

Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék



Egy épület több funkció szerinti energiaigényének vizsgálata

Szerző: **Béni Emese BSc hallgató**

Témavezető: Dr. L. Szabó Gábor
Tanszékvezető: Prof. Dr. Lakatos Ákos

Debrecen
2023.

Tartalom

Bevezetés	5
1 A kutatási téma irodalmi háttere	6
2 Az alkalmazott módszerek elméleti áttekintése	8
2.1 A hőfokhíd elméleti meghatározása.....	8
2.2 Hőfokhíd újszerű meghatározása	11
2.3 Az energiaigény újszerű meghatározása	13
3 Esettanulmány	15
3.1 Bevezetés.....	15
3.2 Az épület hőtechnikai bemutatása.....	18
3.2.1 Az épület szerkezeti bemutatása és a szerkezeti hőveszteségtényező meghatározása	18
3.2.2 Az épület légellátásának és a légcseré hőveszteségtényezője értékeinek figyelembevétele	20
3.2.3 Az épület hőszükséglete és hőterhelése	21
3.3 Fűtési és hűtési hőfokhíd számítása	23
3.4 Energiaigény meghatározása a funkciófüggő hatásfokkal	28
3.5 Energiaigény meghatározása az alternatív hőfokhíd meghatározási módszer felhasználásával.....	32
4 Összegzés	35
Irodalomjegyzék.....	37

Ábrajegyzék

1. ábra A hőfokgyakorisági görbék Debrecen esetén 1991-2020 között.....	8
2. ábra A hőfokhíd értelmezése a hőfokgyakorisági görbe segítségével.....	8
3. ábra A napi hőmérsékletek változása	11
4. ábra A funkció függő hatásfok meghatározása	14
5. ábra Az épület a) elhelyezkedése a) és látképe	15
6. ábra Családi ház belső elrendezése.....	16
7. ábra Irodai épület belső elrendezései.....	17
8. ábra Kereskedelmi épület belső elrendezései	17
9. ábra A légcsereszám hatása a határhőmérsékletre fűtési szezonban	20
10. ábra A légcsereszám hatása a határhőmérsékletre hűtési szezonban	20
11. ábra A hőfokhíd alakulása a légcseré változásának függvényében a) fűtési szezon és b) hűtési szezon.....	24
12. ábra A hőfokhíd alakulása a belső hőmérséklet változtatása függvényében a) fűtési szezon és b) hűtési szezon.....	24
13. ábra A minimum és maximum hőmérsékletekből képzett hőfokhíd értékek a fűtési szezonban	25
14. ábra A minimum és maximum hőmérsékletekből képzett hőfokhíd értékek a hűtési szezonban	25
15. ábra A napi középhőmérsékeltből meghatározott hőfokhíd értékektől való eltérés az egyes funkcióknál, az egyenletek használatával fűtési esetben	26
16. ábra A napi középhőmérsékeltből meghatározott hőfokhíd értékektől való eltérés az egyes funkcióknál, az egyenletek használatával hűtési esetben.....	27
17. ábra Az egyes években kialakuló eltérés a napi középhőmérsékeltből, valamint egyenlettel meghatározott hőfokhíd értékek között a névlegeshez viszonyítva az egyes funkcióknál fűtésnél és hűtésnél	27

18. ábra	Az épület fűtési energiaigény eltérése a referencia értéktől a légcserre számától függően a) fűtési időszakban a napi átlaghőmérséklet alapján b) a hűtési időszakban a napi átlaghőmérséklet alapján.....	29
19. ábra	Az épület hűtési energiaigény eltérése a referencia értéktől a légcserre számától függően a) fűtési időszakban a napi minimum és maximum hőmérséklet alapján b) a hűtési időszakban a napi minimum és maximum hőmérséklet alapján.....	30
20. ábra	Az épület energiaigénye a belső hőmérséklet változtatásától függően a) fűtési időszakban a napi átlaghőmérséklet alapján, b) a hűtési időszakban a napi átlaghőmérséklet alapján	31
21. ábra	Az épület energiaigénye a belső hőmérséklet változtatásától függően a) fűtési időszakban a napi minimum és maximum hőmérséklet alapján, b) a hűtési időszakban a napi minimum és maximum hőmérséklet alapján	31
22. ábra	A fűtési és hűtési energiaigény eltérése az egyenlethez képest ($\Delta t_i = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) családi ház esetében.....	32
23. ábra	A fűtési és hűtési energiaigény eltérése az egyenlethez képest ($\Delta t_i = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) iroda esetében	32
24. ábra	A fűtési és hűtési energiaigény eltérése az egyenlethez képest ($\Delta t_i = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) kereskedelmi épület esetében	33
25. ábra	A fűtési energiaigény eltérése az egyenletek alkalmazásával ($n = n_{\text{nom}}$).....	33
26. ábra	A hűtési energiaigény eltérése az egyenletek alkalmazásával ($n = n_{\text{nom}}$).....	34

Táblázatok jegyzéke

1. táblázat	A hőfokhíd értékeinek eltérésének mértéke ($\Delta t_i=0$)	13
2. táblázat	A rétegrendek hőátbocsátási tényezőjét összefoglaló táblázat [43].....	19
3. táblázat	A vizsgált épület fontosabb adatai	23
4. táblázat	A 8. egyenlet használatához alkalmazott konstansok értékei [41]	26
5. táblázat	A három vizsgált épületfunkció kihasználtsága.....	28
6. táblázat	Referencia energiaigény értékek.....	29

Nómenklatúra

$t_{b,f}$	fűtési határhőmérséklet, K
$t_{b,h}$	hűtési határhőmérséklet, K
$t_{i,f}$	téli méretezési belső hőmérséklet, K
$t_{i,h}$	nyári méretezési belső hőmérséklet, K
$\dot{Q}_s$	sugárzási hőnyereségek, W
$\dot{Q}_i$	belső hőnyereségek, W
H_{tr}	szerkezeteken bekövetkező hőveszteség tényező, W/K
H_{ve}	légcserével bekövetkező hőveszteség tényező, W/K
FHH	fűtési hőfokhíd, hK
HHH	hűtési hőfokhíd, hK
E_F	épület fűtési energiaigénye, kWh
E_H	épület hűtési energiaigénye, kWh
t_{ej}	j-edik külső nap átlagos külső hőmérséklete, K
$N_{fűtés}$	fűtési napok száma
$N_{hűtés}$	hűtési napok száma
FHH_{max}	fűtési hőfokhíd a napi maximum hőmérsékletből, hK
FHH_{min}	fűtési hőfokhíd a napi minimum hőmérsékletből, hK
HHH_{max}	hűtési hőfokhíd a napi maximum hőmérsékletből, hK
HHH_{min}	hűtési hőfokhíd a napi minimum hőmérsékletből, hK
a - f	konstansok, -
η_{FK}	funkciófüggő hatásfok, %
A	heti aktivitási idő, h
$\bar{\varphi}$	temperálási arány, %
$\eta_{FK,F}$	funkciófüggő hatásfok a téli szezonban, %
$\eta_{FK,H}$	funkciófüggő hatásfok a nyári szezonban, %

Bevezetés

Az Európai Unió jogalkotói a globális felmelegedés okozta károk csökkentése ellen több erőfeszítést is tesznek. Egyik ilyen céljuk közé tartozik a megújuló energia használatának növelése, az épületgépészeti rendszerek hőpazarlásának csökkentése. Harmadik lehetőség az energiafelhasználás csökkentése. [1] [2] [3]

Az Európai Parlament és a Tanács 2010/31/EU irányelve (Európai Parlament és Tanács, 2013) szerint az Unió energiafogyasztásának 40%-a az épületekhez kapcsolhatóak, ez a százalék pedig egyre csak növekedni fog, ezért a behozott intézkedésekkel megpróbálják visszafogni az épületek energiafogyasztását, valamint megújuló energiaforrásokkal történő fedezését segítik elő. Az intézkedések segítik az Unió - ezáltal a Hazánk - energiabiztonságát és függetlenségét. [1] [2] [3]

Az épületek energiaigényének pontosabb meghatározása rendkívül fontos a jövőbeli energiaigények becsléséhez, amely több szempontból is jelentős. Az előbbieken leírt indokok súlyozzák. A pontosabb energiaigény meghatározás hozzájárul az energiaigény csökkentéshez, mely az utóbbi év politikai döntései miatt is lényeges. A két vizsgálati szempontot az energiaigény hőfokhíd módszerrel történő összefoglalása után mutatom be.

Az első szempont az épületek funkciójának alaposabb figyelembevételét foglalja magában, ami lehetővé teszi két vagy több azonos épület eltérő energiaigényének meghatározását, az adott épületek használati funkciójától függően. Ez egy új tényező beépítését javasolja, hogy jobban figyelembe lehessen venni az épület funkciójának az energiaigényre gyakorolt hatását. E tényező célja az energiaigény-becslések pontosságának növelése az épület sajátos használati funkcióinak figyelembevételével. Egy esettanulmány szerint a fűtési energiaigény egy kereskedelmi létesítményben akár kétszer akkora is lehet, mint egy lakóépületben. Hasonlóképpen a hűtési energiaigény is eltérő lehet.

A másik szempont a FHH és HHH értékek meghatározására összpontosít a napi maximális és minimális hőmérséklet alapján. A napi középhőmérséklet nem független a napi minimum- és maximumhőmérsékletektől, és ennek következtében a származtatott hőfokhíd-értékek összefüggenek egymással. Ezt követően próbálom bemutatni a két elképzelés használhatóságát. A kidolgozásukban a használhatóságukat két paraméter változtatásával vizsgálom. Az egyik a belső hőmérséklet (± 3 °C), a másik pedig a levegőcsere sebessége (0 és 9 1/h között). Végül a FHH és HHH értékek más városokban történő meghatározására adott összefüggések relevanciáját vizsgálom, hogy kiderítsem, milyen hatással van e két paraméter változtatása az összefüggések pontosságára.

1 A kutatási téma irodalmi háttere

Ma már széles körben elfogadott, hogy az emberi tevékenység jelentősen hozzájárult a globális felmelegedéshez. Ha ezt a hozzájárulást csökkenteni szeretnénk, akkor meg kell vizsgálni a legfontosabb energiafogyasztókat. A Nemzetközi Energiaügynökség (IEA) elemzése szerint 2019-ben az épületek fűtése a globális energiafelhasználás 12%-át és a CO₂-kibocsátás 13%-át (4,3 Gt) tette ki. [4]. Egy tipikus magyarországi lakóépületnél a fűtési energiafelhasználás akár a 70%-a is lehet a teljes energiafelhasználásának [2]. A helyiségek hűtése kisebb arányú, a globális energiafelhasználásnak csak 2%-át és a CO₂-kibocsátás 3%-át (1 Gt) tette ki [4]. Az arányok országonként változhatnak, mert az alkalmazott komfort kategóriák [5] eltérhetnek, de a termikus komfortot akár változó sugárzási hőnyereségek is befolyásolják [6]. Az energiaigényeket több módon csökkenthetjük például az épületek [7] [8], a gépészeti rendszerek szigetelésével [9] [10] vagy az átgondolt üzemeltetési stratégia alkalmazásával [11]. Korábbi kutatások megmutatták, hogy a lakossági helyiségek fűtésére a pénzügyi, tájékoztatási és szabályozási politikák közül a szabályozási politika hat a legjobban [12]. Vagyis a sikeres energiacsökkentésben kiemelt figyelmet kell fordítani a szabályozási politikákára. Ezen gyakorlatias szabályozás megalkotásához az épületek energiaigényének becslésére van szükség, az egyes tényezők minél pontosabb értékeinek figyelembevételével [13] [14]. Az épületek energiafogyasztása szorosan összefügg a helyi meteorológiai viszonyokkal [15], függetlenül az egyes épületek energetikai minőségétől [16]. Emiatt az épületek energiaigényének pontos meghatározása miatt a környezeti tényezők figyelembevétele szükséges.

Számos tanulmány készült az épületek jövőbeli energiaigényeinek becslésére. Az energiafogyasztás alakulását elemezte Ciancio et al. [17] különböző európai városokban. Morakinyo et al. [18] pedig Hongkong nagyvárosi területének elemzését adták meg. Cao és munkatársai [15] áttekintő szinten rávilágítottak az épületek energiaigényének időbeli alakulásának általános elemzési szükségességére, az elmúlt két évtized adatait extrapolálva, hogy reális forgatókönyveket vázoljanak fel a jövőre vonatkozóan. Ezek a vizsgálatok jellemzően nagyvárosi vidékekre összpontosítanak. Magyarországon a lakosság számottevő hányada kisvárosi környezetben (5.000-200.000) él, emiatt ezeket az eredményeket célszerű fenntartással kezelni. [19]

Az épületek időjárással kapcsolatos energiafogyasztásának értékelésére és elemzésére, valamint előrejelzésére szolgáló egyszerű módszerek közül kiemelkedik a hőfokhidas módszer [20] [21] [22] [23]. Általában feltételezik, hogy a fűtési és hűtési energiafelhasználás egyenesen

arányos a fűtési (FHH) és a hűtési hőfokhíddal (HHH) [24] [25]. Az európai jogszabályoknál rendszeresen használják a FHH értéket az energiagazdálkodás jellemzésére, pl. az épületek energiateljesítményéről szóló uniós irányelvénél [26].

A FHH és HHH értékét a beltéri levegő hőmérséklete és a külső száraz levegő hőmérsékletének egy bizonyos időszak alatt mért pozitív különbségeinek összegeként határozzák meg [27] [28]. Ezen bizonyos időszak hosszának meghatározásához szükséges egy határhőmérséklet. A határhőmérséklet az a külső hőmérséklet, amikor nincs szükség további fűtésre vagy hűtésre a komfortos beltéri környezet megőrzéséhez [13] [29]. Más megfogalmazásban az a külső léghőmérséklet, amikor a pillanatnyi hőnyereség és hőveszteség egyenértékű, emiatt egyensúlyi hőmérsékletnek is nevezik [29] [30]. A magyar szaknyelvben a fűtési és hűtési határhőmérséklet az elterjedt, ezért a továbbiakban ezt fogom használni. A határhőmérséklet nem állandó, értékét több tényező is befolyásolja (pl. az épület termikus jellemzői is) [31]. Kiemelendő, hogy ez az egyetlen olyan paraméter a hőfokhidas-módszerben, amely a helyi viszonyoktól függ [32] [33]. Az épületek energiafelhasználásának pontos előre jelzéséhez tehát elengedhetetlen a határhőmérséklet helyes megválasztása [34].

