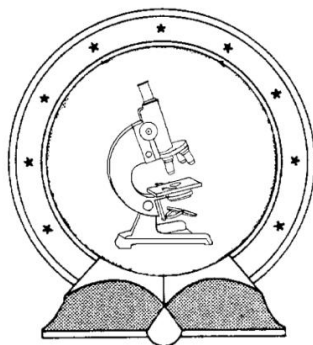


DE TTK



1949

ELŐTÉTABLAOK ENERGETIKAI ÉRTÉKELÉSE

Egyetemi doktori (PhD) értekezés

A szerző neve: Kerekes Attila

Témavezető neve: Prof. Dr. Zöld András

DEBRECENI EGYETEM
Természettudományi Doktori Tanács
Földtudományok Doktori Iskola
Debrecen, 2017.

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Természettudományi Doktori Tanács Földtudományok Doktori Iskola Tájvédelem és éghajlat programja keretében készítettem a Debreceni Egyetem természettudományi doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Nyilatkozom arról, hogy a tézisekben leírt eredmények nem képezik más PhD disszertáció részét.

Debrecen, 2017. augusztus 31.

.....
a jelölt aláírása

Tanúsítom, hogy Kerekes Attila doktorjelölt 2016-2017. között a fent megnevezett Doktori Iskola Tájvédelem és éghajlat programjának keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult. Nyilatkozom továbbá arról, hogy a tézisekben leírt eredmények nem képezik más PhD disszertáció részét.

Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2017. augusztus 31.

.....
a témavezető aláírása

ELŐTÉBLAKOK ENERGETIKAI ÉRTÉKELESE

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében
a **Földtudományok** tudományágban

Írta: **Kerekes Attila** okleveles létesítménymérnök

Készült a Debreceni Egyetem **Földtudományok** Doktori Iskolája
(Tájvédelem és éghajlat programja) keretében

Témavezető: Prof. Dr. Zöld András

A doktori szigorlati bizottság:

elnök:	Dr. Kozma Gábor.....	.....
tagok:	Dr. Kajtár László.....	.....
	Dr. Kovács Péter.....	.....

A doktori szigorlat időpontja: 2017. június 6.

Az értekezés bírálói:

Dr. ....	.....
Dr. ....	.....
Dr. ....	.....

A bírálóbizottság:

elnök:	Dr. ....	.....
tagok:	Dr. ....	.....
	Dr. ....	.....
	Dr. ....	.....
	Dr. ....	.....

Az értekezés védésének időpontja: 201...

Tartalom

Alkalmazott jelölések	6
1. Bevezetés	10
1.1. Az épületszektor és a kibocsátás	10
1.2. A kutatás célja	11
1.3. A javasolt megoldás lényege	12
1.4. Hipotézisek.....	14
2. Irodalmi áttekintés	17
2.1. A homlokzat üvegezési aránya, annak hatása a fűtési energiaigényre, a csúcsteljesítmény igényre és a hőérzetre.....	17
2.2. Szellőztetett ablakok.....	23
2.3. Nyári túlmelegedés kockázata.....	26
2.4. A klasszikus passzív szoláris stratégiák és a közel nulla energiaigényű épületek ..	27
2.5. A mérési módszerek, szimulációs eljárások.....	28
3. Anyag és módszer	30
3.1. Hőáramhálózati modellek	30
3.2. A modell helyiség.....	35
3.3. Számítási módszer	37
3.4. A passzív szoláris nyereség vizsgálata többzónás épület esetén.....	43
3.5. Mérések	44
3.6. Fülke szimulációk	47
3.7. Éghajlati zordság.....	51
4. Eredmények	53
4.1. A transzparens szerkezetek besugárzása.....	53
4.2 Az előtétablak kialakítása.....	58
4.3. A fűtési energiamérleg	60
4.3.1. Puffer- és üvegházhatás télen.....	60
4.3.2. Légáram télen – szellőzés	65
4.3.3. Belső légfüggöny	68

4.3.4. A hőtárolóképesség szerepe	69
4.4. Fűtési energia-, és csúcs-teljesítményigény	73
4.5. Klímaérzékenységi elemzés	74
5. Következtetések	85
5.1. Az előtétablak hatása az energiamérlegre	85
5.2. Az előtétablak hatása a termikus komfortra	86
5.3. Az előtétablak hatása a kibocsátásra	87
5.4. Az előtétablak egyéb hatásai	87
Összefoglalás	89
Summary	93
Köszönetnyilvánítás	97
Irodalomjegyzék	98
Publikációs lista	102
List of publications	106
I. számú melléklet	110
II. számú melléklet	113
III. számú melléklet	138

Alkalmazott jelölések

a	abszorpció tényező, -
A_e	egyenértékű nyílás, m ²
A_{homl}	homlokzat felülete, m ²
A_{ir}	besugárzott felület, m ²
$A_{\text{ü}}$	üvegezett felület, m ²
B	segédérték, °
C	a hőtároló tömeg hőkapacitása, J/K
$C_{k,j}$	az i -edik épületkategória fűtésére alkalmazott j -edik fűtési mód hőterhelőjének fűtési teljesítménytényezője, -
c_s	hasznosítás mértéke, -
CS	az éghajlati zordság csúcsossága, -
CSI_j	a j -edik hónap éghajlati zordsága, napfok/(kWh/m ² hó)
$CSI_{t,j}$	a t -edik helyzetű felület éghajlati zordsága a j -edik hónapban, napfok/(kWh/m ² hó)
D_h	a fűtési szezon fűtési hőfokhídja, hK
E	időkiegyenlítés, min
ΔE_{CO_2}	a teljes lakóépület állomány CO ₂ kibocsátás csökkenése, t/a
$\Delta E_{CO_2,i}$	az i -edik épületkategória CO ₂ kibocsátás csökkenése, t/a
ΔE_F	a teljes lakóépület állomány primerenergia felhasználás csökkenése, PJ/a
$\Delta E_{F,i}$	az i -edik épületkategória primerenergia felhasználás csökkenése, PJ/a
$e_{f,j}$	az i -edik épületkategória fűtésére alkalmazott j -edik fűtési mód hőterhelője által használt energiahordozó primerenergia átalakítási tényezője -
f_b	a besugárzott felelet és a falnyílás felületének aránya, -
GLR :	a Gain Load Ratio - nyereség veszteség arány, -
G_{sc}	napállandó, W/m ²
$g_{\text{ü}}$	üvegezés összesített sugárzás átbocsátó képessége, -
$g_{\text{üv,abl}}$	ablak üvegezés összesített sugárzás átbocsátó képessége, -
$g_{\text{üv,előtét}}$	előtétablak üvegezés összesített sugárzás átbocsátó képessége, -
H	teljes hővesztégtényező, hőátviteli tényező, W/K
H_c	szellőzési veszteséget kifejező formális kapacitív hőátviteli tényező, W/K
$H_{c,1}$	szellőzési veszteséget kifejező formális kapacitív hőátviteli tényező, W/K

$H_{C,2}$	szellőzési veszteséget kifejező formális kapacitív hőátviteli tényező, W/K
$H_{Ce,2}$	szellőzési veszteséget kifejező formális kapacitív hőátviteli tényező, W/K
HDD	fűtési hőfokhíd, hK
HDD ₁₀	10°C-ra vonatkozó éghajlati hőfokhíd, napfok
HDD _{18,3}	18,3°C-ra vonatkozó éghajlati hőfokhíd, napfok
HDD _{18,3,j}	a <i>j</i> -edik hónap 18,3°C-ra vonatkozó éghajlati hőfokhídja, napfok
H_e	az előtétablak, az eredeti ablak és az előtétablakkal takart falfelület eredő hőátviteli tényezője, W/K
H_{ea}	az előtétablak hőátviteli tényezője, W/K
$H_{f,t}$	a takart falfelület hőátviteli tényezője, W/K
$H_{f,21}$	a takart falfelület hőátviteli tényezője az előtétablak felőli oldal hőátadási tényezője nélkül számítva, W/K
$H_{k,22}$	az eredeti ablak keretének hőátviteli tényezője, W/K
$H_{ü,a}$	az eredeti ablak üvegezésének hőátviteli tényezője, W/K
I	órai globál sugárzás, Wh/m ²
I_0	órai extraterresztriális horizontális sugárzás, Wh/m ²
I_{0n}	órai extraterresztriális normál sugárzás, Wh/m ²
I_{bn}	órai direkt normál sugárzás, Wh/m ²
I_d	órai diffúz sugárzás, Wh/m ²
I_{IR}	légköri visszasugárzás, W/m ²
I_m	havi sugárzási bevétel, MJ/m ²
I_t	a tetszőleges tájolású függőleges felület órai sugárzási energiahozama, Wh/m ²
K	vesztéstényező, W/K
k_1, k_2	CO ₂ koncentráció, ppm
k_k	ablak keretarány, (ablakkeret felülete/ablak felülete) -
k_T	tisztasági „clearness” index, -
l	besugárzott felület szélessége, m
l_0	falnyílás szélessége, m
L_{loc}	földrajzi hosszúság (a nyugati hosszúság a pozitív előjelű), °
L_{st}	időzónaközép földrajzi hosszúsága, °

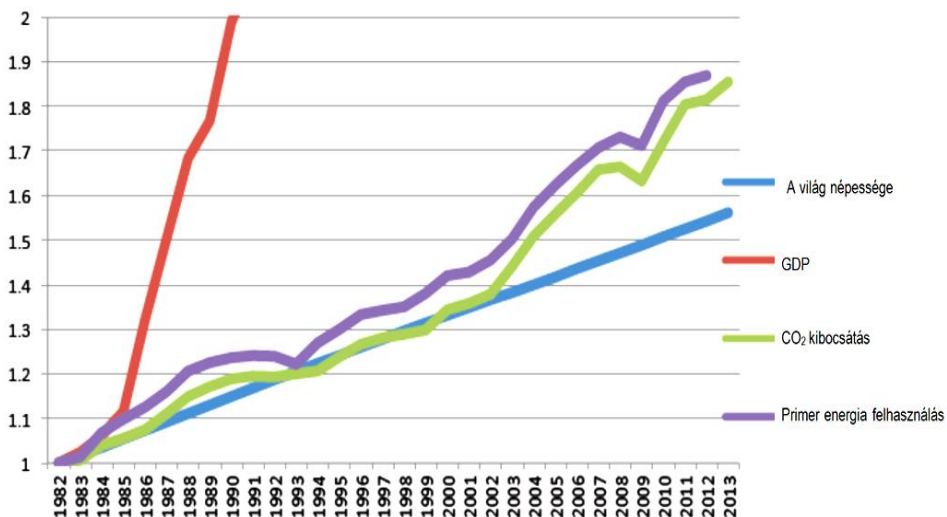
m	besugárzott felület magassága, m
m_0	falnyílás magassága, m
n	légcsereszám, h^{-1}
N	felhőzettség, tizedekben, -
n_c	az év napjainak sorszáma (január 1: $n=1$), -
$N_{\ddot{u}}$	naptényező, -
$Q_{\text{domestic electricity}}$	mért villamosenergia felhasználás, kWh/a
$\Delta Q_{F,i}$	az i -edik épületkategória fűtési energiaigény csökkenése, PJ/a
Q_{glob}	globál sugárzási energiahozama, kWh/m ² a
$Q_{\text{glob},j}$	globál sugárzási energiahozam a j -edik hónapban, kWh/m ² hó
Q_{human}	emberi hőleadás, kWh/a
Q_{solar}	napsugárzási energiahozam, kWh/a
$Q_{t,j}$	a t -edik helyzetű felület sugárzási energiahozama a j -edik hónapban, kWh/m ² hó (vízszintes felület esetén a globál sugárzás értéke)
Q_{TOT}	a hagyományos fűtési idényre vonatkozó sugárzási energiahozam, W/m ²
$Q_{\text{TOT},t,h}$	a t -edik tájolás h -edik hónapjában a függőleges felület sugárzási energiahozama, kWh/m ² ·hó
r	reflexiós tényező, -
$S_{CO_2,j}$	az i -edik épületkategória fűtésére alkalmazott j -edik fűtési mód hőterhelője által használt kibocsátási tényezője, t(CO ₂)/PJ
t	transzmissziós tényező, -
T	száraz léghőmérséklet, K
t_1, t_2	idő, s
t_{air}	külső levegő hőmérséklet, °C
T_d	harmatponti hőmérséklet, K
$t_{i,1}$	1. zóna levegő hőmérséklet, °C
U_a	ablak hőátbocsátási tényezője, W/m ² K
$U_{a,e}$	ablak egyenértékű hőátbocsátási tényezője, W/m ² K
U_{fal}	fal hőátbocsátási tényezője, W/m ² K
$U_{\ddot{u}v,abl}$	ablak üvegezésnek hőátbocsátási tényezője, W/m ² K
$U_{\ddot{u}v,\text{előtét}}$	előtétablak üvegezésnek hőátbocsátási tényezője, W/m ² K

v	kávamélység, m
α	a nap és a felület azimuth szög különbsége, °
α_j	az i -edik épületkategória fűtésére alkalmazott j -edik fűtési mód %-os gyakorisága, %
β	a függőleges felület dőlésszöge, ° (értéke: 90°)
γ	a felület azimuth szöge, °
δ	napdeklínáció, °
$\Delta\theta$	havi közepes külső-belső hőmérséklet különbség, K
ϵ	hasznosítási tényező, -
ζ	a nap altitude szöge, °
η_{he}	hasznosítási tényező, -
θ	a tetszőleges tájolású függőleges felület normálisa és a direkt napsugárzás által bezárt szög, °
θ_z	nap zenitszöge, °
σ	Stefan-Boltzmann állandó, $5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
τ	időállandó, s
$\tau_1, \tau_2,$	idő, s
φ	földrajzi szélesség, °
Q_r	a földfelszín reflexiós tényezője, -
ω	nap óraszöge, °
ω_s	napkelte óraszöge, °
ϵ	emissziós tényező, -

1. Bevezetés

1.1. Az épületszektor és a kibocsátás

A klímaváltozás és a globális felmelegedés felgyorsításában jelentős szerepet játszik az emberiség egyre nagyobb mértékű fosszilis energiahordozó felhasználása. Az 1.1. ábrán látható, hogy az 1982. évhez viszonyítva a GDP, a primerenergia felhasználás és CO₂ kibocsátás is nagyobb mértékben növekedett, mint a világ népessége. A magasabb egy főre eső GDP örvendetes, de azt is látni kell, hogy ez a növekedés magasabb arányú energiafelhasználást és kibocsátást is eredményezett. A referenciaévet követő három évtizedben a primerenergia felhasználás 86%-al, a CO₂ kibocsátás a technikai fejlődésnek és a környezetvédelmi erőfeszítéseknek köszönhetően valamivel kisebb mértékben, de így is 81%-al növekedett. A CO₂ kibocsátás csökkentésének elengedhetetlen feltétele a fosszilis energia felhasználás csökkentése.



1.1. ábra. Primer energia felhasználás, CO₂ kibocsátás, GDP és a Föld népességének növekedése három évtized alatt. Referencia év 1982. (forrás: IEA.org & woldbank.org)

A globális probléma magyarországi viszonylatban is megjelenik. A hazai primerenergia felhasználás jelentős részét, közel 40%-át az épületek energiafelhasználása teszi ki. Magyarország primerenergia felhasználása 2011-ben 1044 PJ volt, amelyből az épületek részesedése 404 PJ-t tett ki (Csoknyai T. et al. 2014)). A Nemzeti Épületenergetikai Stratégia (továbbiakban: NÉeS) átfogó céljai között ott szerepel az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése. A magyarországi épületállomány primerenergia felhasználásának 70–90%-át a fűtés jelenti (az alacsonyabb értékek a korszerűbb épületekre a magasabb értékek a régebben épült épületekre vonatkoznak (NÉeS)), és ebben az ablakok energiamérlegének meghatározó szerepe van. A Nemzeti Épületenergetikai Rendszer 2-ben (továbbiakban: NEER2) szereplő lakás alapterületek

és az ott meghatározott referenciaépületek adatai alapján (Csoknyai T. 2016) a magyarországi lakóépületek hozzávetőlegesen 37 millió négyzetméter ablakfelülettel rendelkeznek, amelyek a transzmissziós hőveszteségeik és a sugárzási nyereségeik által az épületek primerenergia felhasználásnak hozzávetőlegesen 6%-áért közvetlenül felelősek. Ha ezen felül még figyelembe vesszük, hogy az épületek természetes szellőzése is az ablakokhoz kötődik, akkor az ablakok a lakóépületek primerenergia felhasználásnak közel 19%-ában érintettek. Ha nemcsak a lakóépületeket, hanem a teljes épületállományt vesszük figyelembe, akkor az épületek primerenergia felhasználásnak a több mint 30%-áról van szó (ablakok és szellőzés).

Az ablak szerepe a téli és a nyári energiamérlegben, a légzárásban és a természetes szellőztetésben, a termikus komfortban és a természetes világításban igen sokrétű. A természetes világítás kérdésére nem térünk ki, vizsgálataink az energiamérlegre és a termikus komfortra irányulnak.

A vizsgálat tárgya döntően a helyiség és annak külső határolása. A belső szerkezetek hőtároló tömegének hatását helyiségcsoportokra végzett elemzéssel vizsgáljuk.

Nem vizsgáljuk a légforgalom kérdését komplett, többszintes épületekben. Ezért az akaratlan/nem szándékolt légcsera (filtrációs légcsera) kérdését sem vizsgáljuk, hiszen az számos, a vizsgálat körén kívül eső kérdést jelentene: szintek száma, ablak pozíciója szint és tájolás szerint, uralkodó szélirány. Ugyanez vonatkozik a természetes szellőzésre. Feltételezzük, hogy a lakók tudatos magatartással minden esetben a lakószobák esetében szükséges mértékű légcserével folyamatos természetes szellőztetést foganatosítanak és a filtrációs légcsera ezt nem haladja meg.

Természetesen valós körülmények között a légcsera számos tényezőtől – nem utolsósorban a lakók magatartásától – függ és véletlen változónak tekinthető. Ez azonban mindegyik, a vizsgálat tárgyát képező ablak esetében így van, ezért a feltételezett légcsera a vizsgálat és az összehasonlítás alapjaként elfogadható.

A lakóépületek szerepe az országos energiamérlegben jelentős, ezért nem szabad elfelejteni, hogy az energiafelhasználás és a kibocsátás nemcsak olajkút, bányá és erőmű kérdése, hanem sok apró tétel összessége – bár kétségtelen, hogy 10 kg gyümölcsöt könnyebb learatni görögdinnye formájában, mint ribizliként. A csúcs-teljesítményigény oldaláról sem érdektelen megvizsgálni a kérdést. Méretezési állapotban az ablakok hővesztesége és a szellőzés hővesztesége mintegy 9000 MW teljesítményt köt le. Összevetve a 2016. január havi országos órai csúcs földgázfogyasztás 2814 m³/h értékével (MEKH 2016.) amely 26577 MW hőterhelést jelent, látható, hogy az általunk vizsgált tétel ennek 34%-át teszi ki.

Az épületek fosszilis energiafogyasztásának és ezzel a CO₂ kibocsátás csökkentésére két lehetőség van: a fűtési igények csökkentése és a megújuló energiák intenzívebb hasznosítása. A szokásos energiahatékonysági rekonstrukciók elmaradhatatlan fázisa az ablakcsere, amelyhez az új nyílászáró gyártási, építési, a régi nyílászáró bontási, ártalmatlanítási, újrahasznosítási költsége, energiaigénye és CO₂ kibocsátása kapcsolódik.

1.2. A kutatás célja

Az épületek energiatudatos felújításának többféle módja van, amelyek természetesen célszerűen kombinálhatók és kombinálандók. Mindegyiknek vannak azonban bizonyos hátrányai is, amelyeket a döntés során figyelembe kell venni.

- A fűtési rendszerek cseréjével elérhető megtakarítás korlátozott, ha nem az épület felújításával együtt történik, hiszen ha jobb hatásfokkal is, de változatlan igényeket kell kielégíteni. Lényeges, hogy a kazánok, fűtési rendszerek fizikai élettartama harmada-negyede az épület fizikai élettartamának, tehát ez utóbbin belül többször kell cserére számítani, ami a gyártáshoz, beépítéshez szükséges energiaigénnyel, a bontott anyagok ártalmatlanításának, újrahasznosításának problémáival terhes.

- A meglévő ablakok cseréje a szokásos épületfelújítások mondhatni kötelező lépése. A fizikai élettartam szempontjából ez nem kritikus, de a bontási hulladék elhelyezése, ártalmatlanítása, újrahasznosítása szempontjából problematikus, emellett a csere művelete a lakók komoly zavarásával, tetemes hulladékképződéssel jár.

- A homlokzatok utólagos hőszigetelésének eredményessége kétségtelen, de nem szabad elfelejteni, hogy ezzel az ablakokon át az épületbe jutó sugárzási nyereség csökken. Nem mellékesen az utólagos hőszigetelés növeli az épület nyári túlmelegedésének kockázatát vagy a gépi hűtés energiaigényét.

A cél egy olyan megoldás kifejlesztése, amely

- az épületek fűtési energiaigényét csökkenti,
- az épület túlzott nyári felmelegedésének kockázatát mérsékli,
- élettartama az épületszerkezetek élettartamával megegyezik,
- mentes a bontási hulladék elhelyezésének, ártalmatlanításának, újrahasznosításának problémáitól,
- a lakók zavarása nélkül kivitelezhető.

Természetesen azt a kérdést is elemezzük, hogy az épületfelújításokon túl ez a megoldás hogyan alkalmazható új épületek létesítése esetén.

1.3. A javasolt megoldás lényege

A felújításokhoz különösen előnyös, de új épületeken is eredményesen alkalmazható javasolt megoldás az előtétablak. Ennek lényege a külső falsík előtt elhelyezett, üvegezett szerkezet, amely takarja az eredeti ablakot és az akörüli falsávot (1.2. ábra).

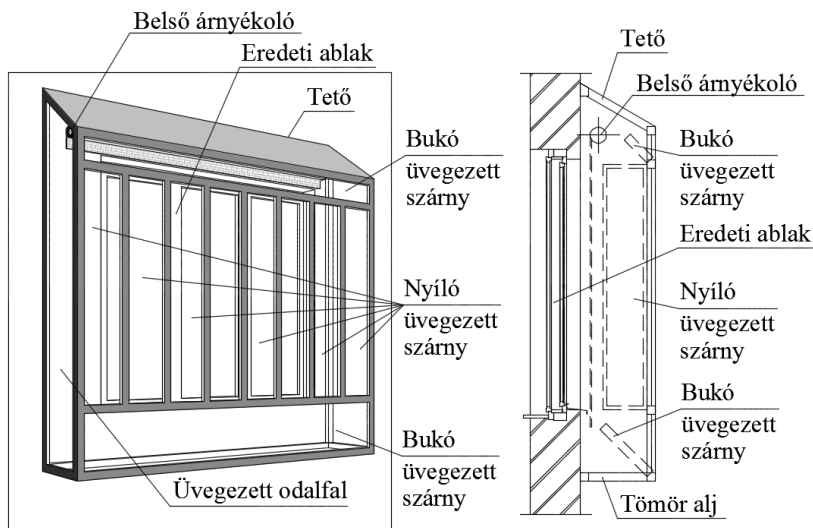
A szabatos megnevezés az „addicionált konvex ablak” lenne (hozzáadott és a homlokzat síkjával nem párhuzamos határolásokat is tartalmaz), de a hétköznapi szakmai gyakorlat számára nehézkes, emellett hosszú is, ezért az előtétablak kifejezést használjuk – a jelző a hozzáadott jelleget kifejezi. Az előtétablak és az eredeti homlokzat közötti tér megnevezésére az előtétzóna kifejezés alkalmas.

A javasolt megoldás a klasszikus passzív szoláris rendszerek és a kéthéjű homlokzatok számos ismérével rendelkezik, de egyik kategóriába sem sorolható be egyértelműen, emellett utólagos hőszigetelést is jelent.

A passzív szoláris rendszereknek két kategóriája van: direkt és indirekt rendszerek. Az előbbit az jellemzi, hogy a szoláris energiát elnyelő felület ugyanaz, mint az ebből származó hőenergiát a helyiségbe közvetítő felület. Az indirekt rendszerek esetében ez a két felület nem azonos és/vagy a hőáram helyiségbe juttatása konvektív úton, természetes légmozgással történik. Az utóbbi kategóriába tartozik a tömegfal, a Trombe fal és a légkollektor valamint az üvegház.

A javasolt megoldás annyiban hasonlít a tömegfalhoz, hogy az előtét üvegezés az eredeti ablak kerülete mentén takarja a fal egy sávját. Eltérés azonban az, hogy míg a

tömegfal esetében egy homogén sík fal elnyelő felületét egy azzal párhuzamos üvegezés takarja, esetünkben a takart fal anyagában sem homogén (tartalmazza a kiváltót, a párkányt, a könyöklőt), az elnyelő felület pedig az ablakkáva miatt nem párhuzamos az üvegezéssel, amelynek nem csak a homlokzattal párhuzamos elemi vannak.



1.2. ábra. Előtáblak egy lehetséges kialakítási vázlata

A javasolt megoldás annyiban hasonlít a Trombe falhoz, hogy az előbbiekben leírt felületről a hő természetes légközréssel az eredeti ablakon át a helyiségbe juttatható.

A javasolt megoldás annyiban légkollektor, hogy az előbbiekben leírt felületről a hő az előtáblakon át bevezetett külső levegő közvetítésével az eredeti ablakon át a helyiségbe juttatható.

Mindhárom esetben eltérés az eredeti klasszikus változatokhoz képest az, hogy elnyelő felületként a tok- és szárnyszerkezet, valamint csekély mértékben maga az üvegezés is megjelenik.

A javasolt megoldás annyiban kéthéjú homlokzat, hogy az eredeti és az előtét üvegezés közötti térben a kéthéjú homlokzatokra jellemző légáram-utak alakíthatók ki, eltérés azonban az, hogy a belső és a külső üvegezések felületei nem egyenlőek és a külső üvegezés tömör falat is takar.

Önmagában az előtét üvegezés annyiban jelent hőszigetelést, hogy egyrészt az ablak üvegezésének rétegszámát megnöveljük (ugyanakkor nem elsődleges cél, hogy az eredeti és az előtét üvegezés közötti légréteg mindig zárt legyen), másrészt a takart falsáv hőátbocsátási ellenállását is növeli az elé helyezett üvegezés és légréteg. Ez a hatás természetesen függ attól, hogy milyen fal és eredeti üvegezés előtt alkalmazzuk az előtétáblakot.

Formailag az előtét ablak külső megjelenése az elsősorban angolszász területen hagyományosnak tekinthető bay window, bow window (a kettő közti különbség az íves vagy sokszög vonalú alaprajzi kontúr), valamint a garden window jegyeit mutatja, de ez a

megállapítás csak a homlokzat külső megjelenésére igaz. Lényegi különbség, hogy a bay vagy bow window és a garden window esetén az így kialakuló kiöblösödő tér a szoba, konyha részét képezi (azaz a bay, bow vagy garden window az eredeti és egyetlen ablak). Belülről nézve vagy egy nagyobb mélységű könyöklőről vagy a szobának egy térébővületéről van szó. Az előtétablak az első változathoz hasonlít, de azzal a lényeges különbséggel hogy az előtétablaknál a belső oldalon ott van a homlokzat eredeti ablaka.

Az előtét ablak alaprajzi körvonala is sokféle lehet – ez részben az építészeti formaképzés tárgya, másrészt olyan gyakorlati kérdésekkel függ össze, mint az ablakszárnyak működtetése (felnyíló, bukó, billenő) és a tisztíthatóság. További – jelen értekezésben nem vizsgált – szempont az előtét ablak által megnövelt hanggátlás, ezen belül az eredeti ablak síkjával nem párhuzamos előtét üvegezés hatása.

A formai kérdéseket illusztrálja az I. melléklet.

Lényeges, hogy az előtétablaknak alul és felül vannak szellőzőnyílásai és az előtétzónában van mobil társított szerkezet, amely olyan könnyű lehet, mint a belső oldali, hiszen védett helyen van, és közel van az eredeti üvegezéshez, hogy az oldalsó üvegezésen bejutó direkt sugárzás ellen is védjen.

Az előtétablak az eredeti ablak körüli hőhidakat lényegében betakarja, és ez hangsúlyt érdemlő szempont az állagvédelem miatt.

