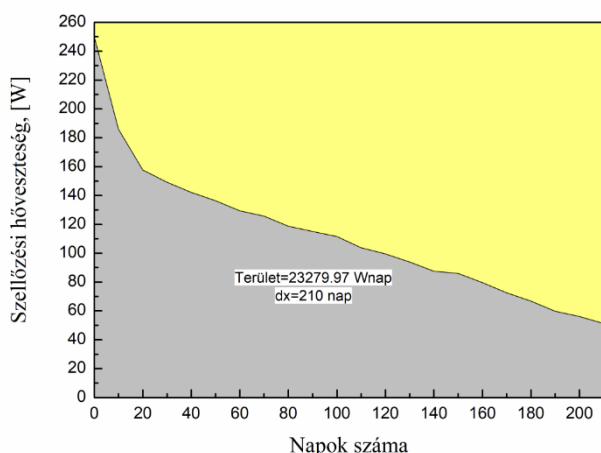
10.20 ábra: Szellőzési hőveszteség a fűtési idény során, földszintes épületben padlófűtés esetén 2002



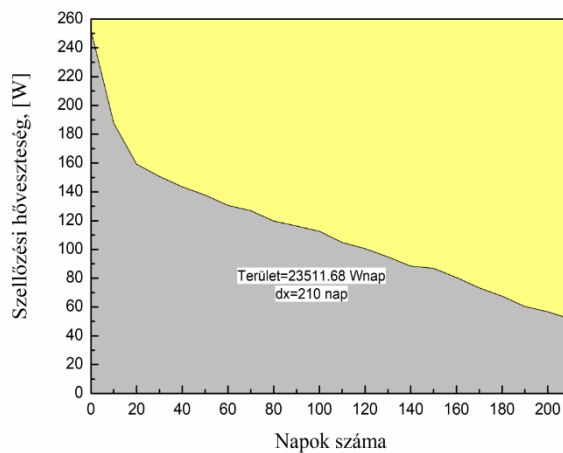
10.21 ábra: Szellőzési hőveszteség a fűtési idény során, földszintes épületben padló-, és mennyezetfűtés esetén 2002



10.22 ábra: Szellőzési hőveszteség a fűtési idény során, emeletes épületben, radiátoros fűtés esetén 2002



10.23 ábra: Szellőzési hőveszteség a fűtési idény során, emeletes épületben padlófűtés esetén 2002



10.24 ábra: Szellőzési hőveszteség a fűtési idény során, emeletes épületben padló-, és mennyezetfűtés esetén 2002

Az integrálások további eredményeit bemutató képek az 9. számú mellékletben találhatóak.

Az így elvégzett integrálások eredményeképpen megkapjuk a helyiségbe bevitt friss levegő tervezési hőmérsékletre való felfűtéséhez szükséges hőmennyiségeket.

Az alábbi táblázatok a már megkapott Wattokból származtatott értékeket mutatja be:

	W _{nap}	W _h	kWh	kWh/m ² /fűtési idény
Radiátoros földszintes 2002	23185,51	556452,24	556,45	39,35
Radiátoros földszintes 2012	22199,90	532797,60	532,80	37,68
Radiátoros földszintes 2022	20835,15	500043,60	500,04	35,36
Padló+mennyezet földszintes 2002	22772,08	546529,80	546,53	38,65
Padló+mennyezet földszintes 2012	21964,20	527140,80	527,14	37,28
Padló+mennyezet földszintes 2022	20650,17	495604,08	495,60	35,05
Padlófűtés földszintes 2002	22555,75	541338,00	541,34	38,28
Padlófűtés földszintes 2012	21823,70	523768,80	523,77	37,04
Padlófűtés földszintes 2022	20556,50	493356,00	493,36	34,89

10.6 táblázat: Földszintes épület helyiségének fűtési idényre vetített szellőzési hőveszteségei, fűtési mód szerint rendezve

	W _{nap}	W _h	kWh	kWh/m ² /fűtési idény
Radiátoros földszintes 2002	23185,51	556452,24	556,45	39,35
Padló+mennyezet földszintes 2002	22772,08	546529,80	546,53	38,65
Padlófűtés földszintes 2002	22555,75	541338,00	541,34	38,28
Radiátoros földszintes 2012	22199,90	532797,60	532,80	37,68
Padló+mennyezet földszintes 2012	21964,20	527140,80	527,14	37,28
Padlófűtés földszintes 2012	21823,70	523768,80	523,77	37,04
Radiátoros földszintes 2022	20835,15	500043,60	500,04	35,36
Padló+mennyezet földszintes 2022	20650,17	495604,08	495,60	35,05
Padlófűtés földszintes 2022	20556,50	493356,00	493,36	34,89