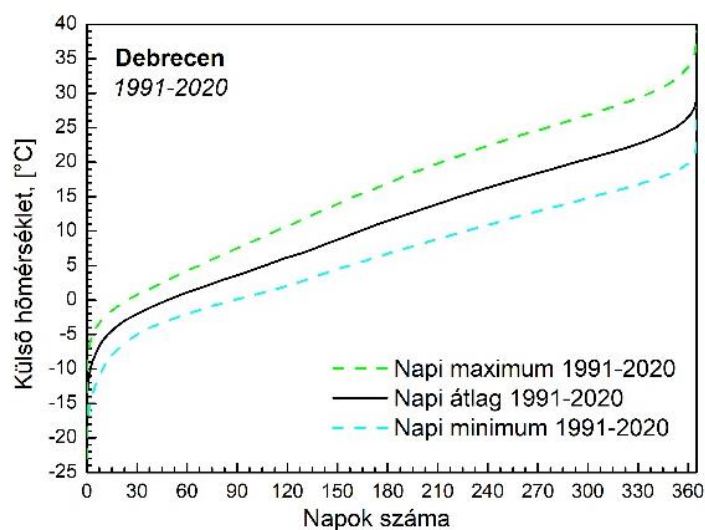
A különböző országokban igyekeznek előírásokat adni az értékekre. Fűtésre az ASHRAE 18,3 °C, az Egyesült Királyság Carbon Trust 15,5 °C-ot [35], az EU ISO 15927-6 európai szabvány pedig 12 °C-ot ajánl [36]. Mivel a nap hőnyeresége a hűtési időszakban általában sokkal nagyobb, mint a fűtési időszakban, a határhőmérséklet - szellőzés hiányában - a HHH esetében sokkal alacsonyabb lehet, mint a FHH esetében. Ezért hűtésnél például az ASHRAE 10 °C-os alapértéket használ (a 18,3 °C mellett) [37]. Sajnos ezen előírások nem veszik figyelembe az épület funkcióját, a felhasználói szokásokat, sőt egyes esetekben a fűtési, illetve hűtési időszak különbségeitől is eltekintenek. A kutatásoknál emiatt gyakran eltérnek az előírt (bázis) határhőmérsékletektől. Azevedo és munkatársai [32] elemzésük részeként áttekintették a hőfokhidas-módszernél használt határhőmérsékleteket, és jelentős heterogenitást találtak az alkalmazott értékek között, még ugyanazon országon belül is. Az általuk vizsgált szakirodalomban a határhőmérsékletek átlaga 18,1 °C (fűtési szezon) és 22,0 °C (hűtési szezon) volt.

A külső hőmérsékleten kívül számos más paraméter is befolyásolja a hűtésre és fűtésre fordított energiafogyasztást, például az épületek termikus tulajdonságai, a technológia felújítása, a felhasználói magatartás. Ezenkívül figyelembe kell venni az épületirányítási rendszereket (BMS) és az automatizált épületrendszereket (ABS) is. [38] [39]

2 Az alkalmazott módszerek elméleti áttekintése

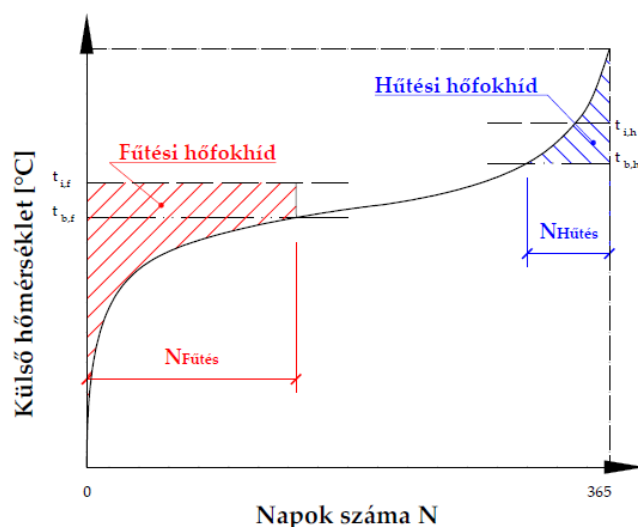
2.1 A hőfokhíd elméleti meghatározása

A változó külső hőmérséklet leírására megkülönböztethetünk napi átlag, napi maximum és napi minimum hőmérsékleteteket. Ha az év folyamán ezen hőmérsékleteteket és az év napjait úgy rendezzük, hogy az egyes hőmérséklet értékhez hozzá rendeljünk azon napok számát, ahol legfeljebb az adott hőmérséklet fordul elő, akkor az úgy nevezett hőfokgyakorisági görbét kapjuk. Az **1. ábrán** a Debrecen (Magyarország), 1991-2020-as évek alapján kidolgozott hőfokgyakorisági görbe látható. A diagramhoz szükséges méréseket az OMSZ végezte. [3]



1. ábra A hőfokgyakorisági görbék Debrecen esetén 1991-2020 között

A hőfokgyakorisági görbéből, integrálásással kell meghatározni a hőfokhíd értékét (**2. ábra**), a belső hőmérséklet és a fűtési/hűtési határhőmérséklet ismeretében. [40]



2. ábra A hőfokhíd értelmezése a hőfokgyakorisági görbe segítségével

A fűtési határhőmérséklet azt a külső léghőmérsékletet jelenti, melynél az épületbe külső hőenergiabevitel szükséges a tervezett belső hőmérséklet fenntartásához. Más szóval az a külső hőmérséklet, amelynél az épület hőszükséglete pontosan nulla. [40]

A hűtési határhőmérséklet az a külső hőmérséklet melynél be kell kapcsolni az épületben a hűtést, a keletkező hőterhelés elvonásához. Más szóval az épületet érő hőterhelés értéke azonos a természetes hőelvonással. [40]

A fűtési ($t_{b,f}$) és a hűtési határhőmérsékleteket ($t_{b,h}$) a következő egyenletekkel lehet meghatározni [28]:

$$t_{b,f} = t_{i,f} - \frac{\dot{Q}_s + \dot{Q}_i}{H_{tr} + H_{ve}} [hK] \quad (1)$$

$$t_{b,h} = t_{i,h} - \frac{\dot{Q}_s + \dot{Q}_i}{H_{tr} + H_{ve}} [hK] \quad (2)$$

Ahol:

- $t_{b,f} / t_{b,h}$ – fűtési és hűtési határhőmérséklet, K
- $t_{i,f} / t_{i,h}$ – téli és nyári méretezési belső hőmérséklet, K
- $\dot{Q}_s$ – sugárzási hőnyereségek, W
- $\dot{Q}_i$ – belső hőnyereségek, W
- H_{tr} – szerkezeteken bekövetkező hőveszteség tényező, W/K
- H_{ve} – légcserével bekövetkező hőveszteség tényező, W/K

A fűtési időny hossza („ $N_{fűtés}$ ”) azt az időtartalmat jelenti az évből, ahol a külső hőmérséklet kisebb, mint a fűtési határhőmérséklet. A hűtési időny hosszát a hőfokgyakorisági görbe és a hűtési határhőmérséklet metszéspontja jelöli ki, hasonlóan a fűtéshez. De míg a fűtési időny a metszésponttól balra eső terület lesz, addig a hűtési időny a jobbra eső rész lesz (**2. ábra**). Mivel a hűtési időny nagyságrendekkel kisebb, mint a fűtési, emiatt inkább órákban szokás megadni a gyakorlatban. [40]

A fűtési és a hűtési hőfokhíd matematikai leírása a következő [28]:

$$FHH = \int_{j=1}^{N_{fűtés}} (t_{i,f} - \bar{t}_{ej}) \cdot dt [hK] \quad (3)$$

$$HHH = \int_{j=1}^{N_{hűtés}} (\bar{t}_{ej} - t_{i,h}) \cdot dt [hK] \quad (4)$$

Ahol:

- FHH – fűtési hőfokhíd, hK
- HHH – hűtési hőfokhíd, hK
- $t_{i,f} / t_{i,h}$ – téli és nyári méretezési belső hőmérséklet, K
- t_{ej} – j-edik külső nap átlagos külső hőmérséklete, K
- $N_{fűtés} / N_{hűtés}$ – fűtési és hűtési napok száma

A hőfokhíddal meghatározható az épület fűtési és hűtési energiaigénye [28]:

$$E_F = (H_{tr} + H_{ve}) \cdot FHH = (H_{tr} + H_{ve}) \cdot \int_{j=1}^{N_{fűtés}} (t_{i,f} - \bar{t}_{ej}) \cdot dt [Wh] \quad (5)$$

$$E_H = (H_{tr} + H_{ve}) \cdot HHH = (H_{tr} + H_{ve}) \cdot \int_{j=1}^{N_{hűtés}} (\bar{t}_{ej} - t_{i,h}) \cdot dt [Wh] \quad (6)$$

Ahol:

- E_F / E_H – épület fűtési és hűtési energiaigénye, kWh
- FHH – fűtési hőfokhíd, hK
- HHH – hűtési hőfokhíd, hK
- H_{tr} – szerkezeteken bekövetkező hőveszteség tényező, W/K
- H_{ve} – légcserével bekövetkező hőveszteség tényező, W/K
- $t_{i,f} / t_{i,h}$ – téli és nyári méretezési belső hőmérséklet, K
- t_{ej} – j-edik külső nap átlagos külső hőmérséklete, K
- $N_{fűtés} / N_{hűtés}$ – fűtési és hűtési napok száma

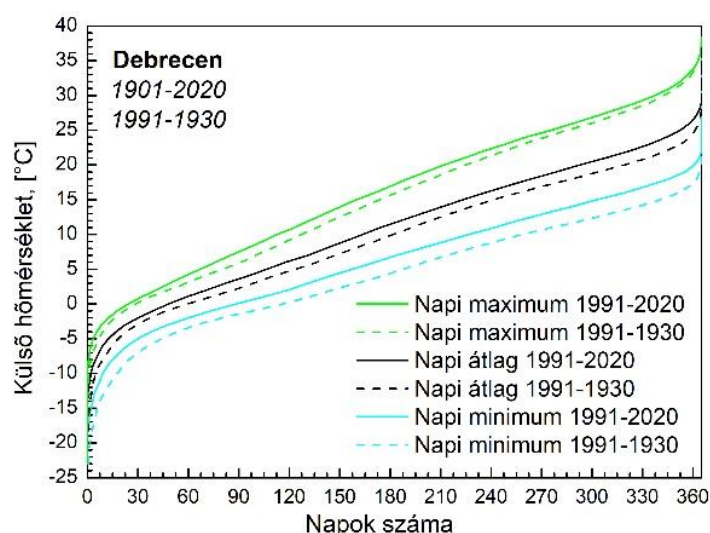
Az energiaigény ilyen típusú meghatározásánál az épület funkciója nem kap szerepet. A funkciók közvetetten jellennek meg a méretezési belső hőmérséklet és a belső hőterhelések formájában. Sem az aktív használati idő hatása, sem a temperálási igények nem jelennek meg az összefüggés ezen formájában.

További probléma, hogy a napi átlaghőmérséklet nem mindig áll rendelkezésre, így a számítások pontatlanná válhatnak. Mivel a napi minimum és maximumhőmérséklet nem független a napi átlaghőmérséklettől, valamint a belőlük képzett hőfokhíd értékektől sem. Így a [41] cikk egyenletét felhasználva nem feltétlenül szükséges a napi átlaghőmérséklet ismerete.

A következő pontban bemutatom a hőfokhíd alternatív meghatározási módját, majd annak hasznosíthatóságát Debrecenen kívül más települések (Pécs, Szeged és Budapest) esetén.

2.2 Hőfokhíd újszerű meghatározása

Összehasonlításra került az 1901-1930 és az 1991-2020 közötti időszak napi minimum, átlag és maximum hőmérsékletek Debrecenben (3. ábra) [3]:



3. ábra A napi hőmérsékletek változása

Az alternatív módszer szükségességének egyik oka, hogy a két időszak között a napi átlag hőmérséklettel ugyan csak 1,49°C-kal nőtt a napi középhőmérséklet, de a napi minimum 2,16°C-kal, míg a napi maximum 1,14°C-kal nőtt. Célszerű tehát egy olyan meghatározási módot kidolgozni, amelynél figyelembe tudjuk venni a szélső értékek eltérő mértékű növekedését is. [41]

Sajnos a napi minimum- és maximumhőmérséklet pillanatnyi értékek. Ezzel szemben a napi átlaghőmérsékleteket többszörös hőmérsékletmérésekből számították ki, így általában pontosabb adatot nyújtanak az energiaigény kiszámításához. Ha azonban csak néhány vagy pontosan két (a napi minimum és maximum) hőmérséklet ismert, akkor a számítások pontatlanná válnak. Ezen probléma kínál megoldást a [3] illetve a [41] cikk, a lényegüket a következőkben ismertetem.

A [41] cikkben megállapítják, hogy a napi minimum és maximum hőmérséklet nem független a napi átlaghőmérséklettől. Így a belőlük képzett hőfokhíd értékek sem. Ezáltal a napi minimum hőmérsékletből képzett hőfokhíd ($FHH_{\min}$ illetve $HHH_{\min}$) és a napi maximum hőmérsékletből képzett hőfokhíd ($FHH_{\max}$ illetve $HHH_{\max}$) segítségével jól közelíthető az átlaghőmérsékletből képzett hőfokhíd (FHH illetve HHH).

