

Debreceni Egyetem  
Műszaki Kar  
Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék



## **Szabadhűtés potenciál vizsgálata**

Szerző: **Béni Emese MSc hallgató**

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

Debrecen  
2024.

# Tartalom

|                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Ábrajegyzék .....</b>                                                                                    | <b>2</b>  |
| <b>Táblázatok jegyzéke .....</b>                                                                            | <b>2</b>  |
| <b>Nómenklatúra .....</b>                                                                                   | <b>3</b>  |
| <b>Bevezetés .....</b>                                                                                      | <b>4</b>  |
| <b>1 Az alkalmazott módszerek elméleti áttekintése .....</b>                                                | <b>5</b>  |
| 1.1 Hőfokgyakoriság, hőfokhíd, energiaigény .....                                                           | 5         |
| 1.2 Szabadhűtés fogalma, jelentése, jelentősége.....                                                        | 6         |
| <b>2 Eredmények .....</b>                                                                                   | <b>8</b>  |
| 2.1 A szabadhűtés létjogosultsága.....                                                                      | 8         |
| 2.2 A hőfokhíd arány.....                                                                                   | 9         |
| 2.2.1 A Hőfokhíd arány definiálása .....                                                                    | 9         |
| 2.2.2 A Hőfokhíd arány érzékenységvizsgálata.....                                                           | 10        |
| 2.3 A szabadhűtés alkalmazási határa – teljesítmény oldalról.....                                           | 12        |
| <b>3 Esettanulmány .....</b>                                                                                | <b>14</b> |
| 3.1 Vizsgált épület bemutatása.....                                                                         | 14        |
| 3.2 Előzetes elemzések az energiaigény számítás előtt .....                                                 | 17        |
| 3.2.1 Az üvegezési arány, a funkció és a tájolás hatása a hőterhelésre és a hűtési határhőmérsékletre ..... | 17        |
| 3.2.2 Előzetes elemzés a hőfokhíd arány használatával.....                                                  | 19        |
| 3.3 A megtakarítás vizsgálat a szabadhűtés alkalmazásával.....                                              | 22        |
| <b>4 Összegzés .....</b>                                                                                    | <b>27</b> |
| <b>Irodalomjegyzék.....</b>                                                                                 | <b>28</b> |

## Ábrajegyzék

|                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1. ábra</b> A hőfokhíd értelmezése.....                                                                                                                                                                                                                                    | 5  |
| <b>2. ábra</b> A funkció függő hatások meghatározása .....                                                                                                                                                                                                                    | 6  |
| <b>3. ábra</b> A szabadhűtési zóna értelmezése .....                                                                                                                                                                                                                          | 8  |
| <b>4. ábra</b> A hőfokhíd arány változása a belső és külső hőmérséklet függvényében .....                                                                                                                                                                                     | 11 |
| <b>5. ábra</b> A hőfokhíd arány változása a légcsereszám, transzmissziós hővesztésgtényező és a helyiség térfogat változtatásának függvényében .....                                                                                                                          | 11 |
| <b>6. ábra</b> A vizsgált helyiség kialakítása .....                                                                                                                                                                                                                          | 14 |
| <b>7. ábra a)</b> Extrém nyári nap: 2016.08.09, <b>b)</b> Extrém hőség nap: 2010.08.15, <b>c)</b> Extrém forrónap: 2017.08.04 .....                                                                                                                                           | 16 |
| <b>8. ábra a)</b> a hűtési határhőmérséklet, <b>b)</b> A nyári hőterhelés értéke, azonos tájolású esetek egy színnel, <b>c)</b> A nyári hőterhelés értéke, üvegezési arányú esetek egy színnel, <b>d)</b> A nyári hőterhelés értéke, azonos funkciójú esetek egy színnel..... | 18 |
| <b>9. ábra</b> A hőfokhíd arány értékének alakulása 40% üvegezés és $n_{min}$ légcsereszám mellett. <b>a)</b> Nyári nap, É és D tájolás; <b>b)</b> Nyári nap, K és NY tájolás .....                                                                                           | 20 |
| <b>10. ábra</b> A hőfokhíd arány értékének alakulása 40% üvegezés és $n_{min}$ légcsereszám mellett. <b>a)</b> Hőség nap, É és D tájolás; <b>b)</b> Hőség nap, K és NY tájolás; <b>c)</b> Forró nap, É és D tájolás; <b>d)</b> Forró nap, K és NY tájolás .....               | 21 |
| <b>11. ábra</b> A megtakarítható hidegenergia változása, eltérő üvegezési arány mellett. <b>a)</b> Északi; <b>b)</b> Keleti tájolás esetén.....                                                                                                                               | 22 |
| <b>12. ábra</b> A megtakarítható hidegenergia változása, eltérő üvegezési arány mellett <b>a)</b> Déli; <b>d)</b> Nyugati tájolás esetén .....                                                                                                                                | 23 |
| <b>13. ábra</b> Óránként egységnyi légcsereszám változás mellett megtakarítható hidegenergia mennyisége, eltérő üvegezési arány mellett. <b>a)</b> Északi; <b>b)</b> Keleti; tájolás esetén ...                                                                               | 24 |
| <b>14. ábra</b> Óránként egységnyi légcsereszám változás mellett megtakarítható hidegenergia mennyisége, eltérő üvegezési arány mellett. <b>a)</b> Déli; <b>b)</b> Nyugati tájolás esetén .....                                                                               | 25 |
| <b>15. ábra</b> A megtakarítható hidegenergia mennyisége az $n_{min}$ és az $n_{max}$ között. <b>a)</b> Iroda; <b>b)</b> Kereskedelmi; <b>c)</b> Lakossági funkció esetében.....                                                                                              | 26 |

## Táblázatok jegyzéke

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1. táblázat</b> A hőfokhíd értékeinek eltérésének mértéke ( $\Delta t_i=0$ )..... | 15 |
| <b>2. táblázat</b> A gépészettel kapcsolatos figyelembe vett adatok .....            | 17 |

## Nómenklatúra

|                     |                                                                                |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| $T_B$               | határhőmérséklet [K]                                                           |
| $T_i$               | belső hőmérséklet [K]                                                          |
| $\dot{Q}_{rad}$     | sugárzásos hőnyereség [W]                                                      |
| $\dot{Q}_i$         | belső hőnyereség [W]                                                           |
| $H_{tr}$            | transzmissziós hővesztéstartényező [ $W \cdot K^{-1}$ ]                        |
| $c$                 | levegő fajhője [ $J/kg \cdot K$ ]                                              |
| $\rho$              | levegő sűrűsége [ $kg/m^3$ ]                                                   |
| $V$                 | helyiség térfogata $m^3$                                                       |
| $n$                 | helyiség légcsereszám [1/h]                                                    |
| $\eta_{U,C}$        | funkciófüggő hatásfok [%]                                                      |
| $A_C$               | emberi használat heti aktív órák száma [h]                                     |
| $\varphi$           | passzív időszakban mennyire szabályozunk vissza az aktív időszakhoz képest [-] |
| $E_c$               | épület energiaigénye [Wh]                                                      |
| $\varepsilon$       | hőfokhíd arány [-]                                                             |
| $T_e$               | külső hőmérséklet [K]                                                          |
| $\Delta\tau_{ve}$   | ventilátor működési ideje                                                      |
| $\Delta W_{ve}$     | ventilátor villamos munka mennyisége                                           |
| $\eta_{ve}$         | ventilátor hatásfoka                                                           |
| $\Delta p_{\delta}$ | ventilátor nyomásfokozata                                                      |

## Bevezetés

Az Európai Unió jogalkotói számos lépést tesznek a globális felmelegedés okozta károk mérséklésére, különös figyelmet fordítva az energiafelhasználás csökkentésére és a megújuló energiaforrások elterjesztésére. Ennek egyik fő területe az épületek energiaigényének mérséklése, mivel a 2010/31/EU irányelv szerint az uniós energiafogyasztás 40%-a az épületekhez kapcsolódik, és ez az arány várhatóan tovább nő. A cél tehát az épületek energiahatékonyágának javítása és a hőpazarlás csökkentése, hogy az Unió és az egyes tagállamok, így hazánk is, energiabiztonságban és nagyobb függetlenségben részesüljenek. [1] [2] [3] [2] [4]

Az energiafogyasztás visszafogása és a megújuló energia használata nemcsak a fenntarthatósági célok eléréséhez járul hozzá, hanem a politikai és gazdasági függetlenséget is erősíti. Az energiaigény csökkentése érdekében különösen fontos az épületek energiaigényének pontos felmérése, mivel ez alapján lehet a jövőbeli energiafelhasználást hatékonyan megtervezni. Az energiaigény mérsékléséhez számos megoldás áll rendelkezésre: például az épületek jobb hőszigetelése, természetes szellőztetési rendszerek alkalmazása, valamint hőtárolási és éjszakai szellőztetési megoldások bevezetése. Ezek a technikai újítások jelentősen hozzájárulhatnak az energiahatékonyág növeléséhez. [1] [2] [3] [2]

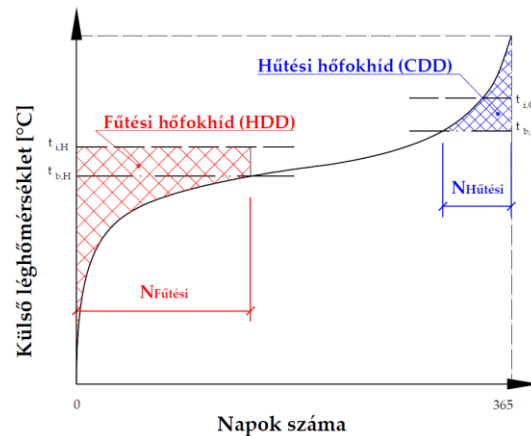
Az épületek energiahatékonyágának javításával és a megújuló energiaforrások használatának növelésével az Unió sikeresebben érheti el klímacéljait, és egyben javíthatja lakosai életminőségét, csökkentve az energiaárak és ellátás biztonságát érintő kockázatokat is. [3] [5] [6]

A pályamunka során elsősorban bemutatom a korábbi tudományos munkából származó elméleti háttérrel, majd ismertetem a szabadhűtést és létjogosultságát. Ezzel bemutatásra kerül egy új tényező az  $\varepsilon$ , vagyis a hőfokhíd arány, mellyel szemléltetem és leírom a szabadhűtési zónákat. Ezt követően a kapott tényező egyenletével érzékenységi vizsgálatot végeztem, mellyel megvizsgáltam, hogy a tényező egyenletében szereplő valamely paraméter változtatásával milyen mértékben változik az  $\varepsilon$ . Ezt követően bemutatom a vizsgálathoz használt épületet (helyiséget). A későbbi fejezetekben pedig a szabadhűtés létjogosultságát szemléltetem diagramok formájában szemléltetem a megtakarítás vizsgálatot a szabadhűtés alkalmazásával eltérő üvegezési arány, tájolások és funkciók bontásában. [7] [8] [9] [10]

# 1 Az alkalmazott módszerek elméleti áttekintése

## 1.1 Hőfokgyakoriság, hőfokhíd, energiaigény

Ha egy adott év napjait és külső napi átlag hőmérséklet értékeit úgy rendezzük, hogy az egyes külső hőmérsékleteket ahhoz viszonyítjuk, hogy mennyi olyan nap van, ami az adott külső hőmérsékletnél kisebb, akkor az úgy nevezett hőfokgyakorisági görbét kapjuk meg. A hőfokgyakorisági görbe, a határhőmérséklet és belső hőmérséklet ismeretében lehet meghatározni a hőfokhíd értékeket (**1. ábra**). [5]