10.7 táblázat: Földszintes épület helyiségének fűtési idényre vetített szellőzési hőveszteségei, évek szerint rendezve

	W _{nap}	W _h	kWh	kWh/m ² /fűtési idény
Radiátoros emeletes 2002	23941,58	574597,92	574,60	38,72
Radiátoros emeletes 2012	22666,80	544003,20	544,00	36,66
Radiátoros emeletes 2022	21272,54	510540,96	510,54	34,40
Padló+mennyezet emeletes 2002	23511,68	564280,32	564,28	38,02
Padló+mennyezet emeletes 2012	22416,43	537994,32	537,99	36,25
Padló+mennyezet emeletes 2022	21089,67	506152,08	506,15	34,11
Padlófűtés emeletes 2002	23279,00	558696,00	558,70	37,65
Padlófűtés emeletes 2012	22268,46	534443,04	534,44	36,01
Padlófűtés emeletes 2022	20984,41	503625,84	503,63	33,94

10.8 táblázat: Emeletes épület helyiségének fűtési idényre vetített szellőzési hőveszteségei, fűtési mód szerint rendezve

	W _{nap}	W _h	kWh	kWh/m ² /fűtési idény
Radiátoros emeletes 2002	23941,58	574597,92	574,60	38,72
Padló+mennyezet emeletes 2002	23511,68	564280,32	564,28	38,02
Padlófűtés emeletes 2002	23279,00	558696,00	558,70	37,65
Radiátoros emeletes 2012	22666,80	544003,20	544,00	36,66
Padló+mennyezet emeletes 2012	22416,43	537994,32	537,99	36,25
Padló+mennyezet emeletes 2012	22416,43	537994,32	537,99	36,25
Radiátoros emeletes 2022	21272,54	510540,96	510,54	34,40
Padló+mennyezet emeletes 2022	21089,67	506152,08	506,15	34,11
Padlófűtés emeletes 2022	20984,41	503625,84	503,63	33,94

10.9 táblázat: Emeletes épület helyiségének fűtési idényre vetített szellőzési hőveszteségei, évek szerint rendezve

A táblázatokban látható egységnyi területre vetített értékekből következtetésképpen levonható, hogy a helyiségbe bevitt friss levegőnek a méretezési hőmérsékletre való felfűtéséhez mind a két vizsgált épület egy-egy elemzett helyiségében a tisztán padlófűtéses fűtési mód esetén kell a legkevesebb energiát befektetni. Ezt követi a másik sugárzó fűtési mód, a padló-, és mennyezetfűtés. A három vizsgált megoldás közül a radiátoros fűtés esetén a legmagasabb a szellőzési hőveszteségek ellensúlyozására fordítandó energiamennyiség.

Kijelenthető tehát, hogy ha megmegengedhető volna az, hogy csak és kizárólag a bevezetett friss levegő felfűtéséből adódó hőveszteségek kompenzálását tartsuk szem előtt, akkor a vizsgált épületekhez hasonló családi házak esetén a sugárzó fűtéseket kellene előnyben részesíteni a radiátoros megoldással szemben.

Ugyanakkor ahhoz, hogy végleges és korrekt következtetéseket vonhassunk le, ahhoz mindkét típusú rendszer (konvekciós és sugárzó fűtés) esetében meg kell vizsgálni a rendszerek veszteségeit is.