Fűtés esetén az alábbi összefüggéssel [41]:

$$FHH = \frac{FHH_{max} + FHH_{min}}{4} + \frac{1}{\frac{1}{FHH_{max}} + \frac{1}{FHH_{min}}} \quad (7)$$

Ahol:

- FHH – fűtési hőfokhíd, hK
- FHH_{max} – fűtési hőfokhíd a napi maximum hőmérsékletből, hK
- FHH_{min} – fűtési hőfokhíd a napi minimum hőmérsékletből, hK

Hűtés estén [41]:

$$HHH = a \cdot (HHH_{max} + b)^c + d + e \cdot HHH_{min}^f \quad (8)$$

Ahol:

- HHH – hűtési hőfokhíd, hK
- HHH_{max} – hűtési hőfokhíd a napi maximum hőmérsékletből, hK
- HHH_{min} – hűtési hőfokhíd a napi minimum hőmérsékletből, hK

Ezáltal lehetőség nyílik a fűtési és hűtési hőfokhíd jó közelítésű becslésére. A cikk megvizsgálja az összefüggés hasznosíthatóságát más magyarországi városokra is:

Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) Debrecen mellett Szeged, Budapest és Pécs városok hőmérsékleti adatait is mérte. Továbbá Verbai és társai [42] kutatásában több magyarországi város fűtési hőfokhíd értékei is szerepeltek. Így az OMSZ méréseiből meghatározott fűtési hőfokhíd értékek és ezek az értékek összehasonlíthatóak. Hasonló fűtési hőfokhíd értékeket kaptunk Debrecen (76 490 [hK] és 75 600 [hK]) és Szeged (71 742 [hK] és 72 527 [hK]) esetében azonos fűtési határhőmérsékletek mellett. Budapest (72,390 [hK] és 66,592 [hK]) és Pécs (77,856 [hK] és 71,406 [hK]) esetében azonban jelentősebb különbség mutatkozott. Ez a különbség a vizsgált évek (1981-2010, illetve 1991-2020) közötti különbségből adódhat. [41]

A **7. és a 8. egyenlet** általánosíthatóságát megvizsgáltam más magyarországi városok hőfokhíd értékeire. Ezeknél a településeknél is az 1991-2020 közötti (OMSZ által mért) értékeket használtam fel a számításokhoz.

Az **1. táblázat**ban megvizsgáltam, hogy az egyenletekkel meghatározott hőfokhíd érték mennyire tér el, ha a napi átlaghőmérséklettel határozzuk meg.

1. táblázat A hőfokhíd értékeinek eltérésének mértéke ($\Delta t_i=0$)

<i>Funkció</i>	<i>Üzem</i>	Debrecen	Pécs	Szeged	Budapest
Családi ház	Fűtés	(-1,15)%	(-1,82)%	(-1,19)%	(-2,52)%
	Hűtés	(-9,39)%	(-4,77)%	6,48%	20,67%
Iroda	Fűtés	(-1,10)%	(-1,83)%	(-1,34)%	(-2,42)%
	Hűtés	3,78%	3,13%	0,97%	7,49%
Kereskedelmi	Fűtés	(-1,11)%	(-1,75)%	(-1,27)%	(-2,36)%
	Hűtés	(-0,50)%	(-2,01)%	(-1,39)%	(-0,19)%

A **1. táblázat** alapján azt tapasztaltuk, hogy fűtési esetben nagyságrendileg hasonló értékeket tapasztaltunk. A legnagyobb eltérés Budapest esetében tapasztalható, melynek oka lehet akár a nagyobb lélekszám, vagy a városi hősziget hatása is.

Hűtési esetben nagyobbak az eltérések, amelynek is több oka lehet. A lakosságszám és a városi hősziget hatás különbségei mellett a Debrecen-től való földrajzi távolság is jelentős szerepet játszik. Ennek oka, hogy a **8. egyenlet**ben szereplő konstansokat az 1991-2020-as évek Debreceni értékei alapján határoztuk meg. (lásd az **4. táblázat**)

2.3 Az energiaigény újszerű meghatározása

Az emberi használat szempontjából az épületek HVAC-rendszereinek működése két különböző időszakra osztható: aktív és passzív. Az aktív időszakot elsősorban az eltelt idő határozza meg, míg a passzív időszak attól függ, hogy a HVAC-rendszer az aktív időszakhoz képest mennyire visszaszabályozható. A passzív időszak - amelyet a visszaszabályozás arányával korrigálnak - és az aktív időszak együttes időtartamának figyelembevételével kiszámítható a rendszer működését egy adott időkereten belül jellemző látens idő. Ha ezt a látens időt a vizsgált időszakhoz viszonyítom egy átfogóbb hatékonysági tényező adható meg. Bár több időintervallum vizsgálata is lehetséges, a heti időszakra való összpontosítás praktikusabbnak bizonyul. [41]

Ez a megközelítés alkalmazásával egy újszerű hatékonysági tényező, nevezetesen az épület kihasználtsági hatékonysága vezethető be [41]:

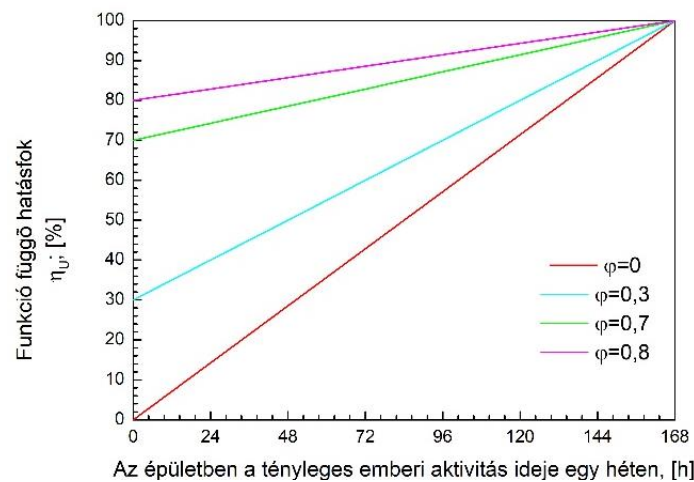
$$\eta_{FK} = \frac{A + (168 - A) \cdot \bar{\varphi}}{168} [\%] \quad (9)$$

Ahol:

- η_{FK} – funkciófüggő hatásfok, %
- A – heti aktivitási idő, h
- $\bar{\varphi}$ – temperálási arány, %

Az épületben a tényleges emberi aktivitással töltött idő hetente nagyon eltérő lehet, 0 órától (például egy üres nyaralóban) 168 óráig (például egy 24 órás üzletben). Ennélfogva a funkciófüggő hatásfok értéke 0 és 100% között változhat. A passzív működési arány meghatározásakor feltétlenül figyelembe kell venni a fűtési és hűtési HVAC-rendszerek közötti különbségeket és az emberi aktivitás eltéréseit. Ezért célszerű egy épületre vonatkozóan a fűtési (" $\eta_{U,H}$ ") és a hűtési (" $\eta_{U,C}$ ") szezonban eltérő funkciófüggő hatásfok értékeket megadni. [41]

A következő diagram (4. ábra) is használható a használati hatékonyság meghatározásához:



4. ábra A funkció függő hatásfok meghatározása

A funkció függő hatásfokkal korrigált hűtési és fűtési energiaigény [41]:

$$E_F = \eta_{FK,F} \cdot (H_{tr} + H_{ve}) \cdot FHH \quad (10)$$

$$E_H = \eta_{FK,H} \cdot (H_{tr} + H_{ve}) \cdot HHH \quad (11)$$

Ahol:

- E_F – az épület fűtési energiaigénye, kWh
- E_H – az épület hűtési energiaigénye, kWh
- FHH – fűtési hőfokhíd, hK
- HHH – hűtési hőfokhíd, hK
- H_{tr} – szerkezeteken bekövetkező hőveszteség tényező, W/K
- H_{ve} – légcserével bekövetkező hőveszteség tényező, W/K
- $\eta_{FK,F}$ – a funkciófüggő hatásfok a téli szezonban, %
- $\eta_{FK,H}$ – a funkciófüggő hatásfok a nyári szezonban, %

3 Esettanulmány

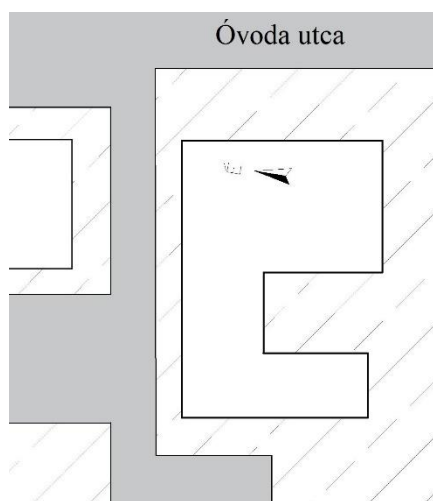
Az eddig összefoglalt elméleti megközelítést szeretném egy esettanulmány segítségével is bemutatni, érthetőbbé tenni. Ez a korábban leírtak gyakorlati hasznosíthatóságát is megkönnyítheti.

3.1 Bevezetés

A vizsgált épület egy Debrecen közelében lévő kisvárosban helyezkedik el, amelynek energiaigényét két szempontból vizsgálom meg. A két szempont az épület funkció és a belső hőmérséklet változtatásainak hatása.

A dolgozatomban felhasznált épület egy meglévő, Mikepércs központjában található épület. A létesítmény az Óvoda utcán helyezkedik el. A földszintes épület alapterülete $200,2 \text{ m}^2$.

Az U alakú régi építmény különböző fajtájú és méretű nyílászárókkal rendelkezik. Belmagassága minden helyiségben egységesen $2,70 \text{ m}$, ahogyan a padlószint is mindenhol megegyezően $+0,60 \text{ m}$.



a)



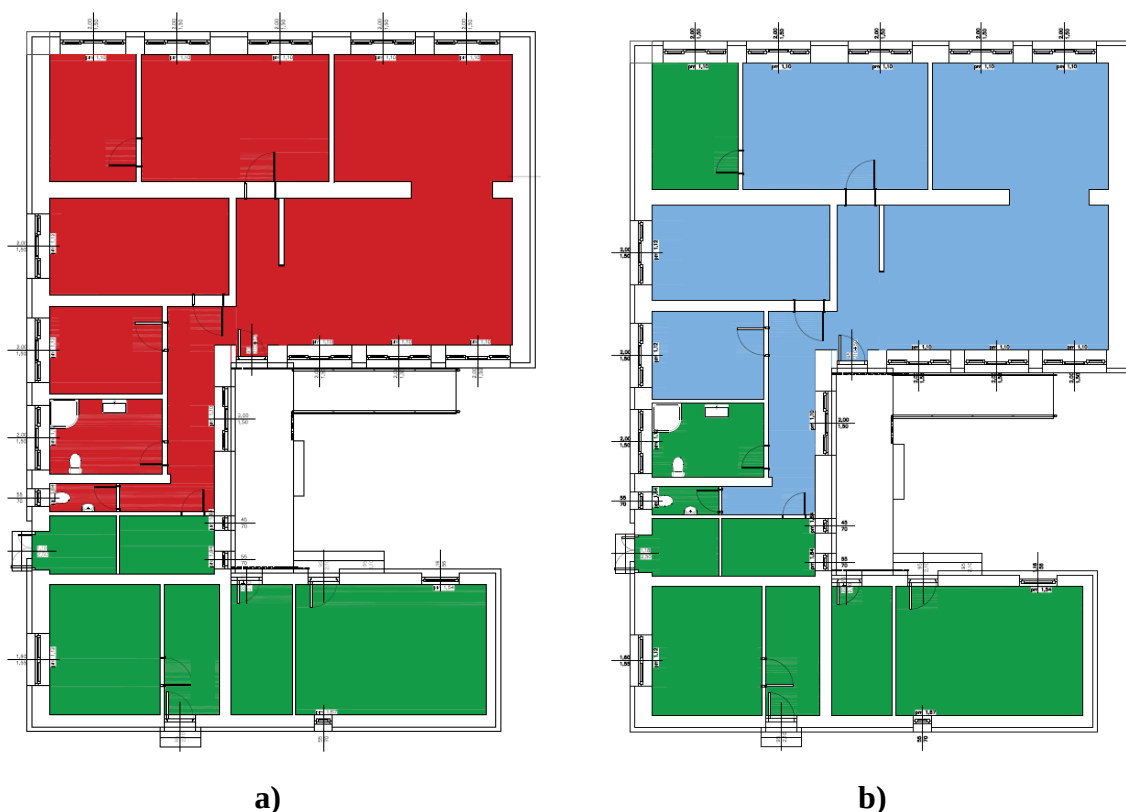
b)

5. ábra Az épület a) elhelyezkedése a) és látképe

A régi, 1950-ben épült vályogház az idő teltével több felújításon is átesett. Az utolsó felújításokat a 2010-es évek végén végezték. Az épület jó állapotú, ahogyan az az **5b ábrán** is látható. A jó állapotú tetőn is látszik, hogy felújított, mivel vízcsendesítő tetőt az 50-es években alkalmaztak. A tetőről összegyűjtött csapadékvíz lefolyókon keresztül a telken belül elszikkasztásra kerül.

Az épület számára víz és csatorna közművek elérhetőek. Minden szakág közmű csatlakozási pontja az Óvoda utca felől, az épület északkeleti oldalán történt kiépítésük.

Az épület három funkcióval is rendelkezhetne; lakó, önkormányzati iroda és kereskedelmi (például élelmiszerbolt). Mivel mindhárom funkció között jelentős eltérés van a kihasználtságát tekintve, így az épület belső elrendezései lényegesen eltérnek. A következő ábrákon látható funkciókként a jelentős eltérés. Az ábrákon megkülönböztetési szempont alapján mutatom be, amely a fűteni és hűteni kívánt, illetve alárendelt helyiségek szerint jelöltem az ábrákon az épület helyiségeit.