**1. ábra** A hőfokhíd értelmezése [5]

A határhőmérsékletet az alábbi módon tudjuk meghatározni [11]:

$$T_B = T_i - \frac{\dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_i}{H_{tr} + c \cdot \rho \cdot V \cdot n} ; [K] \quad (1)$$

Ahol " $T_i$ " a belső hőmérséklet [K]-ben. A „ $\dot{Q}_{rad}$ ” a sugárzásos hőnyereség, „ $\dot{Q}_i$ ” a belső hőnyereségek, [W]-ban. A „ $H_{tr}$ ” a transzmissziós hővesztésgtényező [W/K]-ben. A „ $c$ ” a levegő fajhője [J/(kg·K)]-ben, a „ $\rho$ ” a levegő sűrűsége, [kg/m<sup>3</sup>]-ben, a „ $V$ ” a helyiség térfogata, [m<sup>3</sup>]-ben, az „ $n$ ” pedig a helyiség légcsereszám, [1/h]-ban. [5]

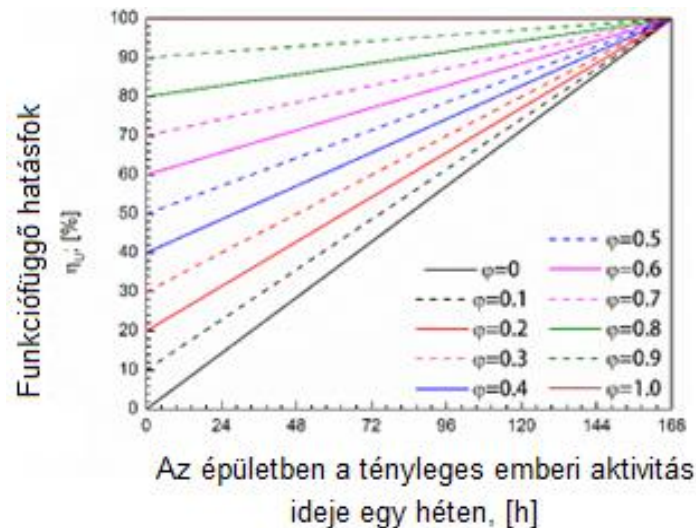
A (hűtési) hőfokhíd értéket pedig az alábbi összefüggéssel lehet meghatározni [5]:

$$DD_C = \int_{j=N_{cooling}}^{365} (\bar{T}_{ej} - T_B) \cdot dt ; [hK] \quad (2)$$

Az épület funkciója ismeretében, az épület energiaigényének meghatározásához célszerű figyelembe venni a heti funkciófüggő hatásfokot is (**2. ábra**) [5]:

$$\eta_{U,C} = \frac{A_C + (168 - A) \cdot \bar{\varphi}_C}{168} \cdot 100 ; [\%] \quad (3)$$

Ahol " $A_C$ " az emberi használat heti aktív órák száma (hűtési üzemmódban), " $\bar{\varphi}$ " pedig a passzív időszakban mennyire szabályozunk vissza aktív időszakhoz képest [-]. [5]



2. ábra A funkció függő hatásfok meghatározása [5]

Ezeket figyelembe véve az épület energia igénye a következő összefüggéssel határozható meg [5]:

$$E_C = \frac{\eta_{U,H}}{100} \cdot (H_{tr} + c \cdot \rho \cdot V \cdot n) \cdot DD_C \quad ; \quad [Wh] \quad (4)$$

Az itt leírt összefüggéseket egy évre vonatkoztatva szoktuk használni, de egy napra is lehet adaptálni őket. A különbség annyi, hogy a hőfokgyakorisági görbe és a határhőmérséklet görbe darabosabb lesz, mivel kevesebb mért értékből (pl. csak órai hőmérséklet értékek ismertek) lehet megrajzolni őket.

## 1.2 Szabadhűtés fogalma, jelentése, jelentősége

A szabadhűtés olyan technológia, amely a külső környezeti levegő alacsony hőmérsékletét hasznosítja hűtési célokra, csökkentve vagy kizárva a hagyományos kompresszoros hűtés szükségességét. Ennek köszönhetően jelentős energiamegtakarítást érhetünk el, hiszen a szabadhűtés működtetése kevesebb energiát igényel, mint a kompresszorral történő hűtés. Jellemzően azon időszakokban alkalmazhatjuk a szabadhűtést, amikor a külső hőmérséklet alacsonyabb, mint a hűtendő tér hőmérséklete, ilyen például az átmeneti időszak. [12] [13] [12] [8]

A szabadhűtési rendszerek két fő típusa különíthető el, melyek az aktív és a passzív szabadhűtés. [14] [13]

Aktív szabadhűtés esetén a külső levegő közvetlenül kerül az épület hűtendő tereibe, általában ventilátorokkal jut be a friss levegő a helyiségbe szellőztetéssel. Ez a módszer

nagyfokú légcserre lehetőségét biztosítja, ugyanakkor a külső levegő szennyezettsége befolyásolhatja a hatékonyságát. [13] [10]

Passzív szabadhűtés során hőcserélők segítségével történik a hőátadás. Ilyenkor a hűtési folyamat közvetítő közege, például víz vagy egy másik hűtőközeg veszi át a hőt, amelyet egy hőcserélőn keresztül ad át az épület levegőjének. Ez a módszer különösen hatékony lehet, ha a rendszer részeként folyadékhűtő vagy vízhűtéses tornyok vannak alkalmazva. [13] [10]

Az épületgépészetben a szabadhűtés technológia egyre nagyobb jelentőséget nyer, főként az energiahatékonyságra vonatkozó előírások és a környezettudatos tervezés előtérbe kerülésével. Számos előnye van mind környezeti, mind gazdasági szempontból. [12]

A szabadhűtés alkalmazása jelentősen csökkenti az épületek hűtési energiaigényét, mivel nem szükséges a hűtési berendezéshez szükséges gépek működtetése. Környezeti szempontot érinti, hogy a csökkenő energiafogyasztással kisebb szén-dioxid kibocsátást eredményez. Gazdasági hatékonyságát tekintve az energiamegtakarítással csökken az üzemeltetési költség, amely a beruházás megtérülését gyorsítja. Szabadhűtés alkalmazásával a hűtőberendezések élettartama is növelhető, mivel kevesebb időn keresztül kell működtetni nagy terhelés alatt. [12] [13]

A szabadhűtés ideális megoldást nyújt olyan létesítmények számára, amelyek folyamatos hűtést igényelnek, például irodaházak, adatközpontok, vagy ipari létesítmények. Az ipari létesítmények esetében, ahol technológiai folyamatok miatt szükséges állandó hűtés, szintén kiváló megoldás. [12] [13]

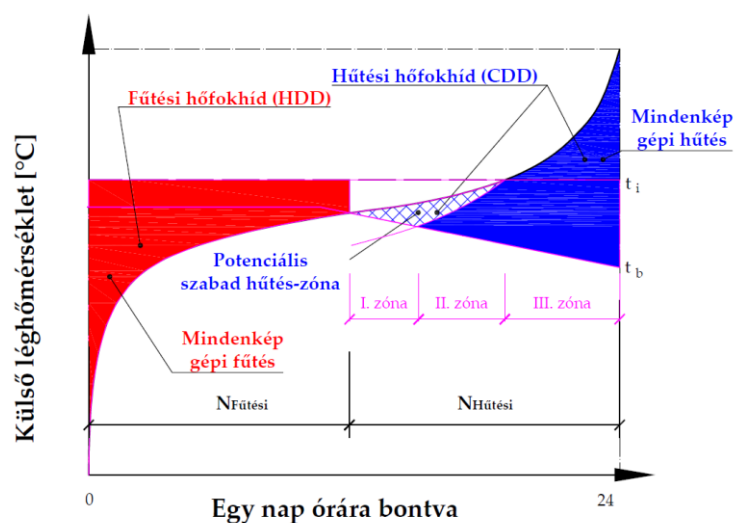
A szabadhűtés technológiai alkalmazása egyre népszerűbbé válik az épületgépészet területén, különösen az energiahatékonyság és a fenntarthatóság iránti igények növekedésével. Az épületek hűtési igénye az időjárási változások, az urbanizáció és az építési normák fejlődésével fokozatosan növekszik, így a szabadhűtés alkalmazása komoly lehetőséget kínál a fenntartható hűtési megoldások terén. [13] [14]

Az innovatív szabadhűtési megoldások fejlesztése és a szabályozási környezet bővülése elősegítheti a szabadhűtés további elterjedését. A jövőben olyan intelligens rendszerek várhatók, amelyek a szabadhűtést más hűtési technológiákkal együtt alkalmazzák, automatikusan szabályozva a rendszert a külső és belső környezeti viszonyokhoz igazítva. A szabadhűtés tehát nemcsak költséghatékony megoldást kínál az épületgépészek számára, hanem jelentős hozzájárulást nyújthat a környezeti fenntarthatósághoz is. [13] [15]

## 2 Eredmények

### 2.1 A szabadhűtés létjogosultsága

A szabadhűtés, mint láttuk, az év átmeneti és hűtést igénylő szakaszában jelentkezhet. A szabadhűtés potenciál mértékét célszerű napi szinten vizsgálni. Vegyünk egy tetszőleges olyan nap külső hőmérséklet értékeit, melynél felmerülhet szabadhűtés lehetősége. Rendezzük úgy, hogy az adott nap külső hőmérsékleteit ahhoz viszonyítjuk, hogy mennyi olyan óra van, amikor az adott külső hőmérsékletnél kisebb, akkor az adott nap hőfokgyakorisági görbét kapjuk. Ebbe a görbébe be tudjuk rajzolni a napi határ hőmérséklet görbét is. Ezt mutatja a **3. ábra**.



**3. ábra** A szabadhűtési zóna értelmezése

Az **1. egyenlet** összefüggése alapján, mivel az adott sugárzási nyereség más lesz az egyes órákban, emiatt ez nem egy vízszintes egyenes lesz, hanem a napsugárzás mentes időszakokban egyenes, míg napközben egy csökkenő trendű egyenes, kisebb kiugrásokkal (az eltérő sugárzás miatt).

A potenciális szabadhűtési zónát a **3. ábra** alapján értelmezhetjük. A szabadhűtés „motorja” a külső és belső hőmérséklet közötti különbség lesz, ezért a szabadhűtést jellemző hőfokhid ábrázolható hőfokgyakorisági görbén. Ez a határ hőmérséklet, a külső hőmérséklet és egy segéd görbe által határolt terület lesz. Ez a segéd görbét úgy kapjuk meg, hogy az adott óránál megnézzük a külső és belső hőmérséklet közötti különbséget, és a külső hőmérsékletből kiindulva lefelé vetítjük. A hűtési hőfokhidat ez a görbe három zónára osztja. Adott légcsereszám mellett, az I. zónában tisztán megvalósítható a szabadhűtés, a II. zónában a

szabadhűtés mellett gépi hűtés alkalmazása is szükséges, míg a harmadik zónában már lehetetlen a szabadhűtés.