1.4. Hipotézisek

Az előtét ablak több szempontból kínál előnyöket.

- Energetika

Az előtétablak a szoláris energia hasznosítása révén jelentős mértékben csökkenti a fűtési energiafogyasztást és a fűtési rendszer csúcsteljesítmény igényét. Mérsékli az épületek nyári túlmelegedésének kockázatát, elkerülhetővé teszi a gépi hűtés alkalmazását vagy (ha a belső hőterhelések miatt az elkerülhetetlen) csökkenti annak energiafogyasztását és csúcs-teljesítményigényét. Megoldást jelent a szellőző friss levegő előfűtésére vagy a távozó levegő hőtartalma egy részének visszanyerésére. Az értekezés célja az előzetes megfontolások alapján feltételezett energetikai hatások elemzése.

- Állagvédelem

Bár elemzéseinknek nem ez a fő iránya mindenképpen meg kell említeni, hogy az előtétablakkal takart homlokzati mező (eredeti ablak + körkörösén 40 cm) számos olyan csomópontot tartalmaz, amelyeknek nemcsak a hőhidak miatti hőveszteség csökkenése okán van jelentősége. Ilyen az ablaktok függőleges élének csatlakozása falhoz, a párkány és a könyöklő, leginkább pedig a kiváltó. E csomópontok környékén a belső felületeken a hőmérséklet alacsony, ami gyakorta kapilláris vagy felületi kondenzációt és penészképződést eredményez. Eme állagkárosodások kockázata az előtétablakok alkalmazásával csökkenthető. Részletes vizsgálat nélkül is nyilvánvaló, hogy az előtétablak további hőátviteli ellenállást képez valamennyi előző hőhid és a külső tér között, amely ezen szerkezeteken mindenképpen a hőáramok csökkenését és a belső felületi hőmérséklet növekedését eredményezi. Az előtétablak rögzítésére szolgáló (mérettől függően 4 – 8) dübel által okozott pontszerű hőhidak hatása a takart falsávban nem okoz állagvédelmi problémát, mivel azok hatása elhanyagolható a takart falsávban lévő az eredeti ablakot övező hőhidak hatásához viszonyítva.

Az előtétablakok védelmet jelentenek a durva hibákkal szemben is (beázás, régi redőnyszekrények légáteresztése).

- Komfort

Az előtétablak, mint utólagos hőszigetelés nyilvánvalóan az érintett homlokzati szakasz belső átlagos felületi hőmérsékletének növekedését eredményezi. A belső felületek magasabb hőmérséklete következtében az operatív hőmérséklet és a léghőmérséklet közti különbség csökken, adott esetben megfordul, a téli félévben a hőérzet javul. Ezt járulékos előnynek tekintjük, de a területi korlátok miatt részletesen nem elemezzük.

A szellőző friss levegő a fűtési idény egy részében előmelegítve jut a helyiségbe. A huzathatás és az akaratlan filtráció mérséklése belátható: az előtétablak plusz légáteresztési ellenállása csökkenti nemcsak az eredeti ablak működési hézagai, hanem a beépítési hézagai miatt kialakuló nem kívánatos filtrációt is.

A kéthéjú homlokzatok, mint előképek és megfontolások alapján várható, hogy az előtétablakot külső légfüggöny üzemmódban használva a nyári félévben az épület túlmelegedésének kockázata mérséklődik. Ennek kísérletes vizsgálata az értekezés egyik lényeges célja.

Erdemi vizsgálat nélkül is belátható, hogy az előtétzóna ülepítő kamraként csökkenti a porterhelést és a környezeti zajterheléssel szembeni akusztikai védelem javul.

Az értekezés közvetlen tárgyán túlmenően megemlíthető még néhány további szempont, amely összefüggésben van az előtétablakok alkalmazásával.

- Éghajlat

Belátható, hogy az energiafogyasztás csökkenésével arányosan csökken a kibocsátás is, ami hozzájárul a globális léptékű éghajlatváltozás kockázatának mérsékléséhez. Lokális léptékben a kibocsátás csökkenése javítja a település levegőtisztaságát, mérsékli a szmogképződés kockázatát. A városi hősziget intenzitását a késő délutáni-esti órákban csökkenti az a körülmény, hogy a külső légfüggöny üzemmódban a szoláris nyereség napközben a városi szellőt serkentő feláramlást okoz, kevesebb az épületek által elnyelt és a naplemente után kibocsátott hő. Önmagában a gépi hűtés elmaradása vagy mérséklése csökkenti az épületek antropogén hőleadását.

- Környezetvédelem

A rövid fizikai élettartamú épületgépészeti felújításokkal szemben elmaradnak a többszöri cserével járó problémák: a bontott anyag ártalmatlanításának, elhelyezésének, újrahasznosításának környezetterhelése. Hasonlóan: a jelenleg szokásos ablakcserékkel összevetve elmaradnak a kibontott ablakokkal kapcsolatos hulladékgazdálkodási gondok, hiszen az eredeti ablak megőrizhető. Az előtétablak fizikai élettartama az épületszerkezetek fizikai élettartamával azonos. Nem mellékesen az előtétablakok utólagos felszerelése a lakóknak nem okoz kényelmetlenségeket.

- Esztétika

Természetesen ízlésbeli kérdésekről van szó, amelyek megítélése az építészekre és a laikus közönségre tartozik. Megfelelő formálással az unalmas, síma homlokzatok látványa javítható, tagoltabb, mozgalmasabb homlokzatok alakíthatók ki. (I. melléklet, 4-

6. ábrák). Megjegyzendő, hogy ezeknek az épületeknek a terveit nem ismerjük, itt kizárólag a látvány bemutatása a cél, nem tudjuk, mi van a belső oldalon.

A homlokzat megváltoztatása általában engedélyköteles, a döntés az elsőfokú építési hatóság kompetenciája – hogy e döntésben milyen súllyal esik latba az energia megtakarítás és annak hozadékai (kibocsátás, levegő tisztaság, hulladék képződés elmaradása, környezeti-közlekedési zajok elleni védelem, jellegtelen homlokzatok élenkítése) azt a gyakorlat fogja eldönteni. Új épületek esetében a hatósági eljárás „liberalizálódott”: bizonyos feltételek mellett építési engedélyre nincs szükség, egyszerű bejelentés elegendő.

Jelen értekezés keretein belül az energetikai, éghajlati kérdések valamint a nyári túlmelegedés kockázatának részletes elemzésére kerül sor.

2. Irodalmi áttekintés

Az értekezés tárgyát képező előtétablakokhoz formailag hasonló, a homlokzat megjelenését befolyásoló hagyományos, „bay-window”, „bow-window” építészeti megoldásokról saját fényképfelvételek, interneten és hirdetésekben fellelhető képek alapján gyűjtöttünk anyagot. Néhány példát az I. mellékletben mutatunk be. Mivel az előtétablakok energetikai jellemzői és működési módja alapvetően eltér a fent nevezett hagyományos megoldásoktól, a példáknak az előtétablak számított és mért energetikai jellemzőit illetően nincs különösebb jelentősége, bemutatásuk célja mindössze a forma, a külső megjelenés illusztrációját szolgálja, megkönnyítendő az építészek, építetők, szerkezetgyártók tájékozódását.

Az irodalomkutatás célja a következő témák alaposabb elemzése:

- a homlokzat üvegezési aránya, annak hatása az energiafogyasztásra, a csúcsteljesítmény igényre és a hőérzetre;
- a passzív szoláris nyereség hasznosítása;
- az előtétablak és a szellőztetés összefüggése;
- a nyári hővédelem.

2.1. A homlokzat üvegezési aránya, annak hatása a fűtési energiaigényre, a csúcsteljesítmény igényre és a hőérzetre

A homlokzatok üvegezési arányát illetően – a funkcionális és esztétikai szempontokon túl – a dilemma abból származik, hogy általában az ablakok képezik az épület burkolófelületének hőszigetelés szempontjából leggyengébb elemét: az üvegezési arány növelésével a transzmissziós hőveszteség ezért nagy lesz. Ezt tovább fokozza az ablakok kerülete mentén kialakuló többdimenziós hőáramok miatti hőhídveszteség. Ezzel csak látszólagosan függ össze, hogy az ablak beépítési és működési hézagain át akaratlan légcserre: in- és exfiltráció alakulhat ki – ez a körülmény is erősíti azt a felfogást, hogy az ablakok miatti hőveszteség nagy.

Ugyanakkor ismert tény az is, hogy az üvegezésen keresztül jelentős sugárzási nyereség jut az épületbe, amelynek egy része hozzájárul a transzmissziós és szellőzési hőveszteségek fedezéséhez. Ennek meghatározása azonban számos nehézségbe ütközik.

Az ablakok fűtési energiamérlegre gyakorolt hatásának jellemzésére egy korábbi kísérlet az egyenértékű hőátbocsátási tényező volt, amely figyelembe vette az ablakok nem jelentéktelen sugárzási nyereségét is (Zöld A. 1997. alapján):

$$U_{a,e} = U_a - \frac{\epsilon \cdot (1 - k_k) \cdot g_{\#} \cdot Q_{TOT}}{HDD} \quad (2.1.)$$

ahol:

$U_{a,e}$	ablak egyenértékű hőátbocsátási tényezője, W/m ² K
U_a	ablak hőátbocsátási tényezője, W/m ² K
ϵ	hasznosítási tényező, -
$g_{\#}$	üvegezés összesített sugárzás átbocsátó képessége, -
Q_{TOT}	a hagyományos fűtési idényre vonatkozó sugárzási energiahozam, W/m ²

HDD fűtési hőfokhíd, hK
 κ_k ablak keretaránya, -

Ha nem csak az ablakot önmagában vizsgáljuk, akkor a gyakorlati számításokra kidolgozott képlethez ökölszabály-szerűen hozzárendelhető vagy egy hasznosítási tényező (amivel a sugárzási nyereség csökkentendő) vagy egy, az egyenértékű nyílás felületegységéhez tartozó hőtároló tömeg. Az egyenértékű nyílás egy $N=1$ naptényezőjú nyílás, melynek szoláris nyeresége azonos az adott ablakéval (Zöld A. 1997. alapján):

$$A_e = A_{ii} N_{ii} = A_{ii} \frac{g_{ii}}{0,87} \quad (2.2.)$$

ahol:

A_e egyenértékű nyílás, m²
 N_{ii} naptényező, -

Az IEA (International Energy Agency) munkacsoportja átfogó tanulmányban hasonlította össze a sugárzási nyereség hasznosulásának kérdését (International Energy Agency 1986).

A bevezetőben áttekintik az alapfogalmakat és bemutatják azok értelmezési eltéréseit, különös tekintettel a fűtési idény, a fűtési hőfokhíd és a túlfűtés kérdését, de az olyan, általában elhanyagolt fogalmakat is, mint az éjszakai leszabályozás (night set back) és a felhasználói magatartás.

A vizsgált módszerek között szerepel a havi alapú „Temperature without heating” (TWH) és a szezonális k-eff (effective U-value) az ablakok egyenértékű hőátbocsátási tényezőinek németországi értelmezése. Utóbbi elvileg hasonlít a Magyarországon is alkalmazotthoz, azzal az eltéréssel, hogy míg az utóbbi korrekcióval számolt a fajlagos hőtárolóképesség függvényében, addig a német eljárásban a hőtárolóképesség egyáltalán nem szerepel.

A szezonális TPD módszer a téli félév minden időszakára korrekciós szorzókat alkalmaz, a havi számításokon alapuló EFB1 eljárás pedig az épület tömegének függvényében ad meg korrekciós tényezőket, amelyek skandináv éghajlati feltételekre vonatkozó tapasztalatokon alapulnak. A módszer helyessége vitatható, mert szerzői úgy vélik, hogy a hasznosítási tényező skandináv éghajlati feltételek között kicsi, ami szerintünk elvi hiba: arról lehet szó, hogy a sugárzási energiahozam kicsi, de éppen ezért annak hasznosítása jó.

A szezonális alapú SIA 180/3 módszer csak az ablakok U értékeire alkalmaz korrekciós tényezőket.

A LESO-A havi számításokon alapuló módszer egyszerű közelítéssel 0,7 értékű hasznosítási tényezővel számol a „massive”, azaz nehéz szerkezetű épületekre, kivéve az északi tájolást, amelynél elhanyagolja a sugárzási nyereséget.

A LESO-SAI havi alapú a hasznosítási tényezőt a következő összefüggéssel határozza meg a hasznosítás mértékét (c_s) a nyereség és a veszteség arányának (GLR: Gain Load Ratio) függvényében.

$$c_g = 1 - \exp. (- 1.94 \times GLR^{-1.66}) \quad (2.3.)$$

Ahol:

GLR: a Gain Load Ratio - nyereség veszteség arány, -

Az IMPULSE módszer havi vagy szezonális időszakra határozza meg a hasznosítás mértékét a nyereség és a veszteség arányának (GLR: Gain Load Ratio) és a fűtés szabályozásának függvényében.

A vizsgált módszerekkel elvégzett próbaszámítások eredményei közti különbségek $\pm 20\%$ eltérést mutattak. A szerzők felvetik annak lehetőségét, hogy a nettó sugárzási nyereséget belső hőforrások nélkül, az ablakkal és az ablak nélküli (helyesebben nulla sugárzás átbocsátású ablakokkal) számított fűtési energiafogyasztás különbségeként lehetne megállapítani. Ez kétségtelenül ígéretes, de a valóságban a belső hőforrások a sugárzási nyereség hasznosulását befolyásolják, noha az előbbiek hasznosulási fokát általában 1-nek tekintik.

Vanhoutteghem, L. et al. (2015) nZEB szintű épületekben vizsgálják az üvegezett felületek hatását az energiafogyasztásra, a nappali világításra és a termikus komfortra. A vizsgált paraméter változatok: kilenc különböző oldalarányú és méretű helyiség (az alap helyiség 4×4 m méretű), 10-35% üvegezett felület – padlófelület arány tartományban, északi és déli tájolásra, és különböző üvegezés tulajdonságok, mint pl. az U-érték, a g-érték és fényáteresztés. Az alkalmazott légcsereszámok: infiltráció $0,05 \text{ h}^{-1}$, télen $0,6 \text{ h}^{-1}$, nyáron a maximális érték 3 h^{-1} . Szimulációt alkalmaznak, teljes energiaimérleget számolnak (fűtés, hűtés, világítás). Az eredmények Koppenhágára vonatkoznak. Főbb megállapításaik: a nagy g-érték, nagy üvegezés-padló felületarány hatása a fűtési energiaigényre a déli tájolású jól hőszigetelt épületek esetén nem olyan fontos, mint azt gondolnánk. A nagy, 0,3-0,4 feletti g értékek kis mértékben gyakorolnak hatást a fűtési energiaigényre. Az üvegezések U értékének $0,3\text{-}0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ között kell lenni ahhoz, hogy a nagy üvegezés-padló felületarány fűtési energiaigény csökkenéshez vezessen. A déli tájolás esetén körülmények méterezésre van szükség, hogy elkerüljük a helyiség túlmelegedését miközben a megvilágítás biztosítva van (magas fényáteresztésű, alacsony g értékű üvegezés és alacsony U értékek alkalmazása). Az északi tájolás esetén a nagy g-értékek ajánlottak - amelyek csökkentik a fűtési energiaigényeket -, ugyanakkor mivel itt a túlmelegedés veszélye kicsi, a g-érték és az üvegezés-padló felületarány kombinációja viszonylag szabadon választható a megfelelő természetes megvilágítás érdekében.

Szalay, Zs. (2010) a régi ablakok felújítási lehetőségeivel foglalkozik. Rámutat, hogy bár az ablakok az épületek gyenge pontjai, a történelmi ablakok az eszmei, esztétikai értékeiken felül energetikai és karbantartási szempontból nem is olyan rosszak, sőt pl. egy dobozablak hőátbocsátási tényezője vetekszik egy dupla üvegezésű ablakéval, akusztikai jellemzői pedig egyértelműen kedvezőbbek annál. A XIX. században Nagy Britanniában az eredetileg egyrétegű történelmi ablakokat általánosan második pár szárnyal szerelték fel, amely jól példázza, hogy a korszerűsítés során nem egyedül csak az ablakcserének van létjogosultsága. Az eredeti ablak meghagyásával megfelelő konstrukcióval hosszú távra a kor színvonalának megfelelő megoldás hozható létre.

Cuce, E., Riffat, S. B. (2015) az innovatív üvegezéseket vizsgálják termikus, világítási és költséghatékonysági szempontból. Áttekintik a következőket: többrétegű

üvegezések, a többrétegű, de nem csak üvegrétegeket, hanem transzparens fóliaréteget, rétegeket is tartalmazó üvegezések, a vákuumszigetelésű üvegezések, az alacsony hosszúhullámú emissziós tényezőjű ún. low-e bevonatos üvegezések, a változtatható tulajdonságú „smart” üvegezések, a photovoltaikus cellákkal kombinált üvegezések, az aerogéllal vagy fázisváltó anyaggal töltött üvegezések, különféle gáztöltetű üvegezések és az öntisztuló üvegezések és a különféle keretszerkezetek. Bemutatják az újszerű ablakmegoldásokat: a vízűtésű elnyelő ablakot, a megfordítható ablakot (nyáron visszaverő, megfordítás következtében télen elnyelő), a vezérelhető elektrokromatikus ablakot, a transzparens hőszigeteléssel töltött ablakot, a szellőztetett ablakot, a napvédő fóliával ellátott ablakot, a színezett üvegezésű ablakot, a reflektív üvegezésű ablakot, az anti-reflektív üvegezésű ablakot és bemutat egy érdekes megoldást, a vákuumcsöves ablakot. Bemutatják a solar pond ablakot, amely 4 üvegrétegből és közte egy gáz és két folyadékrétegből áll. Integrálja a természetes megvilágítás, hő begyűjtés, hőtárolás, hővédelem funkciókat.

Az alacsony U értékek miatt ($0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$) a jövő a vákuum és aerogél üvegezéseké, bár jelenleg magasak a költségeik. A low-e bevonatos többrétegű üvegezések is versenyképesek, bár a rétegszám növekedésével a költségek is növekednek. Amennyiben az alacsony U érték a fontos, a Krypton és Xenon gáztöltetek kerülhetnek szóba. Optimális megoldást jelenthet a vákuum szigetelés és az aerogél kombinációja. A solar pond ablakok szintén jó megoldást nyújthatnak a jövőben, $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ U értékkel. Problémát jelent, hogy a keretszerkezetek legalacsonyabb U értéke $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ körüli.

Weber, T. et al. (2004) a megjelenés előtti évekre jellemző svéd- és németországi energiatakarékos épületeket elemezték. A két éghajlati zónát a fűtési hőfokhidak arányában „homogenizálták”. Három módszerrel számolják a sugárzási nyereség hasznosítását. A németországi módszer, amelyben nem szerepel a hőtároló tömeggel kapcsolatos változó.

$$\eta_{he} = 1 - 0,3 * \frac{(Q_{solar} + Q_{human} + Q_{domestic electricity})}{Dh * H} \quad (2.4.)$$

ahol:

Q_{solar}	napsugárzási energiahozam, kWh/a
Q_{human}	emberi hőleadás, kWh/a
$Q_{domestic electricity}$	villamosenergia felhasználás, kWh/a
Dh	a fűtési szezon fűtési hőfokhídja, hK
H	teljes hővesztésgtényező, W/K
η_{he}	hasznosítási tényező, -

A franciaországi módszer és az EN 832 szabvány szerinti eljárás, amelyekben szerepel az épület egyszerűsített egytárolós modelljének időállandója. Megállapították, hogy a nyereség/vesztés aránynak van meghatározó szerepe, de szükség van egy olyan korrekciós faktorra, amely a fűtés szabályozásának minőségétől függ. Úgy találták, hogy az épület időállandójának nincs domináns szerepe.

Manz, H., Menti, U. P. (2012). részletes szimulációs számításokat végeztek különböző üvegezésekre (csak az üvegezést önmagában vizsgálták). Az üvegezés minőségét a g/U hányadossal jellemezték, párhuzamosan az éghajlatot pedig a $\Delta\theta/I_m$ a havi közepes külső belső hőmérsékletkülönbség és a havi sugárzási bevétel hányadosával. Ez utóbbit „climate severity index” -nek nevezik, ami ugyan a lényeget jól kifejezi, de nem azonos más szerzők (Markus, T. (1982), M. Santamouris, M. (2010)) által megfogalmazott és több más paramétertől, nem utolsósorban pedig az épülettől is függő azonos nevű indexszel. A nyári túlmelegedés és a természetes világítás is a vizsgálat tárgyát képezte. Az eredmények északi és déli tájolásokra diagramok formájában állnak rendelkezésre, a melyekben kontúrral kijelölt mezőkből állapíthatók meg az alkalmazható U és g kombinációk, a kontúr határain túl pedig a természetes világítás vagy a nyári túlmelegedés szempontjából kritikus kombinációk vannak.

Kalema, T., Pylsy, P. (2008). elsősorban az észak-európai éghajlati adatokkal hat különböző szimulációs eljárással végzett számítások eredményeit elemzi. Családi házakat és többszintes lakóépületek közbelső lakásait vizsgálták. Az üvegezett felületek tájolása annyiban reális volt, hogy a szokásos építészeti megfontolások alapján több égtáj között osztották meg az ablakokat. Megállapítják, hogy az EN 832 és az ISO 13790 havi módszerrel számított hasznosítási tényezői a fűtésre elfogadható közelítést ad, ha az épület időállandója legalább 50 óra. A hűtés energiaigényét illetően azonban 40% hibát is találtak. Felvetik azt a kérdést, hogy az említett szabványok szerint számított hasznosítási tényezők a PASSYS projekt eredményein alapulnak-e, ugyanis a közelítő összefüggések háttére nem tisztázott.

Dick van Dijk (2013) előadása áttekintést ad az energiafogyasztás számítási módszereiről és arra a megállapításra jut, hogy megbízható eredményeket csak szimulációs eljárással lehet szerezni. Tekintettel arra, hogy a vizsgálat aktualitását az épületek energetikai tanúsítványainak bevezetése adta, különös hangsúlyt kap a reprodukálhatóság.

Yohanis, Y.G., Norton, B. (1999). cikke elsősorban irodaépületekre fókuszál, amely az adott épületkategóriában értelemszerűen fontos világítási és hűtési energiaigényekre is kitér. A fűtés energiaigényét illetően kiemelendők a zónák közötti energiaáramok hatása a nyereségáramok hasznosulására. Bár első látásra ez a folyamat az irodaépületekben jelentős, véleményünk szerint valójában a családi házak esetében is, sőt fokozottan számolni kell vele: míg az irodaházak esetében sok azonos fekvésű, tájolású, igénybevételű helyiség képez egy zónát, addig egy családi ház esetében szinte biztos, hogy a jellemzően négyféle tájolású, funkciója miatt többféle üvegezési arányú és az igénybevétel tekintetében igen sokféle helyiségek ha kis méreteken is, de nagyszámú zónát képeznek.

A Minister of Natural Resources Canada (2001-2004) kanadai családi házakat elemez a passzív sugárzási nyereség hasznosítása szempontjából. A módszer helyessége megkérdőjelezhető, mert a veszteségekben nem szerepel a szellőzés, a nyereségáramok közül pedig hiányzanak a belső hőforrások.

Hoes, P., Hensen, J.L.M. (2016) szerint ismert tény, hogy az üvegezett szerkezetek jelentős passzív sugárzási nyereséggel befolyásolják az épületek energiamérlegét. Ez természetesen függ egyrészt az üvegezés és az ablak energetikai jellemzőitől (a kettő nem ugyanaz!), a hőátbocsátási és az össz-sugárzásátbocsátási tényezőitől, illetve ezek

egymáshoz viszonyított arányától (g/U), másrészt a tájolástól és az éghajlati feltételektől, mely utóbbit a „climate severity index” alkalmazásával lehet kifejezni. Ezek együttes hatását a legegyszerűbben az ablakok egyenértékű hőátbocsátási tényezőivel lehet kifejezni, ez azonban csak egy durva közelítés, amely az épület számos energetikai jellemzőjének hatását nem tartalmazza és aligha fejezi ki a sugárzási nyereség hasznosulásának mértékét.

A hasznosulás mértékét alapvetően befolyásolja a hőveszteség és a hőnyereség aránya, a Gain Load Ratio: GLR. Ezt lehet a fűtési idény egészére vagy szokásosan havi időszakokra számolni. Az így megállapított hasznosítási fok gyengéje azonban az, hogy a GLR a fűtési hőfokhíd és az adott időszakra halmozott sugárzás bevétel önmagában hordoz bizonytalanságot, tekintettel arra, hogy a fűtési hőfokhíd hossza és értéke függ a sugárzás energiahozamától: különösen az átmeneti hónapokban a fűtési határhőmérséklethez közeli tartományban, tehát az, hogy mennyi ideig is van szükség a fűtési rendszer üzemeltetésére a sugárzás intenzitásától függ. Ezzel együtt a GLR tényező az egyszerűsített számítási módszerek többségében megjelenik.

Befolyásolja az energiamérleget az épületek használatával együttjáró belső hőterhelés (háztartási fogyasztók, világítás, emberek hőleadása). Vitatott, hogy ezeket a passzív sugárzási nyereséggel összevonva, a kettő együttesére számolva kell-e a hasznosítási fokot megállapítani. A gyakorlatban többnyire a belső források hasznosítási fokát 1-nek tekintve külön számítják a passzív sugárzási nyereség hasznosulásának mértékét, ez azonban a fűtési határhőmérséklethez közeli külső hőmérsékletek mellett bizonytalanságokhoz vezet.

A passzív sugárzási nyereség hasznosulását befolyásoló tényezők közül a legtöbb gyakorló szakember az épületek hőtároló képességét említené. Ez nem pontos: a lényeges jellemző az épület időállandója, amely nemcsak a hőtároló képességtől, hanem az egységnyi belső-külső hőmérsékletkülönbséghez tartozó fajlagos hőveszteségtől is függ. Jól hőszigetelt épületek esetében az időállandó akár a néhányszor tíz óra nagyságrendet is elérheti. A hivatkozott publikációk több olyan módszert is bemutatnak, amely a hőtároló képességet vagy az időállandót nem is veszik figyelembe.

Ennél fontosabb lehet az épületek egyes zónái között kialakuló hőáramok szerepe, amelyek hatása csak a konkrét épület alapján ítéltető meg. Általában vélelmezhető, hogy ezen áramok kiegyenlítő szerepe az épület egészére kedvező, kérdésként felvethető, hogy a hasznosulást az épület egészére vagy egyes zónáira, helyiségeire külön-külön értelmezzük-e.

Több publikációban merül fel az az igény, hogy a fűtési rendszer szabályozásának minőségét jellemző korrekciós faktor alkalmazására is szükség lenne. Ha ugyanis a tökéletlen szabályozás miatt túlfűtés alakul ki, akkor ez egyrészt energiafogyasztással jár, másrészt az előírtnál magasabb belső hőmérséklet miatt a passzív sugárzási nyereség hasznosítási foka csökken. Az igény felvetésén túl azonban a gyakorlatban nem terjedtek el ilyen korrekciós faktorok.

A különböző módszerekkel végzett számítások eredményei tetemes eltéréseket mutatnak. Ezért az a vélemény vált általánossá és az alkalmas szoftverek finomításával gyakorlattá, hogy az energiamérleget az év minden órájára kiterjedő dinamikus szimulációval számoljuk. Ezzel felvillant a lehetősége annak, hogy egyes kérdéseket szabatosan megválaszoljunk, például a sugárzási nyereség hasznosítási fokát. A lehetőség

azonban csak látszólagos, az egyes részletek „szétszalazása” hamis eredményre vezet. Látszólag lehetséges például egy helyiség hasznosított nettó sugárzási nyereségét szimulációs eljárással úgy megvizsgálni, hogy a helyiséget egyrészt eredeti ablakaival, másrészt 0 sugárzásátbocsátású ablakokkal számoljuk: a két eredmény különbsége csak közelítőleg jellemzi a hasznosított sugárzási nyereséget, e képzelt steril állapotokhoz képest a valós körülmények között megjelennek a belső hőforrások is, amelyek befolyásolják a sugárzási nyereség hasznosulását.