6. ábra Családi ház belső elrendezése

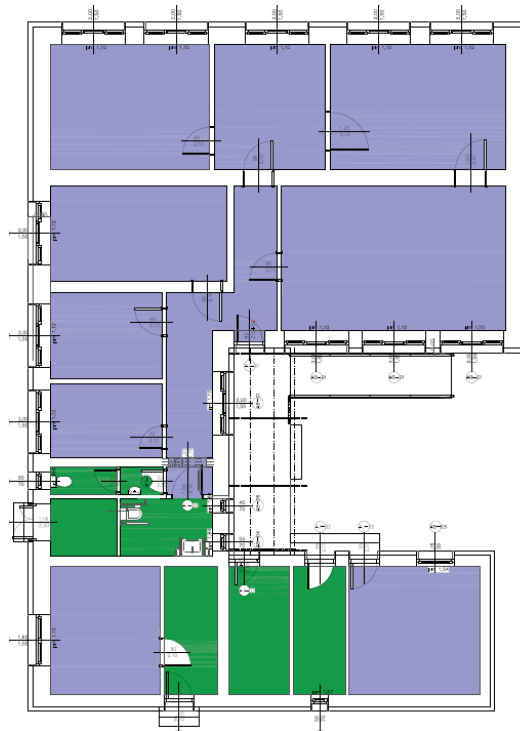
Az **6a ábrán** látható, hogy a hálósobák, nappali, konyha, közlekedő, mosdó, fürdő helyiségeket *piros* színnel jelöltem, ami azt jelenti ezeket a helyiségeket fűtik.

Az **6b ábrán** *kék* színnel a hűteni kívánt helyiségek láthatóak, amelyek a hálósobák, nappali, konyha és közlekedő.

Az **6a és 6b ábrán** is megegyező *zöld* színnel jelöltem az alárendelt helyiségeket, amelyeket sem fűtése, sem hűtése nem tervezett, ezek általában a gépkocsitároló, tároló és kerti tároló.

Látható az ábrán, hogy családi ház esetében lényegesen kevesebb a fűteni és hűteni kívánt helyiségek száma. Ez függ az épület alapterületétől, kihasználtságától, felhasználói igényektől (hálósobák száma, közös helyiségek nagysága), helyiségek elrendezhetőségétől.

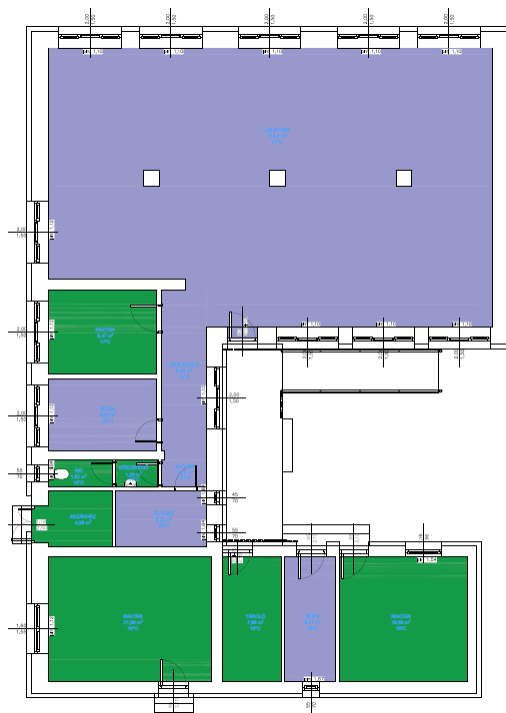
A **7. ábrán** szemléltetem az irodai épület belső elrendezéseit a többi funkcióhoz képest.



7. ábra Irodai épület belső elrendezései

A **7. ábrán** lila színnel a fűteni és a hűteni kívánt helyiségeket jelöltem, ezek az irodák, közlekedők és a teakonyha. Zöld színnel ugyanúgy, mint a családi ház esetében az alárendelt helyiségeket, amelyek a mosdók, kazánház, irattár.

A **8. ábrán** látható a kereskedelmi épület helyiségeinek elrendezése.



8. ábra Kereskedelmi épület belső elrendezései

A **8. ábrán** lila színnel ismételten a fűteni és hűteni kívánt helyiségeket jelöltem, amelyek az üzlettér, közlekedő, iroda, öltöző és büfé. A **zöld** színnel jelölt alárendelt helyiségek a raktárak, kazánház és mosdó.

Az eltérő lehetséges funkciók mellett az esettanulmány azt is vizsgálja, hogy az épület energiaigénye hogyan változik az Európai Unió ajánlásának végrehajtása során. Az Unió egyik javaslata ugyanis az volt, hogy a fűtési időszakban a belső hőmérsékletet csökkentsük, míg a hűtési időszak alatt növeljük a belső levegő hőmérsékletét. Természetesen ez a javaslat nem veszi figyelembe az emberi komfortra gyakorolt hatását a megváltozott hőmérsékletnek. Gondos mérlegelés után úgy véltem, hogy legfeljebb 3 fokos változás hatásait vizsgálom meg. Ennek reményeim szerint az emberi komfortra gyakorolt hatása nem lesz tolerálhatatlan.

A dolgozat vizsgálja továbbá azt is, hogy milyen eltéréseket eredményez az energiaigényben, ha a fűtési és hűtési hőfokhíd értéket az alternatív megoldással a **7. és 8. egyenletek** segítségével határoztam meg.

3.2 Az épület hőtechnikai bemutatása

3.2.1 Az épület szerkezeti bemutatása és a szerkezeti hőveszteségtényező meghatározása

Az energiaigény számításokhoz elengedhetetlen a hőveszteség tényező(k) pontos meghatározása. Ehhez pedig ismernünk kell az épület szerkezeteit.

Az épület tervezése során feltétel a hatályos szabályozásban rögzített követelmények betartása. Az épületek energetikai jellemzőit a magyar jogszabályi rendszerben a 9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet szabályozza. A 9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet közel nulla energiaigényszint szerint meghatározott értékénél nagyobb hőátbocsátási tényezővel rendelkező szerkezetek nem felelnek meg a rendelet követelményeinek. Az épület határoló szerkezeteinek a megfelelésségét a **2. táblázat** tartalmazza. [43]

A szerkezet *külső falai* 45 cm tömör vályog, amelyre 14 cm Rockwool Multirock kőzetgyapot hőszigetelőréteg került a követelmény elérése érdekében. A belső és külső vakolatokat is figyelembe véve a külső fal hőátbocsátási tényezője $0,231 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Az épület belső részét 50, 35, 30, 23, 15, 14, 12 és 10 cm-es belső falak tagolják szét helyiségekre. Mint látható, különböző időszakokban történő átalakítások miatt igen eltérőek a belső falak méretei. Régebben vastagabb falakat használtak, hiába nem volt indokolt a teherhordó szerep. Azonban attól még van olyan vastagabb fal, amely a teherhordó szerep miatt került beépítésre, ez az 50 és 35 cm-es fal. Az utólagos alakítás, mint a külön nyíló helyiségek

későbbi hozzáépítése miatt is változóak a belső falak vastagságai. A vizesblokkal rendelkező helyiségeknél a hanggátlás miatt döntöttek vastagabb belső fal mellett.

A talajra fektetett padló 54 cm, amelyből 30 cm homokfeltöltés, 5 cm kavicsfeltöltés, 9 cm Austrotherm AT-N150 lépésálló hőszigetelés, majd 10 cm kavicsbeton került. A szerkezet hőátbocsátási tényezője 0,281 W/m²K.

A padlásfödém esetében a nádlemezt deszkázat borítja, amelyen 7 cm vályogtapasztás és 20 cm Rockwool Multirock Plus szigetelés zárja. A szerkezet hőátbocsátási tényezője 0,142 W/m²K.

Az épület műanyag ablakai reflektáló üvegezések, üvegezési aránya 80%-os. Az ablakok belső oldalán világos színű függönyök találhatóak. Az ablak hőátbocsátási tényezője 1 W/m²K, az árnyékolás naptényezője nyáron 0,45.

A szintén műanyag nyílászáró, azonban üvegezés nélküli bejárati ajtó hőátbocsátási tényezője 1,1 W/m²K. Az erkélyajtó üvegezése és árnyékolástechnikája az ablakoknál használt módon megoldott, hőtechnikai paraméterei azzal megegyezők.

2. táblázat A rétegrendek hőátbocsátási tényezőjét összefoglaló táblázat [43]

Rétegrend megnevezése	Hőátbocsátási tényező követelmény értéke [W/m ² K]	Rétegrend előírt értéke [W/m ² K]	Értékelés [43]
Külső fal	0,12	0,24	Megfelelő
Tető	0,138	0,17	Megfelelő
P1 talajra fektetett padló	0,252	0,3	Megfelelő
P4 talajra fektetett padló	0,252	0,3	Megfelelő
Bejárati ajtó, Garázsajtó	1,45	1,45	Megfelelő
Ablak	1,15	1,15	Megfelelő

A számítások során az épület szerkezeti viszonylatában figyelembe vettem a hőhidakon fellépő többlet hőveszteségeket a 9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet szerint.

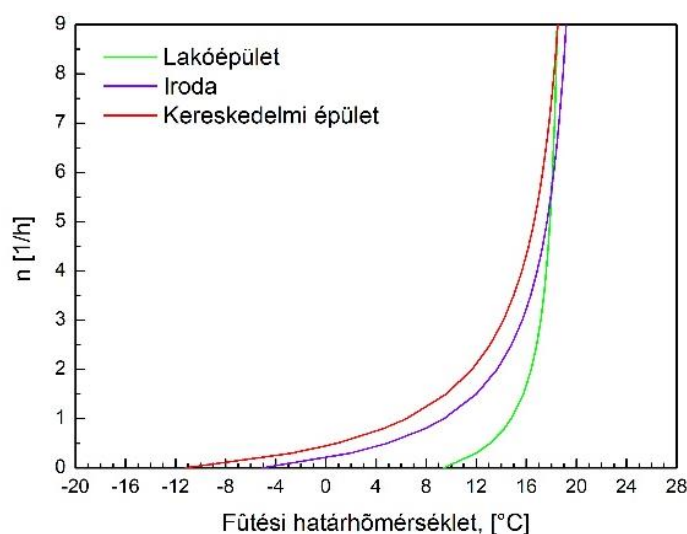
A vizsgálati eredmények alapján az épülethatároló szerkezetek a hőátbocsátási tényező követelményeinek megfelelnek.

Összefoglalva az épület szerkezeti hővesztésgtényezőjének („ H_{tr} ”) értéke 151-161 kW/K között változik (lásd a **3. táblázatot**) ennek oka, a belső térelosztás minimális változása a funkció függvényébe.

3.2.2 Az épület légellátásának és a légcserre hővesztésgtényezője értékeinek figyelembevétele

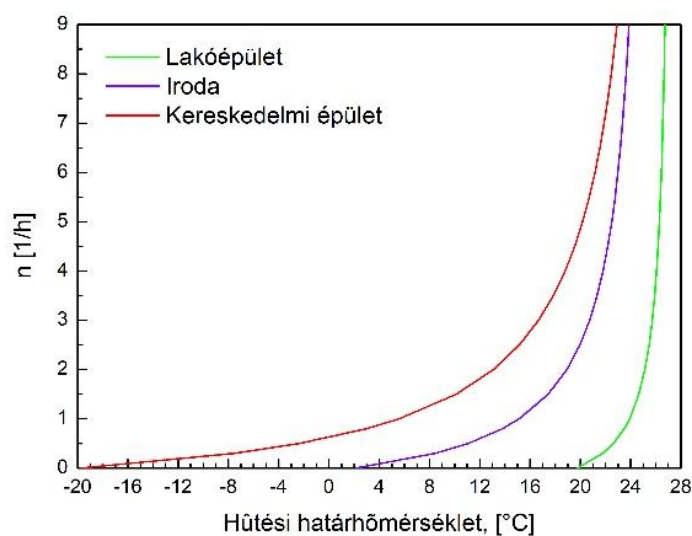
Az épület funkciója befolyásolja az emberi friss levegő igényét is. Ezt az eltérő légcsereszámokkal lehet figyelembe venni. A légcsereszám függvényében exponenciálisan ($R^2=1$) fog változni a fűtési (**9. ábra**), illetve hűtési (**10. ábra**) határhőmérséklet is.

A **9. ábrán** látható a fűtési határhőmérséklet változása a légcsereszám függvényében.



9. ábra A légcsereszám hatása a határhőmérsékletre fűtési szezonban

A következő ábrán pedig a hűtési határhőmérséklet változása látható:



10. ábra A légcsereszám hatása a határhőmérsékletre hűtési szezonban

A vizsgálatok során családi ház funkcionál 1 [1/h], irodai funkcionál 2 [1/h], míg a kereskedelmi létesítmény funkcionál 3 [1/h] értéket vettem figyelembe. Ezek a légcseré értékek kielégítik az egyes épület funkciók frisslevegő-igényét.

Ilyen légcseré értékek mellett a légcseré hővesztésgtényezője 185,45 (családi ház); 367,5 (iroda) és 577,12 W/K (kereskedelmi létesítmény) értékeket vesz fel. (lásd a **3. táblázat**ot)

3.2.3 Az épület hőszükséglete és hőterhelése

Elsőnek ismertetem mely szabványok és szempontok alapján határoztam meg az épület hőszükségletét és hőterhelését.