Az ipar részéről a cél, hogy minél kisebb legyen a ténylegesen beépítendő gépi hűtési teljesítmény. Az ábra alapján ez a szabadhűtési zóna minimalizálásával érhető el. A szabadhűtési zóna megszüntetéséhez a „ $T_i$ ” és a „ $T_b$ ” értéke meg kell egyezzen. Vagyis vagy a belső hőmérsékletet, vagy a határhőmérsékletet kell változtatni. A belső hőmérséklet értéke közvetlen hatást gyakorol az emberi komfortérzetre. Így megfelelő értékét pontos vizsgálatokkal, számos szempont figyelembevételével lehet megállapítani. Ezért a tervezéshez a megfelelő értékeket szabványok rögzítik, melytől eltérni csak rendkívül átgondoltan szabad. Így a továbbiakban ettől eltekintünk.

A másik lehetőség a határhőmérséklet változtatása. Ennek változtatásával akkor tudjuk elérni a potenciális szabadhűtési zóna megszüntetését (az **1. egyenlet** alapján), ha a  $n \rightarrow \infty$  [ $1/h$ ]. A légcsereszám növelésével növekszik a határhőmérséklet és így csökken a gépi hűtési órák száma. A problémát az okozza, hogy a légcsereszám növelésének vannak technológiai és gazdasági korlátjai.

Technológiailag nem tudunk végtelen nagy légcserét létrehozni, mert ehhez végtelen nagy térfogatárammal kellene tudnunk bejuttatni a levegőt a helyiségebe, ehhez pedig végtelen nagy méretű ventilátor lapátok és/vagy végtelen nagy tengely fordulatszámot kellene biztosítanunk.

Gazdasági szempontból pedig a probléma az, hogy ilyen légcsereszám növekedést csak gépi szellőzéssel lehet előállítani. Előáll(hat) egy olyan légcsereszám érték, melynél a gépi szellőzés teljesítményigénye már nagyobb, mint a gépi hűtési teljesítményigénye. Ennek vizsgálatáról szól a cikk.

## 2.2 A hőfokhíd arány

### 2.2.1 A Hőfokhíd arány definiálása

Vezessük be a **3. ábrán** szereplő, szabadhűtéssel érintett zónák (I. és II. zónák, vagyis ahol a  $T_i > T_e$ ) jellemzésére az alábbi tényezőt:

$$\varepsilon = \frac{(T_i - T_B)^2 - (T_B - T_e)^2}{(T_i - T_e)^2 + \epsilon} \approx \frac{(T_i - T_B)^2 - (T_B - T_e)^2}{(T_i - T_e)^2} \quad (5)$$

$$= \frac{T_i^2 - T_e^2}{(T_i - T_e)^2} - \frac{2}{(T_i - T_e)} \cdot T_B \quad ; [-]$$

Ahol „ $\epsilon$ ” egy végtelenül kis mennyiség, hogy ne lehessen a nevezőben nulla.

Ha  $(-1) < \varepsilon < 0$ , akkor a I. zónába (100%-ban szabad hűtés) van, ha  $0 \leq \varepsilon$ , akkor a II. zónában (szabadhűtés és gépi hűtés kombinációja), ha pedig  $\varepsilon \leq (-1)$ , akkor pedig a III. zónában (100%-ban gépi hűtés).

A jelzőszám későbbi hasznosíthatóságára javasolt két további összefüggést megadni. Az elsőnél adott pillanatban, rögzített légcsereszámmal írhatjuk fel az összefüggést:

$$\varepsilon = \frac{T_i^2 - T_e^2}{(T_i - T_e)^2 + \varepsilon} - 2 \cdot \frac{(T_i - T_e)}{(T_i - T_e)^2 + \varepsilon} \cdot T_i + 2 \cdot \frac{(T_i - T_e)}{(T_i - T_e)^2 + \varepsilon} \cdot \frac{\dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_i}{H_{tr} + c \cdot \rho \cdot V \cdot n} \quad (6)$$

$$\varepsilon = \frac{T_i^2 - T_e^2}{(T_i - T_e)^2} - \frac{2 \cdot T_i}{T_i - T_e} + \frac{2 \cdot (\dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_i)}{(T_i - T_e) \cdot (H_{tr} + c \cdot \rho \cdot V \cdot n)} \quad ; [-]$$

Ahol „ $T_i$ ” a belső hőmérséklet [K]-ben, a „ $T_e$ ” külső hőmérséklet [K]-ben, „ $\dot{Q}_{rad}$ ” a sugárzásos hőnyereség [W]-ban, „ $\dot{Q}_i$ ” belső hőnyereségek [W]-ban, „ $H_{tr}$ ” a transzmissziós hővesztéstényező [W/K]-ben, „ $c$ ” a levegő fajhője [J/(kg·K)]-ben, a „ $\rho$ ” a levegő sűrűsége, [kg/m<sup>3</sup>]-ben, a „ $V$ ” a helyiség térfogata, [m<sup>3</sup>]-ben, az „ $n$ ” pedig a helyiség légcsereszáma, [1/h]-ban.

A másodiknál megadhatjuk azt a légcsereszám értéket, melynél az adott „ $\varepsilon$ ” érték eléréshez szükséges légcsereszámot kapjuk meg adott pillanatban:

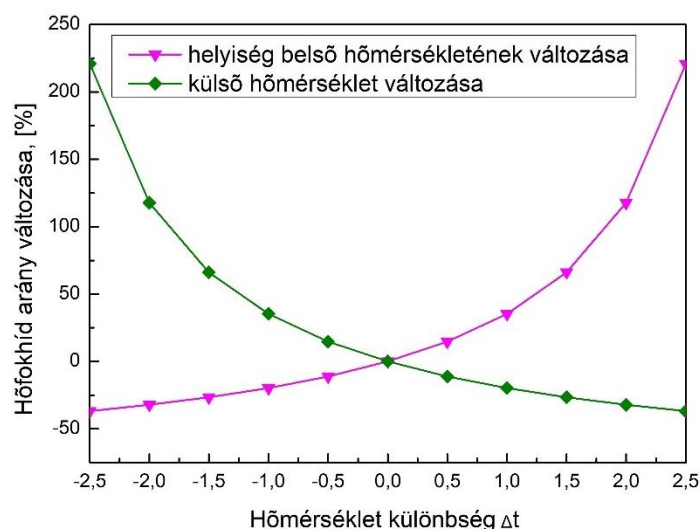
$$n = \frac{2}{c \cdot \rho \cdot V} \cdot \frac{\dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_i}{2 \cdot T_i + \left[ \frac{(T_i - T_e)^2 + \varepsilon}{T_i - T_e} \right] \cdot \varepsilon - \frac{T_i^2 - T_e^2}{T_i - T_e}} - \frac{H_{tr}}{c \cdot \rho \cdot V} \quad ; [-] \quad (7)$$

$$n = \frac{2}{c \cdot \rho \cdot V} \cdot \frac{\dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_i}{2 \cdot T_i + (T_i - T_e) \cdot \varepsilon - \frac{T_i^2 - T_e^2}{T_i - T_e}} - \frac{H_{tr}}{c \cdot \rho \cdot V} \quad ; [-]$$

## 2.2.2 A Hőfokhíd arány érzékenységvizsgálata

Az előzőekben leírt hőfokhíd arány tényező érzékenység vizsgálatát mutatom be. Az érzékenység vizsgálatot a **6. egyenlet** alapján végeztem el. A vizsgálat lényege, hogy szemléltetem milyen mértékben változik a tényező értéke, ha valamely tagját változtatom. Minden tényező változtatásakor ugyanazon kiindulási adatsorból indultam ki, majd a kiemelt tényező értékét százalékosan változtattam.

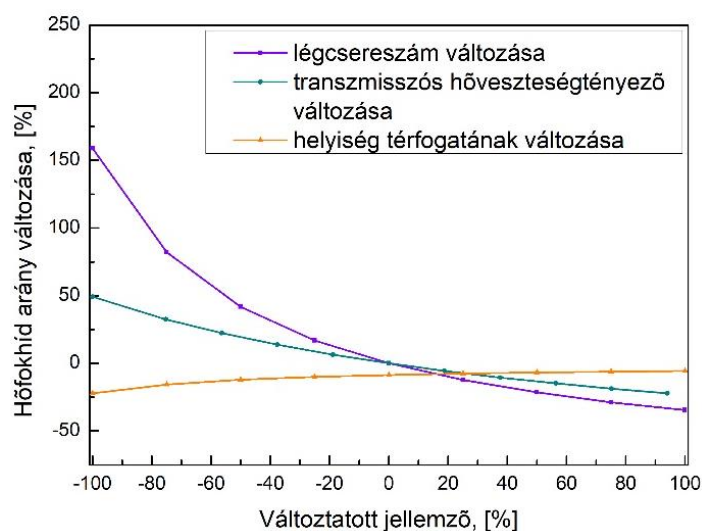
A **4. ábrán** látható a **6. egyenlet** által meghatározott  $\varepsilon$  érték változása a belső és külső hőmérséklet változtatásával.



**4. ábra** A hőfokhíd arány változása a belső és külső hőmérséklet függvényében

A vízszintes tengelyen látható a hőmérséklet különbségek ( $\Delta t$ ), függőleges tengelyen pedig az hőfokhíd arány százalékos változtatása a hőmérséklet egységnyi változtatásával. A belső hőmérsékletet ( $T_i$ ) 22°C-ról 27°C-ra fél fokként növeljük, míg a külső hőmérsékletet ( $T_e$ ) 25,5 és 30,5°C között változtatjuk fél fokként.

Az **5. ábrán** látható a légcsereszám, transzmissziós hővesztéstényező és a helyiség térfogatának változtatásának hatása az hőfokhíd arány értékre a **6. egyenlet** alapján.



**5. ábra** A hőfokhíd arány változása a légcsereszám, transzmissziós hővesztéstényező és a helyiség térfogat változtatásának függvényében

A vízszintes tengelyen látható a tényezők százalékos változtatása, függőleges tengelyen pedig a hőfokhíd arány változása. A légcsereszám százalékos változtatása látható, de az alapegyenletben 0,5 1/h volt a kiindulási pont. A vizsgált légcsereszámok a 0; 0,125; 0,25; 0,375; 0,5; 0,625; 0,74; 0,875 és 1 [1/h].

Transzmissziós hőveszteség tényező az alapegyenletben 16,49 W/K, melyet 0-32 közötti változása látható az ábrán.

A helyiség térfogatának változtatásakor 174,35 m<sup>3</sup> volt a kiindulási érték, melyet egységenként 25%-kal csökkentéssel, illetve növeléssel látható a diagramon.

### 2.3 A szabadhűtés alkalmazási határa – teljesítmény oldalról

A következőkben azt vizsgálom, hogy ha a légcsereszám  $\Delta n$  értékkel megnövelése mit eredményez. Tekintsük a továbbiakban kiindulásnak azt a légcsereszámot „ $n_{min}$ ”-nak, mely a természetes filtráció miatt kialakul. Az ehhez tartozó hűtési határhőmérséklet a következő összefüggéssel határozható meg [11]:

$$T_{B,min} = T_i - \frac{\dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_i}{H_{tr} + c \cdot \rho \cdot V \cdot n_{min}} \quad (7)$$

Ha ezt a légcsereszámot „ $n_{min}$ ” értékét  $\Delta n$  értékkel megnöveljük, az a hűtési határ hőmérsékletben is változást eredményez. A változás mértéke:

$$\Delta T_B = \frac{T_i - T_{B,min}}{1 + \frac{n_{min}}{\Delta n} + \frac{H_{tr}}{c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta n}} \quad (8)$$

A megnövelt légcsereszám miatt a ventilátor által igényelt nagyobb villamos munka mennyisége [16]:

$$\Delta W_{ve} = \frac{\Delta P_{hasznos}}{\eta_{ve}} \cdot \Delta \tau_{ve} = \frac{\Delta p_{\ddot{o}} \cdot V \cdot \Delta n}{\eta_{ve}} \cdot \Delta \tau_{ve} = \left( \frac{\Delta p_{\ddot{o}} \cdot V}{\eta_{ve}} \right) \cdot \Delta n \cdot \Delta \tau_{ve} \quad (9)$$

A zárójeles tag a ventilátor nyomásfokozását, hatásfokát és a helyiség térfogatát jelenti. Elvileg ezek a ventilátor légcsereszámának növelésekor állandónak tekinthetők. A „ $\Delta \tau_{ve}$ ” a ventilátor működési ideje lesz.