2.2. Szellőztetett ablakok

A vizsgált források egy csoportja a „szellőztetett ablak” témaköréhez köthető. A megnevezés szakmai körökben többnyire ismert, de félreértésekre is okot adhat. Olyan megoldásokról van szó, ahol a helyiségbe belépő vagy az onnan távozó levegő az ablak két üvegezése között áramlik át. Ez befolyásolja a transzmissziós veszteséget, a sugárzási nyereséget és mindenekelőtt a szellőzés energiaigényét. Bizonyos értelemben hővisszanyerő rendszerekről van szó: amennyiben beáramlás történik, akkor a belső oldali üvegezésen át távozó transzmissziós veszteség egy része hasznosul a belépő levegő előfűtésére, kiáramlás esetén viszont a távozó levegő hőtartalmának egy része hasznosul a belső üvegezésen át távozó transzmissziós hővesztés csökkentésére.

Ez a koncepciója a kéthéjú homlokzatoknak. A szellőztetett ablak a kéthéjú homlokzat méreteit tekintve elemi megjelenési formája. A kéthéjú homlokzatokat elsősorban irodaházakon alkalmazzák. Mivel vizsgálataink elsősorban lakóépületekre és azok felújítására irányulnak a kéthéjú homlokzatokat taglaló irodalmi források elemzését mellőzzük, mivel azok az irodaházakra jellemző szerkezeti megoldásokat és üzemeltetési módokat taglalnak.

Carlos, J.S. et al. (2010) bemutatják, és kísérleti berendezésen végzett mérésekkel igazolják a szellőztetett ablak koncepciót, a levegő előmelegítés és a távozó levegő hővisszanyeréses üzemmódokat valamint a sugárzási nyereség hasznosítását, és egyúttal azt is, hogy a szellőztetett ablak alkalmazásával jelentős fűtési energiaigény takarítható meg. Bemutatnak szimulációs eredményeket is, megjegyezve, hogy bár az eredmények biztatóak a modell fejlesztésre szorul.

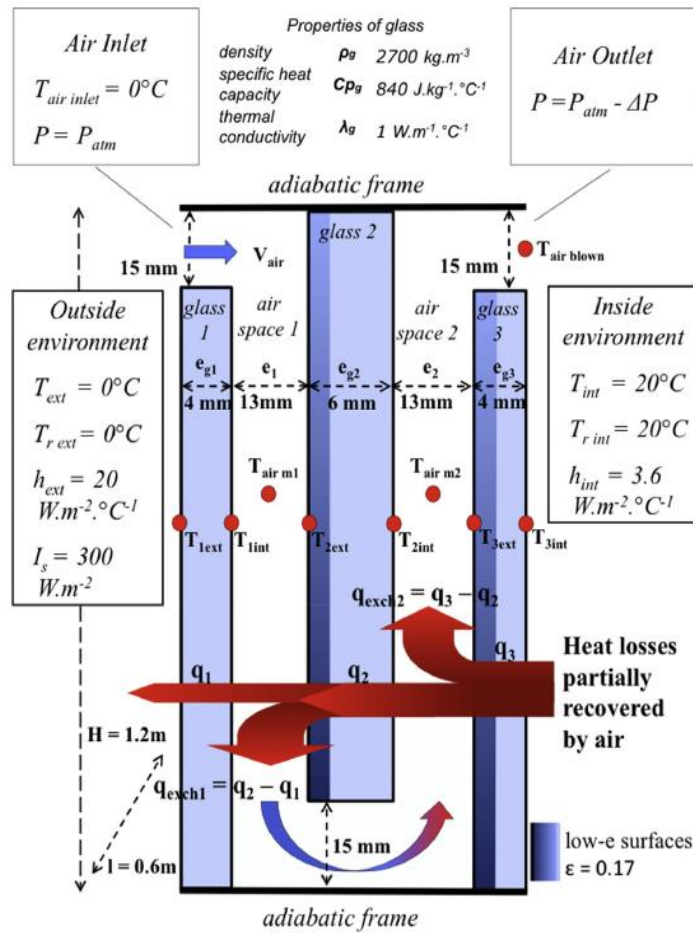
Carlos, J.S. et al. (2011) igen alapos elemzést adnak a levegő előmelegítésének szerepéről arra az esetre, ha a szellőztetett ablakban a légáramlás a felhajtóerő és a szél hatására jön létre. A szerzők kétféle szerkezeti megoldást vizsgáltak valós körülmények közötti mérésekkel, szimulációval. A mérések egyaránt kiterjedtek az áramlástechnikai és a hőtechnikai jelenségekre. A mérések alapján finomították a szimulációs eljárást elérve ezzel azt, hogy a mért és a számított eredmények igen jó egyezést mutassanak. Megállapították, hogy a levegő előmelegítésével jelentős energiamegtakarítás érhető el, nem mulasztva el azt a megjegyzést, hogy ennek mértéke függ a mögöttes helyiség hőtechnikai jellemzőitől is.

Ugyanezen szerzők másik publikációjukban Carlos, J.S. et al. (2012) is megerősítik megállapításait. A szellőzőablak bármely tájolás esetén alkalmas, de legelőnyösebb a déli tájolás esetén.

Appelfeld, D., Svendsen, S. (2011) a szellőztetett ablakot állandó, 20 K belső-külső hőmérsékletkülönbség mellett, szabályozott szellőzőlevegő térfogatáramokkal vizsgálták szabványos „guarded hot box” eljárással. A mérési eredmények egyértelműen igazolták a

szellőző levegő előmelegítésével elérhető energiamegtakarítást, amely a térfogatáram növekedésének szigorúan monoton, de egyre lassabban növekedő függvénye a térfogatáram reális tartományában.

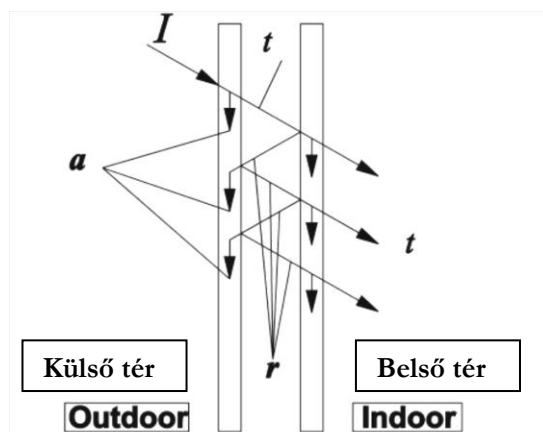
Gloriant, F. et al. (2015) a háromrétegű szellőztetett ablak vizsgálatával foglalkoznak, melynek elvi sémáját mutatja a 2.1. ábra. A levegő az üvegrétegek között, az azokon kialakított alsó és felső nyílásokon át áramolhat. A beáramlás létrejöhet a felhajtóerő következtében vagy azért, mert az épületben elszívó szellőzés miatt depresszió van. A kifelé áramlás nyáron a túlmelegedés ellen véd (véleményünk szerint csak akkor, ha a kiáramló levegő hőmérséklete alacsonyabb, mint a külső levegőé.) Ventilátorok alkalmazásával ugyanazon szerkezetben egyidejű be- és kiáramlás is lehetséges, ebben az esetben a közbenső üveg hőcserélő felületként működik, ehhez a változathoz azonban több szabályozható szellőzőnyílásra van szükség.



2.1. ábra. A háromrétegű szellőztetett ablak elvi sémája. Forrás: Gloriant, F. et al. (2015).

CFD modellt dolgoztak ki, összevetették egy ABS modellel, ami egy egyszerűsítése az előzőnek, főleg a hőátadási tényezőket tekintve. A számított eredmények azt mutatják, jelentős fűtési energiaigény megtakarítás érhető el a levegő előmelegítéssel.

Carlos, S., Corvacho, H. (2015) szellőztetett ablakok g értékének alakulását vizsgálják. (2.2. ábra). A rendszer belső légfüggönyös üzemmódban működik. A külső üvegezés mindig egyszeres volt, míg a belső oldalon egyszeres, reflexív bevonatú egyszeres és normál kétszeres üvegezést vizsgáltak.



2.2. ábra. Egyszerű napsugárzási energiacsere két párhuzamos üvegtábla között.
 Forrás: Carlos, S., Corvacho, H. (2015). Az ábrán I : az üvegezés külső felületét érő sugárzás intenzitás, W/m^2 , a : az üvegezés abszorpciós tényezője, r : az üvegezés reflexiós tényezője, t : az üvegezés transzmissziós tényezője, $-$.

Az eredmények közlésének formája elég sajátos: az üvegezés össz-sugárzásátbocsátási tényezőjét közlik az üvegezési arány, a levegő térfogatáramának és a belső-külső hőmérséklet különbségének diszkrét értékeire. Természetesen az üvegeknek önmagukban a sugárzás átbocsátási tényezője nem változik, de az össz-sugárzásátbocsátási tényezőben (g érték) az elnyelt és az üvegről a helyiség felé leadott hosszúhullámú sugárzás és konvektív hőáram is beszámítandó. Szellőztetett ablak esetében utóbbiak függenek az áramlási viszonyoktól is. A tanulság, hogy a g érték az áramlási viszonyoktól is függ, mert ha az üveg hőmérséklete megváltozik, akkor megváltozik (hatványfüggvény szerint) az általa kibocsátott hosszúhullámú sugárzás is, a konvektív hőleadás pedig különösen, ezért csak elegendően részletes szimuláció vezet eredményre.

Wei, J. et al. (2010). A korszerű üvegezések energiamérlegét vizsgálják. A vizsgálat kiterjed a vákuumos alacsony emissziójú felületbevonatolású és vákuumos közbelső lamellás mellett egy kettős áramútú szellőztetett ablakra is, amelynek közbelső üvegtáblája hőcserélő felületként és valamennyire abszorberként is működik. A kidolgozás során fejlesztik a használt Energy Plus szoftvert is.

Az idézett publikációk egyértelműen bizonyították, hogy az előtétablak előtétzónáján átvezetett levegő mind beáramlás, mind kiáramlás esetén további

vizsgálatot érdemlő ígéretes lehetőség. A lakóépületek és felújítások körében a gépi szellőztetés egyelőre nem tűnik reális megoldásnak, a spontán módon kialakuló légáram számítása ugyan adott időjárási feltételekre és az épület összes lehetséges áramútjának ismeretében még ha bonyolultan is, de számítható lenne az ablakok, szellőzőszárnyak vagy csappantyúk nyitva tartása esetén, az időjárási feltételek azonban folyamatosan változnak, a nyitott vagy zárt státus pedig a lakók beavatkozásának függvénye. Történtek ugyan kísérletek az ablaknyitási szokások modellezésére, de ezek nem vezettek használható eredményre.

Valentia Fabi et. al. (2015) összehasonlító monitoring alapján drámai különbségeket találtak az épületek energiafelhasználásában (egy dán lakótelepen 20-szoros, németországi épületeken 284%-os eltérést mutatott ki az energiafogyasztásban, egy svájci vizsgálat pedig a tényleges energiafogyasztást 50 %-al magasabbnak találta a becslétnél). A különbségek fő okaként az ablaknyitási szokásokat jelölik meg. Random modell változatokat dolgoztak ki saját és bérelt lakásokra: milyen valószínűséggel nyitnak ablakot. Ami az ablaknyitások számát, gyakoriságát illeti, még elég jó eredményeket kaptak. A nyitott ablak státus időtartamát tekintve azonban 71-88% hiba mutatkozott a svájci és 29-34% a japán modell esetében. Pozitív korrelációt kaptak a CO₂ koncentráció és az ablaknyitás közti összefüggésre, negatívot az ablak zárva tartása és a napfényes órák és a megvilágítási szint között. (ebből arra következtetünk, hogy a nyári félévre vonatkozik a vizsgálat). Eredményként statisztikai jellemzőket közölnek (korrelációs együttható) táblázatokban. Az eredmények energiamérleg számítására nem alkalmasak, de további kutatási irányokat jelölnek ki.

A szellőztetett ablakok a levegő előmelegítése és hővisszanyerés révén figyelemreméltoan javítják a mögöttes helyiség energiamérlegét, ezért alaposabb vizsgálatuk, alkalmazási lehetőségeik feltárása indokolt. A vonatkozó irodalomban számos változatról számolnak be. Saját vizsgálataink irányát természetesen körvonalazni kell. Nem vizsgálunk olyan megoldásokat, amelyek gépi szellőztetést igényelnek, egyrészt azért, mert a lakóépületek felújítása képezi a további elemzések témáját – jelenleg ezek gépi szellőztetése nem tűnik reális megoldásnak, – másrészt azért, mert az a kéthéjú homlokzatok elemzéséhez vezetne, ami nem tárgya értekezésünknek.

2.3. Nyári túlmelegedés kockázata

A téli félévben hasznosítható sugárzási nyereség érdekében alkalmazott nagyobb üvegezési arány nyáron könnyen az épületek túlmelegedéséhez vagy a hűtési energiaigény növekedéséhez vezethet.

Skaff, M.C., Gosselin, L. (2014) CFD modellezéssel vizsgálják a szellőztetett ablak hőnyereségét nyári körülmények között. Kétfajta légáramlást vizsgálnak: a belülről kifelé áramutat és a külső légfüggönyt. A vizsgált változó lényegében a külső üvegezés abszorpciós tényezője, jelen esetben konkrétan a külső üvegezés típusa (gyártmányok szerint azonosítva). Ezek között van kis emissziós bevonatú üvegtől az elektrokromogénikus üvegig több korszerű típus. Nyilvánvaló, hogy az utóbbiak még jó ideig nem fognak megjelenni a lakásépítés és felújítás eszközei között, de az abszorpciós tényezőkre vonatkozó következtetések abban az esetben is helytállóak, ha azok egy, az előtétzónában elhelyezett társított szerkezet tulajdonságaként jelennek meg.

Firlag, Sz. et al. (2015) vizsgálataik monitoringon és szimuláción alapultak. Négy észak-amerikai városban két éven keresztül rögzítették az árnyékoló szerkezetek nyitott-félig zárt-zárt állapotát. Az értékelhetetlen esetek kizárása után kereken 2100 lakás esetében ezt mint alapesetet dolgozták fel. (a helyszínek három éghajlati zónában vannak). Ezt követően hat szabályozási stratégiát dolgoztak ki fiktív automatizált rendszerekre, amelyek vagy az árnyékoló szerkezeteket működtették vagy az elektrokromogenikus üvegek átteresztését változtatták. A stratégiák között időjárási előrejelzésen alapuló is volt, más opciók a belső és a külső hőmérséklet, vagy a sugárzás mérésén alapultak. Esetünkben a legfontosabb a „perfekt lakó” megnevezésű opció volt, ami ideális magatartást és kézi működtetést jelent. A legfontosabb tanulság pedig az volt, hogy a monitoring alapján kimutatott energiamérleg nem volt lényegesen rosszabb, mint a „perfekt lakó” opcióra számított, az átlagos eltérés nem haladta meg a 15%-ot. Természetesen, ha az épületben nincs gépi hűtés, akkor nem erről, hanem a hőérzeti feltételek rosszabbodásáról van szó, ami ha komoly, akkor olyan késztetést jelent a beavatkozásra, amely közelebb viszi a tényleges beavatkozást a „perfekt lakóéhoz”.

2.4. A klasszikus passzív szoláris stratégiák és a közel nulla energiaigényű épületek

Rodriguez-Ubinas, E. et al. (2014) áttekintik a közel nulla energiaigénynek megfelelő követelményeket és vizsgálják azt, hogy a klasszikus passzív szolár építészet eszközeinek milyen létjogosultsága van ebben a körben. 18 épületet vizsgálnak, az éghajlati környezet (Madrid) meglehetősen szélsőségesnek minősíthető a nagy sugárzási nyereségek és (a tengerszint feletti magasság miatt) elég szigorú téli körülmények miatt. A vizsgált klasszikus opciók közül az éjszakai szellőztetés, az evaporatív hűtés és a sugárzó hűtés (ez alatt itt az égboltra irányuló hosszúhullámú lesugárzás értendő) kérdéseire itt nem térünk ki, mivel azok kívül esnek értekezésünk tárgykörén. Részletesen elemzik viszont a geometriai jellemzőket: felület/térfogatarány, üvegezési arány a homlokzathoz viszonyítva – ezt tájolásonként is, – üvegezési arány a padlófelülethez viszonyítva, üvegezett felületek megoszlása tájolásonként, stb. Természetesen számításba veszik az üvegezés és a fal hőtechnikai jellemzőit is. A vizsgált 18 épületben többhetes monitoring folyamán rögzítettek adatokat. Az eredményeket a klasszikus passzív szolár építészet tanulmányainak és segédleteinek megfelelően „psychrometric diagram”-ban is ábrázolták (ez a nedves levegő állapotjelzőit összefoglaló h-x diagram megfelelője más koordináta rendszerben), amelyben az egyes passzív stratégiák alkalmazási területei fedésbe hozhatók a havi és az éves éghajlati jellemzők területeivel. Megállapítást nyert, hogy a klasszikus passzív szoláris stratégiák – így az üvegezési arány, a tájolás – jó eredménnyel alkalmazhatók a közel nulla energiaigényű épületeken is.

Azari, R. et al. (2016) a homlokzatokra szorítkozva, annak hat elemét figyelembe véve mutatják be az életciklusra vonatkozó optimalizációs eljárást. Genetikus algoritmust alkalmaznak, és hat szempontot vizsgálnak (globális felmelegedési potenciál, savas eső, szmogképződés, eutrofizáció, sztratoszferikus ózonréteg károsodása, használati energiafogyasztás). Más szerzőkhöz hasonlóan utalnak a bemenő adatok beszerzésével kapcsolatos nehézségekre – az életciklus elemzés fontosságát általában mindenki elismeri, de az adatok hiánya miatt nem tartják még széleskörűen bevezethetőnek.

Szalay, Zs. (2007), Szalay, Zs. Csoknyai, T. (2013) szerint az életciklus és környezet szempontjából a passzív szoláris energiahasznosítási megoldások előnyösebbnek ígérkeznek az aktív rendszereknél, mert fizikai élettartamuk hosszabb, az épület fizikai élettartama alatt kevesebbszer cserélendő, a karbantartás egyszerűbb és elmaradnak a cserék által óhatatlanul keletkező bontási hulladék elhelyezésének, ártalmatlanításának vagy újrahasznosításának a problémái.

2.5. A mérési módszerek, szimulációs eljárások

Underwood, C. P., Yik, F. W. H., (2004) áttekintik az dinamikus épületenergetikai szimulációs módszereket, kiemelve, hogy az épületek energetikai problémái összetett kölcsönhatásokkal járnak. Felvázolják az épületek energetikai és környezeti analízisének kulcsfontosságú lépéseit, majd a módszertani hierarchia szerint alkalmazott különféle módszereket. Röviden ismerteti a legfontosabb szimulációs programokat, közöttük a moduláris felépítésű szabad hozzáférésű, nyitott forráskódú, white-box Energy Plus programot.

Monetti, V. et al. (2015) dinamikus épületenergetikai szimulációs modell kalibrációs eljárását mutatják be. A felhasznált anyagok, megépített szerkezetek műszaki jellemzőinek előírásokban, szabványokban megengedett mértékű eltéréseit (tűréseit) nem túllépve elvégzik egy Energy Plus épületmodell mért adatok alapján történő kalibrálását. A kalibráláshoz a GenOpt alkalmazást használják sikerrel.

Carlos, J.S. et al. (2011) a Portugáliában használatos kettős ablakok levegő előmelegítésre történő használatának lehetőségét vizsgálták. A kettős ablak rendszert célszerűen elhelyezett szellőzőnyílásokkal egészítették ki. A külső levegő a külső ablak alsó részén lép be, és a két ablak felett lévő redőnytökhöz hasonló gyűjtőkamrán keresztül lép be a helyiségbe. A helyiségből a belső oldali ablakon át kilépő hő valamint a napsugárzási nyereség felmelegíti a két ablak között lévő levegőt, így a felső nyíláson át a helyiségbe belépő levegő magasabb hőmérsékletű mint a külső levegő. Két változatot vizsgáltak, az 1. változatban mindkét ablak egyrétegű, a 2. változatban a belső ablak kétrétegű üvegezéssel. A vizsgálatokhoz mérőfülkét készítettek, amelyen az 1. és 2. változatú szerkezet egymás mellett, egy 1,43x1 méteres nyílásban került elhelyezésre. Az ablakok közötti távolság (légréteg vastagsága) 9 cm volt. Mérték az ablakokat tartalmazó homlokzatra eső teljes rövidhullámú sugárzást, a szélességet és szélirányt a mérőfülke felett 1 méterrel, a levegő hőmérsékleteket több ponton (külső, belső és az ablakszerkezet között középmagasságban és felül), a fülkéből kilépő levegő sebességét. A számításokhoz koncentrált paraméteres modellen alapuló szimulációs programot fejlesztettek, amely három iterációs hurkot tartalmaz. Az első lépésben meghatározásra kerül a levegő térfogatárama a gravitációs felhajtóerő, a szélesség alapján. A második iterációs hurok a hőátadási tényezőt határozza meg figyelembe véve a sugárzásos és a konvektív hőátadási tényezőt és ez utóbbi függését a felületi hőmérséklettől és a levegő sebességétől. A harmadik iterációs hurok pedig meghatározza az áramló levegő hőmérsékletét és a levegő a fizikai paramétereit a hőmérséklet függvényében. Amennyiben ez a hőmérséklet a megengedettnél nagyobb mértékben eltér a legutolsó iterációs lépésben kapott eredménytől az iterációs ciklus újra indul. A kapott eredményeket a COMIS szimulációs program eredményeivel és a mérőfülke mérési eredményekkel hasonlították össze. Az egyezés kielégítő pontosságú volt. A közölt

eredmények a rendszer energiamérlegére és hőnyereségére vonatkoznak a külső-belső hőmérséklet különbség és a napsugárzási nyereség függvényében különböző szellőzőlevegő térfogatáramoknál. Eredményként megadják az energiamérleget, amely a szerkezet nyereségeinek és veszteségeinek különbsége. A nyereség az ablakon át a helyiségbe jutó napsugárzási energiaáram és a helyiségből a belső oldali ablakon át távozó hőáram visszanyert részének összege (utóbbi az ablakon átáramló szellőző levegő révén jut vissza a helyiségbe). A veszteség a helyiségből az ablakon át távozó hőáramnak és a helyiség számított szellőzési veszteségének összege (utóbbi a belső és a külső hőmérséklet különbségére számítva). A napsugárzási nyereség nélküli vizsgálat eredményei azt mutatják, hogy bár a szerkezet energia mérlege veszteséges, de mégis rendelkezik termikus nyereséggel, amelyet a légrésen belül áramló levegő biztosít a belső ablakon kiáramló hő részleges visszanyerésével. A napsugárzás intenzitás növekedésével a szerkezet hőmérlege egyértelműen javul. Állandó napsugárzási energiaáram mellett az alacsonyabb szellőzőlevegő térfogatárammal magasabb energiamérleg (ld a korábbi definíciót) érhető el, bizonyos esetekben a kisebb levegő térfogatárammal nyereségessé tehető az energiamérleg. Ehhez azonban fontos megjegyezni, hogy ez csak azért van így, mert az ablak levegő térfogatárama egyúttal a helyiség teljes szellőző levegő térfogatárama, azaz a csökkenéssel nem csak az ablakon átáramló levegő térfogatárama csökken, hanem az energiamérlegben szereplő szellőzési veszteség is. (ezen megjegyzés nélkül ez az eredmény azt sugallhatja, hogy a szellőztetett ablak szellőztetés nélkül adja a legjobb eredményt). A kettős szellőztetett ablak egyrészt hővisszanyerőként működik a helyiség hőveszteségeivel kapcsolatban és napkollektoraként a napsugárzás hasznosítása szempontjából. Az 1. típusú rendszer jobban teljesít hővisszanyerőként, a 2. típusú rendszer jobban teljesít napkollektorként. A szellőztetett dupla ablak bőséges termikus teljesítménye a hideg természetes szellőzés alternatívájaként kínálja magát. Rámutatnak a mindennapi gyakorlati tervezés nehézségeire az ilyen rendszerekkel kapcsolatban, mivel a modellezésénél figyelembe kell venni az épület egészét, ahol dinamikus kölcsönhatások vannak több zóna és a környezeti feltételek között, amelyre megoldást a szimulációs programok jelentenek, azonban azok a tervezési gyakorlatban nehézkesen használhatók.

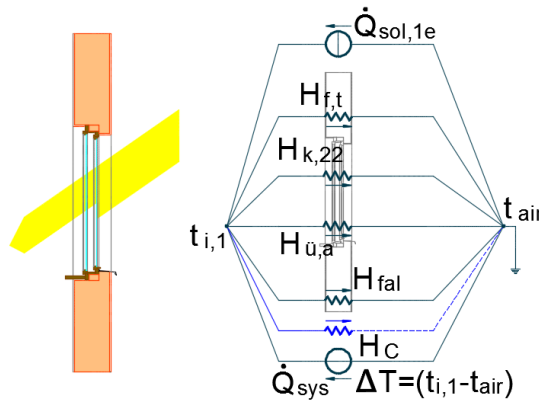
Kalmár F. (2016a), Kalmár F. (2016) a üvegezett felületek operatív hőmérsékletre gyakorolt hatását vizsgálja nyári körülmények között. A magasabb felületi hőmérsékletek magasabb operatív hőmérsékletet eredményeznek.

3. Anyag és módszer

3.1. Hőáramhálózati modellek

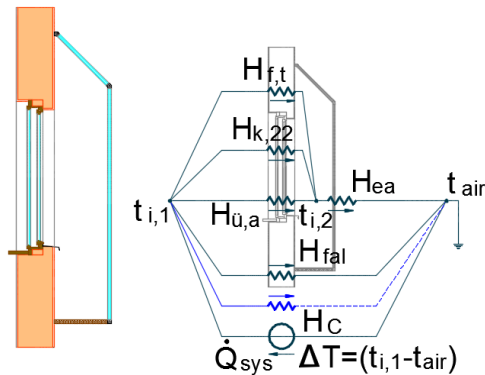
Az alábbiakban szerkezeti vázlatok és a főbb transzportfolyamatokat áttekintő statikus hőáramhálózati sémák segítségével ismertetésre kerülnek az előtétablak különféle üzemmódjai és azok energetikai hatásai.

Elsőként a 3.1. ábrán látható a kiindulási állapotot jelentő előtét ablak nélküli hagyományos ablakszerkezet szerkezeti vázlata és a statikus hőáramhálózati sémája.



3.1. ábra. Hagyományos ablak

Az előtét ablak energetikai hatása függ a használat módjától. Alapesetben az eredeti és az előtétablak együttesét tekinthetjük „ablaknak”, amelynek szerkezeti vázlatát és mellette a főbb transzportfolyamatokat áttekintő statikus hőáramhálózati sémáját az 3.2. ábra mutatja.



3.2. ábra. Pufferhatás

Az előtétalak, az eredeti ablak és az előtétalakkal takart falfelület eredő hőátviteli tényezője a következő összefüggéssel határozható meg.

$$H_e = \frac{(H_{f,t} + H_{ü,a} + H_{k,22})H_{ea}}{H_{f,t} + H_{ü,a} + H_{k,22} + H_{ea}} \quad (3.1)$$

ahol:

$H_{f,t}$ a takart falfelület hőátviteli tényezője, W/K

$H_{ü,a}$ az eredeti ablak üvegezésének hőátviteli tényezője, W/K

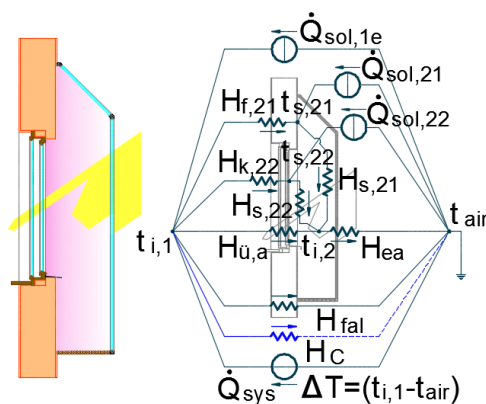
$H_{k,22}$ az eredeti ablak keretének hőátviteli tényezője, W/K

H_{ea} az előtétalak hőátviteli tényezője, W/K

H_e az előtétalak, az eredeti ablak és az előtétalakkal takart falfelület eredő hőátviteli tényezője, W/K

A 3.2. ábra csak a transzmissziós veszteségeket tartalmazza. Természetesen a helyiség szellőzését biztosítani kell, amelyet a hőáramhálózati sémán a H_C formális kapacitív hőátviteli tényező fejez ki (Imre L. 1983.), azonban ebben az esetben a szellőző levegő az előtétalaktól független úton kerül a helyiségbe.