Felhasznált szakirodalom

- [1] Recast, EPBD Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Off. J. Eur. Union, 2010, 18, 6.
- [2] Kurnitski J, Allard F, Braham D, Goeders G, Heiselberg P, Jagemar L, Kosonen R, Lebrun J, Mazzarella L, Railio J, Seppänen O, Schmidt M, Virta M, How to define nearly net zero energy buildings nZEB – REHVA proposal for uniformed national implementation of EPBD recast, REHVA Journal – May 2011.
- [3] Kurnitski J, Technical definition for nearly zero energy buildings, REHVA Journal – May, 2013.
- [4] Annunziata E, Frey M, Rizzi F, Towards nearly zero-energy buildings: The state-of-art of national regulations in Europe, Energy, 57, 2013, 125-133.
- [5] D'Agostino D, Tsemekidi Tzeiranaki S, Zangheri P, Bertoldi P, Assessing Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) development in Europe, Energy Strategy Reviews, 36, 2021, 100680.
- [6] Paoletti G, Pascuas RP, Perneti R, Lollini R, Nearly Zero Energy Buildings: An Overview of the Main Construction Features across Europe, Buildings, 2017, 7, 43; doi:10.3390/buildings7020043.
- [7] D'Agostino D, Mazzarella L, What is a Nearly zero energy building? Overview, implementation and comparison of definitions, Journal of Building Engineering, 21, 2019, 200–212.
- [8] Liu Z, Zhou Q, Tian Z, He B, Jin G, A comprehensive analysis on definitions, development, and policies of nearly zero energy buildings in China, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 114, 2019, 109314.
- [9] Liu Z, Liu Y, He B, Xu W, Jin G, Zhang X, Application and suitability analysis of the key technologies in nearly zero energy buildings in China, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 101, 2019, 329–345.
- [10] Cao X, Dai X, Liu J, Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade, Energy and Buildings 128 (2016) 198–213.
- [11] Magrini A, Lentini G, Cuman S, Bodrato A, Marengo L, From nearly zero energy buildings (NZEB) to positive energy buildings (PEB): The next challenge - The most recent European trends with some notes on the energy analysis of a forerunner PEB example, Developments in the Built Environment, 3 (2020) 100019.
- [12] Shi-Cong Z, Xin-Yan Y, Wei X, Yi-Jun F, Contribution of nearly-zero energy buildings standards enforcement to achieve carbon neutral in urban area by 2060, Advances in Climate Change Research, 12, 2021, 734-743.
- [13] Zhao X, Pan W, Delivering Zero Carbon Buildings: The Role of Innovative Business Models, Procedia Engineering, 118, 2015, 404 – 411.
- [14] Lakatos Á, Investigation of the moisture induced degradation of the thermal properties of aerogel blankets: Measurements, calculations, simulations, Energy and Buildings 139, 2017, 506–516.
- [15] Lakatos Á, Csík A, Csarnovics I, Experimental verification of thermal properties of the aerogel blanket, Case Studies in Thermal Engineering 25, 2021, 100966.