A szabadhűtés alkalmazásával, a hűtőgép működtetéséhez szükséges villamos munkát spórolunk meg. A megspórolt villamos munka:

$$\Delta W_{HG} = \frac{\Delta E_c}{SCOP_R} \quad (10a)$$

$$\Delta W_{HG} = \frac{\eta_{U,H}}{SCOP_R} \cdot \left[ (H_{tr} + c \cdot \sigma \cdot V \cdot n_{min}) \cdot \int_{N_{c,max}}^{24} (\bar{T}_{e,j} - T_{B,min}) \cdot d\tau - (H_{tr} + c \cdot \rho \cdot V \cdot (n_{min} + \Delta n)) \cdot \int_{N_c}^{24} \left( \bar{T}_{e,j} - T_{B,min} + \frac{t_i - t_{B,min}}{1 + \frac{n_{min}}{\Delta n} + \frac{H_{tr}}{c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta n}} \right) \cdot d\tau \right] \quad (10b)$$

A megnövelt légcseré ( $\Delta n$ ) miatt megváltozik a határ hőmérséklet ( $\Delta T_B$ ) emiatt pedig változik a hűtési órák száma ( $\Delta N_{c,max}$ -ról  $\Delta N_c$ -re csökken, vagyis pontosan „ $\Delta \tau_{ve}$ ”-vel csökken!). A határhőmérséklet változása és a hűtési órák száma között nincs kidolgozott matematikai összefüggés, a pontos kapcsolatot, egyedi napok esetén kell megvizsgálni. [17]

A szabadhűtés alkalmazásának akkor van létjogosultsága, ha a megnövelt ventilációs munka kevesebb csak egy előre meghatározott értékkel több, mint a megspórolt villamos munka. (ezzel lehet figyelembe venni pl. az egyszerűbb technológiai kivítelt)

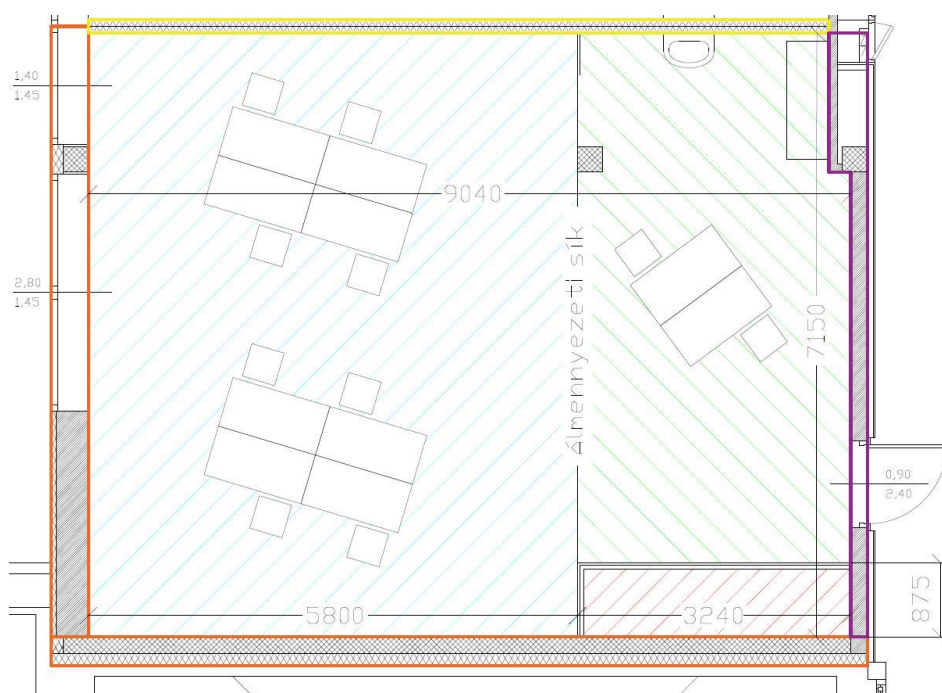
$$\Delta W_{ve} \leq z \cdot \Delta W_{HG} \quad (11)$$

Mint látható, a szabadhűtés alkalmazhatóságát célszerű egy esettanulmányon keresztül megvizsgálni.

### 3 Esettanulmány

#### 3.1 Vizsgált épület bemutatása

A vizsgálatok során egy olyan helyiséget vizsgáltam (**6. ábra**) mely egy 4 szintes (földszint és rajta 3 emelet) épület harmadik szintjén található. Az épület kialakításából adódóan a helyiség kettő külső fallal rendelkezik ( $U=0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ) melynek egy része üvegezett ( $U_{\text{üveg}}=1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ). Ezek az értékek megfelelnek a magyarországi ÉKM rendeletben rögzített írásoknak. A helyiség  $61,45 \text{ m}^2$  alapterületű és  $174,35 \text{ m}^3$  légtérfogatú. A helyiségben az üvegezett felület közelében 3 m belmagasság jellemző, míg az ajtóhoz közelebb 2,5 m. A **6. ábrán** zöld területi jelöléssel látható az álmennyezet miatti belmagassági különbség területe. A helyiség szerkezeteiből származó hőveszteség tényezője („ $H_{\text{tr}}$ ”)  $16,49 \text{ W}/\text{m}^2$ , A helyiség méretei az alábbi ábrán láthatóak [18] [17]:



**6. ábra** A vizsgált helyiség kialakítása

A helyiség alaprajzán látható színjelölések magyarázata:

*Narancs* – külső fal, *Citrom* – belső fal terem felől, *Lila* – belső fal folyosó felől,

*Kék* – belmagasság 3 m, *Zöld* – belmagasság 2,5 m

A helyiség kialakítása, tulajdonsági alapján három funkció szerint vizsgáltam meg, melyek a kereskedelmi (pl.: vegyes kereskedésű kisbolt), irodai és lakossági (nappali). A **6. ábrán**

jelenleg az irodai funkciónak megfelelő belső kialakítással látható. Lakossági és kereskedelmi használat esetén a bútorok kialakítása és elrendezése változhat.

A helyiség vizsgálata során változtatott paramétereket az **1. táblázat** segít áttekinteni:

**1. táblázat** A vizsgálatok során változtatott paraméterek

| <i>Változtatott paraméter</i>     | <i>Vizsgált esetek</i>           |                                  |                                  |     |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----|
| <i>Tájolás</i>                    | Észak                            | Kelet                            | Nyugat                           | Dél |
| <i>Üvegezési arány</i>            | 0-100% (40%)                     |                                  |                                  |     |
| <i>Épületfunkció</i>              | Iroda                            | Kereskedelmi                     | Lakossági                        |     |
| <i>Meteorológiai paraméterrel</i> | Extrém nyári nap<br>(2016.08.09) | Extrém hőség nap<br>(2010.08.15) | Extrém forró nap<br>(2017.08.04) |     |

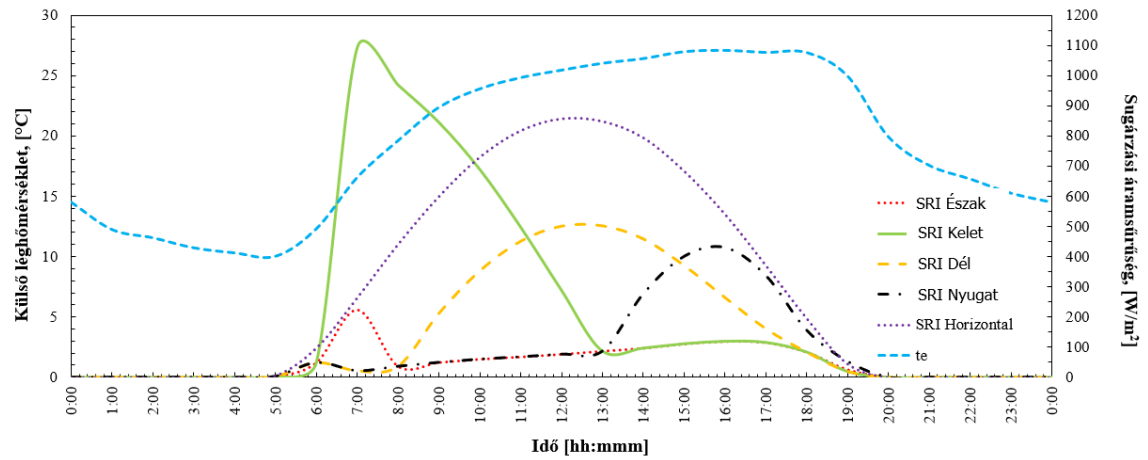
A vizsgált esetekben az belső hőmérsékletet egységesen 24,5 °C-kal vettem figyelembe, az MSZ CR 1752 ajánlása alapján. A hűtéssel potenciálisan érintett időszak külső állapotát három meteorológiai nappal (Extrém forrónap<sup>1</sup>, extrém hőségnap<sup>2</sup>, és extrém nyári nap<sup>3</sup>) jellemeztem. A kiválasztás során a 2009-2019-es debreceni adatbázist használtam. Elsőnek elkülönítettem minden évből a háromféle meteorológiai napot. Ezután mindegyik vizsgált évben kiválasztottam a legnagyobb napi hőmérsékletingadozású napokat, mindhárom hőmérsékleti csoportból. Végül a harmadik körben a három hőmérsékleti csoportból mindig azt az évet választottam, ahol a legkisebb a napi hőmérséklet ingadozás. A második körrel a cél az volt, hogy azokat a napokat találjam meg, ahol várhatóan a legnagyobb az energiamegtakarítás, a harmadikkal pedig az, hogy a hirtelen időjárás változásokat (pl. délelőtt süt a nap, délután esik az eső) kiszűrjem. [19] [20] [21]

<sup>1</sup> Extrém forró nap: Egy adott napon, egy óra hőmérséklet átlaga legalább 35°C. [20]

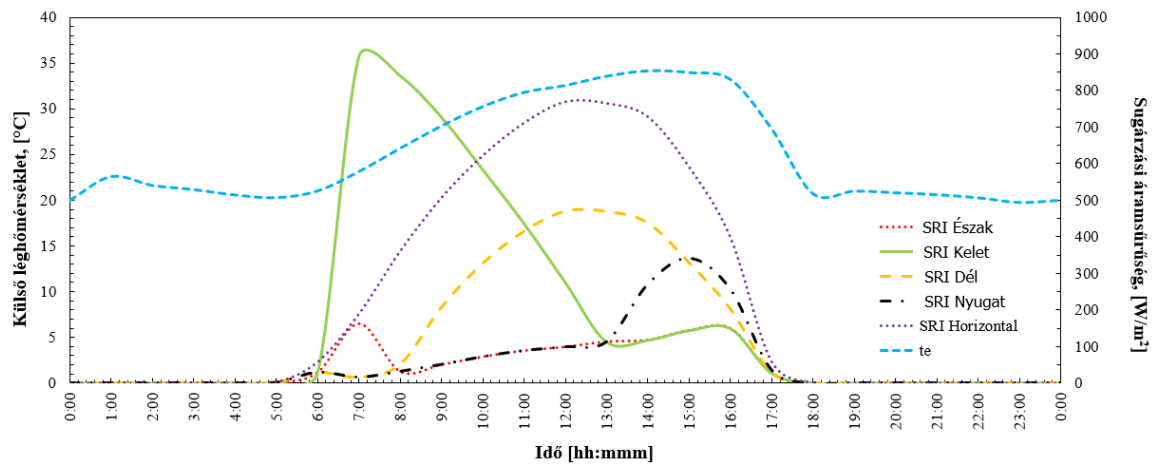
<sup>2</sup> Extrém hőségnap: Egy adott napon, egy óra hőmérséklet átlaga legalább 30 °C. [20]