A 3.3. ábra már a szoláris nyereséget is figyelembe veszi, azonban a transzmissziós és sugárzási energiamérlegét a szellőztetés nem befolyásolja.

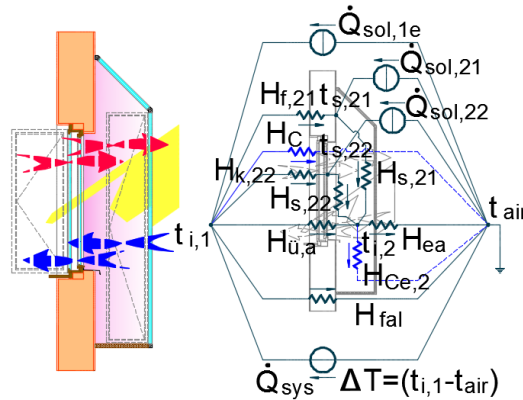


3.3. ábra. Puffer-, és üvegházhatás

A helyiség szellőztetése (a téli félévben) „természetes” úton, az ablakok többszöri, rövid ideig tartó megnyitásával történik. Ebben az esetben a mögöttes helyiség szellőzési energiaigénye és az ablak konstrukciója között nincs szoros összefüggés. A transzportfolyamatokat hőáramhálózati sémán a 3.4. ábra mutatja be.

A keresztzellőzés miatt az előtétzónában fellépő hőveszteséget a $H_{Ce,2}$ formális kapacitív ellenállás jelöli a hőáramhálózati sémán.

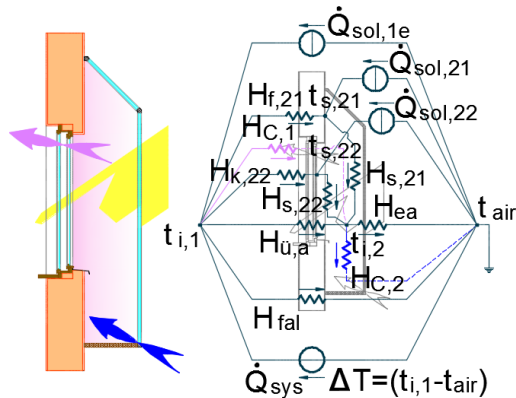
Amennyiben az ablakszerkezet kellően légtömör, ami egy új konstrukciótól elvárható, a rövid ideig tartó intenzív szellőztetések közötti időszakban a szerkezet tiszta puffer -, és üvegházhatás üzemmódban működik, azaz ekkor a 3.4. ábrán jelölt $H_{Ce,2}$ és H_C formális kapacitív hőátviteli tényező elhanyagolható.



3.4. ábra. Szellőztetés az előtétzónán keresztül rövid ideig tartó átszellőzéssel

Az előtétablak lehetőséget ad a szellőző levegő előmelegítésére, amelynek energiaigényét részben az előtétzónában kialakuló üvegházhatás, részben az eredeti ablakon át kialakuló transzmissziós energiaáram fedezi. Erre az esetre a transzport folyamatokat a 3.5. ábra mutatja be. Azonos körülmények között a $H_{C,1}$ és $H_{C,2}$ valamint a 3.3. ábrán feltüntetett H_C formális kapacitív hőátviteli tényezők egyenlőnek tekinthetők. Látható, hogy amíg az 3.3. ábra szerinti kapcsolásban a H_C a hálózat $t_{i,1}$ és t_{air} végpontjait köti össze, azaz a teljes hálózattal párhuzamosan kapcsolódik, addig a 3.5. ábrán szereplő kapcsolásban ugyanazokat a hálózati végpontokat a hálózaton belül a $H_{C,1}$ és $H_{C,2}$ egymással sorba kapcsolva köti össze. Mivel mindhárom formális kapacitív hőátviteli tényező egyenlő, a 3.5. ábra szerinti kapcsolás a hálózati végpontok között nagyobb eredő ellenállást eredményez.

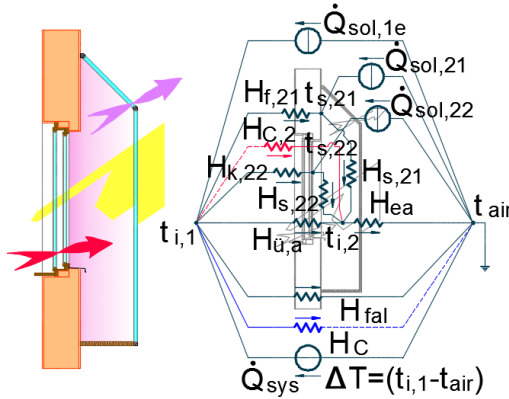
Az előmelegítés mértéke az időjárási körülményektől függ. Az energiaigény vizsgálata során ki kell zárni azt, hogy a szükségtelen mértékű levegő előmelegedésből származó nyereséget energiamegtakarításként könyveljük el, hiszen ez okozhatja a helyiség túlfűtését is, amely ellen a helyiségben tartózkodók keresztzellőzéssel védekeznek.



3.5. ábra. Levegő előmelegítés

Az előtét zóna a helyiségből távozó levegő útvonalába is bekapcsolható. Ennek akkor van értelme, ha a helyiségből távozó levegő hőmérséklete nem alacsonyabb, mint az előtétzónában lévő levegő hőmérséklete. Az ilyen, távozó-levegő hőhasznosítás üzemmódot mutatja az 3.6. ábra. A frisslevegő felmelegítése teljes mértékben a helyiségben történik a fűtőberendezés által. Valós esetben a helyiségbe belépő levegő más belső helyiségekből is származhat, ahol már a felfűtése részben vagy teljes egészében megtörtént, és az előtétablak hiányában hőhasznosítás nélkül kidobásra kerülne. Amennyiben azzal számolunk, hogy a frisslevegő felmelegítése teljes egészében a helyiségben történik, a fogyasztás szempontjából legkedvezőtlenebb esetet vesszük figyelembe, amelynél a valóságban kedvezőbb eset is előfordulhat. Ugyanebben az üzemmódban kizárásra kerültek azok az esetek, amikor a távozó levegő hűtené az előtétzónát.

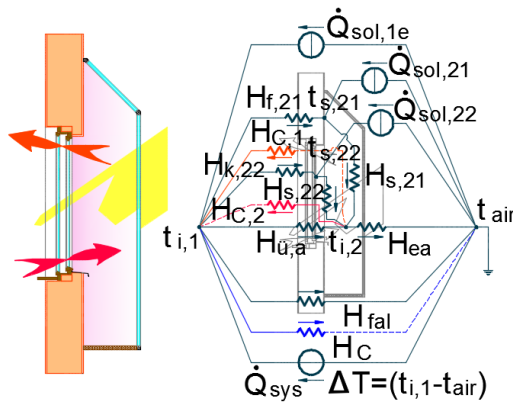
Az, hogy egy helyiségben a légnyomás igény szerint kisebb vagy nagyobb legyen, mint a külső légnyomás, csak gépi szellőztetéssel állítható elő. Természetes szellőztetés esetében a nyomáskülönbség nagysága és iránya számos tényező függvényében pillanatról pillanatra változhat: ezek közül a legfontosabbak: az épület határolófelületein kialakuló nyomáseloszlás (szélirány, szélsébség, turbulencia, hőmérséklet), az ablak elhelyezkedése (geodetikus magasság, azimuth), az épület összes helyiségéből, mint csomópontokból és összes (külső és belső) nyílászáróiból, mint élekből álló hálózat áramútjainak ellenállása. Így ugyanazon az ablakon át a pillanatnyi időjárási helyzettől függően be- és kiáramlás egyaránt létrejöhet. A folyamatos ki vagy beáramlás esetén az éves energiaigények különbözőek lesznek. A két esetre vonatkozó fűtési energiaigények emiatt mindössze a határait jelölik ki annak, hogy az előtétzónán keresztül ténylegesen megvalósuló szellőzés mellett mekkora lesz a fűtési energiaigény.



3.6. ábra. Távozó-levegő hőhasznosítás

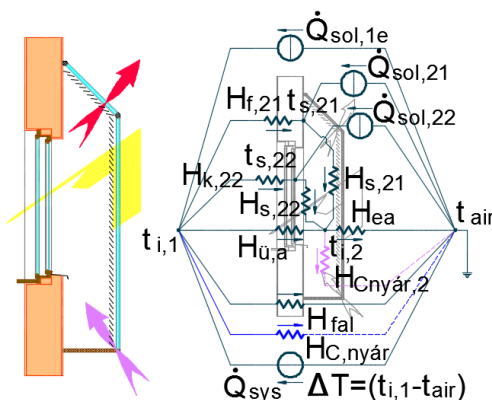
A természetes szellőztetés energiaigénye nyilván függ a lakók magatartásától. Az összehasonlíthatóság érdekében fel kell tételeznünk, hogy valamennyi vizsgált változatban a lakók által fogadosított szellőztetés a higiéniés és komfort igényeknek megfelelő, azonos, ($n=0,5 \text{ h}^{-1}$) légcsereszámot eredményez a lakóhelyiségekben. Erre ugyan nincs garancia, de az ettől való eltérés esélye minden vizsgált változatban egyforma.

A fűtési idény során az előtétablak belső légfüggöny üzemmódban is használható. Amennyiben az előtétzónában a levegő hőmérséklete magasabb, mint a helyiségben, az eredeti ablak szárnyainak nyitásával spontán légkörzés jön létre, ami szintén energiamegtakarítással jár. Ennek hőáramhálózati sémáját a 3.7. ábra mutatja, amelyben a belső légfüggöny üzemmódot a $H_{C,1}$ és $H_{C,2}$ formális kapacitív hőátviteli tényezők jelentik. A helyiség szellőztetést és a frisslevegő felmelegítését ebben az esetben is a helyiségben kell megoldani, ezt jelöli a H_C , formális kapacitív hőátviteli tényező.



3.7. ábra. Belső légfüggöny

Nyári időszakban a külső légfüggöny üzemmód eredményezhet a helyiségben kedvezőbb hőérzetet (ezt a belső hőmérséklet értékek tükrözik), energiamegtakarításról gépi hűtés esetében lehetne beszélni, azonban lakóépületek esetében cél a gépi hűtés nélkül biztosítani az elfogadható hőérzetet, amire az építészeti/épületszerkezeti megoldások – köztük az előtétablak is – lehetőséget kínál. Ebben az esetben az társított mobil árnyékoló szerkezetet az előtétzónában helyezzük el: védett helyen lévén ez ugyanolyan egyszerű és olcsó lehet, mint egy belső oldali árnyékoló. Az előtétablak alsó és felső megnyitásával kialakuló gravitációs légáram miatt azonban ez közel olyan hatékony, mint egy külső oldali árnyékoló. A külső légfüggöny üzemmódot mutatja a 3.8. ábra.



3.8. ábra. Külső légfüggöny

3.2. A modell helyiség

Az előtétablak részletes vizsgálatához használt alapmodell egy 23,04 m² alapterületű, 74,04 m³ térfogatú szoba. Geometriai elrendezését egy adott ablakmérettel és előtétablakkal, déli tájolás esetén a 3.9. ábra mutatja. A modell helyiség egy homlokzati fallal rendelkezik, azon található az eredeti és az előtétablak. A másik három fal belső fal, a padlószerkezet és a mennyezet egyaránt közbenső födécek, amelyeknek a helyiséggel átellenes oldalán adiabatikus peremfeltétel került figyelembevételre. A hatodik, homlokzati határolása és a szellőztetés változataira elemeztem a fűtési energiaigény és a csúcsteljesítmény-igény alakulását. Ez utóbbi nem a méretezési fűtési hőszükséglet, hanem az számítási időlépések alatt előfordult legnagyobb fűtési teljesítmény igény.

A helyiségben reális napi belső hőforrás menetrendet vettem figyelembe (emberek, világítás, háztartási fogyasztók), amely a helyiségben 55 W átlagos teljesítménynek megfelelő belső hőterhelést jelent. A fűtés szabályzását végző termosztáton beállított alapérték 20°C.

Az energia- és teljesítményadatok nagyban függenek attól, hogy milyen falban milyen az eredeti ablak, az elé milyen előtétablakot helyezünk és a homlokzaton milyen a homlokzat eredeti ablakra számított üvegezési aránya (a homlokzati üvegfelület és a

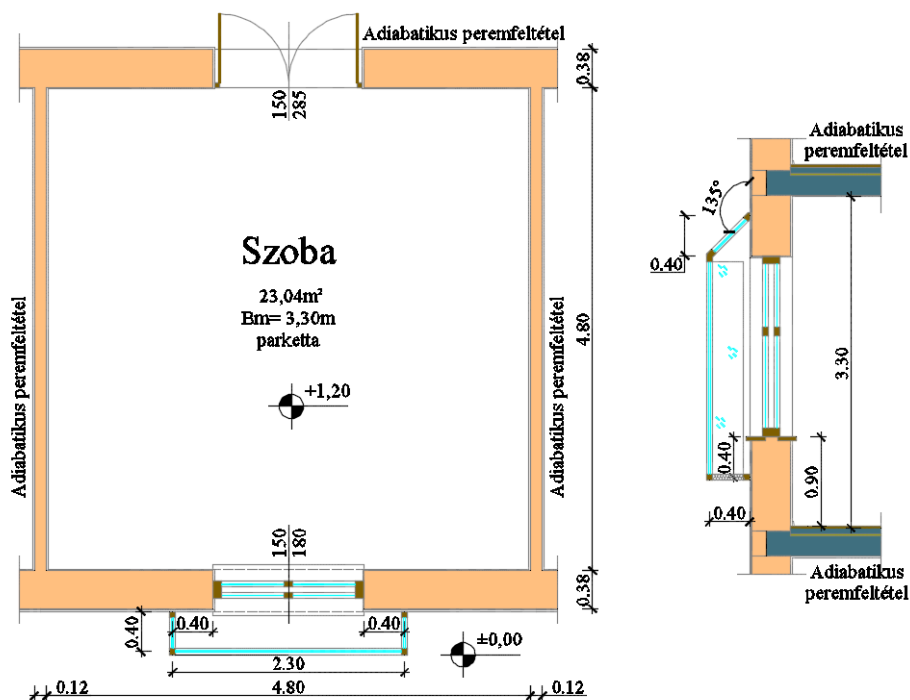
homlokzat területének hányadosa). E bemenő adatok számtalan változatban lennének vizsgálhatók, amelyek közül a következők választása célszerű:

- Hagyományos falazott szerkezet, abban kapcsolt gerébtokos ablak, amely mint kiinduló állapot nagyszámú meglévő épületünkre jellemző. A jelenlegi gyakorlat szerint az ilyen homlokzat felújítása ablakcserével kezdődik. Az ablakcserével járó kényelmetlenség, hulladék mellőzhető és kedvezőbb energetikai eredményeket kínál az előtéblak.

- Jobb minőségű – 2000-től a lakó, iroda és hivatali épületekre jellemző – fal- és ablakszerkezet, amikor is a meglévő ablak minősége és kora nem tenné ésszerűvé annak cseréjét, de az energiamérleg előtéblakkal javítható.

- Hagyományos épület közel nulla energiaigényű szintre felújítva a megtartott eredeti ablakhoz és falhoz, illetve a szigetelt falhoz illesztett előtéblakkal.

- Előtéblak alkalmazása közel nulla energiaigényű új épületekben



3.9. ábra. Modell helyiség alaprajz és előtéblak metszet.

Az előtéblak jellemző méretei a takart homlokzati sáv szélessége az eredeti ablak körül és az előtéblak mélysége (kiülése a homlokzat síkjából). A takart homlokzati sáv szélessége a szerelési, karbantartási és takarítási szempontok miatt célszerűen 40 cm-re választandó, ezért ennek a méretnek az energetikai hatását nem vizsgáltam tovább. Az előtéblak mélysége bizonyos ésszerű tartományban változtatható, ezért ennek a

méretnek az energetikai hatásait a szimulációs modellen részletesen megvizsgáltam. Az előtétablakra jellemző az alkalmazott keret, tokszerkezet anyaga és az előtétablak üvegezése, amelyek hatását szintén vizsgáltam a szimulációs modellen.

A bemutatásra kerülő esetekben a szerkezetek főbb adatait a II. sz. melléklet 1 – 2. táblázatai tartalmazzák.

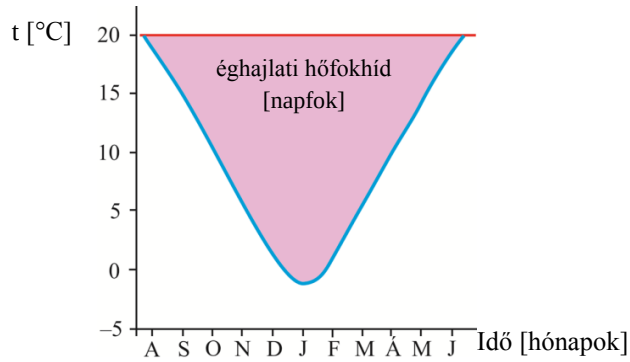
A levegő-előmelegítés üzemmódban a szimulációs modellen megvizsgáltam, mekkora a fűtési energiaigény, amennyiben a túlfűtést okozó esetek kizárásra kerülnek. Amennyiben az előtétzónából 24°C-nál magasabb hőmérsékletű levegő lépne be a helyiségbe, az üzemmód átvált levegő előmelegítés nélküli, tiszta puffer-, és üvegházhatás üzemmódra, és a helyiségbe belépő frisslevegő felmelegítése pedig teljes egészében a helyiségben történik. A vizsgálatokat déli tájolásra végeztem el, az eredmények a II. melléklet 29-30. ábráin láthatóak.

3.3. Számítási módszer

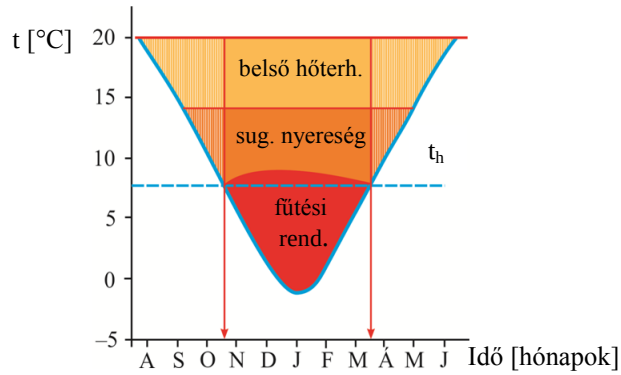
A elemzések egyik fő célja a fűtési energiaigény meghatározása. A korábbi tervezési gyakorlatban erre használt módszerek alapja az a megközelítés, hogy a fűtési energiaigény arányos az adott földrajzi helyre jellemző „fűtési hőfokhíddal”. Ez a megközelítés azonban elvileg hibás: ha valami arányos a hőfokhíddal, az az épületből a környezetbe távozó energia, amelynek azonban csak egy részét fedezi a fűtési rendszer, más részét a passzív sugárzási nyereség és az épület rendeltetésszerű használatával együttjáró belső hőterhelések fedezik.

Az éghajlati jellemzők egyike a klimatológusok által „fűtési foksám”-nak nevezett adat (Unger – Sümeghy 2002.), amely az épületgépészeti szóhasználatnak megfelelően „hőfokhíd” – a félreértések megelőzése végett a továbbiakban „éghajlati hőfokhíd”. Ez éghajlati jellemző: a kívánt belső hőmérséklet t_i és a külső hőmérséklet t_e különbségének integrálja az év azon részére, amikor $t_e < t_i$ (3.10. ábra). A külső hőmérséklet alatt itt és a továbbiakban a napi középhőmérséklet értendő: az épületek nagy hőtehetetlensége miatt az órai értékek ettől való eltérésének az energiamérlegben nincs érdemi szerepe.

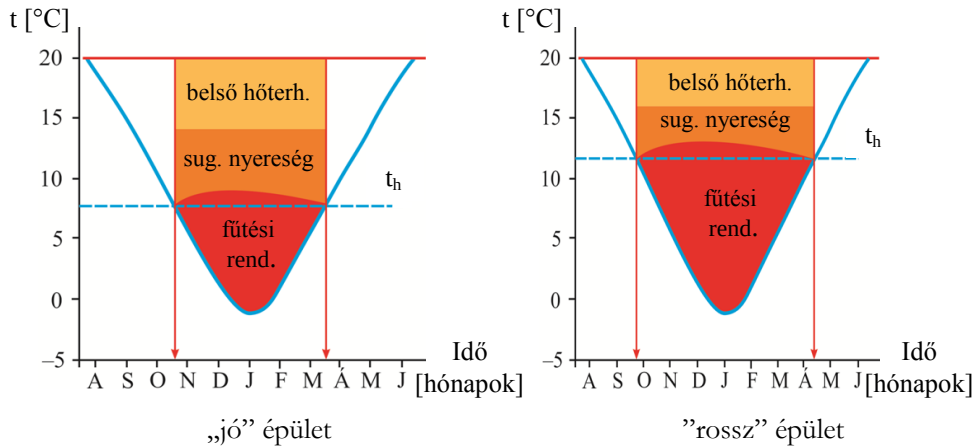
Az épületből távozó energia arányos az éghajlati hőfokhíddal (a 3.10. ábrán rózsaszínnel jelölt területtel). Ezt az előzőek szerint három forrás fedezi. (3.11. ábra). Az, hogy ebben mekkora hányad jut a fűtési rendszerre, az épületfüggő. Tekintsünk egy „jó” és egy „rossz” épületet, ugyanazon éghajlati feltételek között. Mindkettő használati módja, azaz a belső hőterhelése azonos és gyakorlatilag független a külső hőmérséklettől. Azonos az épületet érő sugárzás is. E két forrásból származó energia $t_i - t_e$ belső-külső hőmérsékletkülönbség mellett fellépő veszteséget fedez. (3.12. ábra). A „jó” épületnél ez hányad nagyobb (mert az épület hőszigetelése jó és/vagy az épület elegendő, jól benapozott transzparens szerkezettel határolt), a „rossz” épület esetében kisebb (mert annak hőszigetelése gyenge és/vagy nincs megfelelő arányban jól benapozott transzparens határolása).



3.10. ábra. Az éghajlati hőfokhíd (Zöld A. et al. (2016.))



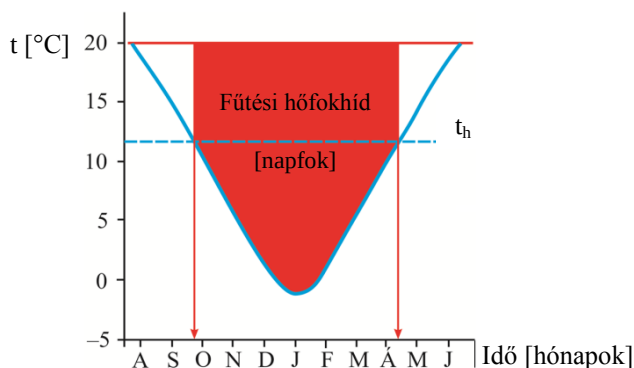
3.11. ábra. Az épület vesztesége, a belső hőnyeresége és sugárzási nyeresége (Zöld A. et al. (2016.))



3.12. ábra. Az épület vesztesége, a belső hőnyeresége és sugárzási nyeresége „jó” és „rossz” épület esetén (Zöld A. et al. (2016.))

Mindkét esetben meghatározható az a külső hőmérséklet (fűtési határhőmérséklet, t_h), amely mellett a belső hőterhelés és a sugárzási nyereség éppen egyensúlyban van a veszteségekkel. Ha a külső hőmérséklet ennél alacsonyabb, akkor szükség van a fűtés üzemeltetésére.

A tervezési gyakorlatban a fűtési határhőmérséklet által meghatározott időtartamra számított „fűtési hőfokhíd” képezi a fűtési energiaigény számításának alapját, anélkül azonban, hogy a belső hőterhelés és a sugárzási nyereség hatását figyelembe vennék (noha ezek nyilván akkor is léteznek, amikor $t_e < t_h$) – mintha az adott időtartamban kizárólag csak a fűtési rendszer fedezné az épület hőveszteségét (3.13. ábra).



3.13. ábra. A fűtési hőfokhíd értelmezése a tervezési gyakorlatban
(Zöld A. et al. (2016.))

A fűtési energiaigény szempontjából mind a hőfokhídnek, mind a sugárzási nyereségnek fontos szerepe van: hogy melyiknek mekkora, az az épület két tágabban értelmezett jellemzőjétől függ. Az egyik az épület veszteségtényezője $[W/K]$, amibe az egységnyi hőmérsékletkülönbség mellett fellépő összes hőveszteség beleértendő. Ennek meghatározása elvileg egyszerű. A másik „sugárzási nyereségtényezőnek” nevezhető, ami függ az épületburok transzparens hányadától, a transzparens felületek tájolásától és sugárzás átbocsátási tényezőjétől – erre általános érvényű összefüggés nem írható fel.

A sugárzási nyereség hasznosulásának mértéke a szakirodalom egyik gyakori témája, amelyet a tervezési gyakorlat nem ritkán fetisizál. A szemlélet itt tisztázásra szorul.

Mikor nem hasznosul a sugárzási nyereség?

- Ha a sugárzás energiakínálata több mint amennyire szükség van ahhoz, hogy az épületben a kívánt belső hőmérsékletet fűtés nélkül fenntartsuk. Ez a többlet nem elveszett, hanem az igény hiánya miatt fel nem használt energia. Megjegyzendő, hogy ebben az időszakban az épület korlátozott mértékű túlmelegedése (2 - 3 K) nem tekintendő problémának, hiszen ez vélhetően nem okoz hőérzeti panaszokat és (főleg a hőfokhíd „töredezett szakaszaiban”) az épületszerkezetekben tárolt hő még hasznosul is.

- Ha a sugárzási energia az előírtnál magasabb belső hőmérsékletet eredményez olyankor, amikor a fűtési rendszer üzemel, mert annak szabályozása nem tökéletes: a szükségesnél nagyobb teljesítményt ad le.

Nem fölösleges megjegyezni, hogy a „rossz épület” a sugárzási energia „kínálatból” többet hasznosíthat, mint a „jó épület”, ugyanis nagyobb az igénye, mert nagyobb a hővesztése. Az más kérdés, hogy ez az sugárzási energia egy rossz épület esetében kis hőmérsékletkülönbséget tud csak fenntartani az épület és a környezet között.

Alacsonyabb fűtési energiaigény akkor érhető el, ha az épület veszteségtényezője kicsi és „sugárzási nyereségtényezője” nagy. E két tulajdonság azonban nem könnyen egyeztethető össze: az épület akkor képes több sugárzási nyereséget „befogadni”, ha jól tájolt felületein a transzparens felületek aránya nagy, a transzparens határolások hőátbocsátási tényezője azonban általában nagyobb, mint az opaque határolásoké, azok a megoldások viszont, amelyek ezt csökkentenék akaratlanul is csökkentik a sugárzásátbocsátási tényezőit.

Egy „eredeti” épület esetében, legyen az akár ötven éves, akár a napokban átadott, a transzparens és az opaque határolások általában harmonizáltak abban a tekintetben, hogy a transzparens határolások hőátbocsátási tényezője nagyobb, az opaque határolásoké kisebb: a korábbi követelményeknek megfelelő épületeknek mind a falai, mind az ablakai rosszul szigetelnek, az újabbaknál pedig mindkét hőátbocsátási tényező kicsiny. Épületfelújítások esetében azonban előfordulhat, hogy ez a „természetes” eredeti arány torzul, sőt akár meg is fordul. Ugyancsak az épületfelújítás következménye lehet az is, hogy a geometriai viszonyok (első látásra jelentéktelennek tűnő) változása, a kávamélység módosulása miatt az ablakok benapozott hányada csökken.