A hőszükséglet számításának célja az, hogy meghatározzuk, milyen fűtőtéljesítmény szükséges az épületben annak érdekében, hogy a kívánt hőmérsékletet képes legyen biztosítani a méretezési állapotban. Az épület hőszükséglete méretezési állapotban az épület hővesztésének és hőnyereségének előjeles összege. A hővesztés a transzmissziós energiaáramnak és a szellőzés által a külső térbe érkező levegő hőenergiaigényének összege, míg a hőnyereség például a transzparens szerkezeteken keresztül az épületbe jutó napsugárzásból adódó hőnyereség. [44]

A ***hőszükséglet*** meghatározásánál az érvényben lévő MSZ EN 12831:2003 szabványban rögzített számítási eljárást követtem. A számításaim során a hőnyereségek közül a belső hőnyereségeket és a napsugárzásból származókat vettem figyelembe. [45]

A számítás során a belső hőforrásokat az MSZ EN ISO 13790:2008 szabvány által előírt módszerrel határoztam meg. A szabvány által belső hőterhelésekhez tartozik többek közt az épületben tartózkodó emberek által kibocsátott hő, valamint az általuk használt berendezések és azok üzemeltetése során termelődött energia és az épület világításának hőtermelése. A napsugárzásból számított hőnyereség meghatározása során az MSZ 04-140-4:1978 szabvány egy szimmetrikus extrém hőségnapot használtam. A mintanap adatait az MSZ 04-140-2:1991 szabvány tartalmazza. [46] [47] [48]

A méretezési külső hőmérsékletet az MSZ 04-140/3;1987 szabvány alapján vettem fel. Ez a szabvány már nincs érvényben, viszont közel valós adatot ad a számítások elvégzéséhez. Mivel az épület Mikepércsen található, így Magyarország éghajlati terület szerinti felosztása alapján a (-13) °C-os külső méretezési zónába esik, azonban a biztonságra méreteztem. Ezáltal a hőtechnikai méretezést (-15) °C-os külső méretezési hőmérséklettel végeztem el. [49]

A belső hőmérsékletet többségében az érvényben lévő MSZ-CR-1752:2000 szabvány alapján választottam ki az irodai és kereskedelmi épület helyiségeinek. A szabványban a B kategória szerinti értéket vettem figyelembe. A további és a családi ház esetében az MSZ 24140:2015 szabvány alapján jártam el. [50] [51]

A hűtési hőterhelés az a hőteljesítmény, amely egy helyiségből a legmelegebb nyári időszakban el kell vonni ahhoz, hogy a kívánt belső hőmérsékletet fenntartsuk. Ez azt jelenti, hogy a hűtési hőterhelés egy időben változó mennyiség, amely ellensúlyozza az időegység alatt kívülről bejutó és a bent keletkező hőmennyiséget, a kívánt belső hőmérséklet fenntartásával. A külső és belső hőterhelés összege adja a hűtési hőterhelést. A külső hőterhelés a tömör határoló szerkezeteken és az üvegezett felületeken jut be. A belső hőterhelések (emberi, gépi hőleadás, illetve a belépő levegő lehűtésének energiaigénye) felvételénél nagyobb tervezői szabadságunk van. [44]

Az épület ***hőterhelés*** számításához a jelenleg érvényben lévő MSZ EN ISO 52016-1:2017 szabvánnyal valósághoz közelítő értéket kapnánk, azonban rendkívül összetett és számos tényezőt figyelembe vevő számítási módszert ad meg. Ezzel a szabvánnyal a számolás bonyolult és nehéz, így a mérnöki gyakorlatnak megfelelően továbbra is a 2012-ben visszavont MSZ-04-140-4:1978 szabványt használtam. Mivel a szabvány 45 éves, emiatt külön gondot kell fordítani a pontos méretezési alapadatok felvételére. [52] [47]

A számítási alapadatokhoz tartozik a figyelembe vett mintanap, a méretezési belső hőmérsékletek, az emberi és gépi hőleadás, és a nyári friss levegő kezelésének igénye. Az MSZ 04-140-4:1978 szabvány egy szimmetrikus extrém hőségnap esetén határozza meg a hőterhelést. A mintanap adatait az MSZ 04-140-2:1991 szabvány tartalmazza. [47] [48]

A hűtött terek méretezési belső hőmérsékletét az érvényben lévő MSZ-CR-1752:2000 szabvány által vettem fel. A szabvány operatív hőmérsékletet rögzít, ezért itt is állandósult állapotot feltételeztem, ahogy fűtés esetében is. [50]

A gépi és emberi hőleadás meghatározására az MSZ EN ISO 13790:2008 szabvány G9 táblázatával történt. [46]

Az épület további fontosabb adatait a **3. táblázat** tartalmazza:

3. táblázat A vizsgált épület fontosabb adatai

Megnevezés	jel, [M.e.]	Családi ház	Iroda	Kereskedelmi
<i>Hőszükséglete (EN 12831)</i>	$\dot{Q}_{HSZ}$, [kW]	10113	17377	23572
<i>Téli belső léghőmérséklet</i>	$t_{i,f}$, [°C]	19,3	21,4	21,3
<i>A téli fűtési határhőmérséklet</i>	$t_{h,f}$, [°C]	14,80	13,66	14,17
<i>Hőterhelése (MSZ 04140)</i>	$\dot{Q}_{HT}$, [W]	1986	8291	9082
<i>Nyári belső léghőmérséklet</i>	$t_{i,h}$, [°C]	27,37	25,86	26,90
<i>A nyári hűtési határhőmérséklet</i>	$t_{h,h}$, [°C]	23,93	18,93	16,68
<i>Szerkezeti hővesztésgtényezője</i>	H_{tr} , [W/K]	154,17	151,51	161,52
<i>Légcsereszám</i>	n_{nom} , [1/h]	1	2	3
<i>Légcsere hővesztésgtényezője</i>	H_{ve} , [W/K]	185,45	367,5	577,12

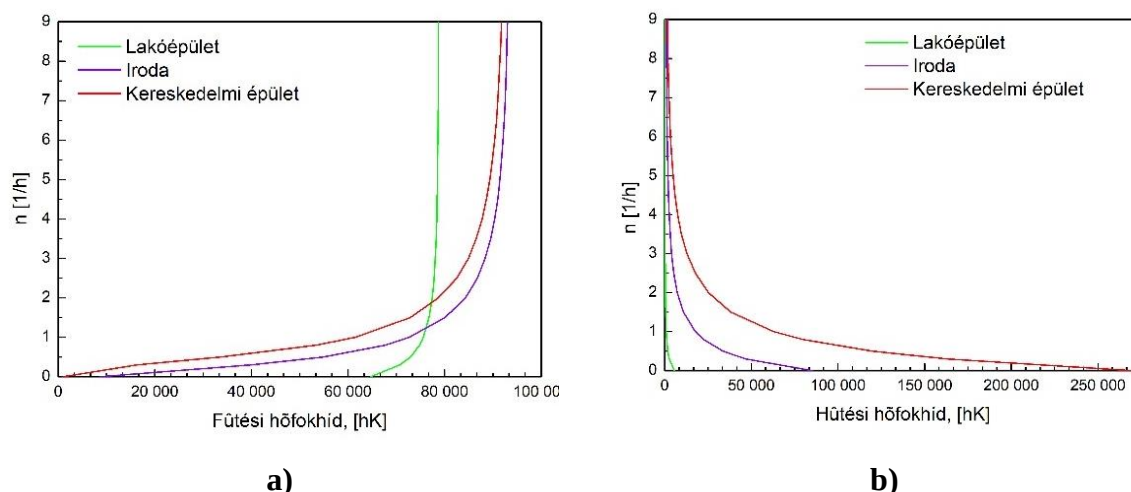
Az épület funkciójának függvényében a belső válaszfalak módosulnak (pl.: egy élelmiszerüzlet nagy egybefüggő területet igényel). Ezen átrendezések miatt lesz minimális eltérés a szerkezeti hővesztésgtényező értékében. Az épület egyes helyiségeiben a használat függvényében eltérő léghőmérséklet alakul ki, mivel a vonatkozó szabványok (pl.: MSZ 24140) a funkció alapján eltérő belső léghőmérsékleteket írnak elő. Továbbá egy lakóépületnél kevesebb hűtött helyiség van, mint egy irodában vagy egy kereskedelmi létesítményben.

3.3 Fűtési és hűtési hőfokhíd számítása

A napi legkisebb, legnagyobb és átlag hőmérséklet értékeket az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) mérte. Az észlelések időpontja 07:00, 13:00, 19:00 óra, az éjszakai 01:00 óras adatot pedig a termográfáról olvasták le. Az időpontok a közép-európai idő (CET) szerintiek. A napi középhőmérsékletet a 4 adat átlagaként számolják. A középhőmérsékletet minden időszakban 2 tizedes pontossággal határozzák meg. A maximum és a minimum hőmért is 07:00 és 19:00-kor olvassák le. A napi maximum a két maximum hőmérséklet érték közül a nagyobb, míg a napi minimum a két minimum hőmérséklet közül a kisebb. [53]

A vizsgálatok során a Debrecen mellett mért 1991-2020 közötti évek hőmérséklet értékeit használtam.

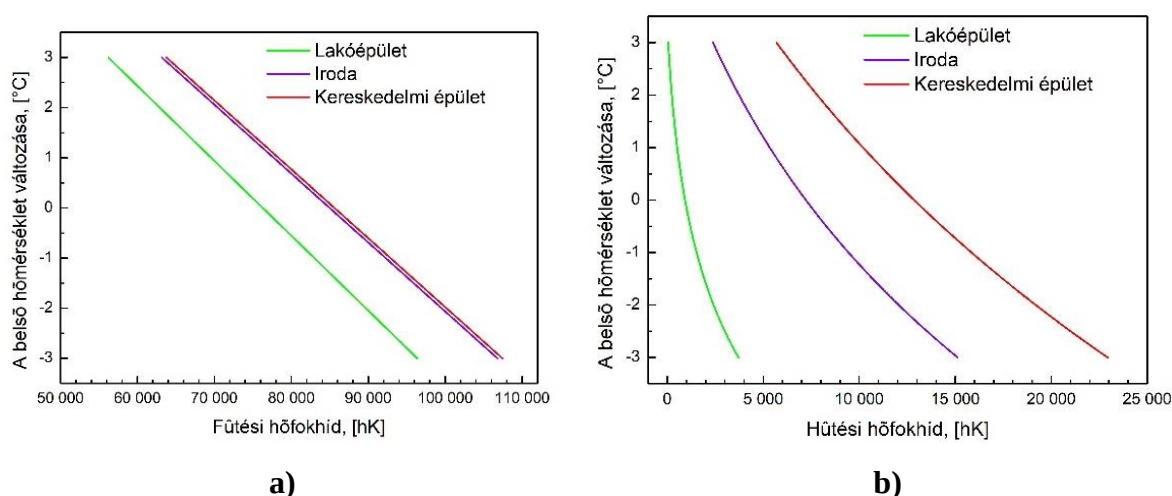
Az 1991-2020 közötti napi középhőmérsékletből számolt átlagos hőfokhíd értékeket a légcsere változtatásának függvényében mutatja a **11. ábra** a három vizsgált funkcionál. A belső méretezési hőmérsékletek szabványos hőmérsékletek (MSZ 21140-ből) így a változásuk nulla. ($\Delta t_i = 0$ °C).



11. ábra A hőfokhíd alakulása a légcseré változásának függvényében **a)** fűtési szezon és **b)** hűtési szezon

Az ábra alapján mind a fűtési hőfokhíd ($R^2 > 0,99039$), mind a hűtési hőfokhíd ($R^2 > 0,99989$) is exponenciálisan változik a légcsereszám függvényében.

A belső hőmérséklet változtatásának függvényében mutatja a **12. ábra** az 1991-2020 közötti napi középhőmérsékletből számolt átlagos hőfokhíd értékeket, a három vizsgált funkcionál ($n = n_{nom}$).



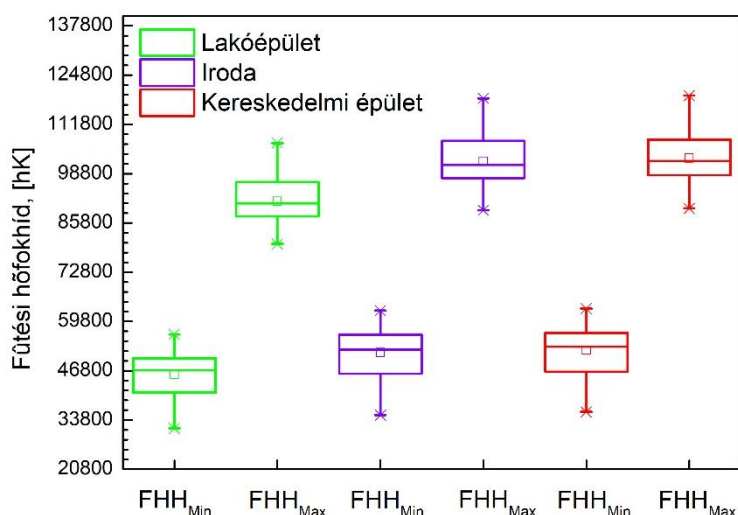
12. ábra A hőfokhíd alakulása a belső hőmérséklet változtatása függvényében **a)** fűtési szezon és **b)** hűtési szezon

Az ábra alapján a belső hőmérséklet változtatásának függvényében a fűtési hőfokhíd lineárisan ($R^2 > 0,99869$), míg a hűtési hőfokhíd exponenciálisan ($R^2 > 0,99916$) változik.

Érdekes módon az irodai és a kereskedelmi épület funkcióra vonatkozó görbék szinte átfedik egymást. Ennek a hasonlóságnak az az oka, hogy a két épületfunkció esetében a belső hőmérséklet és a határhőmérséklet közötti különbség közel azonos ($7,74^\circ\text{C}$ és $7,13^\circ\text{C}$), míg a lakóépület esetében ez az érték $4,5^\circ\text{C}$.

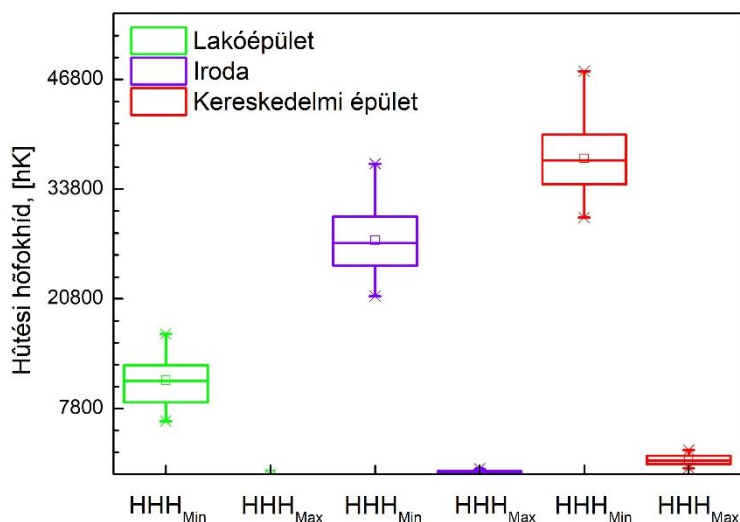
A későbbiekben a 7. és 8. **egyenletek** segítségével meghatározott napi minimum- és maximumhőmérsékletekből számított hőfokhíd értékeket hasonlítom össze ezekkel az értékekkel.