<sup>3</sup> Extrém nyári nap: Egy adott napon, egy óra hőmérséklet átlaga legalább 26 °C. [20]

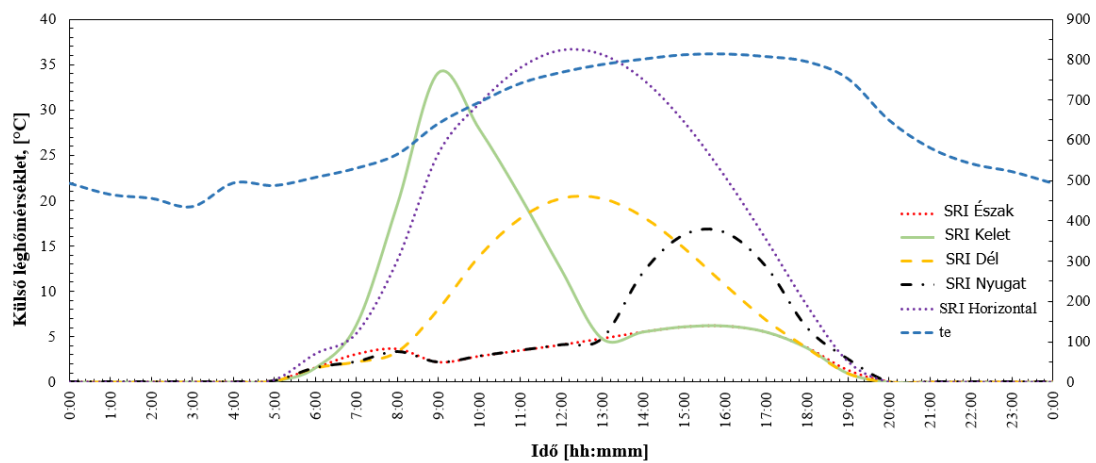
A kiválasztott mintanapok adatait a 7. *ábra* mutatja.



a)



b)



c)

7. *ábra* a) *Extrém nyári nap: 2016.08.09, b) Extrém hőség nap: 2010.08.15, c) Extrém forrónap: 2017.08.04*

A belső hőnyereségeket (emberek, gépek stb. hőleadása) az MSZ EN ISO 13790 szerint vettem fel. Az energiaigény számításnál a kiinduló légcsereszámnak  $n_0=0,5$  [1/h], vettem figyelembe, mely a természetes filtrációt jellemző értéknek vettem. Az adott funkcióhoz megállapítottam egy minimális légcsereszámot is, a benttartózkodók száma, és az egy főre eső friss levegő igény alapján. A mesterséges szellőztetésnél és a gépi hűtésnél figyelembe vett gépi jellemző értékeket az ÉKM ajánlásai alapján vettem figyelembe. Ezeket az értékeket a 2. táblázat foglalja össze. [22] [18]

**2. táblázat** A gépészettel kapcsolatosan figyelembe vett adatok

|                     | <b>Jele:</b>               | <b>Értéke:</b>   |
|---------------------|----------------------------|------------------|
| <i>Közös</i>        | $\eta_{ve} ; [\%]$         | 80%              |
|                     | $\Delta p_{\delta} ; [Pa]$ | 500 Pa           |
|                     | SEER ; [-]                 | 4                |
| <i>Iroda</i>        | $n_{min} ; [1/h]$          | 1.0324           |
|                     | $A_C ; [h]$                | 7:00-17:00 (10h) |
|                     | $\varphi ; [\%]$           | 30%              |
| <i>Kereskedelmi</i> | $n_{min} ; [1/h]$          | 4.3017           |
|                     | $A_C ; [h]$                | 7:00-19:00 (12h) |
|                     | $\varphi ; [\%]$           | 0%               |
| <i>Lakossági</i>    | $n_{min} ; [1/h]$          | 0.6883           |
|                     | $A_C ; [h]$                | 0:00-24:00 (24h) |
|                     | $\varphi ; [\%]$           | 0%               |

### 3.2 Előzetes elemzések az energiaigény számítás előtt

A potenciális energia-megtakarítások vizsgálata előtt célszerű kétféle előzetes elemzést is elvégezni. Az egyik a hőterhelés és a hűtési határhőmérséklet elemzése, míg a másik az újonnan bevezetett hőfokhíd arányának vizsgálata.

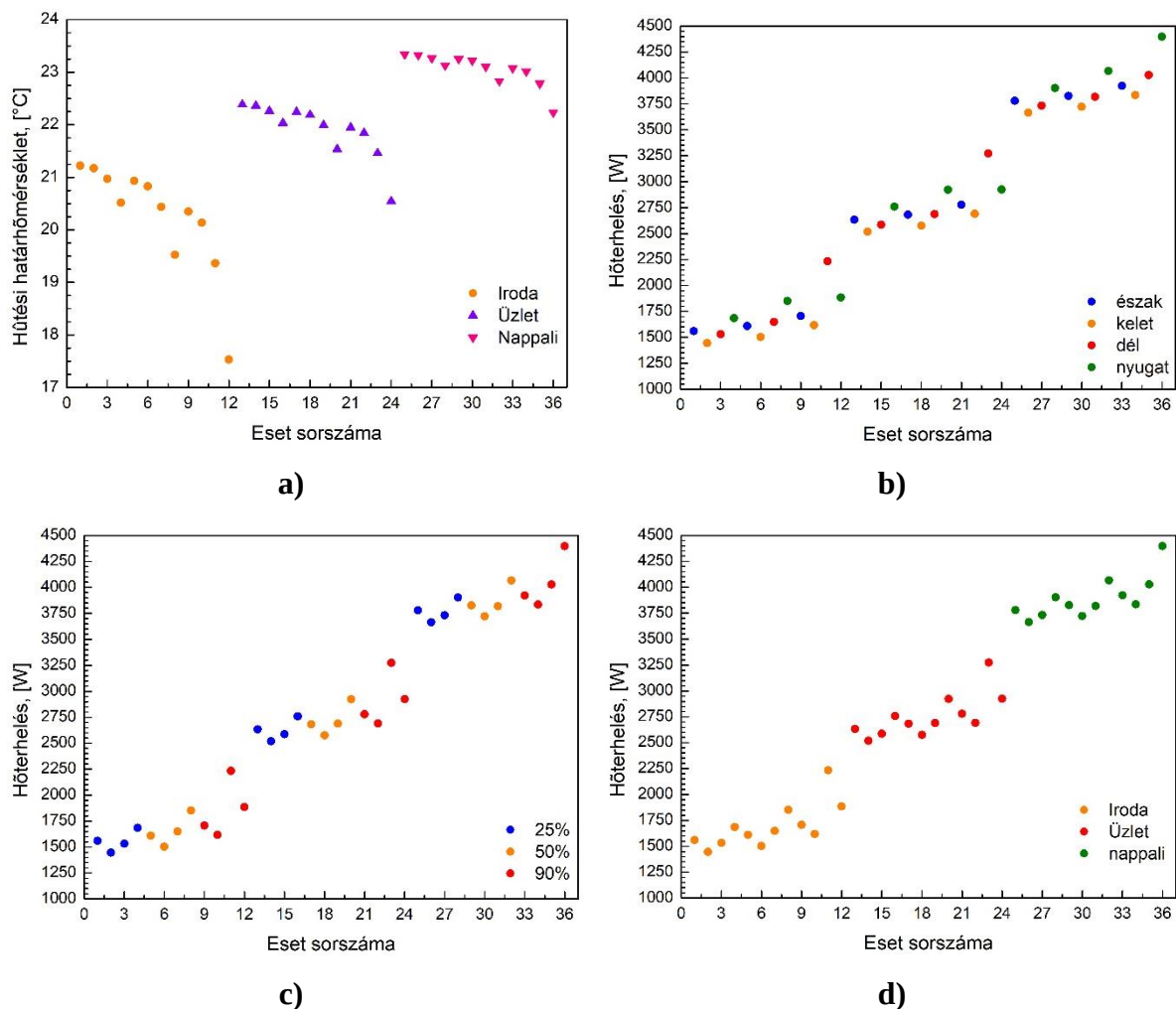
#### 3.2.1 Az üvegezési arány, a funkció és a tájolás hatása a hőterhelésre és a hűtési határhőmérsékletre

Az energiaigények elemzése előtt megvizsgáltam az üvegezési arány, a funkció és a tájolás hatását a hűtési határhőmérsékletre és a hőterhelés értékére. Az egyszerűsítés érdekében csak az extrém hőségnapot vettem figyelembe. Így összesen 36 esetet alakítottam ki az alábbiak szerint:

- 4 tájolás: észak, kelet, dél és nyugat
- 3 funkció: iroda, lakóépület és kereskedelmi
- 3 üvegezési arány: 20%, 40% és 80%

A vizsgált eseteknél a belső hőmérsékletet az MSZ CR 1752 ajánlása alapján 24,5 °C-on rögzítettem. A belső hőnyereségeket (emberek, gépek stb. hőleadása) az MSZ EN ISO 13790 szabvány szerint határoztam meg, amelyek a funkciótól függően változtak: labor esetén 5 W/m<sup>2</sup>, irodánál 7,4 W/m<sup>2</sup>, üzletben 10 W/m<sup>2</sup>, míg nappalinál 9 W/m<sup>2</sup>. [19] [22] [23]

A légcseré (természetes és mesterséges) értékek meghatározásánál az MSZ CR 1752 szabvány „A” komfortkategóriájának szellőző levegő igényeit vettem alapul, így irodánál 2,50 [1/h], üzletben 5,3 [1/h], nappaliban pedig 9,00 [1/h] értékkel számoltam. [19]



**8. ábra a)** a hűtési határhőmérséklet, **b)** A nyári hőterhelés értéke, azonos tájolású esetek egy színnel, **c)** A nyári hőterhelés értéke, üvegezési arányú esetek egy színnel, **d)** A nyári hőterhelés értéke, azonos funkciójú esetek egy színnel

A következő ábrán láthatjuk a hűtési határhőmérséklet értékét (**8a ábra**), illetve a hőterhelés értékét a 36 vizsgált esetben, különböző szempontok szerint csoportosítva (**8bcd ábra**).

A **8a ábra** alapján látható, hogy a hűtési határhőmérséklet értékét számos tényező jelentős mértékben befolyásolja, és az épület funkciója nem tekinthető az egyetlen vagy legmeghatározóbb szempontnak. Az ábrán megfigyelhető, hogy minél nagyobb az üvegezési arány (adott funkción belül a magasabb eset sorszámokhoz tartozik nagyobb üvegezési arány), annál alacsonyabb a hűtési határhőmérséklet. A vizsgált 48 esetben a hűtési határhőmérséklet értéke 17,53 °C és 23,66 °C között változik.