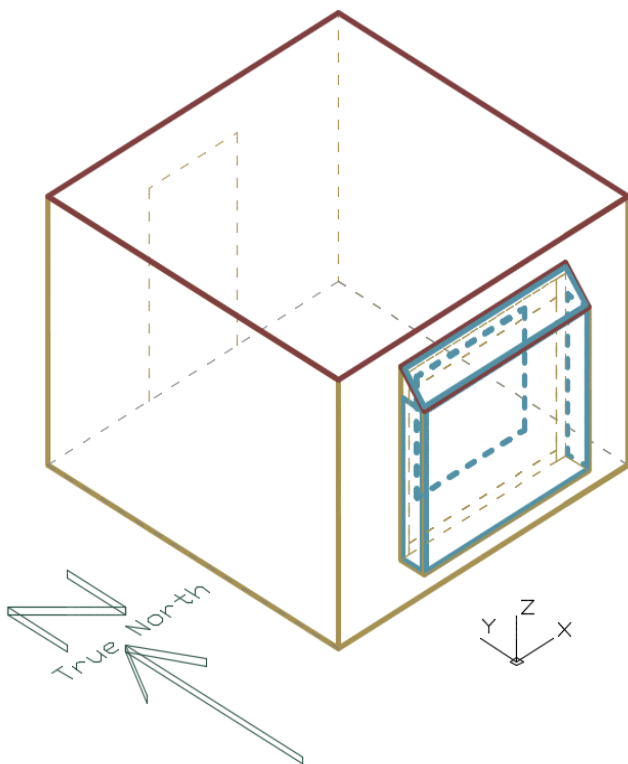
A transzparens hányad növelésével együtt jár az épület nyári túlmelegedése kockázatának vagy a gépi hűtés energiaigényének a növekedése. E gondok kiküszöbölésének vagy mérséklésének legkézenfekvőbb módja az árnyékvető vagy árnyékoló szerkezetek alkalmazása.

A felsorolt tények miatt nyilvánvaló, hogy a fűtési igény a tervezési gyakorlatban használt módszerrel nem határozható meg: részletes dinamikus szimulációra és/vagy kísérleti módszerre van szükség.

Mivel az előtétalak működése szempontjából meghatározó jelentősége van a szoláris nyereségeknek, a számítások elvégzéséhez olyan megoldást kerestünk, amellyel a nagyszámú változatra a számítások hatékonyan elvégezhetőek. Végül a fűtési energiaigények és teljesítmények meghatározását az Energy Plus v.8.4.0 programban felépített dinamikus modellen végeztem. A program szabadon hozzáférhető white-box program, amelyet a nyitott forráskód és a részletes angol nyelvű leírás biztosít. A program tartalmazza a modellépítéshez szükséges elemeket. A program analitikus tesztelése az épületszerkezetekre vonatkozóan az ASHRAE Research Project 1052 szerint, az összehasonlító vizsgálata pedig az ANSI/ASHRAE Standard 140-2011 történt. A validálás dokumentumai hozzáférhetőek a <https://energyplus.net/testing> oldalon. A tömör határoló szerkezetek instacioner hővezetésének számítására véges differencia módszeren alapuló algoritmus is választható: ebben az esetben nem szükséges eldönteni a hőátárolásban részt vevő rétegvastagságot, hanem a felosztás (diszkrétizáció) finomságától és a kívánt pontosságtól függően a hőáramok behatolási

melysége számításra kerül (EnergyPlus™ Documentation, v8.4.0, Engineering Reference).

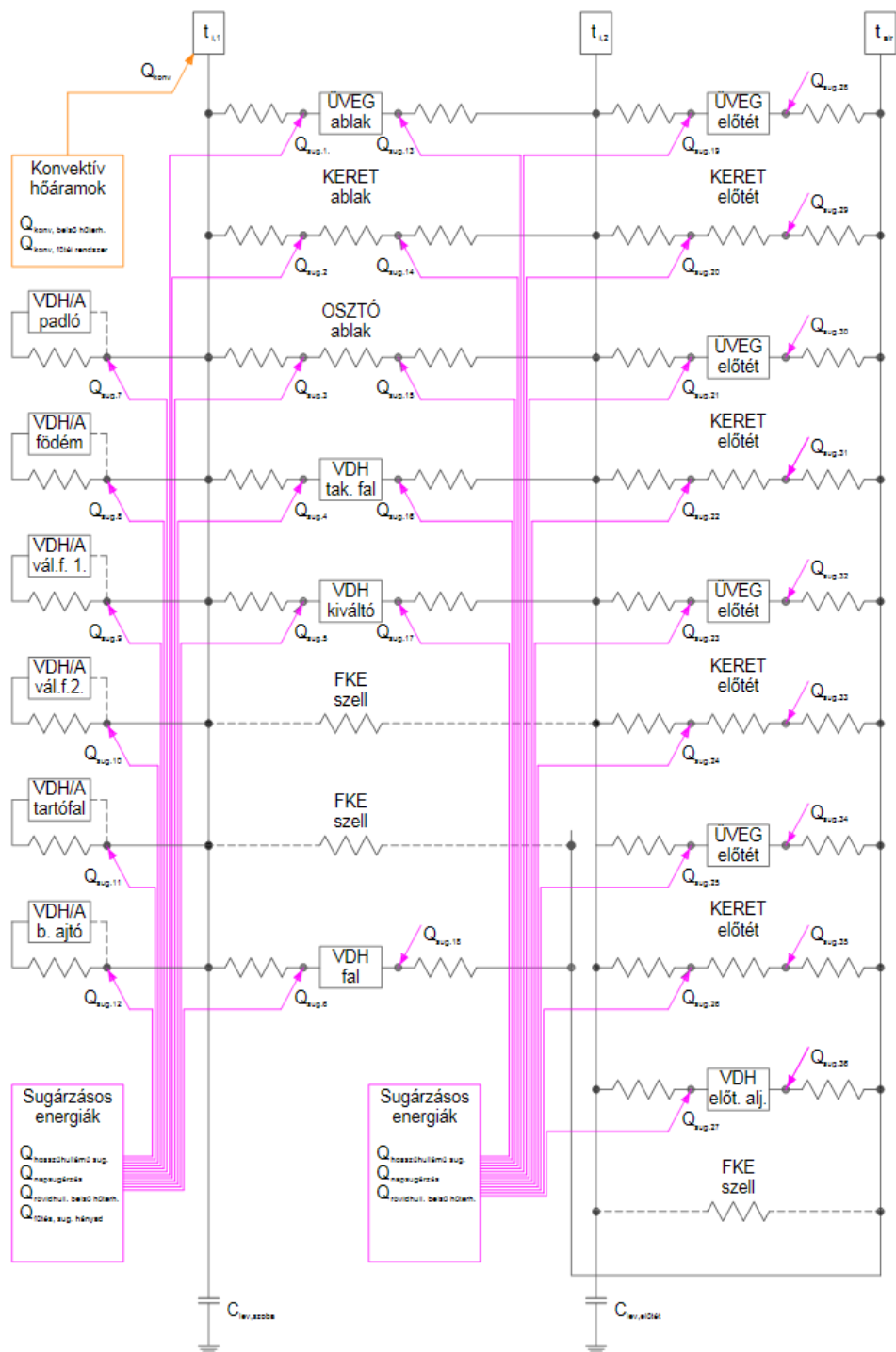
A helyiség geometriai modelljét a 3.14. ábra mutatja (egy adott ablakmérettel és Déli tájolás esetén), a 3.15. ábrán pedig a dinamikus modell elvi sémája látható. Fontos megjegyezni, hogy más modellekre vagy valós épületekre eltérő eredmények adódnának, az eredmények tehát nem a teljes energiaigény abszolút értékei szempontjából értékelendők, hanem az egyes fal, ablak és üvegezési arány kombinációk melletti eredmények különbségei alapján - ez az, ami az egyes ablakváltozatok hatásának megítélésére alkalmas.



3.14. ábra. A helyiség geometriai modellje a szimulációs programban.

A 3.15. ábrán a VDH jelölés a véges differencia hővezetési modellt, a VDH/A pedig a véges differencia hővezetési modellt jelöli, adiabatikus külső oldali peremfeltétellel. Az ÜVEG jelölés az egy vagy többrétegű üvegezés hőátviteli modelljét szimbolizálja.

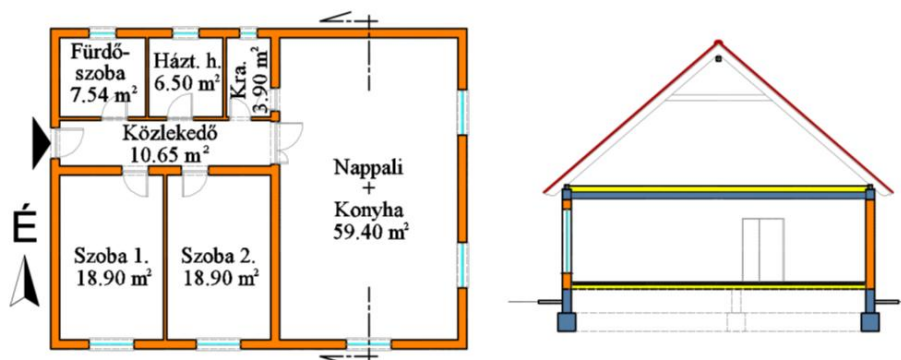
A szimulációkhoz az ASHRAE HUN_Debrecen.128820_IWEC, a GBR_Leuchars.031710_IWEC és a NOR_Bergen.013110_IWEC meteorológiai állományokat használtam.



3.15. ábra. A helyiség dinamikus modelljének elvi sémája.

3.4. A passzív szoláris nyereség vizsgálata többzónás épület esetén

A homlokzat hatásának, a termikus zónák egymásra hatásának, az épület hőtároló képességének és az üvegezési arálynak az épület passzív szoláris nyereségére gyakorolt hatásának tisztázása érdekében egy lakóépület különféle változatainak dinamikus szimulációs vizsgálatát végeztem el (A. Kerekes, A. Zöld, 2016). Az épület általános alaprajzi elrendezését és egy metszetét a 3.16. ábra mutatja.



3.16. ábra. A példaépület alaprajza és É-D irányú metszete

Az egyes változatok szerkezeteit, valamint azok hőtechnikai adatait a II. melléklet 3. táblázata foglalja össze.

A két különböző homlokzati üvegezési arányhoz a következő üvegezett nyílászáró méretek tartoznak. Kis üvegezési arányú változat: Észak: 1,44 m², Kelet: 4,5 m², Dél: 6,75 m² (névleges beépítési mérettel számolt felület). Nagy üvegezési arányú változat: Észak: 1,44 m², Kelet: 4,5 m², Dél: 20,16 m². (a nyugati homlokzaton mindkét változatban csak a tömör bejáratú ajtó található).

A szellőzés légcsereszámja átlagosan $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$. Az emberek és a berendezések hőleadását, valamint a mesterséges világítást óránként bontású menetrend tartalmazza. Az épület fűtését konvekciós hőleadók biztosítják helyiségenkénti szabályozással. Az előírt hőmérséklet 20°C.

A passzív módon hasznosított szoláris energia mértékének kimutatására megvizsgáltam, hogy mekkora egy épület nettó fűtési energiaigénye amennyiben van szoláris nyeresége az épületnek, illetve mekkora ez az érték, ha a transzparens szerkezetek nulla transzmissziós tényezőjű anyaggal kerülnek helyettesítésre. A két nettó fűtési energiaigény közötti különbség az épület passzív módon hasznosított szoláris nyeresége. A módszer előnye, hogy nem csak a fűtési rendszer működésének időtartama alatt hasznosuló szoláris nyereséget mutatja ki, hanem a fűtés működésének időtartamán kívül a szerkezetekben tárolt szoláris nyereségből származó hő fűtési energiaigény csökkentő hatását is.

A vizsgálatot ebben az esetben is az Energy Plus v.8.4.0 szimulációs programmal végeztem el, és az ASHRAE HUN_Debrecen.128820_IWEC meteorológiai állományokat használtam.

3.5. Mérések

Az előtétablak energetikai működését és a kapott szimulációs eredmények helyességét mérésekkel is alá akartuk támasztani. A mérések tervezésénél figyelembe vett főbb szempontok a következők voltak:

1. Az előtétablak energetikai hatása egyértelműen és számszerűen kimutatható legyen, különféle viszonyok (tájolás, szellőzés, stb.) mellett.
2. A kapott eredmények összehasonlíthatóak legyenek a mérőberendezés modelljének szimulációs eredményeivel (a berendezés legyen modellezhető).
3. Legyen alkalmas a nyári túlmelegedés kockázatának értékelésére.

Az első pont elvárásainak való megfelelést két darab, az előtétablak kivételével teljesen azonos paraméterekkel rendelkező helyiségben történő egyidejű mérésekkel kívántam igazolni. A paraméterek egyezősége kiterjedt a méretekre, a felhasznált anyagokra és azok anyagjellemzőire, az építési technológiára, a működés és használat módjára, a szellőzés módjára és mértékére, a fűtési rendszerre, a szabályzó rendszerre, a beállított értékekre, az elhelyezés módjára és helyszínére (egymáshoz közeli helyszín legyen), a tájolásra és így a meteorológiai viszonyokra.

A paraméterek és mérési körülmények szoros egyezése alapján a két helyiségben egyidejű végzett mérések eredményei közötti különbségnek az előtétablaknak (mint egyedüli különbségnek) az alkalmazásából kell származni, azaz ezzel a módszerrel közvetetten, de megbízhatóan kimutatható az előtétablak energetikai hatása.

A második pont teljesítése további követelményeket támaszt, ugyanis nem elégedhetünk meg azzal, hogy az azonos időpontban azonos körülmények között végzett mérések feltételeit biztosítjuk, hanem ezen felül a mérőberendezés szimulációs vizsgálatához szükséges környezeti paramétereket is szükséges mérni.

Mindezen elvárásoknak való megfelelés érdekében két azonos méretű fülke építésére került sor, amelyek azonos helyszínen, azonos tájolással lettek felállítva. A fűtési szezonban azonos üzemeltetési körülmények között rögzítésre került a belső hőmérsékletek és a fűtési energiafelhasználás, a nyári mérés során pedig a belső hőmérsékletek különféle árnyékolások alkalmazása esetén. A tájolás és az üzemmód igény szerint változtatható volt. A helyszínt illetően olyan lehetőség jöhetett számításba, ahol a meteorológiai paraméterek részletes mérése biztosított. Emiatt esett a választás a Debreceni Egyetem Agrometeorológiai Observatóriumára amely Kismacson található {Északi szélesség 47,58° Keleti hosszúság 21,58°}, és ahol a fülkék elhelyezésére lehetőség nyílt.

A fülkék méretének megválasztásánál szempont volt, hogy a szimulációs programban alkalmazott hűtadási tényező modellek alkalmazhatóak legyenek.

A fülkék alaprajzi elrendezése és metszete a II. melléklet 4. ábráján látható. A fülkék különböző tájolások szerinti forgatását segédberendezés nélkül kézi erővel kellett megoldani, ezért a fülkék méretét egyrészt minimalizálni kellett, másrészt a méretek

megválasztásánál a modellezésnél használt összefüggések érvényességi tartományát is figyelembe kellett venni, ezért a fülkék belmagasságát nem csökkentettük 2 méter alá. Az előtáblák nélküli (továbbiakban hagyományos) fülke az előtáblakossal teljesen egyező, csak az előtáblák nem kerül felszerelésre a homlokzatára. A falszerkezetet alkotó XPS hőszigetelő lapok egymáshoz és az OSB-3 burkolatokhoz ragasztással kerültek csatlakoztatásra EPS hab alkalmazásával, amely a kapcsolatoknál biztosította a hőszigetelés folytonosságát. A fülkék nyáron kerültek megépítésre, ekkor 3 réteg lazúr bevonattal kerültek ellátásra, majd a téli mérésekre történő átalakítás során sötétbarna színű homlokzatfestést kaptak a teljes külső felületükön. A mérő és adatgyűjtő műszerek részére egy konzol került elhelyezésre. A transzparens szerkezetek – számolva a szállításból és mozgatásból származó igénybevételekkel – üveg helyett tömör polikarbonátból készültek, amelynek sugárzás átbocsátó tulajdonsága nem különbözik jelentősen az üvegtől. A fülke ablakának részletes méretezését a Berkely Lab WINDOW v7.4.8.0 programmal végeztem el. A szimulációs eredményekre támaszkodva az ablakot magába foglaló fal és az ablakszerkezet hőátbocsátási tényezőjét egy B30-as téglafal és egy kapcsolt gerébtokos ablak hőtechnikai paramétereire igazítottam. A cél az volt, hogy a mérés minél jobban tükrözze az előtáblák hatását, ezért a másik három fal, a padló és a tető alacsony hőátbocsátási tényezőjű szerkezetből készült. A műszerek elhelyezésére kezelőnyílás szolgált. A fülkék egy-egy raklapra kerültek elhelyezésre, rögzítésüket 4 irányban kifeszített lánc biztosította.

A téli mérések célja az energiafelhasználás különbség kimutatása. A fülkébe egy-egy elektromos olajradiátor került beépítésre, egyenként 600 W teljesítménnyel – mivel ez volt a legkisebb teljesítményű beszerezhető konvekciós fűtőtest. A fűtőtestek alkalmazása és a fülke kis oldalméretei miatt a fülkék belső falára tűzálló hőszigetelés, a padlóra pedig alumínium fólia került elhelyezésre (a II. melléklet 8. ábra). A szabályzást Honeywell DT90A típusú öntanuló, időarányos-integráló szabályzó biztosította, amellyel sikerült elérni a belső hőmérséklet kismértékű ingadozását a nehéz szabályozási feladat ellenére (nagy fűtési teljesítményt és kis időállandójú szabályozott szakasz). A fűtőtestek elektromos fogyasztásának mérésére Home EM-03 típusú fogyasztásmérőket alkalmaztunk, amelyek pontosságát a mérés megkezdése előtt hitelesített fogyasztásmérővel ellenőriztem. A fogyasztásmérők nem rendelkeztek adatgyűjtő funkcióval, ezért a mérőállásokat a leolvasás időpontjával együtt általában napi rendszerességgel feljegyeztem.

A fülkékben a hőmérsékletmérések KIMO KTH-100 és KTH-300 hőmérséklet adatgyűjtőkkel történtek. A hőmérsékletérzékelők helyét a II. melléklet 6. és 9. ábrái mutatják. Az előtáblákban elhelyezett érzékelők ki lennének téve a napsugárzás hatásának, emiatt ezeknek az árnyékolásáról gondoskodni kellett. Az árnyékolást 12 cm hosszú 30 mm átmérőjű két végén nyitott PVC anyagú csővel oldottam meg, amelynek az érzékelő a középpontjában került elhelyezésre. Az érzékelő és a cső közötti közvetlen érintkezést vékony acél huzalból készített távtartók akadályozták meg. Az előtáblákban a hőmérsékletmérés négy pontban, több eltérő magasságban történt, számítva az előtétzónában kialakuló rétegződésre.

A mérések az egyes tájolásra akkora időtartamban történtek, hogy legalább néhány nap részleges napsütéses időszak is legyen.

A levegő előmelegítéses szellőzéssel változat vizsgálatához a fülkékre mesterséges szellőzést készítettem. A szellőzőrendszer a II. melléklet 13 – 14. ábráján látható. A VENT 100 VKO axiál csőventilátorok a fülkéből elszívott, kidobásra kerülő levegő ágba kerültek, így a ventilátormotorok hőleadása nem befolyásolta a fülkék energiamérlegét. A ventilátorok elektromos csatlakozása a fűtőtestek mért csatlakozásától függetlenül történt. A frisslevegő vételi és a használt levegő kidobási pontok a fülke felett egymás közelében, közel azonos nyomású térben kerültek elhelyezésre. Az előtáblakos fülkében a frisslevegő az előtáblak alján lépett be, onnan az előtétzóna felső részéből egy köztes csővezetéken keresztül a fülke alsó részébe jutott, majd a fülke felső részéből került elszívásra és kidobásra. A két fülke közel azonos szellőző levegő térfogatáramának beállítására a ventilátorok elszívó ágába beépített elzáró szerkezet szolgált. A szellőző levegő térfogatáram mérésére két módszert alkalmaztam.

Az egyik módszer a csővezetékben történő sebességmérés. Erre két alkalommal került sor, az első esetben Testo 425 típusú hődrótos anemométer alkalmazásával, amelyet a $\varnothing 40 \times 1,8$ PVC cső falán kialakított mérő furaton keresztül vezettem be a csőbe. Az érzékelő viszonylag nagy mérete az áramlási sebesség mérését csak a csőfaltól 12 mm-re tette lehetővé, azonban a módszer segítségével a két fülke térfogatáramának közel azonos értékre történő beállítását elvégezhettem. A másik alkalommal Testo 445 típusú hógömbös anemométert alkalmaztam, amelynek az érzékelője sokkal kisebb méretű lévén, lehetővé tette a cső átmérője mentén az áramlási sebesség mérését, és egy mért sebességprofil felvételével történő térfogatáram meghatározást. Mindkét mérés fél perces időtartamú átlagsebesség mérésekkel történt. A hógömbös anemométerrel végzett mérés eredményeit mutatja a II. sz. melléklet 2. ábra.

A másik módszer a szellőző levegő térfogatáramának a meghatározására a szellőzés hatására a zárt térben mérhető nyomjelző gáz koncentráció változás mérése és a koncentráció változás időbeli alakulásából a zárt térre vonatkozó légcsereszám számítással történő meghatározása. A módszer akkor ad pontos eredményt, ha a vizsgálat időtartama alatt a légcsereszám állandó és a nyomjelző gáz a zárt térben egyenletesen oszlik el. A méréshez nyomjelző gázként szén-dioxid gázt használtam, amely a kis fülketérfogat miatt megfelelt a célnak. Szén-dioxid forrásként 6 g töltet tömegű szifonpatront alkalmaztam (amelyből összesen 3 darabot használtam fel). A mérés kezdetén a szén-dioxid koncentráció adatgyűjtőt elhelyeztem a fülke belsejében, a patronból a nyitott szerviz ajtón keresztül beengedtem a szén-dioxid gázt a fülkébe, majd az ajtók visszazártam. A szén-dioxid koncentráció adatgyűjtő rögzítette a koncentráció időbeli alakulását, amelynek kiértékelésével a légcsereszám számítható volt. Egy mérés hozzávetőlegesen egy óra időtartamot vett igénybe. A koncentrációméréshez TESTO 435 típusú műszert alkalmaztam. A koncentrációmérés eredményeit és II. sz. melléklet 3. ábra mutatja.

A mért eredmények alapján a légcsereszám a következő összefüggéssel számítható (Fekete I. et. al. (1985.)).

$$n = \frac{\ln \frac{k_1}{k_2}}{\tau_2 - \tau_1} \quad (3.2.)$$

ahol:

τ_1, τ_2	idő, s
k_1, k_2	CO ₂ koncentráció, ppm
n	légcsereszám, h ⁻¹

A számításhoz a koncentráció görbe azon szakaszát kell kiválasztani, ahol a széndioxid befúvását követő keveredési szakasz már befejeződött és a koncentráció csökkenés exponenciális. Az utóbbi feltétel teljesülését a mérési adatokra illesztett exponenciális regressziós függvény alapján ellenőriztem. A légcsereszám a hagyományos fülkében $n = 2,49 \text{ h}^{-1}$, az előtáblakos fülkében $n = 2,69 \text{ h}^{-1}$ értékre adódott.

A téli mérés alatt diagnosztikai célból egy alkalommal sor került a fülkék külső felületének néhány pontján a felületi hőmérséklet mérésére, illetve a fülkék hőkamerás ellenőrzésére is. A felületi hőmérsékletmérés napsütéses időben KIMO KTH-300 típusú, mérésre programozott készülékkel, a hőkamerás vizsgálat pedig borult napon, Testo 881-3 típusú hőkamerával történt. A diagnosztikai vizsgálatok eredményei a II. melléklet 11 – 12. ábráin láthatók, amelyek egyúttal meggyőztek arról, hogy a fülkék kivitele megfelelő.

3.6. Fülke szimulációk

A fülkék modelljét felépítettem az Energy Plus v.8.4.0 programban. A fülkemodellekben ahol lehetséges volt, a modellhelyiségnél alkalmazott komponenseket és algoritmusokat alkalmaztam, azaz a tömör határoló szerkezetek ugyanúgy véges differencia hővezetési modellt, a hőátadásra adaptív algoritmust alkalmaztam. Természetesen a peremfeltételeket a valóságnak megfelelően állítottam be. Az előtáblakos fülke geometriai modellje látható a II. melléklet 15. ábráján. A fülkék É-D tengely mentén egymástól mintegy 8 méterre kerültek elhelyezésre. A fülkék magassági méretét tekintve ez biztosította, hogy a fülkék egymásra gyakorolt árnyékvető hatása a legkisebb mértékű legyen.

A sugárzási nyereség számításánál figyelembe vettem az obszervatórium területén lévő felépítményeket (II. melléklet 16. ábra), valamint a távolabbi tereptárgyakat is, úgymint erdő, fasor, épületek (II. melléklet 17. ábra). A tereptárgyak modellből kinyert geometriai elrendezésének részletét mutatja a II. melléklet 17. ábra.

A fülkék hőmérséklet és fűtési energiafogyasztás mérésének egyik célja a szimulációs modellek helyességének ellenőrzése volt. A fülkék felállításának helyszínén a meteorológiai jellemzők egy részének mérése az obszervatóriumban történt, amelyet a Debreceni Egyetem AKIT – Agrometeorológiai és Agroökológiai Monitoring Központja bocsátott a rendelkezésemre, másrészt az itt nem rögzített adatok a www.ogimet.com professzionális meteorológiai információs oldalról kerültek letöltésre. Az utóbbi adatok az obszervatóriumhoz képest 12 km-en belül található 12882. számú debreceni meteorológiai állomás szinoptikus távirataiból származnak. Az adatok összegyűjtését követően a szimulációhoz elő kellett állítani a megfelelő adatállomány órai értékeit a mérés helyszínére vonatkozóan, amely a következők szerint történt:

- Száraz léghőmérséklet – obszervatórium mérési adataiból órai átlagérték került számításra. A program által használt formátumban az adott órai időpont az óra sorszáma az adott napon, tehát az 1. óra a 00:00 – 00:59 közötti időtartamra vonatkozik, ezért az átlagszámítást is ennek megfelelően kell elvégezni.
- Harmatponti hőmérséklet – 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook 6.2. pont (5, 6) és 6.9 (37, 38) összefüggésekkel számítva.
- Relatív nedvesség – obszervatórium mérési adataiból órai átlagérték számítása.
- Atmoszférikus nyomás – ogimet.com oldalról letöltve.
- Légköri viaszasugárzás – számítva Walton (1983), Clark, Allen (1978)

$$I_{IR} = \varepsilon \sigma T^4 \quad (3.3.)$$

ahol:

I_{IR}	légköri viaszasugárzás, W/m ²
ε	emissziós tényező, -
σ	Stefan-Boltzmann állandó, 5,6697·10 ⁻⁸ W/m ² K ⁴
T	száraz léghőmérséklet, K

$$\varepsilon = \left[0,787 + 0,764 \ln \left(\frac{T_d}{273} \right) \right] (1 + 0,0224N + 0,0035N^2 + 0,00028N^3) \quad (3.4.)$$

ahol:

T_d	harmatponti hőmérséklet, K
N	felhőzettség, tizedekben, -

- Globál sugárzás – obszervatórium mérési adataiból órai átlagérték számítása.
- Direkt normál sugárzás – számítva az alábbiak szerint: a sugárzás intenzitás értékek az egész órák közötti időtartamokra vonatkoznak, a szögeket és az extraterresztriális sugárzásértékeket az egész órák közép értékére kell meghatározni (azaz pl. a 10:00 órai érték 9:00-9:59 közötti időtartamra vonatkozik, a középérték pedig a 9:30 órai érték). (John A. Duffie, William A. Beckman (2013)).

Az órai direkt normál sugárzás:

$$I_{bn} = (I - I_d) \cos \theta_z \quad (3.5.)$$

ahol:

I_{bn}	órai direkt normál sugárzás, Wh/m ²
I	órai globál sugárzás, Wh/m ²
I_d	órai diffúz sugárzás, Wh/m ²
θ_z	nap zenitszöge, °

A nap zenit szögének koszinusz értéke:

$$\cos \theta_z = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta \quad (3.6)$$

ahol:

φ	földrajzi szélesség, °
δ	napdeklináció, °
ω	nap óraszöge, °

A napdeklináció (Spencer (1971), idézi Iqbal (1983)):

$$\delta = \left(\frac{180}{\pi}\right) (0,006918 - 0,399912 \cos B + 0,070257 \sin B - 0,006758 \cos 2B + 0,000907 \sin 2B - 0,002697 \cos 3B + 0,00148 \sin 3B) \quad (3.7.)$$

ahol:

$$B = (n_e - 1) \frac{360}{365} \quad (3.8.)$$

Az óraszög:

$$\omega = 15(Val\acute{o}s\ id\tilde{o} - 12) \quad (3.9)$$

A valós idő (valós napidő):

$$Val\acute{o}s\ id\tilde{o} = Helyi\ közép\ id\tilde{o} + 4(L_{st} - L_{loc}) + E \quad (3.10.)$$

ahol:

L_{loc}	földrajzi hosszúság (a nyugati hosszúság a pozitív előjelű), °
L_{st}	időzónaközép földrajzi hosszúsága, °
E	időkiegyenlítés, min

A helyi középidoőt a téli időszámítás szerint kell megállapítani.