Elsőnek megvizsgáltam a 1991-2020 közötti 30 év során mért minimum és maximum hőmérsékletekből képezett hőfokhíd értékek alakulását. A fűtési hőfokhidak láthatók a **13. ábrán** ($\Delta t_i=0$).



13. ábra A minimum és maximum hőmérsékletekből képzett hőfokhíd értékek a fűtési szezonban
 FHH_{Min} / FHH_{Max} – A fűtési hőfokhíd a napi minimum/ maximum hőmérsékletből, [hK];

A **14. ábrán** pedig a hűtési hőfokhíd értékek láthatóak.



14. ábra A minimum és maximum hőmérsékletekből képzett hőfokhíd értékek a hűtési szezonban
 HHH_{Min} / HHH_{Max} – A hűtési hőfokhíd a napi minimum/maximum hőmérsékletből, [hK];

A 8. **egyenlet** használatához szükséges meghatározni az egyenletben szereplő konstansok értékét. A 4. **táblázatban** láthatóak az egyenletben használt konstansok értékei. Ehhez a

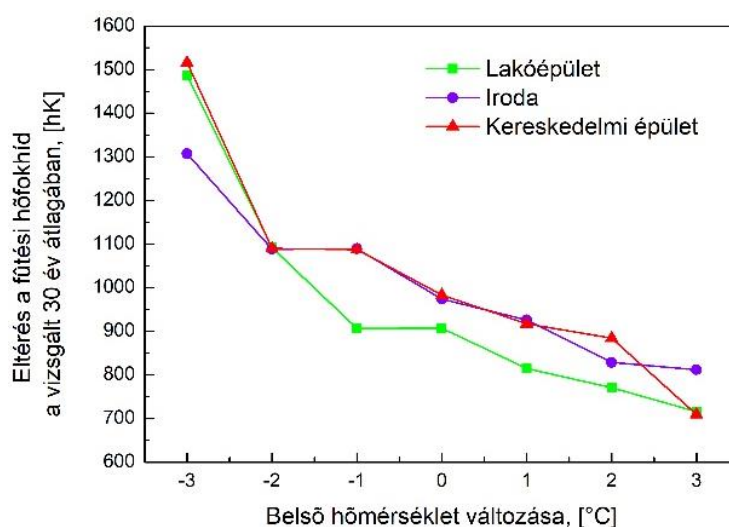
Microsoft Excel beépített Solver alprogramját használtam, és Nemlineáris ARG megoldási módszert alkalmaztam.

4. táblázat A 8. egyenlet használatához alkalmazott konstansok értékei [41]

Változó	Értéke	Változó	Értéke
a	589,28	d	(-416,033)
b	0,06461	e	0,000353
c	0,3277	f	1,593

A 15. és 16. ábra azt mutatja meg, hogy mekkora eltérés tapasztalható a fűtési és a hűtési hőfokhíd meghatározásában, a vizsgált 30 év átlagában, ha a 7. illetve a 8. egyenletet használjuk, és nem a napi középhőmérsékletekből indulunk ki. (A fűtési és hűtési hőfokhíd névleges értékeit a napi középhőmérsékletekből meghatározva.)

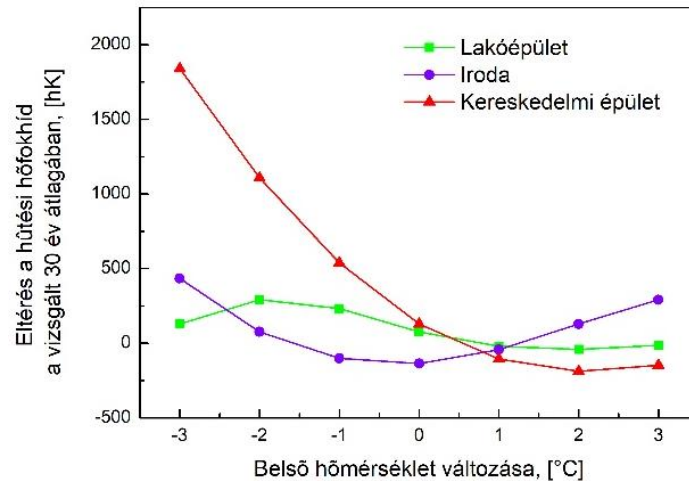
A 15. ábrán látható a fűtési hőfokhíd esetében.



15. ábra A napi középhőmérsékletből meghatározott hőfokhíd értékektől való eltérés az egyes funkcióknál, az egyenletek használatával fűtési esetben

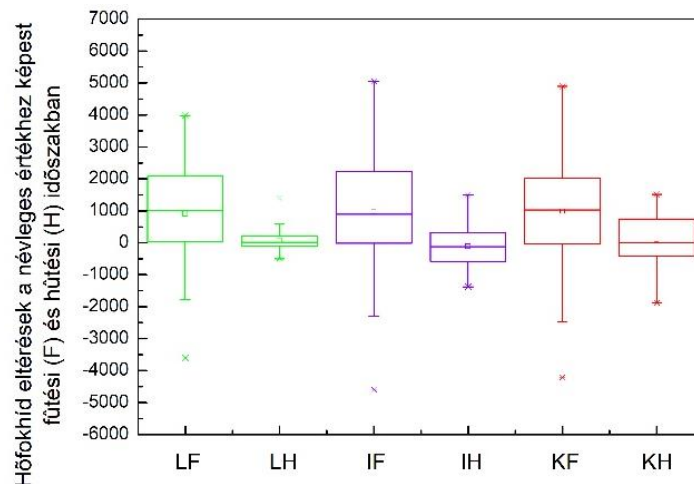
A 15. ábra alapján fűtési esetben mindig kisebb értéket kapunk a névlegeshez képest, de lefeljebb 1,5%-kal. Hűtési esetben nagyobb eltérések alakulhatnak ki, akár 9,4%-os eltérés is adódhat. Ez az érték félrevezető lehet, mivel a hűtési hőfokhíd érték sokkal kisebb, mint a fűtési hőfokhíd érték. Ezért a [hK] eltérés mértékét is megvizsgáltam.

A 16. ábrán látható a hűtési hőfokhíd esetében.



16. ábra A napi középhőmérsékeltből meghatározott hőfokhíd értékektől való eltérés az egyes funkcióknál, az egyenletek használatával hűtési esetben

A **17. ábrán** $\Delta t_i = 0$ °C mellett vizsgáltam meg, hogy egyes évek adataikat használva mekkora eltérések alakulnak ki az összefüggések használatával a névleges értékektől a **7. és 8. egyenleteket** felhasználva.



17. ábra Az egyes években kialakuló eltérés a napi középhőmérsékeltből, valamint egyenlettel meghatározott hőfokhíd értékek között a névlegeshez viszonyítva az egyes funkcióknál fűtésnél és hűtésnél

LF – lakóépület, fűtés; **LH** – lakóépület, hűtés; **IF** – irodaépület, fűtés; **IH** – irodaépület, hűtés; **KF** – Kereskedelmi létesítmény, fűtés; **KH** – kereskedelmi épület, hűtés

A **17. ábra** alapján fűtési szezonban az eltérés hasonló az egyes funkcióknál. Családi háznál +3979 és (-3600) hK, irodai funkciónál +5051 és (-4588) hK, míg kereskedelmi funkciónál +4895 és (-4210) hK közötti. Hűtési esetben is hasonlóak az eltérések mértéke. A családi ház funkció esetén +1410 és (-500), irodai funkciónál +1498 és (-1379) míg a kereskedelmi funkciónál +1512 és (-1883) hK között változik.

3.4 Energiaigény meghatározása a funkciófüggő hatásokkal

A **4. ábra** segítségével kiszámítható a három vizsgált épületfunkció kihasználtsága. Pontos értékeiket azonban számos tényező befolyásolja, többek között a tulajdonosok elvárásai és az életmód. Ezt az ábrát alkalmazva az "A" és a " $\bar{\varphi}$ " értékeket kell meghatározni. Mindkét értéket a tulajdonos vagy a felhasználó pontosan meghatározhatja követelményként. Ilyen előírások nélkül csak közelítő értékek használhatók, például a helyi HVAC-rendszer tervezői által végzett megfigyelések alapján. Ebben a további esettanulmányban csak így lehet eljárni. A [41] alapján a heti aktivitási idő lakóépületekben 80 és 140 óra, irodákban 40 és 72 óra, kereskedelmi létesítményekben pedig 40 és 100 óra között mozoghat vidéki kisvárosokban. A passzív működési tényező a fűtési szezonban a lakóépületekben 70-100%, az irodákban 70-100%, a kereskedelmi létesítményekben 40-70% között mozoghat. A hűtési szezonban ez a tényező a lakóépületekben 0-50%, az irodákban 0-70%, a kereskedelmi létesítményekben pedig 0-80% között mozoghat. Amint látható, az értékek nagymértékben változhatnak. Ez a tanulmány az észszerűen várható értékeket veszi figyelembe, amint az **5. táblázat**ban látható.

5. táblázat A három vizsgált épületfunkció kihasználtsága

		A, [h]	$\bar{\varphi}$, [%]	η_u , [%]
<i>Fűtési szezon</i>	Családi ház	106	0,80	92,62
	Iroda	50	0,70	78,93
	Kereskedelmi	84	0,70	85,00
<i>Hűtési szezon</i>	Családi ház	40	0,00	23,81
	Iroda	50	0,30	50,81
	Kereskedelmi	84	0,00	50,00

Az épület fűtési energiaigénye a **10. egyenlet** segítségével, míg a hűtési energiaigény a **11. egyenlettel** határozható meg.

A kutatásom egyik fókuszában a légcsereszám-változás hatásainak részletes elemzése állt, különös tekintettel a fűtési és hűtési energiaigényre. A kísérleteim során a légcsereszám módosítása mellett a napi átlaghőmérsékletből származó hőfokhíd értékeket alkalmaztam kiindulási pontként. Ez a vizsgálat segíthet annak jobb megértésében, hogy hogyan befolyásolja a légcsereszám változása a fűtési és hűtési rendszerek energetikai teljesítmény igényét, és ezáltal lehetőséget teremthet a hatékonyabb energiafelhasználás optimalizálására.

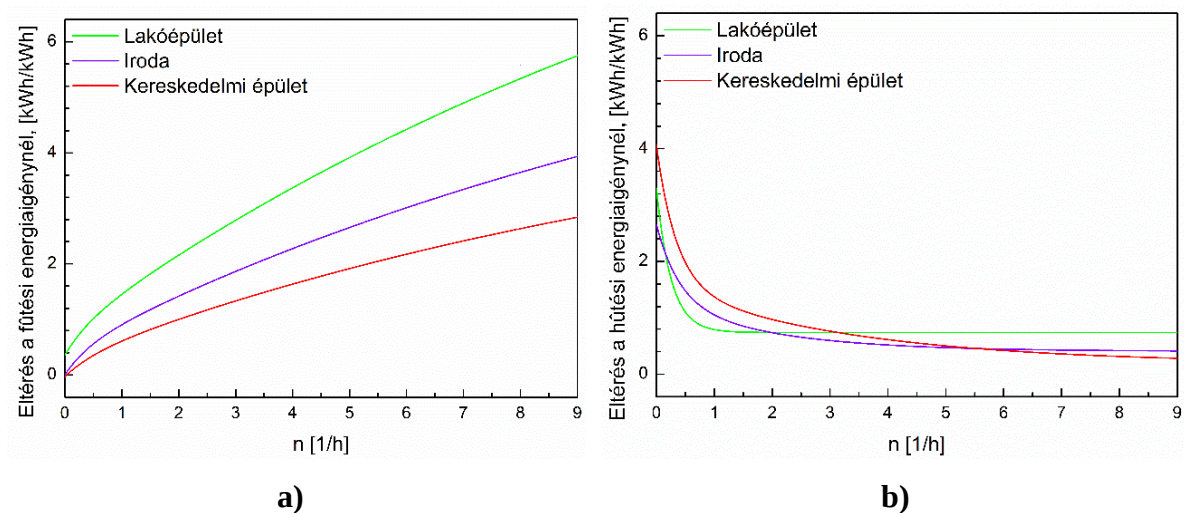
A **6. táblázatban** szerepelnek a fűtési és hűtési energiaigények referencia adatai, amelyeket felhasználtam a következő ábrák létrehozásához.

6. táblázat Referencia energiaigény értékek

	Fűtési energiaigény [kWh]		Hűtési energiaigény [kWh]	
	napi átlaghőmérséklet	egyenlet	napi átlaghőmérséklet	egyenlet
<i>Családi ház</i>	23.536,6	23.254,1	63,5	58,2
<i>Iroda</i>	34.161,3	33.766,7	1824,2	1858,7
<i>Kereskedelmi</i>	51.314,8	50.720,8	3729,9	3692,2

A következő ábrák (**18.**, **19.**, **20.** és **21.**) adatait a **6. táblázat** referencia energiaigény értékek segítségével határoztam meg.

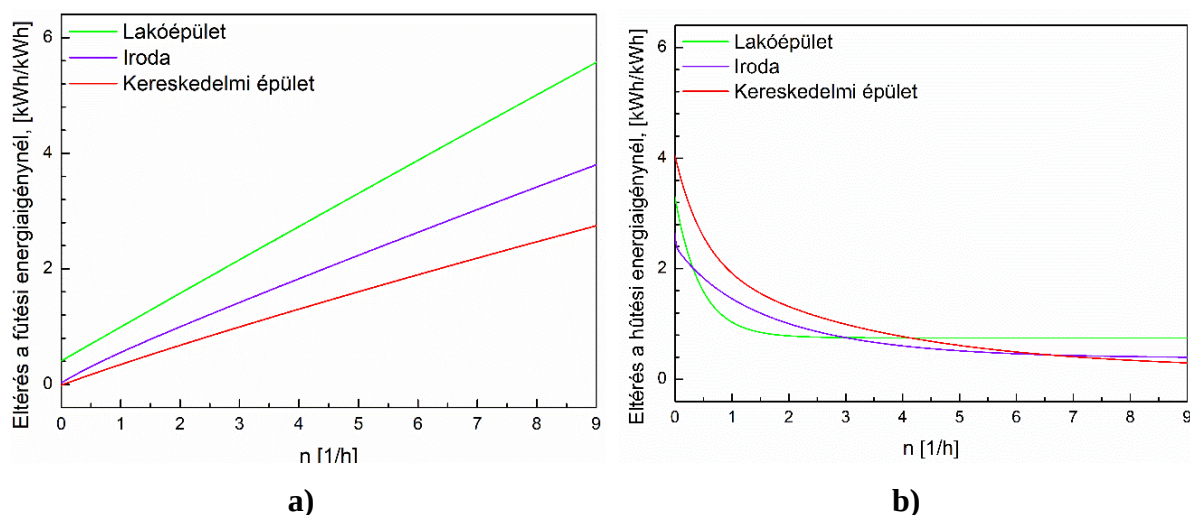
A **18. ábra** a napi átlaghőmérsékletből képzett hőfokhíddal meghatározott energiaigényt mutatja be a referencia energiaigényhez képest.