A hőterhelés vizsgálatánál a **8b ábrán** az azonos tájolású esetek, a **8c ábrán** az azonos üvegezési arányú esetek, míg az **8d ábrán** az azonos funkciójú esetek vannak egy színnel jelölve. Az ábrák alapján megállapítható, hogy egy adott funkció esetén a nyugati tájolású, illetve másodsorban a déli tájolású, nagy üvegfelületű helyiségeknél lesz nagyobb a hőterhelés értéke.

Úgy vélem, hogy ez az előzetes vizsgálat nem biztosított elegendő információt a domináns szempontok egyértelmű azonosításához, emiatt célszerű további vizsgálatok elvégzése is.

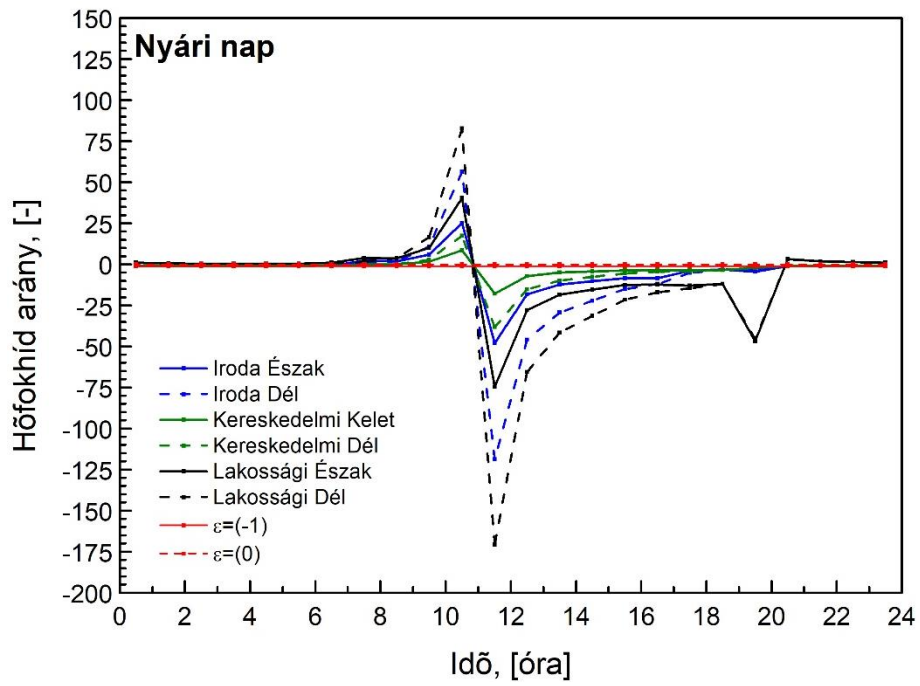
### 3.2.2 Előzetes elemzés a hőfokhíd arány használatával

A szabadhűtés alkalmazásával megtakarítható energia meghatározása előtt vizsgáljuk meg azt, hogy a nap melyik időszakában, milyen tájolás és milyen külső meteorológiai állapotok mellett várható jelentős energia megtakarítás.

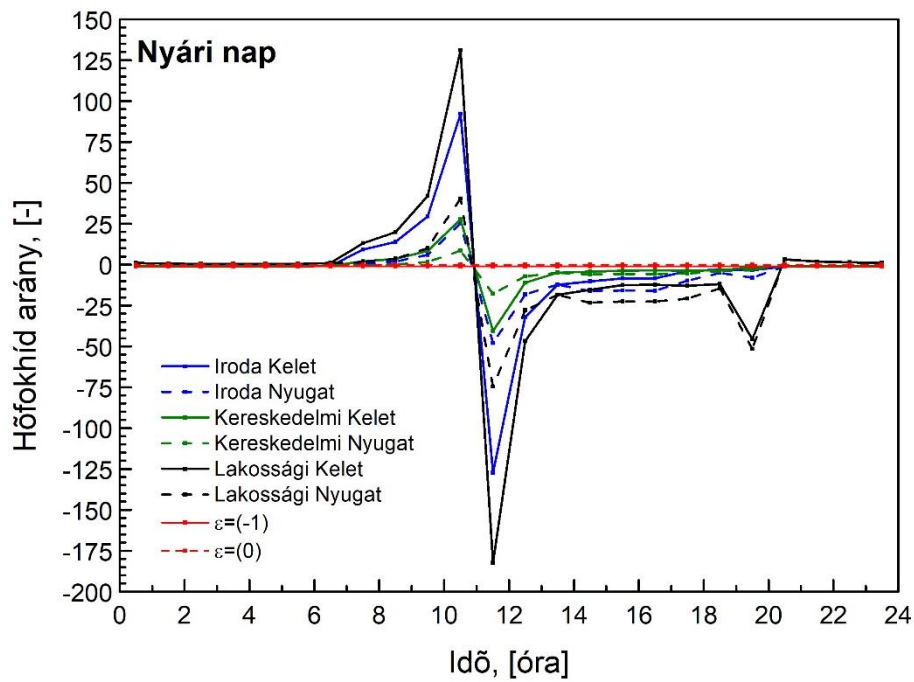
Ehhez rögzíteni kellett pár paramétert. Az első ilyen, hogy az üvegezést egységesen 40%-osnak vettem, a másik pedig, hogy adott funkció mellett a légcsereszám értékénél a minimálist ( $n_{min}$ ) vettem figyelembe.

A könnyebb áttekinthetőség és az eredmények hangsúlyozása érdekében a nyári napok adatait külön ábrán tüntetem fel.

Az eredményeket a nyári nap esetén mutatja a **9. ábra**.



a)

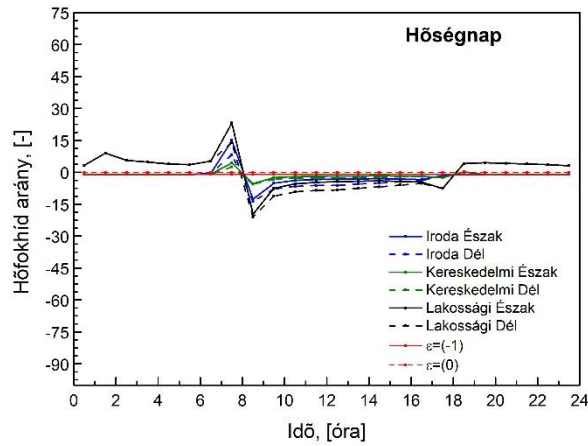


b)

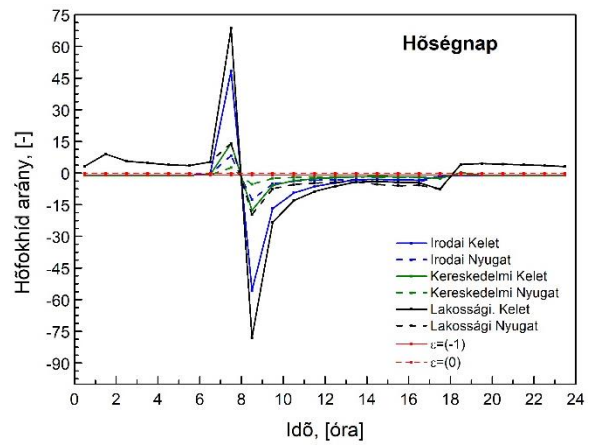
**9. ábra** A hőfokhíd arány értékének alakulása 40% üvegezés és  $n_{min}$  légcsereszám mellett. **a)**

Nyári nap, É és D tájolás; **b)** Nyári nap, K és NY tájolás

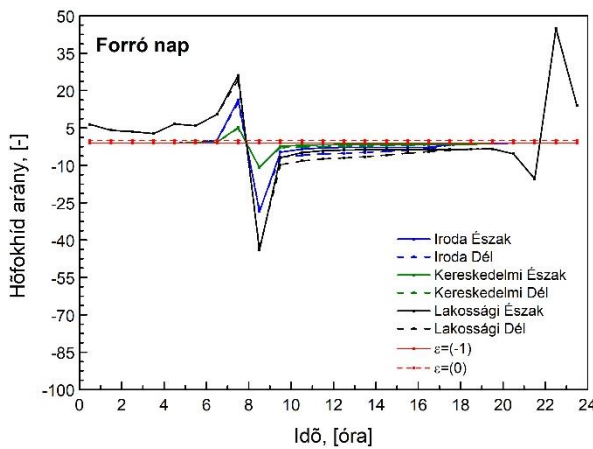
A hőségnapok és forró napok esetén a **10. ábrán** láthatóak:



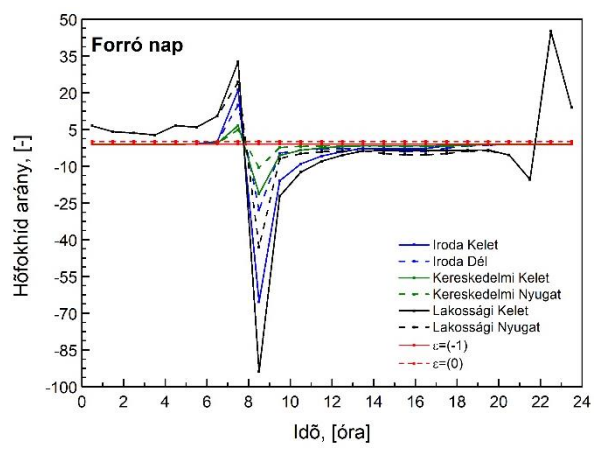
a)



b)



c)



d)

**10. ábra** A hőfokhíd arány értékének alakulása 40% üvegezés és  $n_{min}$  légcsereszám mellett. **a)** Hőség nap, É és D tájolás; **b)** Hőség nap, K és NY tájolás; **c)** Forró nap, É és D tájolás; **d)** Forró nap, K és NY tájolás

Az ábrán a jobb átláthatóság miatt külön szemléltetem az É-D és a K-NY tájolásokat. Segítségként szerepelnek az  $\varepsilon=0$  és az  $\varepsilon=(-1)$  vonalak is. Ha az  $\varepsilon$  értéke kisebb, mint -1, akkor kizárólag gépi hűtés jöhet szóba. Ha nullánál nagyobb pedig akkor lehetőség van csökkentett gépi hűtés mellett szabadhűtést is használni.

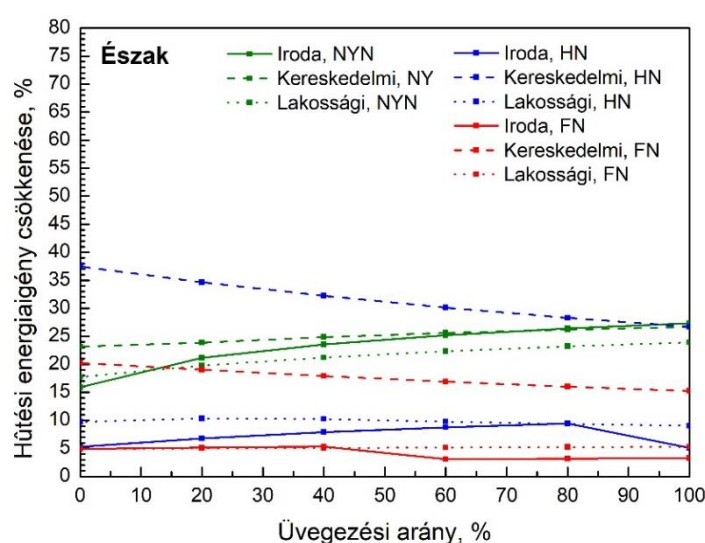
Az eredmények alapján várhatóan meteorológiai napok közül a nyári napok, utána a hőségnapok végül a forrónapoknál várható jelentős megtakarítás. A tájolások esetén a Keleti, a déli, a nyugati és az északi tájolás sorrend lesz megfigyelhető. Funkció esetén a lakóépület, az iroda, és a kereskedelmi létesítmény sorrend várható.