Spencer (1971), idézi Iqbal (1983),

$$E = 229,2(0,000075 + 0,001868 \cos B - 0,032077 \sin B - 0,014615 \cos 2B - 0,04089 \sin 2B) \quad (3.11.)$$

A mért órai globál sugárzás diffúz részének számítása (Erbs (1982)):

$$I_d = \left(\frac{I_d}{I}\right) I \quad (3.12.)$$

ahol:

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1,0 - 0,09k_T, & \text{ha } k_T \leq 0,22 \\ 0,9511 - 0,1604k_T + 4,388k_T^2 - 16,638k_T^3 + 12,336k_T^4, & \text{ha } 0,22 < k_T \leq 0,8 \\ 0,165, & \text{ha } k_T > 0,8 \end{cases} \quad (3.13.)$$

ahol a tisztasági „clearness” index:

$$k_T = \frac{I}{I_0} \quad (=3.14.)$$

Az órai átlagos extraterresztriális normál sugárzás (Spencer (1971), idézi Iqbal (1983)),

$$I_{0n} = G_{sc}(1,000110 + 0,034221 \cos B + 0,001280 \sin B + 0,000719 \cos 2B + 0,000077 \sin 2B) \quad (3.15.)$$

Az órai extraterresztriális horizontális sugárzás

$$I_0 = I_{0n} \cos \theta_z \quad (3.16.)$$

Ha a napfelkelte vagy a napnyugta órájában vagyunk, az extraterresztriális horizontális sugárzásintenzitás órai középértékei a tényleges órai sugárzáshoz képest nagy eltérést eredményezhetnek (kivéve ha a napfelkelte az adott óra első percében, vagy a naplemente az adott óra utolsó percében történik). Emiatt ebben az esetben az órai extraterresztriális horizontális sugárzást más módon, a napfelkelte időpontja és következő egész óra valamint a napnyugta időpontja és a megelőző egész óra közötti időszakra pontosan kell számítani a következő összefüggéssel. Erbs (1982), John A. Duffie, William A. Beckman (2013).

$$I_0 = \frac{12}{\pi} G_{sc} \left[\cos \varphi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin \varphi \sin \delta \right] \quad (3.17.)$$

A napkelte és a napnyugta óraszöge:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (3.18.)$$

Amennyiben a napfelkelte vagy a napnyugta órájában nem így járnánk el, a valóságostól lényegesen alacsonyabb órai extraterresztriális horizontális sugárzás adódna, amely nagy k_T tényezőt és így kis diffúz és ezzel együtt nagy direkt sugárzási hányadot

eredményezne. Az utóbbi a nap nagy zenitszöge miatt irreálisan nagy direkt normál sugárzás eredményhez vezetne.

- Diffúz sugárzás – számítva az előzőek szerint a (3.12.) összefüggéssel.
- Szélirány – obszervatórium mérési adataiból órai átlagérték számítása.
- Szélsebesség – obszervatórium mérési adataiból órai átlagérték számítása.
- Borultság – ogimet.com oldalról letöltve, majd átszámítva oktádokról tizedekre.
- Felhőzettség – ez az adat hiányzott, ezért a Mark F. Jentsch et al. (2008) ajánlása alapján a borultság felével számoltam.
- Hó vastagság – ogimet.com oldalról letöltve (de csak napi hójelentés van), órai adatokra átvezetve, saját feljegyzésekkel, fényképekkel összevetve.
- Csapadék – obszervatórium mérési adataiból illetve a hó adatokkal összevetve.

A fenti számítások segítségével előállításra került a fülke szimulációk futtatásához szükséges meteorológiai állomány.

A mérési eredmények azt mutatták, hogy a fülkékben lévő szabályzók szabályozási eltéréssel képesek tartani a belső hőmérsékletet. Bár mindkét fülkékben 20°C volt a szabályzón beállított hőmérséklet, az adatgyűjtőkkel mért hőmérsékletek ettől eltérőek voltak, amint az látható. a II. melléklet 17 - 24. ábrákon. A belső hőmérsékletek eltérését azonban nem csak a szabályozás minőségéből származó szabályozási eltérés okozhatja, hanem a nagy sugárzási nyereségű időszakokban előforduló túlmelegedés is (amellyel szemben a szabályzó hűtési lehetőség hiányában tehetetlen). Emiatt a túlmelegedéstől mentes éjszakai órákra meghatároztam a fülkék átlaghőmérsékletét a fülkékben mért belső hőmérsékletek alapján, és az fülkemodellekben ezt az értéket tekintettem előírt hőmérsékletnek. Mivel a fülkékben lévő elektromos fűtőtestek szezonális teljesítménytényezője 1, továbbá nem kell számolnunk elosztási- vagy tárolási veszteséggel, a szabályozási eltérésből adódó (a teljesítmény és a hőigény illeszketlenségének pontatlanságából származó) veszteséget pedig az előzőekben leírt módon a szimulációban kompenzáltam, ezért a fülke-szimulációkból kapott fűtési energiaigény eredmények egyúttal a fülkék fűtési energiafogyasztását is jelentik. A továbbiakban ezen adatokat egységesen fűtési energiafogyasztásként kezeltem. A mérésekből származó valamint a szimulációs eredményeket a II. melléklet 25 - 28. ábrái mutatják, ahol a hőmérsékletek, a fogyasztásmérők leolvasási időpontjai közötti fűtési energiafogyasztások adatai továbbá a fülkék halmozott fogyasztási adatai kerültek ábrázolásra.

3.7. Éghajlati zordság

Az éghajlati zordság különböző tájolású függőleges felületekre vonatkozó havi értékeinek számításához szükség volt az különböző tájolású függőleges helyzetű felületek adott helyszínre vonatkozó havi sugárzási energiahozam értékeire. A számítás a szimulációkhoz is használt Climate Design Data 2009 ASHRAE Handbook statisztikai

adatai alapján történt. Az adatbázis tartalmazza az adott helyszínre vonatkozó havi átlagos napi órai diffúz és direkt normál sugárzási energiahozamait, amelyből meghatározásra került a tetszőleges tájolású függőleges felület átlagos havi napjára az órai sugárzási hozam, és ezek napi majd havi összegzésével került számításra a havi sugárzási energiahozam értéke.

A tetszőleges tájolású függőleges felületre vonatkozó órai sugárzási energiahozam izotrop diffúz égbolt modell alapján a következő összefüggéssel számítható (Liu, B. Y. H. and R. C. Jordan (1963) alapján):

$$I_t = I_{bn} \cos \theta + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_{\rho_r} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (3.19.)$$

ahol:

I_t	a tetszőleges tájolású függőleges felület órai sugárzási energiahozama, Wh/m ²
θ	a tetszőleges tájolású függőleges felület normálisa és a direkt napsugárzás által bezárt szög, °
β	a függőleges felület dőlésszöge, ° (értéke: 90°)
ρ_r	a földfelszín reflexió tényezője, -

A tetszőleges tájolású függőleges felület normálisa és a direkt napsugárzás által bezárt szög koszinusza a következő összefüggéssel került meghatározásra (John A. Duffie, William A. Beckman (2013)):

$$\cos \theta = -\sin \delta \cos \varphi \cos \gamma + \cos \delta \sin \varphi \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \gamma \sin \omega \quad (3.20.)$$

ahol:

γ	a felület azimuth szöge, °
----------	----------------------------

A órai globál sugárzás a következő összefüggéssel került meghatározásra (John A. Duffie, William A. Beckman (2013)):

$$I = I_d + I_{bn} \cos \theta_z \quad (3.21.)$$

4. Eredmények

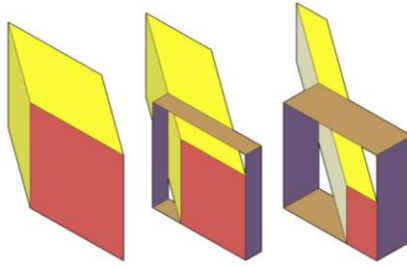
4.1. A transzparens szerkezetek besugárzása

A szakirodalom és a gyakorlat az üvegezés és az ablak hőátbocsátási tényezőit (a továbbiakban *U*), valamint az üvegezés össz-sugárzásátbocsátási tényezőit (a továbbiakban *g*) alkalmazza. Az ablak *U* értéke az üvegezés középpontjára vonatkozó és a tok- és szárnyszerkezet (a továbbiakban keret) felületaránya az ablak befoglaló méreteihez viszonyítva *k*) hőátbocsátási tényező értékeiből és a távtartó vonalmenti hőátbocsátási tényezőiből (MSZ EN ISO 10077:2007), vagy a keret és a peremzóna hőátbocsátási tényezőiből tevődik össze (ASHRAE, 2013).

Az ablak és a homlokzat viszonyát az energetikai, funkcionális és esztétikai szempontból egyaránt fontos jellemző, az ablakarány vagy az üvegezési arány fejezi ki. Lényeges különbség a kettő között, hogy előbbi a falnyílások és a teljes homlokzat területének aránya, az utóbbi viszont az üvegezés (tehát a transzparens szerkezet) és a homlokzat területének aránya. Az utóbbi adja a kisebb értéket, tekintettel a homlokzati nyílásokban lévő tok- és szárnyszerkezet sugárzást át nem eresztő, (opaque) elemeire. A két arányszám közti különbség az ablakok abszolút méreteitől, működési módjától, a tok- és szárnyszerkezet anyagától függ. A különbség annál nagyobb, minél kisebb a nyílás, minél több osztás van az ablakban és minél vastagabb szelvényekből készül a tok- és szárnyszerkezet.

Önmagának az ablak energiaforgalmának két fontos eleme van: az egyik a transzmissziós, a másik a sugárzásos hőáram. Nem közömbös, hogy egy adott ablakarány kisszámú, nagyméretű, vagy nagyszámú, kisméretű nyílásból adódik-e, ugyanis az ablak transzmissziós vesztesége ettől csak kismértékben, a sugárzási nyeresége viszont jelentősebben függ.

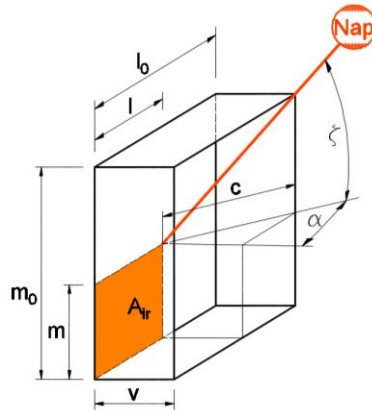
További kérdés az üvegezés külső síkja és a fal külső síkja közötti távolság: a kávamélység. A nagyobb kávamélység csökkenti az ablak sugárzási nyereségét (Kerekes A. 2016. a.). A csökkenés érinti a direkt, a diffúz és a reflektált sugárzást egyaránt. A kávamélység árnyékoló hatása miatt az üvegezésre érkező direkt sugárzás csökkenésével mindig számolni kell, amennyiben a beesési szög nem nulla. A sugárnyaláb által besugárzott üvegezett felület csökken, ezzel csökken az üvegezésen át a helyiségbe bejutó sugárzási energia. A falnyílás külső falsíkban lévő felületére érkező direkt sugárnyaláb egy része nem az üvegezésre, hanem az ablakkáva felületére esik, ahol részben diffúz módon visszaverődik, részben elnyelődik. Az elnyelt hányad a nagy külső oldali hőátadási tényezőnek köszönhetően jelentős részben hasznosulás nélkül a környezetbe távozik. A direkt sugárnyaláb által besugárzott üvegezett felület csökkenésére mutat példát a 4.1. ábra, amelyen az ablak azimuth szöge 0° , a nap azimuth szöge 60° , altitude szöge 45° , a falnyílás szélessége és magassága 1,5 m, a kávamélység balról jobbra 0 cm, 25 cm és 50 cm. A besugárzott felületek ugyanebben a sorrendben: 2,25 m², 1,26 m², 0,40 m².



4.1. ábra. Példa a direkt sugárnyaláb által besugárzott felület csökkenésére.

A besugárzott üvegezett felület mérete függőleges felület esetén egyszerű geometriai összefüggésekkel meghatározható, amint az a 4.2. ábrán látható.

$$A_{ir} = \left(m_0 - v \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha \cdot \operatorname{tg} \zeta} \right) \cdot (l_0 - v \operatorname{tg} \alpha) \quad (4.1.)$$

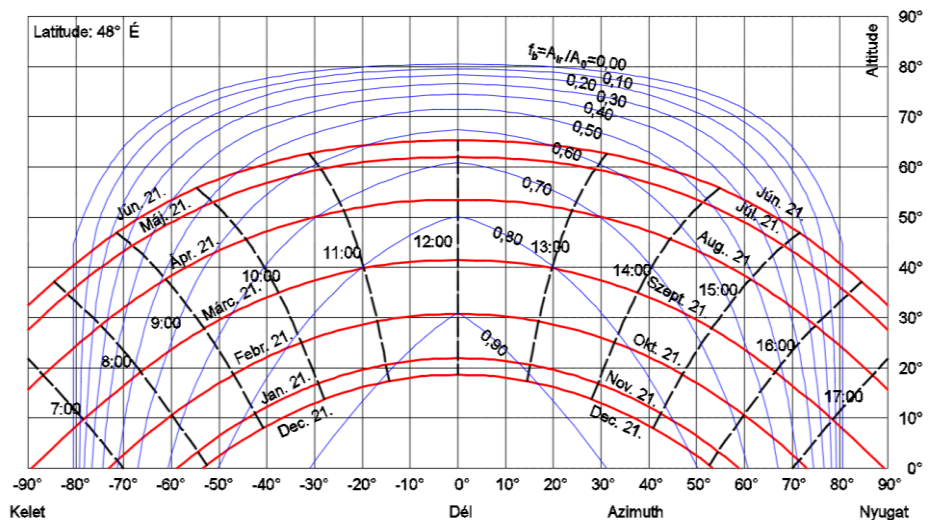


4.2. ábra. A besugárzott felület meghatározása függőleges felület esetén.

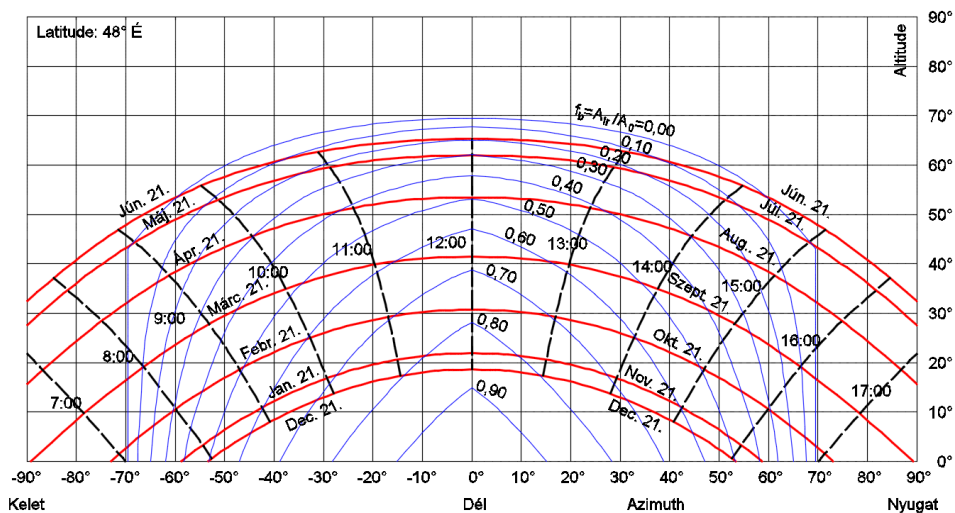
A besugárzott és a falnyílás felületének aránya a 4.2. ábra jelöléseivel.

$$f_b = \frac{A_{ir}}{A_0} = \frac{A_{ir}}{l_0 \cdot m_0} \quad (4.2)$$

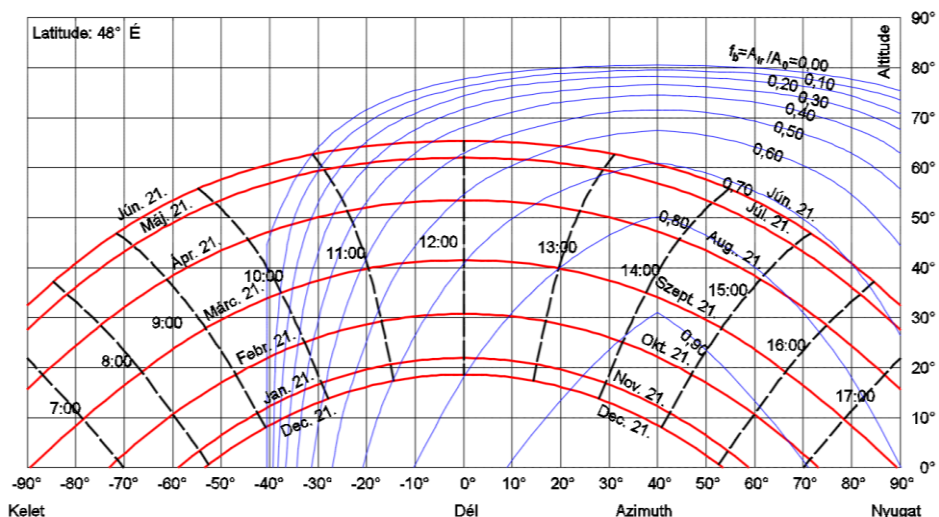
Az f_b tényező diszkrét értékei adott falnyílás méret és falvastagság esetén a homlokzat azimuth és altitude (magassági) szögeinek függvényében ábrázolhatók. Az így kapott görbesereg adott földrajzi szélességi körre készített, azonos léptékű hengeres nappálya diagramra helyezhető. Az f_b görbesereget a homlokzat azimuth szögénél kell a nappálya diagramra illeszteni. Az így készített diagramból az adott szélességi körre vonatkozóan bármely időpontban leolvasható az f_b értéke. Az általunk szerkesztett diagramok közül mutat néhány példát a 4.3, 4.4, 4.5 és 4.6 ábra. A nappálya diagramokon feltüntetett időpontok a szoláris időre vonatkoznak.



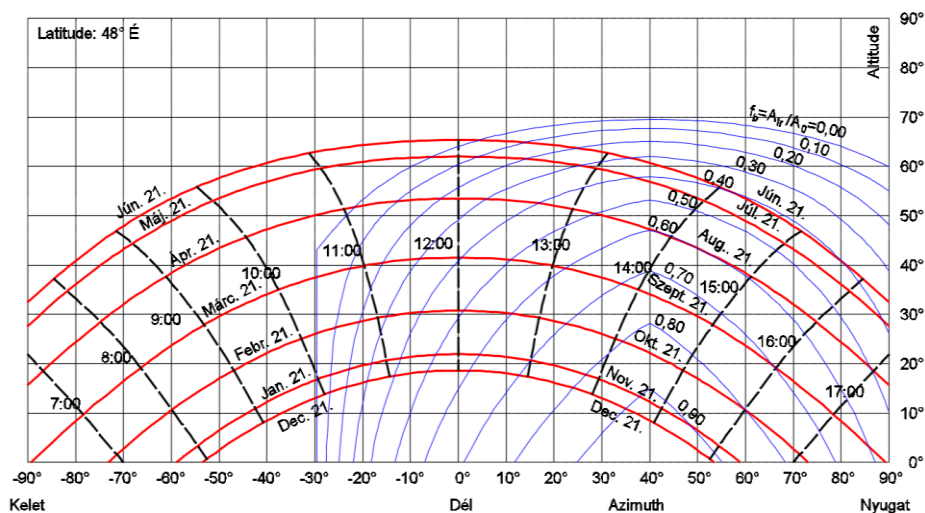
4.3. ábra. 25 cm vastag fal $f_b = A_{ir}/A_0$ aránya nappályá diagramban – Déli tájolás, nyílásméret 1,5 x 1,5 m



4.4. ábra. 56 cm vastag fal $f_b = A_{ir}/A_0$ aránya nappályá diagramban – Déli tájolás, nyílásméret 1,5 x 1,5 m



4.5. ábra. 25 cm vastag fal $f_b = A_{ir}/A_0$ aránya nappálya diagramban – tájolás: azimuth 40°, nyílásméret 1,5 x 1,5 m

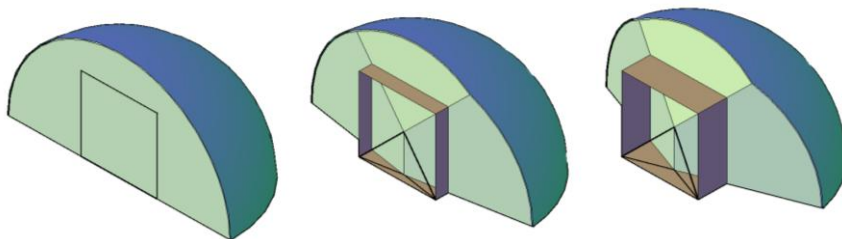


4.6. ábra. 56 cm vastag fal $f_b = A_{ir}/A_0$ aránya nappálya diagramban – tájolás: azimuth 40°, nyílásméret 1,5 x 1,5 m

Az adott falnyílás méretre és falvastagságra készített A_{ir}/A_0 görbesereg alkalmazható bármely eltérő méretű, de azonos $m_0 : l_0 : v$ arányú nyílásra, és bármely más földrajzi szélességi körre készített azonos léptékű nappálya diagramban.

A kávamélység a diffúz és a felszínről visszaverődő sugárzásból származó sugárzási nyereséget is csökkenti. Nulla kávamélység esetén az égboltról érkező diffúz sugárzás az üvegezett felület teljes területét éri, azaz függőleges felület esetén a diffúz sugárzás a fél

égbolt π sr térszögéből éri az üvegezett felületet. Amennyiben a kávamélység nem nulla, a káva kitakarja az égbolt és az arról érkező diffúz sugárzás bizonyos részét. Azt a térszög tartományt, amelyből egyáltalán érkezhetsz diffúz sugárzás az üvegezett felületre, oldalról a káva külső és másik oldali belső függőleges élére fektetett sík (és ugyanígy a másik oldali függőleges élre), felülről pedig a káva felső külsőoldali éle és az üvegezés alsó oldali élére fektetett sík határolja. A 4.7. ábra azonos nyílásméret és különféle kávamélységek esetében szemlélteti a diffúz sugárzás térszög tartományait.



4.7. ábra. Térszög tartományok, amelyekből diffúz sugárzás érkezhetsz az üvegezett felületre, különféle kávamélységek esetén.

A 4.7. ábrán a falnyílás szélessége és magassága 1,5 m, a kávamélység balról jobbra 0, 25 és 50 cm. A térszög tartományok ugyanebben a sorrendben: π sr, $0,93 \pi$ sr, $0,85 \pi$ sr. A diffúz sugárzásból származó sugárzási nyereség csökkenése azonban eltér a térszög tartományok változásának mértékétől. Amíg a nulla káva mélység esetén az üvegezett felület minden egyes pontját a π sr térszögben látható égbolt minden pontjáról éri sugárzás, addig a nem nulla kávamélység esetén az üvegezett felület egyetlen pontját sem éri az előző módon kijelölt térszög tartományból érkező teljes diffúz sugárzás, másrészt a kitakart tartományból a nagy beesési szögek alatt érkező sugárzás esetén az üvegezés transzmissziós tényezője alacsony, a reflexiós tényezője pedig magas. A felszínről visszavert sugárzás csökkenése a diffúzhoz hasonló módon a növekvő kávamélységgel csökkenő térszög tartományok miatt csökken. A falnyílás külső falsíkban lévő felületére érkező sugárzás egy része szintén nem az üvegezésre, hanem az ablakkáva felületére esik, ahonnan részben visszaverődik, részben elnyelődik. Az elnyelt hányad jelentős része a nagy külső oldali hőátadási tényezőnek köszönhetően hasznosulás nélkül a környezetbe távozik. A vastag ablakkeret hatása a káváéhoz hasonló.

A 3.4. pontban ismertetett példaépületen végzett szimulációk segítségével meghatároztam az épület fűtési energiaigényét különböző külső falvastagságokra és kávamélységekre. 25 cm-es falvastagság esetén a külső oldali kávamélység (a homlokzat külső síkja és az ablak üvegezésének külső síkja közötti távolság) 9,5 cm, a másik változatban pedig 56 cm-es falvastagság esetén a külső oldali kávamélység 35 cm volt. A szimulációkat elvégeztem a II. sz. melléklet 3. táblázata szerinti kis és nagy üvegezési arányú épület változatokra is. A kapott eredményeket a 4.1. táblázat tartalmazza. A fűtési energiaigény növekedését a kávahatás miatt jelentkező sugárzási nyereség csökkenése okozza.

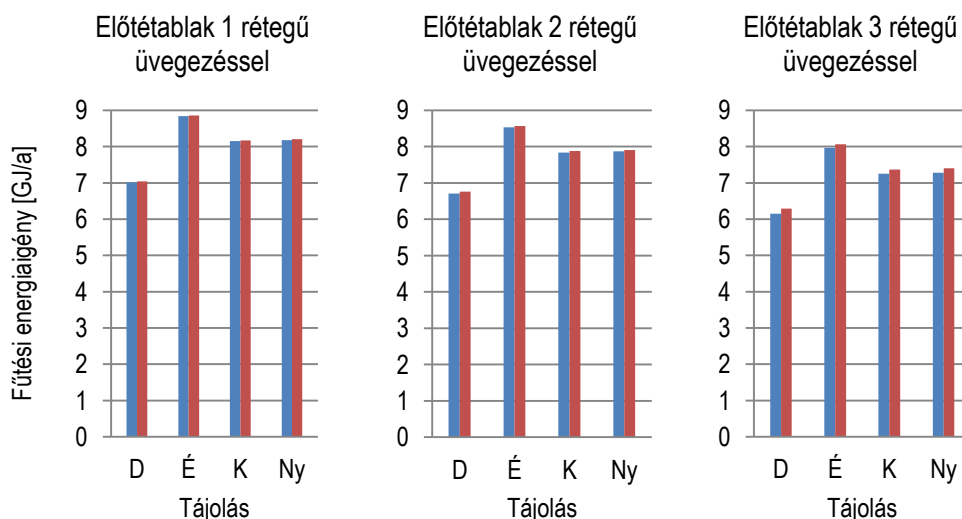
	Fűtési energiaigény [GJ/a]	
	Falvastagság 25 cm, Külső oldali kávamélység 9,5 cm	Falvastagság 56 cm, Külső oldali kávamélység 35 cm
Kis üvegezési arány (0,101)	27,45	28,40
Nagy üvegezési arány (0,208)	24,74	25,75

4.1. táblázat. Fűtési energiaigények

A kávak árnyékoló hatásának következtében az épület sugárzási nyeresége 3-4%-kal is csökkenhet. Ez a hatás különösen figyelemreméltó, ha meglévő épületben ablakot cserélnek és a homlokzatot utólagos külső oldali hőszigeteléssel látják el – az eredeti kávamélység ilyen esetben 12-24 cm-el nőhet!

4.2 Az előtétablak kialakítása

Az előtétablak kerete készülhet fa- vagy fémszerkezetből, acélbetéttel erősített műanyag szerkezetből. A keret anyagának energetikai hatását a fa- és alumínium keretszerkezetekkel végzett szimulációkkal vizsgáltuk. Az eredményeket 4.8. ábra mutatja.