- [16] Lakatos Á, Stability investigations of the thermal insulating performance of aerogel blanket, *Energy and Buildings*, 185, 2019, 103–111.
- [17] Lakatos Á, Investigation of the thermal insulation performance of fibrous aerogel samples under various hygrothermal environment: Laboratory tests completed with calculations and theory, *Energy and Buildings* 214, 2020, 109902.
- [18] Lakatos Á, Kovács Zs, Comparison of thermal insulation performance of vacuum insulation panels with EPS protection layers measured with different methods, *Energy & Buildings* 236, 2021, 110771.
- [19] L. Szabó G, Exergetic optimization of absorption chillers – A case study, *Case Studies in Thermal Engineering* 28, 2021, 101634.
- [20] L. Szabó G, Energetic and exergetic study of a potential interconnection of a natural gas engine, heat pumps with a thermal and a mechanical compressor, *Thermal Science and Engineering Progress* 36, 2022, 101525.
- [21] Csáky I, Kalmár T, Kalmár F, Operation Testing of an Advanced Personalized Ventilation System, *Energies* 2019, 12(9), 1596.
- [22] Szekeres Sz, Kostyák A, Szodrai F, Csáky I, Investigation of Ventilation Systems to Improve Air Quality in the Occupied Zone in Office Buildings, *Buildings*, 2022, 12(4), 493.
- [23] Csáky I, Air Terminal Devices Developed for Personal Ventilation Systems, *Energies* 2020, 13(7), 1688.
- [24] Kostyák A, Szekeres Sz, Csáky I, Investigation of Sensible Cooling Performance in the Case of an Air Handling Unit System with Indirect Evaporative Cooling: Indirect Evaporative Cooling Effects for the Additional Cooling System of Buildings, *Buildings* 2023, 13(7), 1800.
- [25] Rhee KN, Olesen BW, Kim KW, Ten questions about radiant heating and cooling systems, *Building and Environment*, 112, 2017, 367-381.
- [26] Rhee KN, Kim KW 50 year review of basic and applied research in radiant heating and cooling systems for the built environment, *Building and Environment* 91 (2015) 166-190.
- [27] D'Agostino D, Parker D, A framework for the cost-optimal design of nearly zero energy buildings (NZEBS) in representative climates across Europe, *Energy* 149 (2018) 814-829.
- [28] Ren J, Zhu L, Wang Y, Wang C, Xiong W, Very low temperature radiant heating/cooling indoor end system for efficient use of renewable energies, *Solar Energy*, 84, 2010, 1072–1083.
- [29] Shin MS, Rhee KN, Ryu SR, Yeo MS, Kim KW, Design of radiant floor heating panel in view of floor surface temperatures, *Building and Environment*, 92, 2015, 559-577.
- [30] Wang D, Liu Y, Wang Y, Liu J, Numerical and experimental analysis of floor heat storage and release during an intermittent in-slab floor heating process, *Applied Thermal Engineering*, 62, 2014, 398-406.
- [31] Macskásy Á, Központi fűtés II, Tankönykiadó, Budapest, 1978.
- [32] Barna E, Bánhidi L, A sugárzási hőmérséklet aszimmetria és a meleg padló együttes hatása a hőérzetre, *Magyar Épületgépészet*, 2011/6 pp. 8-12, 5 p.
- [33] Barna E, Bánhidi L, Combined effect of warm floors and cool walls on thermal comfort, *E-nova 2007 Internationaler Kongress - Energetische Zukunft von Gebäuden*, 2007, pp. 39-45.
- [34] Bánhidi L, Sugárzó fűtések néhány elméleti kérdése, *Fűtés technika*, Budapest, Magyarország, Épületgépészet Kiadó Kft., (2001) pp. 699-708.
- [35] Bánhidi, L, Vajdáné Frohner I; Láng, E, Az aszimmetrikus sugárzás hatásának új vizsgálati módszere, 14. Fűtés és Légtechnikai Konferencia, (2001) pp. 1-8.
- [36] Kalmár T, Sugárzó fűtések elemzése szakaszos üzemeltetés esetében, *Gép*, 59, 2008, 49-50.
- [37] Kalmár T, Családi házak fűtési energiaigényének elemzése, *Magyar Épületgépészet*, 58, 9, 2009, 4-8.
- [38] Kalmár T, Kalmár F, Comfort and energy analysis of heating up *International Review of Applied Sciences and Engineering* 1, 1-2, 2010, 35-43.

- [39] Kalmár F, Kalmár T, Interrelation between mean radiant temperature and room geometry, *Energy and Buildings*, 55, 2012, 414-421.
- [40] Kalmár T, Alacsony exergiaigényű fűtési-szellőzési rendszerek hőérzeti vizsgálata változó üzemállapotok során, *DE Földtudományok Doktori Iskola*, 2013.
- [41] Kalmár F, Kalmár T, Numerical evaluation of thermal discomfort in conditions of surface heating and asymmetric radiation, *International Review of Applied Sciences and Engineering* 9, 2, 2018, 175-179.
- [42] L. Szabó Gábor, Épületek sugárzó hűtési rendszereinek energetikai és exergetikai vizsgálata, *Doktori disszertáció, DE Földtudományi Doktori Iskola*, 2019.
- [43] L. Szabó Gábor, Kalmár F, Investigation of energy and exergy performances of radiant cooling systems in buildings – A design approach, *Energy*, 185, 2019, 449-462.
- [44] Bánhidi L, Kajtár L, *Komfortelmélet*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.
- [45] Kalmár F., *Belső környezet minősége*, Terc Kiadó, Budapest, 2013.
- [46] Kalmár T., Bodó B., Kalmár F., Heat losses of low-temperature radiant heating systems. *Energy Reports* 10, 1982-1995, 2023.
- [47] Kalmár F., *Épületfizika Jegyzet*, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, 2003.
- [48] Dr. Kalmár Ferenc, *energiafelhasználás csökkentése lakóépületekben*, Debrecen, 2009
- [49] *Épületgépészet 2000 I.*, Épületgépészet Kiadó, 2000, 289-296.

Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-34 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.