18. ábra Az épület fűtési energiaigény eltérése a referencia értéktől a légszámától függően **a)** fűtési időszakban a napi átlaghőmérséklet alapján **b)** a hűtési időszakban a napi átlaghőmérséklet alapján

A fűtési energiaigényre a legjobb illeszkedést az exponenciális illesztés adta, mind a napi középhőmérséklet ($R^2 > 0,99980$). A hűtési hőfokhíd szintén exponenciális tendenciát mutatott a levegőcsere sebességének függvényében, mind a napi középhőmérséklet ($R^2 > 0,99695$).

A **19. ábra** a **7. és 8. egyenlettel** meghatározott hőfokhíddal adja meg az energia igényeket.



19. ábra Az épület hűtési energiaigény eltérése a referencia értéktől a légcserre számától függően **a)** fűtési időszakban a napi minimum és maximum hőmérséklet alapján **b)** a hűtési időszakban a napi minimum és maximum hőmérséklet alapján

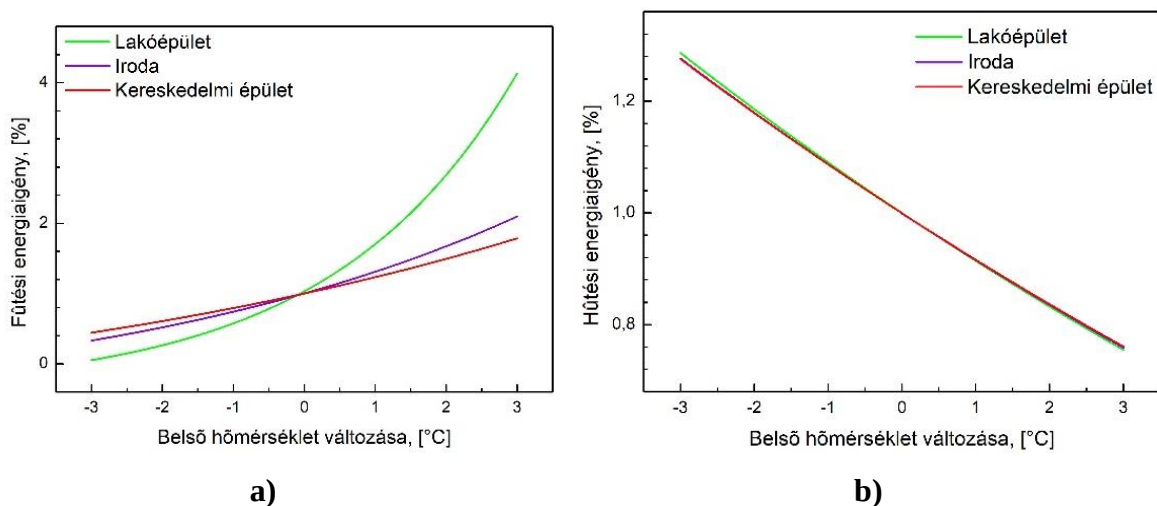
Ahogy az előző, úgy a **19. ábrán** is szintén exponenciális illeszkedés látható a **7. egyenlet** segítségével meghatározott fűtési energiaigény és a referencia energiaigény közötti eltérés ($R^2 > 0,99985$) esetében, mind a **8. egyenlet** segítségével meghatározott hűtési energiaigény szintén a **6. táblázat** értékeihez képest ($R^2 > 0,99869$).

A fűtési energiaigény **7. egyenlet** segítségével történő meghatározásakor a napi középhőmérséklettel meghatározott energiaigénytől való nagyobb eltérések adódtak.

A hűtési szezonban viszont ennek ellenkezője történt, a legnagyobb eltérések alacsony légcsereszámoknál voltak megfigyelhetők.

Az éves fűtési, illetve hűtési energiaigényt a három funkció esetében a **20. és 21. ábra** adja meg ($n=n_{nom}$) a belső hőmérséklet változtatása függvényében.

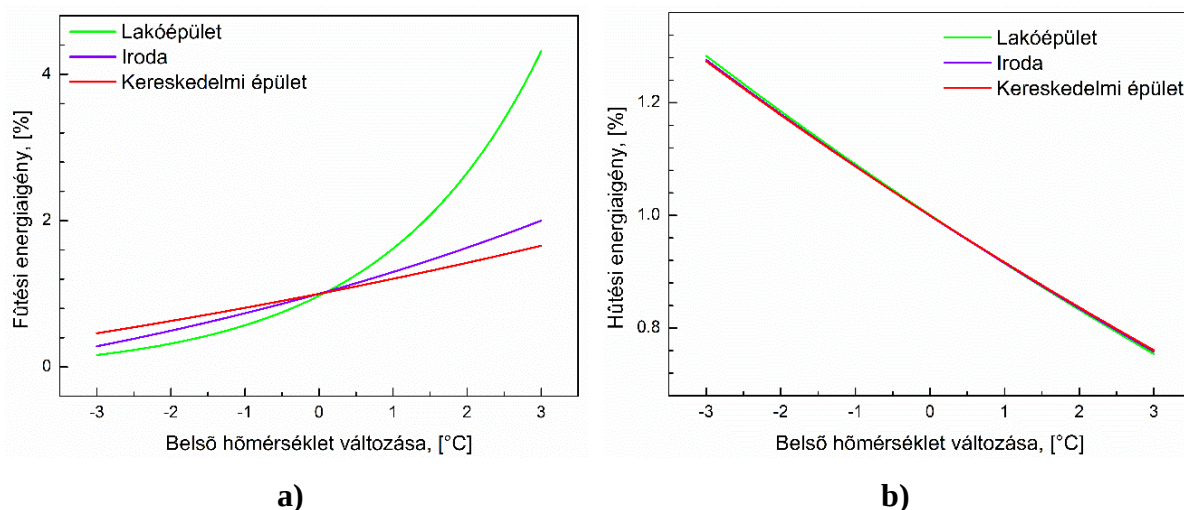
A **20. ábra** az átlaghőmérsékletből képzett hőfokhíd értékkel képzett energiaigényt mutatja százalékos értékben való eltérést a referenciaértékhez képest a fűtési és hűtési időszakban.



20. ábra Az épület energiaigénye a belső hőmérséklet változtatásától függően **a)** fűtési időszakban a napi átlaghőmérséklet alapján, **b)** a hűtési időszakban a napi átlaghőmérséklet alapján

A fűtési energiaigény változása (mind a napi átlaghőmérséklet, mind az egyenletalapú számítás alapján) a belső hőmérséklet függvényében kezdetben lineárisnak tűnhet, de az exponenciális görbe jobban illeszkedik ($R^2 > 0,99755$ és $R^2 > 0,99997$ a napi középhőmérséklet esetében; $R^2 > 0,99809$ és $R^2 > 0,99994$ az egyenletalapú számítás esetében). Másrészt a hűtési energiaigény görbéje szintén exponenciális ($R^2 > 0,99901$ és $R^2 > 0,99940$).

A **21. ábra** pedig a **7. és 8. egyenlettel** meghatározott hőfokhíddal adja meg az energiaigényeket, szintén a **6. táblázatban** szereplő értékekhez képest.



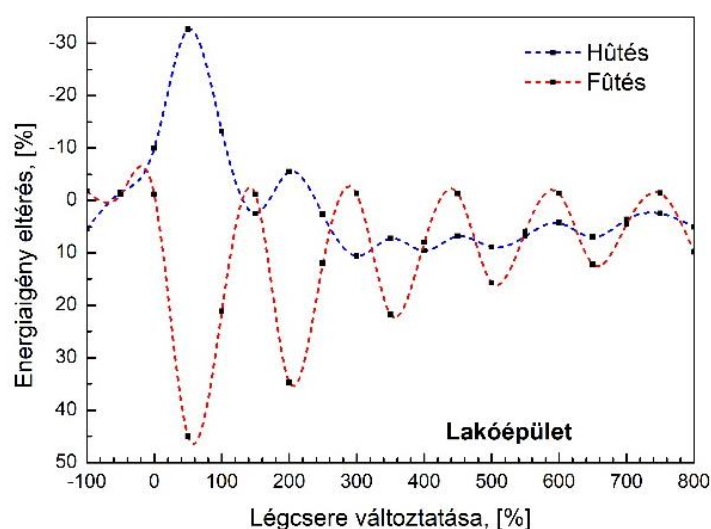
21. ábra Az épület energiaigénye a belső hőmérséklet változtatásától függően **a)** fűtési időszakban a napi minimum és maximum hőmérséklet alapján, **b)** a hűtési időszakban a napi minimum és maximum hőmérséklet alapján

A fűtési energiaigény változása a belső hőmérséklet változtatása függvényében lineáris, míg a hűtési energiaigényé pedig exponenciális, hasonlóan a fűtési és hűtési hőfokhíddhoz (**21. ábra**).

3.5 Energiaigény meghatározása az alternatív hőfokhíd meghatározási módszer felhasználásával

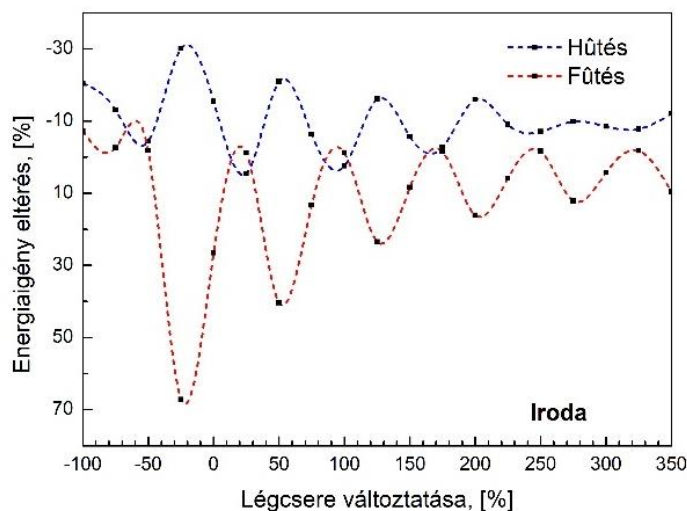
A következő ábrákon az látható, hogy mekkora eltérés lesz az energiaigényben a napi átlaghőmérséklettel meghatározott energiaigényhez képest, ha az alternatív hőfokhíd meghatározási módszert (vagyis a napi minimum és maximum hőmérsékletekből képezett hőfokhidat) használjuk. Mindezt a légcsereszám változásának függvényében látható a következő ábrákon.

A 19. ábrán látható a családi ház esetében történő fűtési és hűtési energiaigény eltérés.



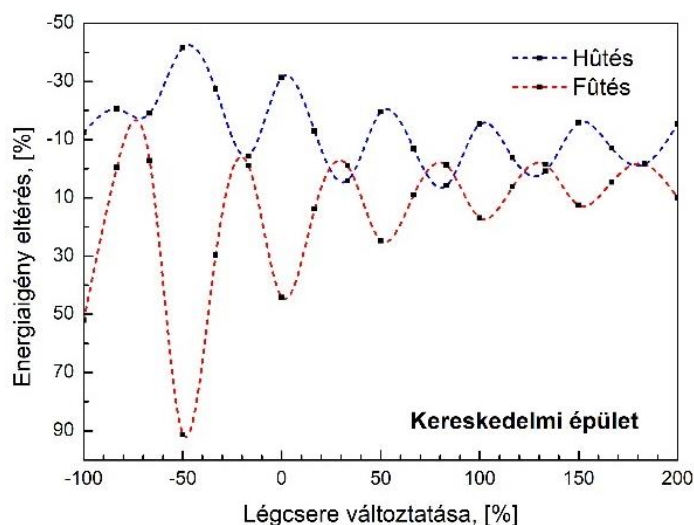
22. ábra A fűtési és hűtési energiaigény eltérése az egyenlethez képest ($\Delta t_i = 0\text{ °C}$) családi ház esetében

A 20. ábrán az irodai épületfunkciónál történő fűtési és hűtési energiaigény eltérés látható.



23. ábra A fűtési és hűtési energiaigény eltérése az egyenlethez képest ($\Delta t_i = 0\text{ °C}$) iroda esetében

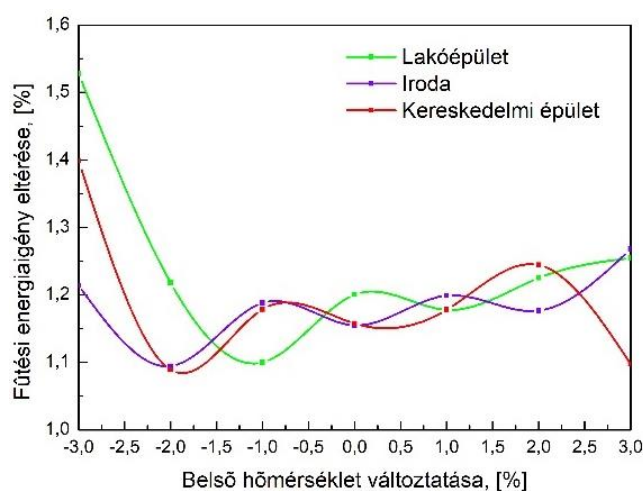
A **24. ábrán** látható a kereskedelmi épület esetében történő fűtési és hűtési energiaigény eltérés.