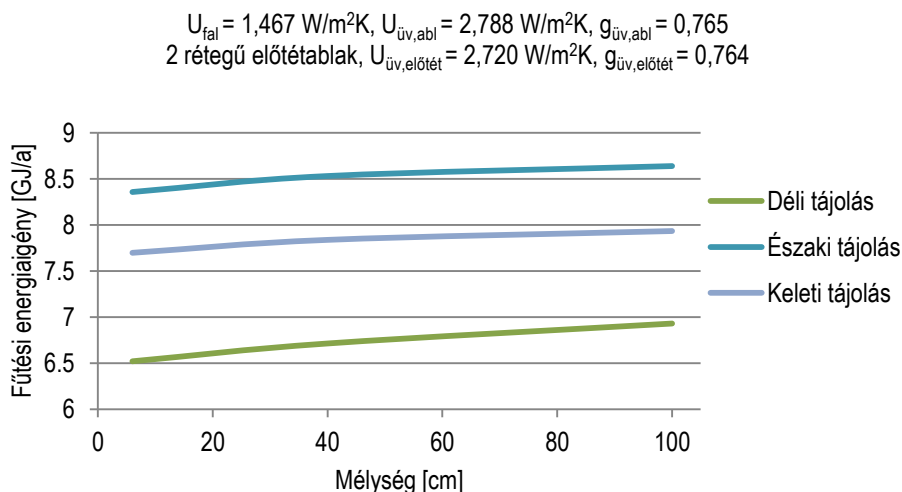
Jelmagyarázat:

■ Keret anyaga fa, $U_{keret} = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, ■ Keret anyaga alumínium, $U_{keret} = 3,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

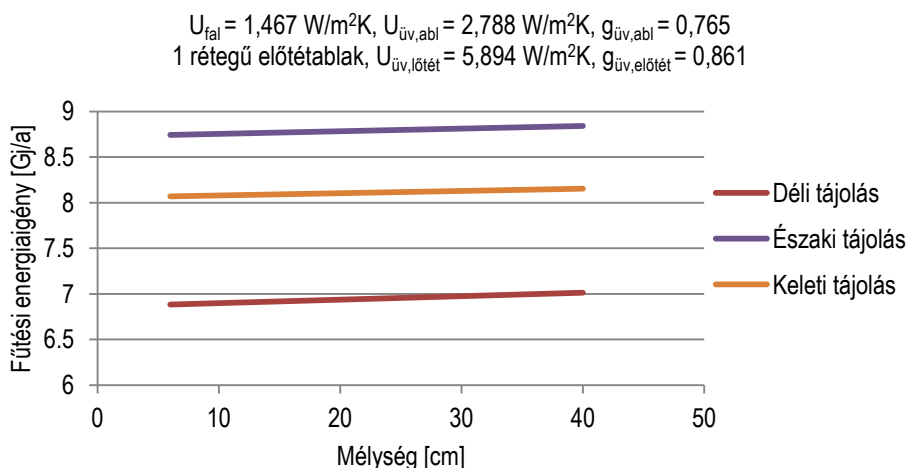
4.8. ábra. Az előtétablak keret anyagának a fűtési energiaigényre gyakorolt hatása, puffer- és üvegházhatás esetén.

A vizsgált változatban az előtétablak üvegezett külső határolásainak átlagos üvegezési aránya 89,92% volt. A legnagyobb különbség a 3 rétegű üvegezés esetén déli tájolásra adódott, értéke 2,3% volt. A kétrétegű üvegezés esetén a legnagyobb különbség 0,7%, az egy rétegű üvegezésű előtétablak esetén pedig mindössze 0,34%, tehát az anyagválasztásnak nincs döntő hatása az energiamérlegre. Ennek magyarázata az is, hogy bár a fémszerkezet hőátbocsátási tényezője nagyobb, szilárdsági okokból karcsúbb szelvények is elégségesek: a jobban hőszigetelő faszerkezet vastagabb szelvényeket igényel. Az elhanyagolható különbségre tekintettel a további vizsgálatok fa keretszerkezetekre kerültek végezésre.

Az előtétablak mélysége (kiülése a homlokzat síkjából) gyakorlati okokból legalább 20 cm, legfeljebb 40 cm lehet. Ha kisebb, vagy nagyobb méretet választunk, akkor a működtetés (nyitás) és/vagy a tisztíthatóság elvégzése válik lehetetlenné (vagy nem férünk hozzá, vagy nem érjük el az eredeti ablakból az előtétablakot, illetve nem fér el az előtétablak befelé nyíló elegendően széles szárnya). A mélyebb előtétablak növeli a lehűlő felületet, miközben az oldalsó üvegezett felületek a homlokzat normálisához képest nagy beesési szögek esetén energiagyűjtő felületet jelentenek. Az összetett hatás eredményét a 4.9. és 4.10. ábrák mutatják. Az ábrák tanulsága szerint a nagyobb üvegfelület miatt jelentkező többlet sugárzási nyereséget a nagyobb veszteség felülírja. A 20-40 cm tartományban az energiamérleg változása nem számottevő.



4.9. ábra. A 2 rétegű üvegezésű előtétablak mélységének hatása a fűtési energiaigényre különféle tájolásoknál.



4.10. ábra. Az 1 rétegű üvegezésű előtétablak mélységének hatása a fűtési energiaigényre különféle tájolásoknál.

A fentiek alapján a továbbiak a szimulációk a 40 cm-es mélységű előtétablakra kerültek elvégzésre.

4.3. A fűtési energiamérleg

4.3.1. Puffer- és üvegházhatás télen

A hagyományos ablak és az előtétablak szerkezeti vázlata és a főbb transzportfolyamatokat áttekintő statikus hőáramhálózati sémája a harmadik fejezet 3.1 és 3.3. ábráin látható.

Az előtétablak puffer- és üvegházhatás üzemmódban a 3.3. ábrán H_{ea} hőátviteli tényezővel jelölt járulékos hőátviteli ellenállást képez az eredeti ablak és a takart homlokzati falfelület előtt, ezzel csökkentve az érintett homlokzati részek veszteségáramát. Az előtétablakokon bejutó sugárzási nyereség egy része az előtétzóna belső felületein (elsősorban a takart homlokzaton és az eredeti ablak keretén) elnyelődik. Az elnyelt sugárzási energia hasznosítását szintén a H_{ea} jelű hőátviteli ellenállás segíti elő az által, hogy növeli az elnyelő felületek és a külső környezet közötti hőátviteli ellenállást. (ugyanezen a felületen az előtétablak nélkül még nagyobb mértékű sugárzási energia nyelődik el, azonban az elnyelő felületek és a külső környezet közötti jelentéktelen hőátviteli ellenállás miatt az elnyelt energia nagy része a környezetbe távozik). Az előtétzóna sugárzási nyeresége növeli az elnyelő felületek és az előtétzóna hőmérsékletét, ez által csökkenti a helyiség hőveszteségét. Az eredeti ablak az előtétablak hatása miatt kisebb mértékben, de továbbra is biztosít szoláris nyereséget és természetes megvilágítást a mögötte lévő helyiség részére. A puffer- és üvegházhatás esetén a helyiség szellőzése és az előtétablak között nem feltételezünk kapcsolatot, a szellőzés ettől a konstrukciótól függetlenül kerül biztosításra.

A szimulációs vizsgálatokat a 3.2. pontban ismertetett módon végeztem. A számítási eredményeket összefoglaló diagramok a III. mellékletben találhatóak. A diagramok a harmadik fejezet 3.3. pontjában részletesen ismertetett helyiségre vonatkoznak.

A puffer- és üvegházhatás vizsgálata során a szellőző levegő nem az előtétzónán áramlik át, azonban a légcseré teljesítmény- és energia igényét a számítási eredmények tartalmazzák.

A falazott szerkezettel és kapcsolt gerébtokos ablakkal épített épületek a meglévő épületállomány zömére jellemzőek: a XX. században többnyire ilyenek épültek. Hagyományos falazott szerkezet és kapcsolt gerébtokos ablak esetében az eredeti állapotban is a fűtési energiaigényt illetően – az északi tájolás kivételével – látványosan érvényesül a sugárzási nyereség hatása, aminek a nyilvánvaló magyarázata az ablakokat befogadó falszerkezet gyenge hőszigetelő képessége. Északi (és árnyékban lévő) homlokzatok esetében az üvegezési aránynak nincs jelentős hatása, 35% feletti üvegezési arány esetében (ami a funkció szempontjából amúgy is már határesetet jelentene) a fűtési energiaigény emelkedő tendenciát mutat. A szimulációs eredmények alapján számolt fűtési energiaigény csökkenést mutatja a 4.2. és 4.3. táblázat.

Fűtési energiaigény csökkenés [GJ/a]		Homlokzat üvegezési aránya $A_{\text{ü}}/A_{\text{homl}}$ [%]			
		4	15	20	34
1 rétegű előtétablak	Déli tájolás	0.9973	1.4538	1.6373	2.0713
	Északi tájolás	0.6634	1.1621	1.4023	2.1202
	Keleti tájolás	0.7836	1.3138	1.5548	2.2296
2 rétegű előtétablak	Déli tájolás	1.2409	1.803	2.0345	2.6029
	Északi tájolás	0.8734	1.5336	1.8498	2.7886
	Keleti tájolás	1.0063	1.6707	1.9647	2.7613

4.2. táblázat. Fűtési energiaigény csökkenése előtétablak alkalmazásával puffer-, és üvegházhatás esetén. Eredeti állapot: $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$. Egyrétegű előtétablak: $U_{\text{üv,előtét}} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,861$.

Kétrétegű előtétablak: $U_{\text{üv,előtét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,764$.

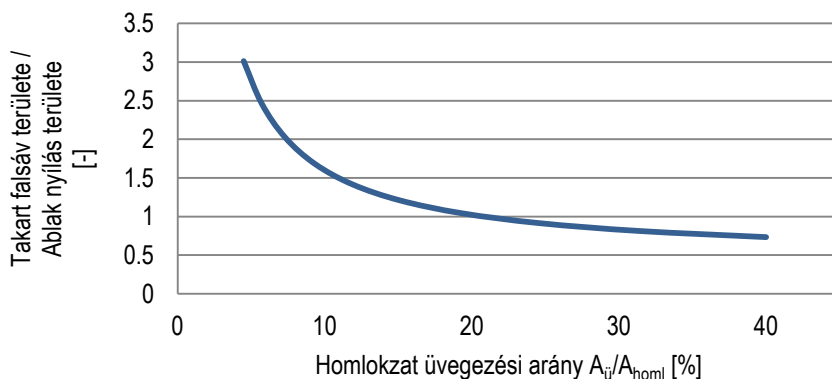
Fűtési energiaigény csökkenés [GJ/a]		Homlokzat üvegezési aránya $A_{\text{ü}}/A_{\text{homl}}$ [%]			
		4	15	20	34
1 rétegű előtétablak	Déli tájolás	0.7581	0.8021	0.7901	0.6501
	Északi tájolás	0.3841	0.2943	0.275	0.2929
	Keleti tájolás	0.5135	0.5036	0.4991	0.4865
2 rétegű előtétablak	Déli tájolás	1.0017	1.1513	1.1873	1.1817
	Északi tájolás	0.5941	0.6658	0.7225	0.9613
	Keleti tájolás	0.7362	0.8605	0.909	1.0182

4.3. táblázat. Fűtési energiaigény csökkenése előtétablak alkalmazásával puffer-, és üvegházhatás esetén az ablakcseréhez képest. Állapot ablakcserével: $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{üv,abl}} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,579$. Egyrétegű előtétablak: $U_{\text{üv,előtét}} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,861$. Kétrétegű előtétablak: $U_{\text{üv,előtét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,764$.

Az eredeti ablakot jobb minőségűre cserélve természetesen fokozottan érvényesül az ablakarány növelésével együttjáró fűtési energiaigény csökkenés, hiszen ebben az esetben az ablak eredeti értelmezésű hőátbocsátási tényezője kisebb, mint a falé.

Az ablakcseréhez viszonyítva értelemszerű sorrendben kedvezőbb eredmények érhetők el egy- és kétrétegű üvegezésű előtétablakkal. Ez természetes, hiszen az üvegezési rendszeren túl az előtétellel takart falsáv U értéke is javul, üvegházhatás alakul ki és tömegfal hatás is fellép.

Míg az üvegezési arány növelésének kedvező hatása van a fűtési energiaigényre, addig eredeti állapotban ennek az ellenkezője figyelhető meg a csúcs-teljesítményigény kapcsán. Ablakcsere és egyszeres üvegezésű előtétablak esetében, ha a tájolás nem déli, az üvegezési aránynak gyakorlatilag nincs hatása a csúcs-teljesítményigényre, déli tájolás esetében a csúcs-teljesítményigény is csökken. Kétrétegű előtétablak esetén önmagában az a tény, hogy az üvegezés rétegszáma kettő helyett négy lesz, azt eredményezi, hogy az üvegezés hőátbocsátási tényezője kisebb lesz, mint a falszerkezeté. Ezt a hatást némileg gyengíti az, hogy az üvegezés rétegszámának többszörözése a sugárzásátbocsátási tényezőt csökkenti, erősíti viszont az a körülmény, hogy az ablak körüli takart falsáv előtti üvegezés csökkenti a fal transzmissziós veszteségét. Az utóbbi hatás főleg a kisebb üvegezési arány esetében bír jelentőséggel, ugyanis amint az a 4.11. ábrán látható, a kis homlokzati üvegezési arányok esetén az egységnyi ablaknyílás mérethez nagyobb takart falsáv felület tartozik.



4.11. ábra. A takart falsáv és az ablaknyílás területének aránya a homlokzati üvegezési arány függvényében.

Takart falsáv szélessége: 0,40 m, ablak magassága: 1,80 m.

Megállapítható, hogy amennyiben az adott típusú fal- és ablakszerkezettel épített épületek korlátozott felújítására kerül sor, akkor az előtétablakok alkalmazása energetikailag kedvezőbb az ablakcserénél, ezzel elmarad a bontásból származó kényelmetlenség és a bontási hulladék. Feloldódik a fűtési energiaigény és a csúcs-teljesítményigény közötti ellentmondás.

Felújítás esetén a meglévő épület üvegezési aránya adott – az elérhető eredmény az üvegezési arány függvényében állapítható meg.

A következő épület kategória a kétezres évek első tizenöt évének gyakorlatára jellemző. Itt is megfigyelhető, hogy eredeti állapotban az üvegezési arány növelése fűtési energiaigény csökkenéssel jár együtt. Északi tájolású és árnyékban lévő homlokzatok esetében az üvegezési arány gyakorlatilag nem befolyásolja a fűtési energiaigényt.

Racionálisan közelítve a felújítás kérdését nem tűnik ésszerűnek az aránylag jó minőségű és csak néhány éves ablakok cseréje egy valamivel jobb minőségű új ablakra, ezért ebben az esetben ilyen opcióval nem számolunk. Előtétablakkal a fűtési energiaigény egyértelműen csökkenthető, mégpedig kedvezőtlen tájolás esetében aránylag nagyobb mértékben: ennek háttere az, hogy az eredeti és az előtét üvegezések összesített sugárzásátbocsátásának csökkenését a transzmissziós veszteségek csökkenése ellentételezi. A szimulációs eredmények alapján számolt fűtési energiaigény csökkenést mutatja a 4.4. táblázat.

Fűtési energiaigény csökkenés [GJ/a]		Homlokzat üvegezési aránya $A_{\text{ü}}/A_{\text{homl}}$ [%]			
		4	15	20	34
1 rétegű előtéta	Déli tájolás	0.2942	0.2304	0.2174	0.2342
	Északi tájolás	0.1908	0.2675	0.3207	0.531
	Keleti tájolás	0.2382	0.302	0.347	0.5262
2 rétegű előtéta	Déli tájolás	0.5578	0.5556	0.5626	0.6088
	Északi tájolás	0.3847	0.6254	0.7524	1.1665
	Keleti tájolás	0.4671	0.6552	0.7487	1.0371

4.4. táblázat. Fűtési energiaigény csökkenése előtéta alkalmazásával puffer-, és üvegházhatás esetén. Eredeti állapot: $U_{\text{fal}} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{üv,abl}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,649$. Egyrétegű előtéta: $U_{\text{üv,előtét}} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,861$. Kétrétegű előtéta: $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$.

Markánsan megjelenik az a probléma, hogy növekvő üvegezési arány esetében a fűtési energiaigény ugyan csökken, de a csúcs-teljesítményigény nő. Ezen az ellentmondáson az előtéta enyhít, kétszeres üvegezésű előtéta

alkalmazásával az üvegezési arány hatása a csúcs-teljesítményigényre gyakorlatilag elhal, déli tájolás esetében pedig csökkenés figyelhető meg.

A jelenleg megcélzott közel nulla energiaigényű épületek kategóriájában az eredmények egyértelműen illusztrálják a klasszikus passzív szoláris építészet koncepcióját: A fűtési energiaigény déli tájolás esetében az üvegezési arány növekedésével drasztikusan csökken, északi tájolás esetében kismértékben nő. Keleti tájolásnál 25-30% körül van az üvegezési arány ésszerű felső határa. Előtéta alkalmazásának déli tájolásnál csak a puffer- és üvegházhatás szempontjából nincs értelme, (a szellőztetés – 4.3.2. fejezetben tárgyalt – hatását figyelembe véve azonban van), egyéb tájolásoknál kismértékű fűtési energiaigény csökkenés tapasztalható. (mivel az eredeti ablak energetikai minősége jó, csak egyszeres előtéta alkalmazását vizsgáltuk). A szimulációs eredmények alapján számolt fűtési energiaigény csökkenést mutatja a 4.5. táblázat.

Fűtési energiaigény csökkenés [GJ/a]		Homlokzat üvegezési aránya $A_{ü}/A_{homl}$ [%]			
		4	15	20	34
1 rétegű előtétablak	Déli tájolás	0.1331	0.0088	-0.0157	-0.069
	Északi tájolás	0.0849	0.0776	0.0878	0.1617
	Keleti tájolás	0.1151	0.0887	0.0927	0.1571

4.5. táblázat. Fűtési energiaigény csökkenése előtétablak alkalmazásával puffer-, és üvegházhatás esetén. Eredeti állapot: $U_{fal} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,579$. Egyrétegű előtétablak: $U_{üv,előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,861$.

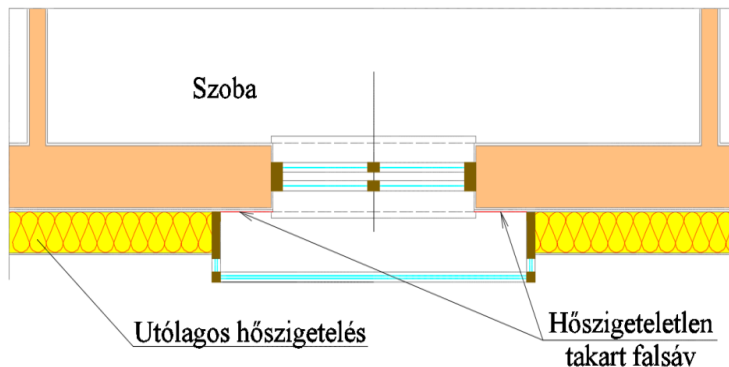
A déli és ahhoz közeli tájolások esetén a fűtési energiaigény puffer- és üvegházhatásban üzemelő egyrétegű előtétablakkal esetén gyakorlatilag nem csökkenthető: a kisebb transzmissziós hőveszteséget az ablak csökkenő sugárzási nyeresége ellentételezi.

A teljesítményigények tekintetében fennáll az alapvető kérdés: az üvegezési arány növelésével a csúcsgigény nő, ezen az előtétablak csak kismértékben enyhít. A csökkenő fűtési teljesítményigény – növekvő csúcsteljesítmény igény ellentmondása paradigmaváltást tesz szükségessé, mivel a jelenlegi szabályozásokban előírt egyes – alsóbb szintű – követelmények a beépítendő (maximális) teljesítményigény korlátozását célozzák – és természetesen ezt követi a tervezői gyakorlat is, miközben a cél a fogyasztás csökkentése lenne. Az eredmények azt mutatják, hogy a paradigmaváltás kiemelten fontos az nZEB épületek passzív szoláris rendszereinek helyes megítélése szempontjából.

Egy meglévő épület közel nulla energiaigény szintre való felújításánál, ha ablakcserére nem kerül sor, akkor csak a homlokzati fal utólagos hőszigetelését végeznék el. Ebben az – egyébként értelmetlen – esetben a nagyobb üvegezési arányok nagyobb fűtési energiaigénnyel járnak együtt, kivéve a déli tájolást, amelynél az üvegezési arány racionális felső határa mintegy 25%. Ha el akarjuk kerülni az ablakcsere hátrányos következményeit, akkor előtétablakot alkalmazunk, éspedig az eredeti ablak gyenge minősége miatt kettős üvegezéssel. Az előtét a hőszigetelt falon kerül felszerelésre. Ezzel a fűtési energiaigény északi tájolású homlokzatoknál gyakorlatilag független az üvegezési aránytól, más tájolásoknál annak növekedésével csökken.

A csúcsteljesítményigény növekvő üvegezési aránnyal nő.

A felújítás úgy is megvalósítható, hogy a homlokzatra először az előtétablakokat szerelik fel és azután szigetelik a szabadon maradó falfelületet, amint azt a 4.12. ábra mutatja. Ebben az esetben a szigetetlen takart falsáv hőátbocsátási tényezője nagyobb, ami a transzmissziós veszteségeket növeli, ezt viszont valamennyire ellentételezheti a tömegfal hatás. Az előtétzóna hőmérséklete a hőszigetelt takart falsáv esetében magasabb, mivel a takart falsáv által elnyelt sugárzás a hőszigetelés következtében kisebb.



4.12. ábra. Előtétablak utólagos hőszigeteléssel, hőszigetelés nélküli takart fal sávval

Ezt a változatot szélsőséges üvegezési arányokra ellenőriztük. Megállapítható volt, hogy a fűtési energiaigényt illetően déli tájolás esetén ugyan az eltérés nem jelentős, de egyéb tájolások mellett a fűtési energiaigény magasabb annál, mint ami a hőszigetelt takart falsáv esetében kialakul. A fűtési csúcs-teljesítményigényeket tekintve a hőszigetelés nélküli takart falsáv esetében nagyobb értékek adódnak. Mindezekre tekintettel ezt a változatot tovább nem vizsgáltuk és energetikai megfontolások alapján nem javasoljuk (ami azonban nem zárja ki az esetleges technológiai előnyök miatti alkalmazást).

Az itt összefoglalt következtetéseket megalapozó részletes szimulációs eredményeket a III. mellékletben ismertetjük.

4.3.2. Légáram télen – szellőzés

Eltekintve egy tökéletesen szabályozott és teljesen kiegyenlített gépi szellőztetéstől, amelynek a befűvási hőmérséklete a parancsolt és állandó szinten tartott belső léghőmérséklettel egyenlő, a transzmissziós és sugárzási energiaáramok algebrai összege nem addicionálható a szellőzési energiaigénnyel. A sugárzási nyereség hasznosulásának mértéke ugyanis függ a szellőzés hőigényétől: az egyrészt növeli a veszteségáramokat, másrészt az ebből eredő nagyobb hőigény miatt az adott sugárzási nyereség nagyobb hányada hasznosul.

Lakóépületeink szinte kivétel nélkül természetes szellőztetésűek (eltekintve a konyhák, fürdőszobák esetleges gépi elszívó szellőztetésétől) és az épületfelújítások után is többnyire ilyenek maradnak. A természetes szellőztetés eszköze az ablak. Nyilván lehetőség van arra, hogy az előtét ablak valamennyi szárnya és az eredeti ablak egyidőben legyen nyitva: ebben az esetben a szellőzés energiaigénye gyakorlatilag ugyanaz, mint előtétablak nélkül.

Előtétablak alkalmazása esetén mód van arra, hogy az előtétablak valamelyik szellőzőnyílásának és az eredeti ablak nyitásával a levegőt az előtét zónán át vezessük. A nyomásviszonyoktól függően kétféle áramút lehetséges: kívülről befelé vagy

belülről kifelé (a légvezetési sémákat ld. a harmadik fejezet 3.5. és 3.6. ábráin). A nyomásviszonyok számos tényezőtől függenek – a teljesség igénye nélkül: a belső és külső hőmérséklet különbsége, a szél iránya és sebessége, az ablak és az összes többi ablak pozíciója az épületen, a hidraulikai ellenállások a levegő áramútjában, beleértve az épületek belső ajtóinak ellenállását, az esetleges szellőző kürtők. Nyilván más a helyzet az alsó és a felső szinteken, a szél felöli és a szél alatti homlokzatokon. Mivel a külső hőmérséklet is, a szél iránya és sebessége is változó. az év folyamán ugyanazon az ablakon át beáramlás és kiáramlás egyaránt lehetséges.

Beáramlás esetén a szellőző levegő előmelegszik – természetesen a konvektív hőfelvétel miatt az előtétzóna hőmérséklete csökken. Kiáramlás esetén a szobából távozó levegő hőt ad le az előtétzónában, az előtétzóna hőmérséklete nő, a távozó levegő hőtartalmának egy része visszanyerhető.

Ennek megfelelően az éves energiaigény nem számítható egyféle áramút alapján. Ezért azt minden változatra meghatároztuk mindkét áramútra, ezzel behatárolva annak lehetséges határait. Az energiamérleg a kétféle áramlási irányra kapott eredmények átlagolásával vagy pesszimista módon a kedvezőtlenebb eredmény alapján ítéltető meg.

Nyilván kérdés a szellőző levegő térfogatárama, amely a lakók által foganatosított természetes szellőzés esetén szabatosan és általános érvénnyel nem határozható meg. Az összehasonlíthatóság végett minden esetben a szükséges ($n=0,5h^{-1}$) légcsereszámot vettük alapul. Megjegyzendő, hogy bár a légáram iránya természetes szellőztetés esetében előre nem jósolható, a beáramlás valószínűségét nagyban növeli, ha az épület belső téri helyiségeinek van kürtője, különösen, ha a kürtő tetején elszívó ventilátor is működik.

A meglévő, régebben létesített épületállomány zömére jellemző falazott szerkezetek és kapcsolt gerébtokos ablakok esetében az előtétzónán keresztül történő szellőztetés mindkét áramlási irány esetében egyszeres és kétszeres előtétüvegezés mellett is jelentősen csökkenti a fűtési energiaigényt. Fontos tanulság, hogy a csúcsteljesítményigény nemcsak csökken, hanem növekvő üvegezési aránnyal is csökken.

A kétezres évek elején létesített épületek esetében egyértelműen megállapítható, hogy mind a fűtési energiaigény, mind a csúcsteljesítményigény szempontjából a kétszörös üvegezésű előtétablak lényegesen kedvezőbb az egyszeres üvegezésűnél, különös tekintettel arra, hogy csak ez oldja fel a nagyobb üvegezési aránnyal növekedő csúcsgigény és csökkenő fűtési energiaigény ellentmondását.

A közel nulla energiaigényű szintnek megfelelő épületek esetében az előtétzónán keresztül történő szellőztetés mind a fűtési energiaigényt, mind a csúcsteljesítményigényt mérsékli, noha nem látványosan, ami a szerkezetek jó hőtechnikai minőségének tudandó be.

A közel nulla szintre felújított épületek esetében is jelentős a fűtési energiaigény csökkenése. Az üvegezési arány – fűtési energiaigény és az üvegezési arány – csúcsteljesítményigény függvények ellentétes irányú változása fennmarad. A szimulációs eredmények alapján számolt fűtési energiaigény csökkenést mutatják a 4.6 – 4.10. táblázatok.

Fűtési energiaigény csökkenés [GJ/a]		Homlokzat üvegezési aránya $A_{\tilde{u}}/A_{homl}$ [%]			
		4	15	20	34
Levegő- előmelegítés üzem mód	Déli tájolás	1.8274	2.3235	2.501	2.8384
	Északi tájolás	1.2217	1.7855	2.0537	2.8447
	Keleti tájolás	1.4447	2.0365	2.2815	2.8877
Távozó levegő hőhasznosítás üzem mód	Déli tájolás	1.2284	1.7663	1.9708	2.4104
	Északi tájolás	0.9227	1.5046	1.7771	2.5667
	Keleti tájolás	1.0335	1.6308	1.8943	2.6055

4.6. táblázat. Fűtési energiaigény csökkenése egyrétegű előtétablak alkalmazásával az előtétablak szellőzéses üzem módjaiban. Eredeti állapot: $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\tilde{u},abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\tilde{u},abl} = 0,765$. Egyrétegű előtétablak: $U_{\tilde{u},előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\tilde{u},előtét} = 0,861$.

Fűtési energiaigény csökkenés [GJ/a]		Homlokzat üvegezési aránya $A_{\tilde{u}}/A_{homl}$ [%]			
		4	15	20	34
Levegő- előmelegítés üzem mód	Déli tájolás	2.23	2.8482	3.0732	3.517
	Északi tájolás	1.567	2.3271	2.6806	3.697
	Keleti tájolás	1.8107	2.5653	2.8843	3.6977
Távozó levegő hőhasznosítás üzem mód	Déli tájolás	1.4834	2.1412	2.4002	2.9924
	Északi tájolás	1.1705	1.9262	2.2777	3.2885
	Keleti tájolás	1.2831	2.0355	2.3615	3.2211

4.7. táblázat. Fűtési energiaigény csökkenése kétrétegű előtétablak alkalmazásával az előtétablak szellőzéses üzem módjaiban. Eredeti állapot: $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\tilde{u},abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\tilde{u},abl} = 0,765$. Kétrétegű előtétablak: $U_{\tilde{u},előtét} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\tilde{u},előtét} = 0,754$.