### 3.3 A megtakarítás vizsgálat a szabadhűtés alkalmazásával

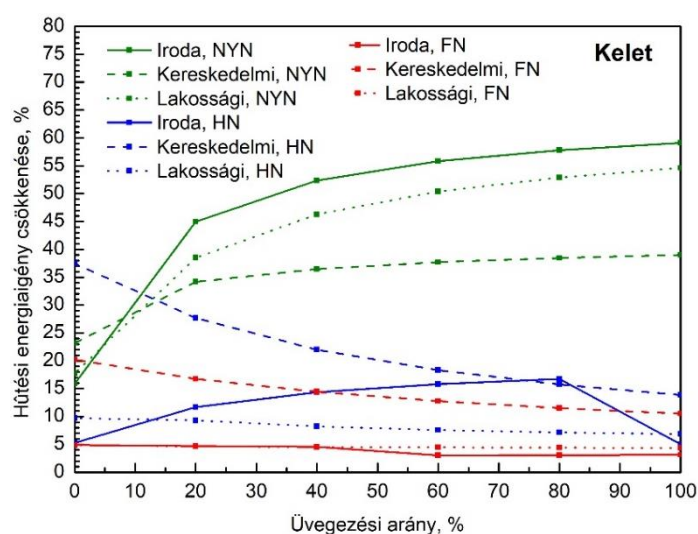
A következő vizsgálatok során azt néztem meg hogy mekkora hidegenergia takarítható meg, ha hűtőgép üzemeltetése helyett a légcsereszámot növeljük, és a kültéri levegővel úgymond előhűtjük a helyiség levegőjét. Annyi kedvezményt teszünk, hogy megengedjük, hogy a ventilátor villamos munka igénye 10%-kal lehet több, mint amennyit a hűtőgép használna.

Ilyen feltételek mellett vizsgálom meg, hogy mekkora hidegenergia igény csökkentés érhető el, eltérő üvegezés mellett. Az ábrát itt is két részre bontom: kiemelten mutatom be az érdekesebb eredményeket nyújtó keleti és északi tájolásokat, ugyanakkor a déli és nyugati oldalakat sem hagyom figyelmen kívül, itt is ketté bontom az ábrát.

Így a **11. ábrán** látható az északi és keleti tájolásra:



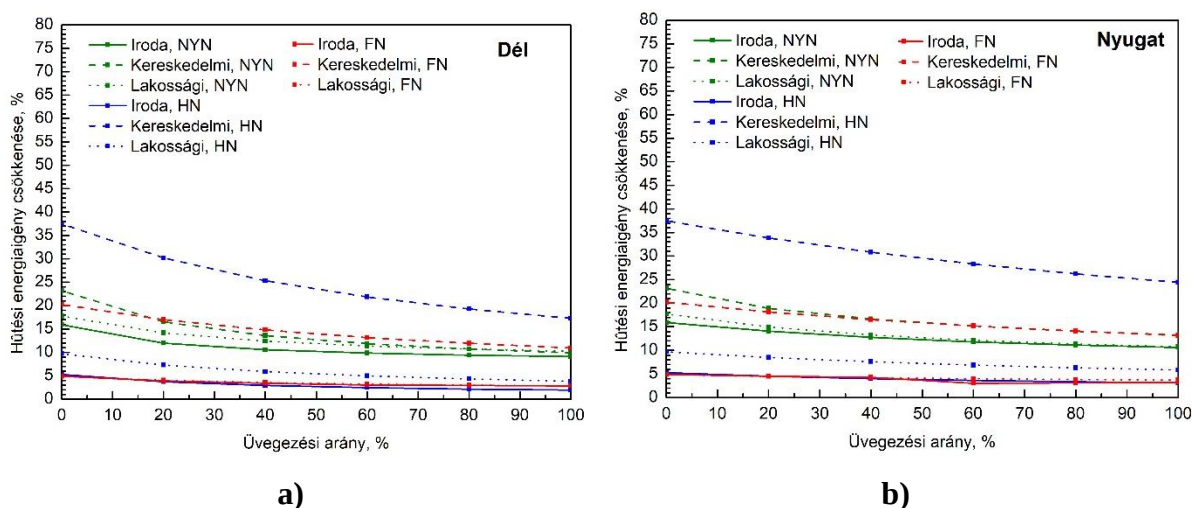
a)



b)

**11. ábra** A megtakarítható hidegenergia változása, eltérő üvegezési arány mellett. **a)** Északi;  
**b)** Keleti tájolás esetén

A déli és a nyugati tájolások pedig a **12. ábrán** látható:



**12. ábra** A megtakarítható hidegenergia változása, eltérő üvegezési arány mellett **a) Déli; d) Nyugati** tájolás esetén

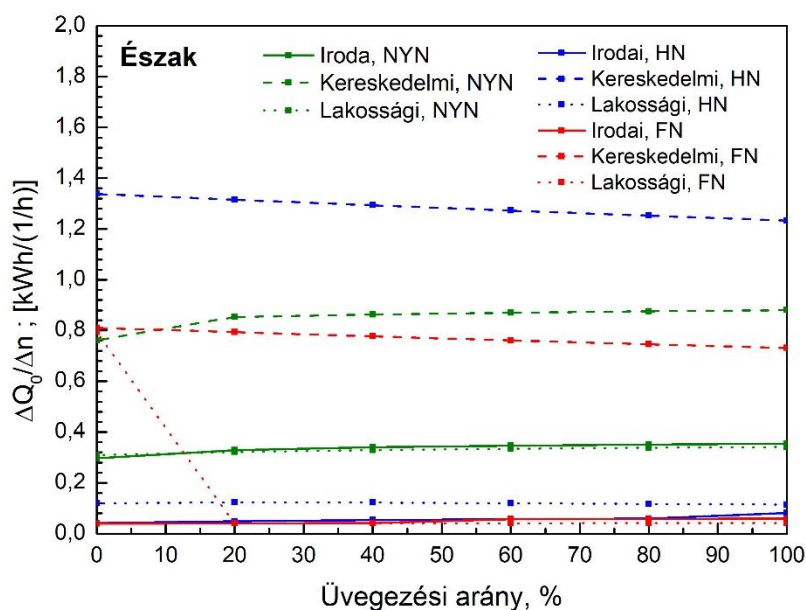
Az eredmények értékeléséhez tekintsük hasznosnak, ha a 10% elektromos munka növekedéssel legalább 10%-os hidegenergia megtakarítást tudunk elérni. Az északi tájolásnál, a **11a ábra** alapján ez a célérték teljesül funkció függetlenül a nyári napokon, hőségnapokon a kereskedelmi létesítményekben és a 60-80% üvegezési arányú irodaépületeknél. A többi esetben nem. A keleti tájolásnál, a **12b ábra** alapján a lakóépületnél teljesül minden mintanapnál, a kereskedelmi épületnél a nyári és a hőségnapokon, míg az irodánál a nyári napokon, és a nem túl nagy (80%<) vagy túl kicsi üvegezés (20%>) melletti hőségnapokon. A déli (**12a ábra**) és a nyugati tájolás (**12b ábra**) esetén hasonló trendű görbéket kapunk. Vagyis a nyári napon minden funkció eléri a 10%-ot, hőségnapnál az családi és a nem túl nagy (80%>) üvegezési kereskedelmi épület, míg a forrónapon csak a lakóépület éri el a kívánt célértéket.

Ezeket az eredményeket kicsit árnyalhatjuk, ha azt vizsgáljuk meg, hogy óránként egységnyi légcsereszám növekedés mellett mekkora hidegenergia megtakarítást tudunk elérni hasonló körülmények között, mint az előző vizsgálatnál. Ezt mutatja a **13. és 14. ábra**.

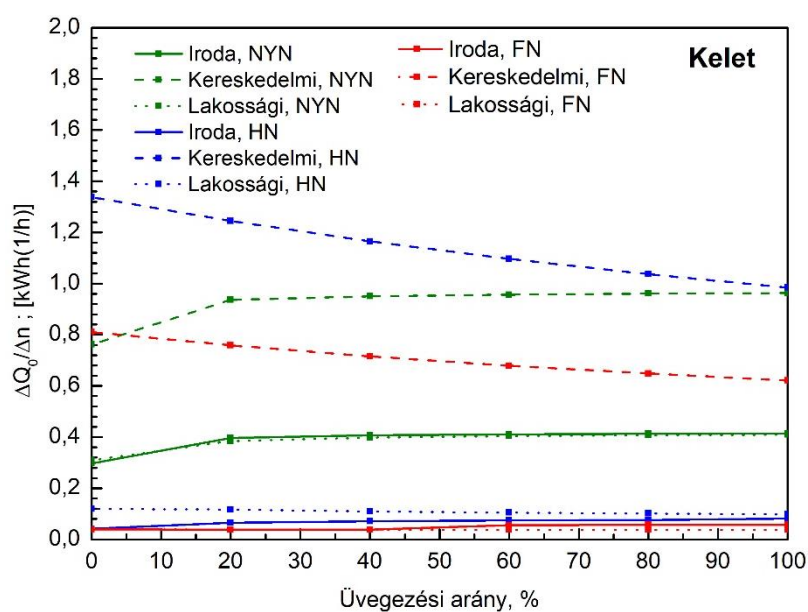
Az ábrákat itt is két részre bontom, hogy az érdekesebb eredményeket nyújtó diagramok még inkább előtérbe kerüljenek és könnyebben áttekinthetők legyenek.

Elsőként az északi és keleti tájolású eredményeket mutatom be a **13. ábrán**, ezt követően pedig a nyugati és déli tájolás adatait szemléltetem a **14. ábrán**.