24. ábra A fűtési és hűtési energiaigény eltérése az egyenlethez képest ($\Delta t_i = 0\text{ °C}$) kereskedelmi épület esetében

Az ábrákból az látható, hogy az eltérés hullámmozgást ír le. Minél nagyobb a légcsere eltérése és minél nagyobb a légcsereszám, annál kisebb lesz az energiaigény eltérés. Vagyis az összefüggések követik a napi átlaghőmérsékletből meghatározott energiaigény eredményeit, ahogy az épületben a légcsere növekszik.

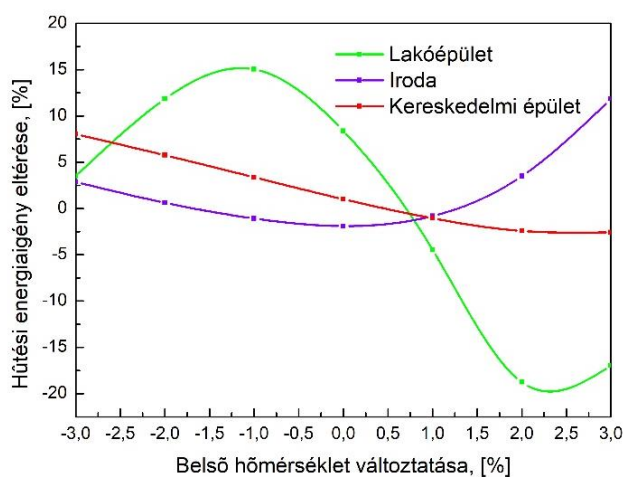
A **25. és 26. ábrán** az látható, hogyan alakul a névleges energiaigénytől (a napi középhőmérsékletből képzett hőfokhiddal meghatározott) való eltérés, ha az összefüggéseket (a napi minimum és maximum hőmérsékletből képzett hőfokhidakat) használjuk. Mindezt a belső hőmérséklet megváltoztatásának függvényében ábrázolva láthatóak az ábrán.



25. ábra A fűtési energiaigény eltérése az egyenletek alkalmazásával ($n = n_{\text{nom}}$)

A **26. ábrán** az látható, hogyan alakul hűtési szezonban a névleges energiaigénytől való eltérés, ha az összefüggéseket (a napi minimum és maximum hőmérsékletből képzett hőfokhidakat) használjuk.

A **26. ábrán** látható a hűtési szezonban a **25. ábra** ábrázolási szempontjaival.



26. ábra A hűtési energiaigény eltérése az egyenletek alkalmazásával ($n = n_{nom}$)

A belső hőmérséklet változtatásakor nem lehet hasonló megfigyeléseket megállapítani, mint a légszere sebességének változtatásakor. Ennek oka, hogy a belső hőmérséklet változása csak $\pm 10\text{-}16\%$, míg a levegőcsere mértéke -100% és $+800\%$ között változhat. Azonban reális, hogy a légszere mértéke közel nullára csökken (nincs gépi szellőzés, ablak fokozott zárással) vagy 9 h^{-1} -ra emelkedik (gépi szellőzés), addig a belső hőmérséklet $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál nagyobb mértékű változása jelentős komfortproblémákat okozhat [54].

4 Összegzés

Az épületek várható energiaigényének pontosabb meghatározására való törekvés egyre fontosabbá válik a jövőbeli energiaválságok fényében. Ebben a dolgozatban olyan újszerű ötletek kerültek bemutatásra, amelyek hozzájárulhatnak ehhez a célhoz, majd egy esettanulmányon keresztül került bemutatásra alkalmazásuk. Az első ötlet az épület funkciójának figyelembevétele az energiaigény meghatározásában. A második ötlet a fűtési hőfokhíd és hűtési hőfokhíd értékek meghatározása a napi minimum és maximum hőmérséklet alapján. A két ötlet alkalmazását a belső hőmérséklet ($\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$) és a légcseres (0 és 9 1/h között) változásán keresztül vizsgálja a dolgozat.

Az épület funkciójának meghatározása során döntő szerepet játszik az épületben tartózkodó emberek száma és az általuk igényelt friss levegő mennyisége, az emberek napi tartózkodási ideje és a HVAC-rendszerek szabályozhatósága szempontjából. Ezen energiaigényt befolyásoló tényezők közül néhányat egy új hatásfok (" η_U ") segítségével lehet figyelembe venni, amely bemutatásra került a dolgozatban, míg más szempontok közvetve, a határhőmérséklet értékében nyilvánulnak meg. Ezért rendkívül fontos az egyes épületekre számított értékeket figyelembe venni, ahelyett, hogy egy földrajzilag meghatározott határhőmérsékletre hagyatkoznánk. A dolgozat eredményei azt mutatják, hogy egy különböző funkciójú épület fűtési energiaigénye jelentős eltéréseket mutathat. Például egy lakóépületnek csak feleannyira van szüksége, mint egy kereskedelmi létesítménynek. Továbbá a hűtési energiaigény még nagyobb különbségeket mutathat.

A dolgozat eredményeiből megállapítható, hogy a napi átlaghőmérsékletből számított fűtési hőfokhíd és hűtési hőfokhíd értékek eltérése a napi minimum és maximum hőmérsékletből meghatározott értékekhez képest nagyobb a hűtési időszakban, mint a fűtési időszakban. A fűtési szezonban azonban az abszolút különbségek [hK]-ban mérve lényegesen nagyobbak. Ennek a ténynek az az oka, hogy Magyarországon a fűtési hőfokhíd értéke általában magasabb, mint a hűtési hőfokhíd értéke. Meg kell említeni, hogy a fűtési hőfokhíd és hűtési hőfokhíd értékek számítása során különböző pontatlanságok kerültek felfedezésre. Ezek a pontatlanságok például abból adódtak, hogy a hőmérsékletméréseket naponta csak négy meghatározott időpontban végezték, ami javítható lenne a nap folyamán több időpontban történő adatgyűjtéssel. Ezenkívül a napi minimum- és maximumhőmérséklet-értékek meghatározása kizárólag a négy kijelölt időpontban végzett méréseken alapult, ahelyett, hogy az abszolút minimum- és maximumhőmérsékleteket vették volna figyelembe. Bár a

különbségek várhatóan elhanyagolhatóak, pontosabb kiindulási adatok felhasználásával pontosabb eredmények születnének. Mindazonáltal a kidolgozott egyenletek alkalmasak a fűtési hőfokhíd és hűtési hőfokhíd értékek, és így a fűtési és hűtési energiaigény meghatározására, ha csak két (napi minimum és maximum) hőmérséklet ismert.

Köszönetnyilvánítás és Támogatás:

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.

Irodalomjegyzék

- [1] G. L. Szabó, Épületek sugárzó hűtési rendszereinek energetikai és exergetikai vizsgálata - doktori disszertáció, Debrecen: Debreceni Egyetem, 2020.
- [2] Development, Hungarian Ministry of National, „National Energy Strategy 2030,” 2012.
- [3] E. Béni és G. L. Szabó, „A belső léghőmérséklet változtatásának hatása az energiaigényekre,” 2023.
- [4] T. Abergel és C. Delmastro, „Is cooling the future of heating?,” *International Energy Agency*, 2020.
- [5] I. Csáky, „Analysis of Daily Energy Demand for Cooling in Buildings with Different Comfort Categories—Case Study,” 2021.
- [6] F. Kalmár és T. Kalmár, „Thermal Comfort Aspects of Solar Gains during the Heating Season,” 2020.
- [7] N. Kutty, D. Barakat és M. Khoukhi, „A French Residential Retrofit toward Achieving Net-Zero Energy Target in a Mediterranean Climate,” 2023.
- [8] A. M. Khourchid, T. A. Al-Ansari és S. G. Al-Ghamdi, „Cooling Energy and Climate Change Nexus in Arid Climate and the Role of Energy Transition,” 2023.
- [9] A. Hamburg, A. Mikola, T.-M. Parts és T. Kalamees, „Heat Loss Due to Domestic Hot Water Pipes,” 2021.
- [10] M. Corcione, L. Cretara, L. Fontana és A. Quintino, „New Dimensionless Correlations for the Evaluation of the Thermal Resistances of a District Heating Twin Pipe System,” 2021.
- [11] A. Kostyák, C. Béres, S. Szekeres és I. Csáky, „BufferTank Discharge Strategies in the Case of a Centrifugal Water Chiller,” 2023.
- [12] E. Ó. Broin, J. Nässén és F. Johnsson, „Energy efficiency policies for space heating in EU countries: A panel data analysis for the period 1990–2010,” 2015.
- [13] S. Park, J. Shim és D. Song, „Issues in calculation of balance-point temperatures for heating degree-days for the development of building-energy policy,” 2021.
- [14] F. Szodrai, „Analysis of a wall structure thermal transmittance sensitivity in function of meteorological parameters at constant internal surface temperature,” 2020.

- [15] X. Cao, X. Dai és J. Liu, „Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy building during the past decade,” 2016.
- [16] V. Pérez-Andreu, C. Aparicio-Fernández, A. Martínez-Ibernón és J.-L. Vivancos, „Impact of climate change on heating and cooling energy demand in a residential building in a Mediterranean climate,” 2018.
- [17] V. Ciancio, F. Salata, S. Falasca, G. Curci, I. Golasi és P. d. Wilde, „Energy demands of buildings in the framework of climate change: An investigation across Europe,” 2020.
- [18] T. E. Morakinyo, „Estimates of the impact of extreme heat events on cooling energy demand in Hong Kong,” 2019.
- [19] B. Bodó és F. Kalmár, „Analysis of primary energy use of typical buildings in Hungary,” 2014.
- [20] G. Krese, Ž. Lampret, V. Butala és M. Prek, „Determination of a Building's balance point temperature as an energy characteristic,” 2018.
- [21] M. Sivak, „Potential energy demand for cooling in the 50 largest metropolitan areas of the world: Implications for developing countries,” 2009.
- [22] M. Olonscheck, A. Holsten és J. P. Kropp, „Heating and cooling energy demand and related emissions of the German residential building stock under climate change,” 2011.
- [23] E. A. Mohareb, C. A. Kennedy és L. D. Harvey, „Decoupling of building energy use and climate,” 2011.
- [24] L. D. Harvey, „Using modified multiple heating-degree-day (HDD) and cooling-degree-day (CDD) indices to estimate building heating and cooling loads,” 2020.
- [25] L. D. Harvey, „A Handbook on Low-Energy Buildings and District-Energy Systems, 1st ed.; Taylor & Francis: London,” 2006.
- [26] „The European Parliament and of the Council, Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council,” 2010.
- [27] R. Bardhan, R. Debnath, J. Gama és U. Vijay, „REST framework: A modelling approach towards cooling energy stress mitigation plans for future cities in warming Global South,” 2020.
- [28] Z. Verbai, I. Csáky és F. Kalmár, „Balance point temperature for heating as a function of glazing orientation and room time constant,” 2017.

- [29] M. Hekkenberg, H. Moll és A. S. Uiterkamp, „Dynamic temperature dependence patterns in future energy demand models in the context of climate change,” 2009.
- [30] K. Lee, H.-J. Baek és C. Cho, „The Estimation of Base Temperature for Heating and Cooling Degree-Days for South Korea,” 2014.
- [31] M. Mourshed, „Relationship between annual mean temperature and degree-days,” 2012.
- [32] J. A. Avezedo, L. Chapman és C. L. Muller, „Critique and suggested modifications of the degree days methodology to enable long-term electricity consumption assessments: a case study in Birmingham, UK,” 2015.
- [33] J. Karlsson, A. Roos és B. Karlsson, „Building and climate influence on the balance temperature of buildings,” 2003.
- [34] Q. Meng, Y. Xi, X. Zhang, M. Mourshed és Y. Hui, „Evaluating multiple parameters dependency of base temperature for heating degree-days in building energy prediction,” 2021.
- [35] T. Day, „Degree Days: Theory and Application; Chartered Institution of Building Services Engineers: London, UK,” 2006.
- [36] F. Kheiri, J. Haberl és J.-C. Baltazar, „Split-degree day method: A novel degree day method for improving building energy performance estimation,” 2023.
- [37] ASHRAE 55, „Ashrae Handbook Fundamentals; ASHRAE: Peachtree Corners,” 2017.
- [38] M. Larsen, S. Petrović, A. Radoszynski, R. McKenna és O. Balyk, „Climate change impacts on trends and extremes in future heating and cooling demands over Europe,” 2020.
- [39] F. Salata, S. Falasca, V. Ciancio, G. Curci, S. Grignaffini és P. d. Wilde, „Estimating building cooling energy demand through the Cooling Degree Hours in a changing climate: A modeling study,” 2021.
- [40] J. Menyhárt, Az épületgépészet kézikönyve, 1978.
- [41] B. Bodó, E. Béni és G. L. Szabó, „A Facility’s Energy Demand Analysis for Different Building Functions,” 2023.
- [42] Z. Verbai, I. Lázár és F. Kalmár, „Heating degree day in Hungary,” 2014.
- [43] 9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet, 2023.
- [44] G. L. Szabó, Fan-coil hűtési rendszerek tervezése, 2020.
- [45] MSZ EN 12831:2003, 2003.

- [46] *MSZ EN ISO 13790:2008*, 2008.
- [47] *MSZ 04-140-4:1978*, 1978.
- [48] *MSZ 04-140-2:1991*, 1991.
- [49] *MSZ 04-140/3:1987*, 1987.
- [50] *MSZ-CR-1752:2000*, 2000.
- [51] *MSZ 24140:2015*, 2015.
- [52] *MSZ EN ISO 52016-1:2017*, 2017.
- [53] „Országos Meteorológiai Szolgálat,” [Online]. Available:
https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/homerseklet/?fbclid=IwAR35blrUrrPZCC1YSSkqpXhMuSuyHtLEkPp2gVuAqv4HwcZHFp4zTGkKouY.
- [54] G. L.Szabó és F. Kalmár, „Investigation of subjective and objective thermal comfort in the case of ceiling and wall cooling systems,” 2017.
- [55] I. Csáky, „Épületek nyári hőterhelésének energetikai vizsgálata - egyetemi doktori értekezés,” 2015.