A 13. ábrán látható az északi és keleti tájolások eredményei:



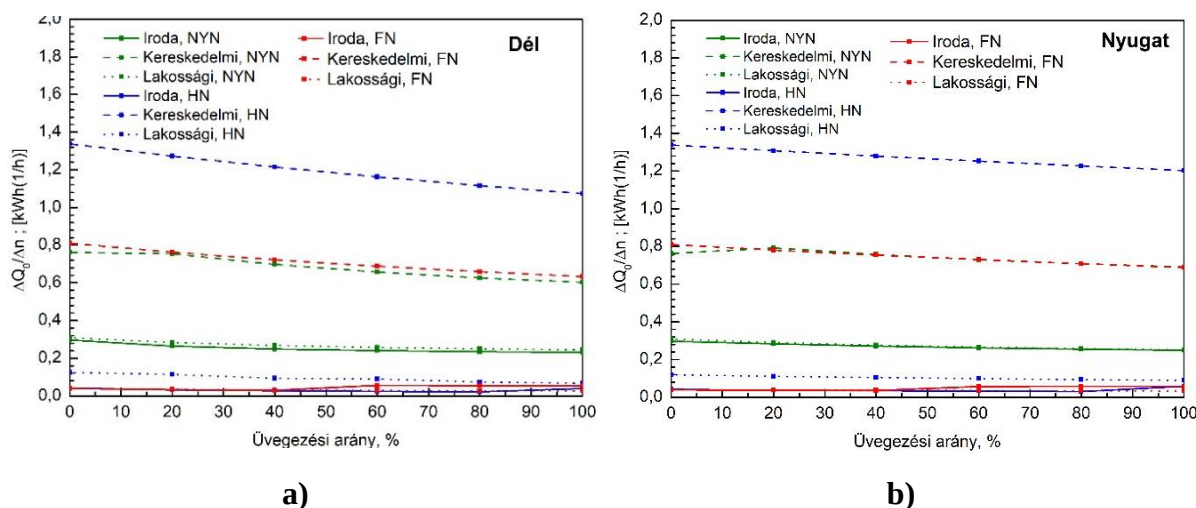
a)



b)

**13. ábra** Óránként egységnyi légcsereszám változás mellett megtakarítható hidegenergia mennyisége, eltérő üvegezési arány mellett. **a)** Északi; **b)** Keleti; tájolás esetén

A **14. ábrán** látható a nyugati és a déli tájolás:



**14. ábra** Óránként egységnyi légcsereszám változás mellett megtakarítható hidegenergia mennyisége, eltérő üvegezési arány mellett. **a) Déli; b) Nyugati** tájolás esetén

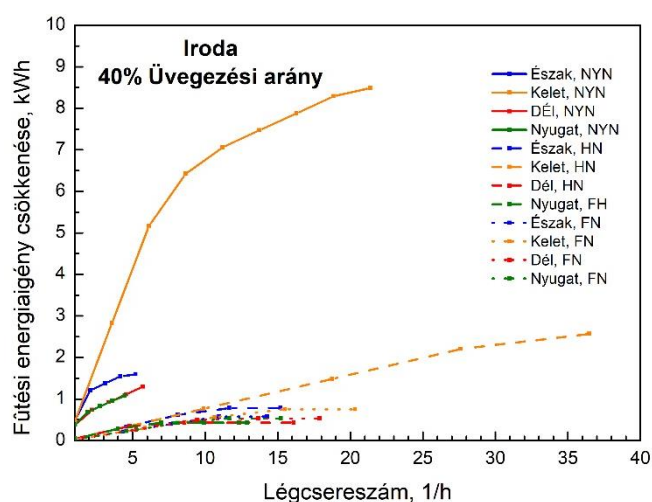
Tekintsük érdemi haszonnak a 0,3 értéket, mely azt jelenti, hogy 10 [1/h] (azaz  $n=10,5$  1/h) érték elérésekor 3kWh hidegenergiát takarítunk meg. A **13a ábra** alapján érdemi megtakarítást északi tájolásnál mindhárom funkciónál a nyári napokon, hőségnapokon a lakóépületnél és az alacsony üvegezésű kereskedelmi létesítménynél érhető el. Forrónapon pedig csak a lakóépületnél. A többi tájolásnál (**13b és 14ab ábra**) a nyári napokon (mindhárom funkciónál) és a lakóépületnél (mindhárom mintanap) érhető el érdemi megtakarítás. Összefoglalva a legtöbb megtakarítás, a legkisebb légcseré változtatással a lakóépületeknél lehetséges.

Végül vizsgáljuk meg egy átlagos üvegezési arány (40% mellett) mekkora „játékra” van lehetőségünk a légcsereszámmal, és ez mekkora hidegenergia megtakarítást biztosíthat. A légcseré változtatásának két határát vegyük figyelembe. Egyrészt az  $n_{\min}$  értéke, mely a fejadagból meghatározott minimális légcsereszámot jelenti, míg a másik a legfeljebb 10%-os össz-villamosmunka növekedéssel elérhető legnagyobb légcsereszámot ( $n_{\max}$ ) jelenti. Ennek a vizsgálatnak az eredményét mutatja, az egyes funkcióknál a **15. ábra**.

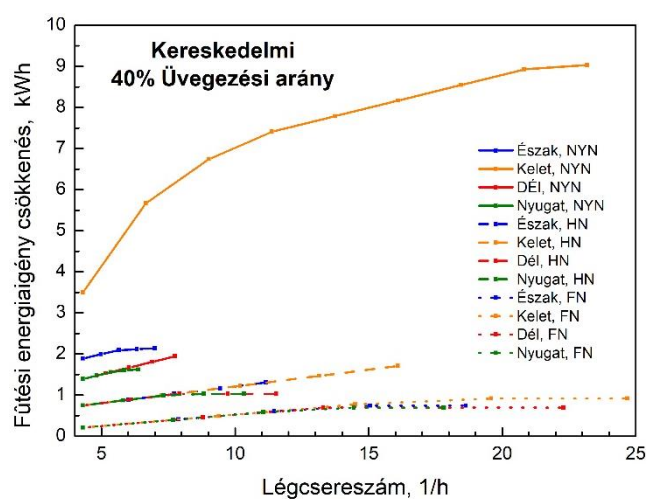
Általánosságban elmondható, hogy a legnagyobb „játéktér” az egyes funkciókon belül a keleti tájolásoknál figyelhető meg. A funkciók közül pedig az iroda funkciónál a legnagyobb, míg a lakóépületnél a legkisebb. További érdekesség, hogy hőség és forrónapoknál a tájolás jelentősége csökken. Érdemben a megtakarításra a nyári napok mellett van hatása a tájolásnak.

Tekintsük itt is érdemi megtakarításnak a 3 kWh hidegenergia mennyiséget. A **15a és 15b ábrák** alapján Iroda és kereskedelmi épület esetén ez csak a keleti tájolóással érhető el. Viszont lakóépületnél azt látjuk a **15c ábra** alapján, hogy ezt az értéket hőség és forrónapnál el lehet érni tájolóástól függetlenül, de nyári napon csak a keleti tájolás mellett.

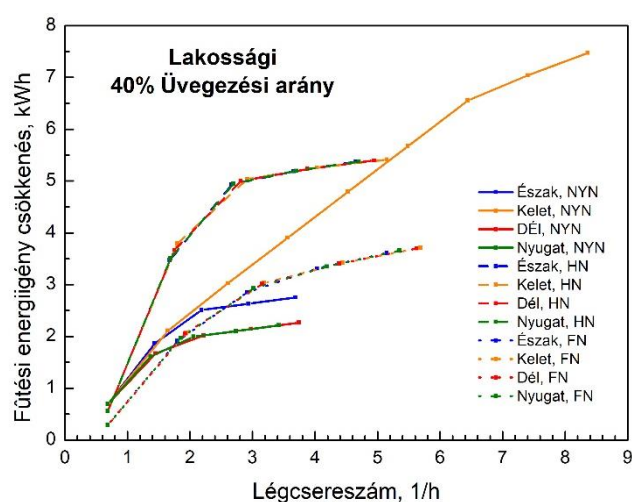
A 15. ábrán látható az előző bekezdésben részletezett megtakarítható energia mennyisége:



a)



b)



c)

15. ábra A megtakarítható hidegenergia mennyisége az  $n_{min}$  és az  $n_{max}$  között. a) Iroda; b) Kereskedelmi; c) Lakossági funkció esetében

## 4 Összegzés

A jövőbeli energiaválságok lehetősége egyre inkább előtérbe helyezi az épületek várható energiaigényének minél pontosabb meghatározására irányuló törekvéseket. E dolgozat olyan újszerű megközelítéseket mutat be, amelyek jelentős mértékben hozzájárulhatnak e cél eléréséhez. Az elméleti elképzelések mellett egy konkrét esettanulmányon keresztül szemléltetem alkalmazhatóságát is.

Az első fejezetben bemutattam az alkalmazott módszerek elméleti hátterét. Bemutattam a hőfokgyakorisági görbét, határhőmérséklet meghatározását, valamint a korábbi tudományos munka keretein belül foglalkozott funkció függő hatásfokot. Ezt követően ismertettem a szabadhűtés fogalmát, jelentőségét.

A második fejezetben a szabadhűtés létjogosultságát mutattam be. A hőfokgyakorisági görbén szemléltettem a szabadhűtési zóna értelmezését, majd ebből következően a hőfokhíd arány tényezőt is. A tényező egyenlet általi bemutatását követően érzékenység vizsgálatot végeztem el, mely az alap egyenletből kiindulva valamely tag értékét változtatva milyen mértékben változik a tényező értéke.

Ugyanebben a fejezetben foglalkoztam a szabadhűtés alkalmazási határával, mely során megvizsgáltam, hogy a légcsereszám egységnyi növelésével mit eredményez.

A következő fejezetben bemutatom az esettanulmányt. Elsősorban bemutatom a vizsgálat során használt épület tulajdonságait, számítások értékeit. Ezt követően diagramokkal szemléltetem az  $\varepsilon$  változtatás (pl.: nyári nap, hőségnap, forrónap) számításaival kapott eredményeket. A további diagramokon a megtakarítás vizsgálatot szemléltetem a szabadhűtés alkalmazásával eltérő üvegezési arány, tájolások és funkciók bontásában.

### **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] B. Bodó, E. Béni és G. L. Szabó, „A Facility’s Energy Demand Analysis for Different Building Functions,” 2023.
- [6] Z. Yang, „Building thermal energy efficiency modeling based on light image inspection and super resolution algorithm in interior landscape design,” 2024.
- [7] C. Fan, B. Zou, Y. Liao és X. Zhou, „Evaluation of energy performance and ecological benefit of free-cooling system for data centers in worldwide climates,” 2024.
- [8] A. Aili, W. Long, Z. Cao és Y. Wen, „Radiative free cooling for energy and water saving in data centers,” 2024.
- [9] R. Mi, X. Bai, X. Xu és F. Ren, „Energy performance evaluation in a data center with water-side free cooling,” 2023.
- [10] H. M. Ljungvist, M. Risberg, A. Toffolo és M. Vesterlund, „A realistic view on heat reuse from direct free air-cooled data centres,” 2023.
- [11] Z. Verbai, I. Csáky és F. Kalmár, „Balance point temperature for heating as a function of glazing orientation and room time constant,” 2017.
- [12] Y. Yang, B. Wang és Q. Zhou, „Air Conditioning System Design using Free Cooling Technology and Running Mode of a Data Center in Jinan,” 2017.
- [13] [Online]. Available: <https://cc-techgroup.com/free-cooling/>. [Hozzáférés dátuma: 28 10 2024].

- [14] W. Zhao, H. Li és S. Wang, „A generic design optimization framework for semiconductor cleanroom air-conditioning systems integrating heat recovery and free cooling for enhanced energy performance,” 2024.
- [15] Y. Zhou, S. Li, Q. Li, F. Wei, D. Yang, J. Liu és D. Yu, „Energy savings in direct air-side free cooling data centers: A cross-system modeling and optimization framework,” 2024.
- [16] I. Soltész és G. Szakács, *Az épületek energiahatékonysága*, 2019.
- [17] A. Zöld, T. Csoknyai, M. Horváth és Z. Szalay, *Az épületenergetika alapjai*, 2019.
- [18] *9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet*, 2023.
- [19] *MSZ-CR-1752:2000*, 2000.
- [20] G. Dr. L.Szabó, Szerző, *Hűtési igények*. [Performance]. 2022.
- [21] „Országos Meteorológiai Szolgálat,” [Online]. Available: [https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/altalanos\\_eghajlati\\_jellemzes/homerseklet/?fbclid=IwAR35blrUrrPZCC1YSSkqpXhMuSuyHtLEkPp2gVuAqv4HwcZHFp4zTGkKouY](https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/homerseklet/?fbclid=IwAR35blrUrrPZCC1YSSkqpXhMuSuyHtLEkPp2gVuAqv4HwcZHFp4zTGkKouY).
- [22] *MSZ EN ISO 13790:2008*, 2008.
- [23] *MSZ 04-140-4:1978*, 1978.