Fűtési energiaigény csökkenés [GJ/a]		Homlokzat üvegezési aránya $A_{\tilde{u}}/A_{homl}$ [%]			
		4	15	20	34
Levegő- előmelegítés üzem mód	Déli tájolás	1.0431	0.9199	0.8719	0.7641
	Északi tájolás	0.6123	0.7445	0.8197	1.0809
	Keleti tájolás	0.7912	0.8517	0.8952	1.0702
Távozó levegő hőhasznosítás üzem mód	Déli tájolás	0.4056	0.377	0.372	0.3846
	Északi tájolás	0.3326	0.4661	0.5426	0.8091
	Keleti tájolás	0.3625	0.478	0.5385	0.7345

4.8. táblázat. Fűtési energiaigény csökkenése egyrétegű előtétablak alkalmazásával az előtétablak szellőzéses üzem módjaiban. Eredeti állapot: $U_{fal} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\tilde{u},abl} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\tilde{u},abl} = 0,649$. Egyrétegű előtétablak: $U_{\tilde{u},előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\tilde{u},előtét} = 0,861$.

Fűtési energiaigény csökkenés [GJ/a]		Homlokzat üvegezési aránya $A_{\tilde{u}}/A_{\text{homl}}$ [%]			
		4	15	20	34
Levegő- előmelegítés üzem mód	Déli tájolás	1.7472	1.6471	1.6016	1.4742
	Északi tájolás	1.104	1.4692	1.6272	2.043
	Keleti tájolás	1.3819	1.5898	1.7003	2.0629
Távozó levegő hőhasznosítás üzem mód	Déli tájolás	0.6625	0.6812	0.7057	0.8275
	Északi tájolás	0.5504	0.8709	1.0301	1.5212
	Keleti tájolás	0.6073	0.8647	0.9897	1.3663

4.9. táblázat. Fűtési energiaigény csökkenése kétrétegű előtétablak alkalmazásával az előtétablak szellőzéses üzemmódjaiban. Eredeti állapot: $U_{\text{fal}} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{üv,abl}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,649$. Kétrétegű előtétablak: $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$.

Fűtési energiaigény csökkenés [GJ/a]		Homlokzat üvegezési aránya $A_{\tilde{u}}/A_{\text{homl}}$ [%]			
		4	15	20	34
Levegő- előmelegítés üzem mód	Déli tájolás	0.8263	0.6294	0.5639	0.4603
	Északi tájolás	0.4367	0.4976	0.5301	0.6371
	Keleti tájolás	0.6098	0.5845	0.589	0.6548
Távozó levegő hőhasznosítás üzem mód	Déli tájolás	0.211	0.1054	0.0814	0.094
	Északi tájolás	0.1768	0.224	0.2539	0.3655
	Keleti tájolás	0.2003	0.2223	0.2403	0.3173

4.10. táblázat. Fűtési energiaigény csökkenése egyrétegű előtétablak alkalmazásával az előtétablak szellőzéses üzemmódjaiban. Eredeti állapot: $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{üv,abl}} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,579$. Egyrétegű előtétablak: $U_{\text{üv,előtét}} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,861$.

Az itt összefoglalt következtetéseket megalapozó részletes szimulációs eredményeket a III. melléklet tartalmazza.

4.3.3. Belső légfüggöny

Ebben az esetben a friss levegő nem az előtét ablakon keresztül jut a szobába – amint azt a harmadik fejezet 3.7. ábrája alapján már ismertettük –, ezért ez nem szellőzéses változat, de mivel az előtét zóna és a szoba közötti légkörzésről van szó, itt tárgyaljuk. Amennyiben az előtétzóna levegő hőmérséklete meghaladja a szoba levegőhőmérsékletét, a szoba és a helyiség között az eredeti ablak nyitásával légcseré alakulhat ki, amelynek során az előtétzóna melegebb levegője a helyiségbe jut. Itt is kérdéses a kialakuló légcseré mértéke, azonban tudatos használói magatartást feltételezve (Firlag, Sz. et al. (2015). kifejezésével „perfekt lakó”) a belső légfüggöny működési időtartama alatt a szoba térfogatára vonatkoztatott $0,5 \text{ h}^{-1}$ légcsereszámmal számolva meghatároztuk a fűtési energiaigényt. A szimulációs eredmények a III. melléklet 25. ábráján láthatók. A belső légfüggöny üzemmód a vizsgált esetben mindig megtakarítást jelent a puffer és üvegházhatáshoz képest, de a különbség nem számottevő.

4.3.4. A hőtárolóképesség szerepe

A hőtároló képességnek köztudottan szerepe van abban, hogy az időben változó szoláris nyereségnek mekkora hányada hasznosul. Az úgynevezett hasznosítási fok meghatározására használt, az MSZ EN ISO 13790:2008 szabványban is rögzített számítási eljárás a hőtároló képesség meghatározása szempontjából kvázistacioner állapotot feltételez és aktív hőtároló tömegként a helyiséget burkoló szerkezeteknek a belső síktól mért, a periódusidőtől függő vastagságú rétegét veszi figyelembe. A periódusidő a szoláris nyereség esetében 24 óra. (Fekete I. et al. 1985).

Ez a módszer a gyakorlati tervezés szempontjából elfogadott közelítés, de az elhanyagolások miatt pontatlanul becsüli a tárolt hő hatását. Ennek több oka van:

- a valóságban ugyan vannak nagyjából azonos hőtechnikai „történetű” egymásra következő napok és öt-hat ilyen nap után a kvázistacioner állapot gyakorlatilag beáll, de vannak interdiurnus változások és időben hosszabb lefutású változások is – például a lehűlési szakaszok jellemzően 3-4 nap hosszúak: ilyen esetekben a szerkezetek mélyebb rétegeiben is jelentős hőmérsékletváltozás, azaz hőfelvétel vagy-leadás játszódik le;

- a nem periodikus folyamatok esetében a változások közelítő leírására az időállandó alkalmas – a helyiséget egytárolós szakasznak feltételezve ez fordítottan arányos a helyiség egységnyi hőmérsékletkülönbséghez tartozó hővesztésével, az utóbbi csökkentése ugyanolyan hatású, mint a hőtároló tömeg növelése. Az időállandó Gábor L. Zöld A. (1981) alapján:

$$\tau = \frac{C}{K} \quad (4.3.)$$

ahol:

C	a hőtároló tömeg hőkapacitása, J/K
K	vesztésgtényező, W/K
τ	időállandó, s

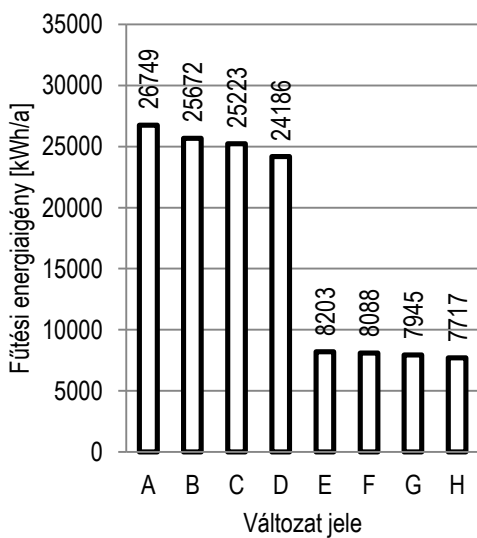
- az épület több helyiségből, zónából áll, amelyeknek nemcsak vesztésgtényezői és tömege térnek el, hanem használatuk és nyereségeik időbeli lefolyása is különbözőek. Emiatt a zónák között hőáramok jönnek létre. A zónák közti áramok nem csak a nagy irodaházak jelensége. A kis családi házban is legalább ugyanannyi zóna van és a használatuk menetrendje méginkább eltérő.

A kérdést tovább bonyolítja a szomszédos helyiségek közötti hőcsere. A felsorolt tények miatt a hőtároló képesség hatását egy épületmodell szimulációs eredményei alapján vizsgáltuk. A modell leírása a harmadik fejezet 3.4. pontjában és a II. mellékletben található. Az összes változatot a 4.11. táblázat foglalja össze.

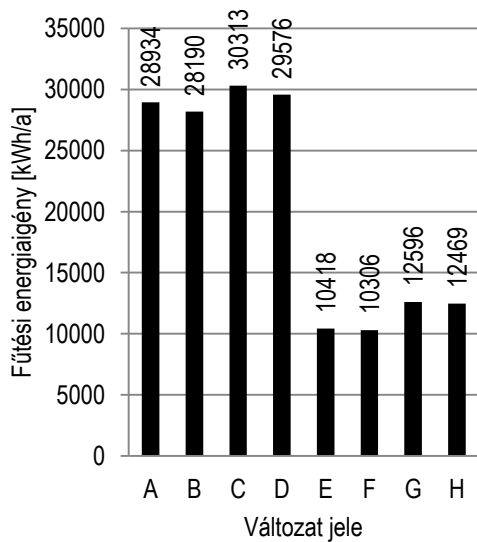
Épület szerkezet	Homlokzat üvegezési aránya [%]	Hőtároló képesség	Változat jele
Hagyományos	10,1	könnyű	A
	10,1	nehéz	B
	20,8	könnyű	C
	20,8	nehéz	D
Hőszigetelt	10,1	könnyű	E
	10,1	nehéz	F
	20,8	könnyű	G
	20,8	nehéz	H

4.11. táblázat. Az épületváltozatok összefoglalása

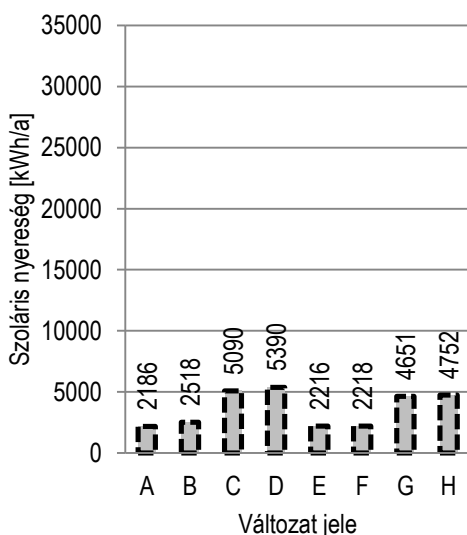
A többzónás épület passzív szoláris nyereségének szimulációs eredményeit a 4.13. ábra mutatja (A. Kerekes, A. Zöld, 2016).



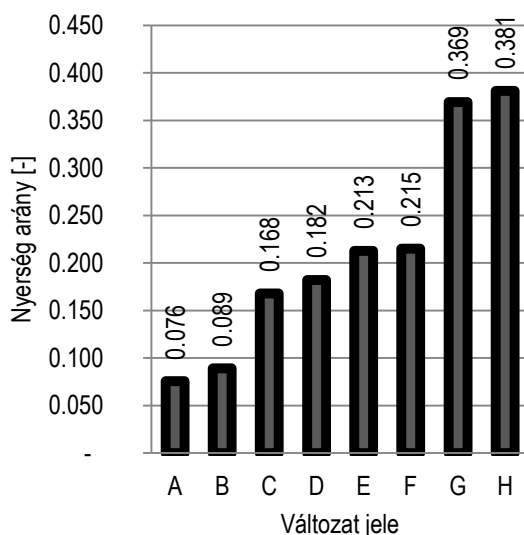
a. Fűtési energiaigények



b. Fűtési energiaigények szoláris nyereség nélkül



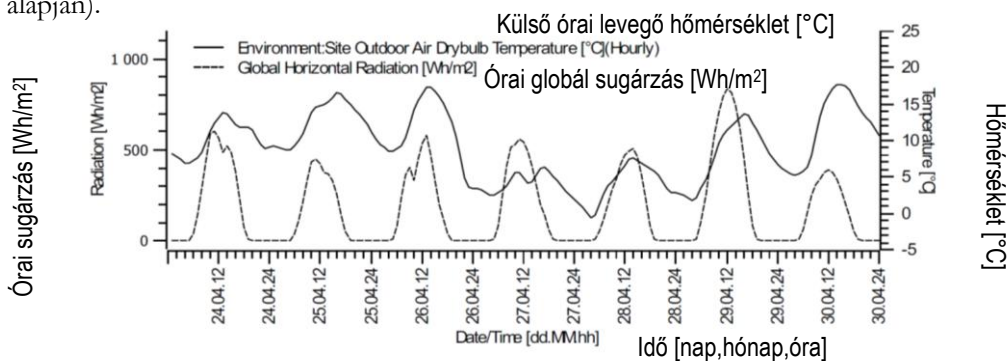
c. Szoláris nyereség



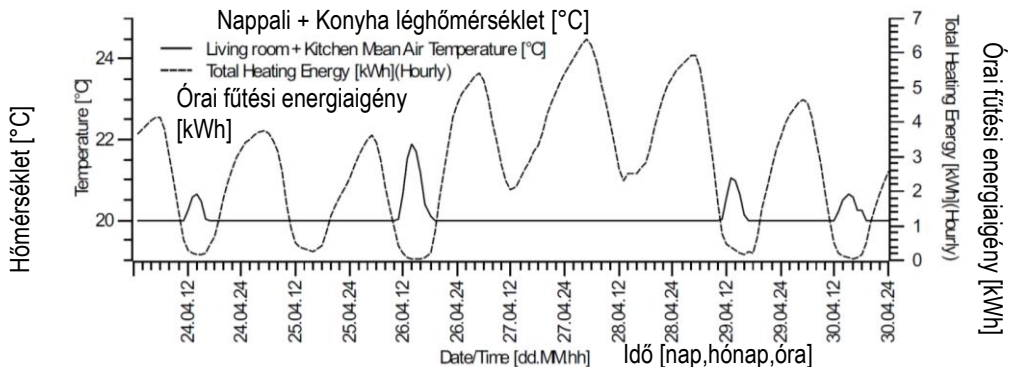
d. Szoláris nyereség és a szoláris nyereség nélküli fűtési energiaigény aránya

4.13. ábra. Többzónás épület passzív szoláris nyereségének hatása

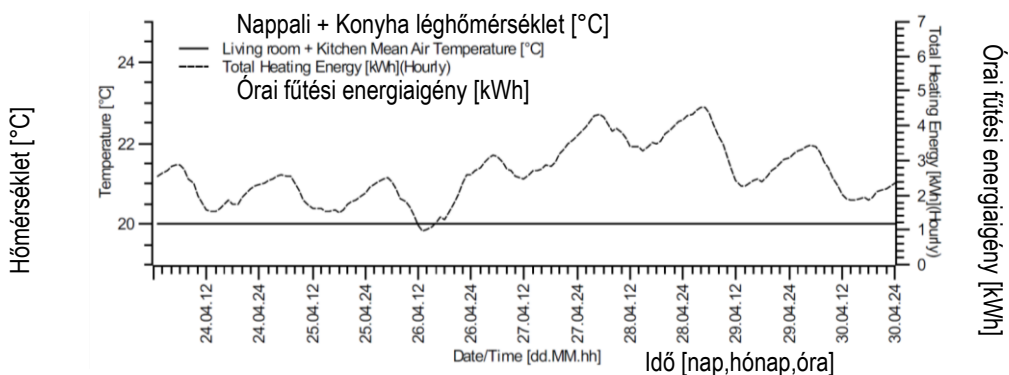
A vizsgált változatok korlátozott száma nem teszi lehetővé az általánosítást, de a tendenciákat megfigyelhetők. Bár a hőszigetelt épületben a hasznosuló sugárzási nyereség abszolút értéke nem különbözik jelentősen a hagyományos épületétől, azonban a passzív sugárzási nyereségnek a hővesztések fedezéséhez való hozzájárulása a hőszigetelt épületben mégis jelentősebb (4.13. d. ábra). Ez az alacsonyabb értékű hővesztesség tényezőnek, a nagy időállandónak és a hosszabb, fűtést nem igénylő, és/vagy még éppen elfogadható mértékű túlmelegedési időszakoknak a következménye. A 4.13. ábrákból megállapítható, hogy a hőtároló képesség miatt ugyan van különbség, de nem számottevő mértékű (azonban meg kell jegyezni, hogy a mintaépületben valóságos szerkezetek figyelembevételével készült, nem szélsőségek alapján).



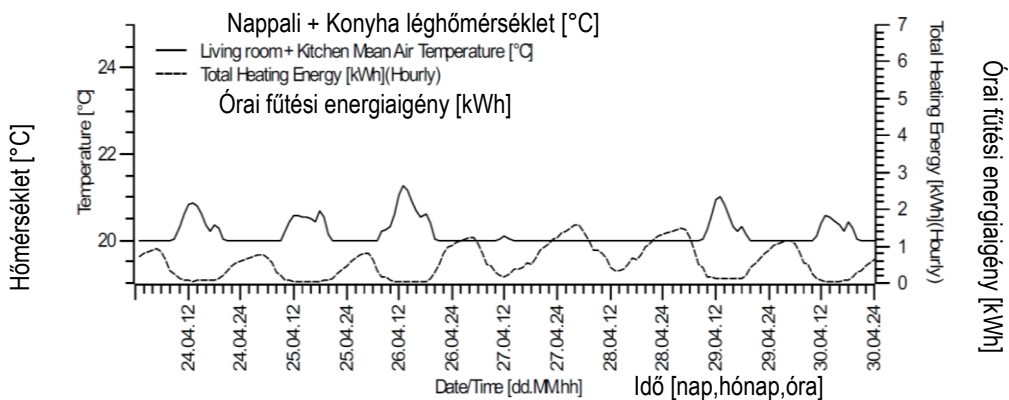
a. ábra



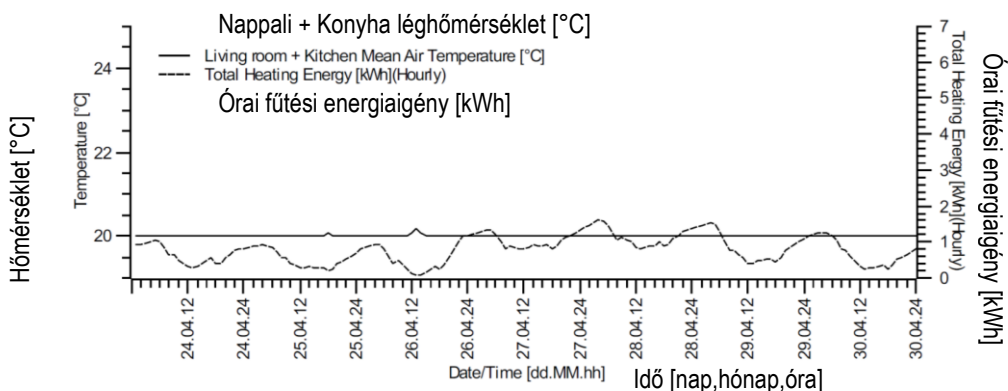
b. ábra. C változat



c. ábra. D változat



d. ábra. H változat



e. ábra. F változat

4.14. ábra. A külsőhőmérséklet, a globál sugárzás és a többzónás épület egy zónájának belső levegő hőmérséklet és órai fűtési energiaigényének alakulása különféle épületváltozatoknál (szimulációs eredmények)

A 4.14. ábrán a szimulációs eredmények alapján tipikus példák láthatók egy kiválasztott időszakra az épület egyik termikus zónájára vonatkozóan. A C és D változat között az energiaigényben nincs jelentős különbség, igaz az időbeli alakulás a könnyűszerkezetes C változatnál nagyobb szélsőségeket mutat mint a nehéz szerkezetű D esetben. A belső levegő hőmérsékletek szintén szélsőségesekben alakulnak a C esetben (itt több túlmelegedéssel jelölt időszak jelentkezik), mint a D esetben. A hőszigetelés javítása csökkenti a veszteségtényezőt és növeli az időállandót, hatása látható a H és a D változat között. A homlokzati üvegezési arány növekedése növeli a veszteségtényezőt, ezzel valamelyest csökkenti az időállandót, és növeli a sugárzási nyereséget, hatása a H és F változat között látható.

4.4. Fűtési energia-, és csúcsteljesítményigény

Számos esetben az eredmények azt mutatják, hogy az üvegezési arány növekedésével a fűtési energiaigény csökken, ugyanakkor a legnagyobb fűtési teljesítményigény növekszik.

Ez a tény paradigmaváltást tesz szükségessé, aminek a tervezési gyakorlatban és a szabályozásban is meg kell jelennie. A csúcsgigényt befolyásoló, az elemekre vonatkozó követelmények lazításával és szemléletváltással kell elérni azt, hogy a tervezés az alacsony fűtési energiaigényt célozza meg.

Ugyanakkor felmerül a kérdés, hogy a magasabb csúcsteljesítményű, de azt évente csak néhány napon kihasználó fűtési rendszerek éves átlagos hatásfoka a hosszabb idejű részterhelés alatt hogyan alakul. Kazánok esetén az átlag (szezónális) hatásfok függ a legalacsonyabb szabályozható teljesítmény értékétől, a készenléti veszteségtől, a részterhelésen mért kazánhatásfoktól és a kazán kihasználási tényezőjétől. A gáztüzelésű kazánokat tekintve, míg a hagyományos állandó hőmérsékletű kazánok átlaghatásfoka a kihasználási tényező csökkenésével egyre alacsonyabb, addig a kondenzációs kazánok

átlag hatásfoka a kihasználási tényező egy bizonyos értékéig, amely lehet akár 5% is, növekszik (H. Burger, W. Rogatty, 2004), azaz a magasabb teljesítményigény nem jelent problémát. A 813/2013/EU rendelet (2013. augusztus 2.) a szezonális helyiségfűtési hatásfokra vonatkozóan követelményértékeket ír elő, amely a legfeljebb 70 kW mért hőteljesítményű helyiségfűtő tüzelőkazánok és kombinált tüzelőkazánok (kivéve a legfeljebb 10 kW mért hőteljesítményű B1 típusú kazánokat és a legfeljebb 30 kW mért hőteljesítményű B1 típusú kombinált kazánokat) esetében legalább 86%, az alacsony hőmérsékletű hőszivattyúk esetében pedig legalább 125%. Az előírt határidőt követően az Európai Unióban a rendelet hatálya alá tartozó minden egyes forgalomba hozott készüléknek meg kell felelni a követelményeknek.

4.5. Klímaérzékenységi elemzés

A harmadik fejezetben ismertetett modell helyiség szimulációját a következő három európai helyszínre is elvégeztem: Debrecen, Leuchars, Bergen. Az egyes helyszínek Köppen féle leíró illetve az ASHRAE specifikus éghajlati osztályait és hőfokhíd adatait a 4.12. táblázat mutatja.

Helyszín	Köppen éghajlati osztály	ASHRAE éghajlati osztály	HDD ₁₀ [napfok]	HDD _{18,3} [napfok]
Debrecen {É 47° 28'} {K 21° 37'}	Dfb	5A	1367	3196
Leuchars {É 56° 22'} {Ny 2° 52'}	Cfb	5C	989	3522
Bergen {É 60° 17'} {K 5° 13'}	Cfb	5C	1418	4043

4.12. táblázat. Az egyes helyszínek éghajlati osztályai (forrás: a szimulációkhoz használt IWEC állomány - Climate Design Data 2009 ASHRAE Handbook)

A vizsgált épületváltozatok:

- Hagyományos falazott szerkezet, abban kapcsolt gerébtokos ablakkal, előtétablak nélkül (mint kiinduló állapot), és kétrétegű üvegezésű előtétablakkal.

- Hagyományos épület közel nulla energiaigényű szintre felújítva a megtartott eredeti ablakhoz és falhoz, illetve a szigetelt falhoz illesztett előtétablakkal.

Vizsgálatra kerültek a szellőzőes változatok is.

A szimulációkat lefuttattam három tájolásra (Dél, Észak és Kelet) a 4-35% homlokzati üvegezési arány tartományban.

Az eredmények a III. melléklet 17–24. ábráin találhatók.

A fűtési energiaigény az eredeti állapotra a várakozásnak megfelelően alakult, a nagyobb északi szélesség mentén fekvő településnél nagyobbra adódott. Az üvegezési arány növelésével a fűtési energiaigény csökken, kivéve az északi tájolást, ahol nem változik számottevően.

Az előtétablak alkalmazásával a fűtési energiaigények a homlokzati üvegezési arány növekedésével meredeken csökkennek minden vizsgált tájolás esetén, ugyanakkor a

Debrecen és Leuchars közötti különbség elenyészővé válik, a legmagasabb fűtési energiaigény Bergenben adódik.

A közel nulla energiaigényű szintre felújított épület fűtési energiaigénye vegyesebb képet mutat. A legnagyobb fűtési energiaigény itt is Bergenben adódik, a Debrecen és Leuchars közötti különbség elenyészővé válik, az üvegezési aránynak számottevő fűtési energiaigény csökkentő hatása a déli tájolásnál van. Bergen esetében az üvegezési arány növelése északi tájolásnál enyhe energiaigény növekedést okoz, keleti tájolásnál pedig 20% üvegezési aránynál minimumot mutat.

A levegő előmelegítés és a távozó levegő hőhasznosítás üzemmódok a helyszínek fűtési energiaigény szerinti sorrendjében, a tájolás és a homlokzati üvegezési arány tekintetében a puffer és üvegházhatással azonos tendenciákat mutatnak.

A legnagyobb fűtési teljesítményigények az egyes helyszínek esetében a csökkenő sorrendben, mindegyik vizsgált változatra a következő: Debrecen, Bergen és Leuchars.

Az üvegezési arány növekedésével az eredeti állapot (előtétablak nélkül) és a közel nulla energiaigényű szintre felújított épület puffer-, és üvegházhatás esetén a legnagyobb fűtési teljesítményigény tájolástól függetlenül növekszik. Az eredeti homlokzaton alkalmazott előtétablak az üvegezési arány növelésével minden esetben csökkenti a legnagyobb fűtési teljesítményigényt.

A közel nulla energiaigényű szintre felújított épület esetében a szellőzéses üzemmódokban a homlokzati üvegezési arány növekedésével a legnagyobb fűtési teljesítményigény növekszik, kivéve a Debrecen és Leuchars helyszíneket déli tájolás esetén, ahol a változás nem számottevő.

A bemutatott példák is illusztrálják, hogy a fűtési energiaigény nem arányos a hőfokhíddal, tehát az éghajlat jellemzésére a hőfokhíd önmagában nem elegendő. Ugyanakkor a 4.12. táblázatban bemutatott éghajlati osztályok sem tükrözik a fűtési energiaigényeket megfelelően.

Az éghajlat komplexebb jellemzésére a „climate severity index” bevezetésével tettek kísérletet (Makhmalbaf, A. et al. (2013), Ford, B. et al. (2007)). amelynek téli és nyári értékeit különböztették meg (az utóbbiakkal nem foglalkozunk, mivel az a hűtési energiaigény elemzésére vonatkozik).

A climate severity index értékében az éghajlat számos éves jellemzőjét figyelembe vették: hőmérséklet, sugárzás intenzitás, napsütéses órák száma, szélsébség, csapadék, stb. Kiválasztott típusépületek fűtési energiafogyasztását részletes dinamikus szimulációval határozták meg különböző földrajzi helyek éghajlati adataival, majd egy vonatkoztatási érték alapján standardizálva severity indexet állapítottak meg és regresszió analízissel vizsgálták annak összefüggését a fűtési energiafogyasztással. A kapcsolat jónak bizonyult a kiválasztott típusépületek esetében – a módszer ebben a formában az éghajlat és az adott épület együttes jellemzésére alkalmas.

Az elvégzett próbaszámításaink alapján az éghajlat olyan jellemzőjét kerestük, amely a modell helyiségtől vagy egy épülettől független. Az épület energiamérlegére két környezeti tényező gyakorol alapvető hatást: a levegő hőmérséklete és a napsugárzás. Ezek aránya ismert előképek alapján egyszerűsített „climate severity index”-nek nevezhető, amelynek magyar megfelelőjeként az „éghajlati zordság” kifejezés használható.

Az eredeti climate severity index egyértelműen egy adott épülethez kötődik (az épület éves energiamérlegét különböző helyszínekre részletes szimulációval határozzák meg, az index a számított energiafogyasztások és ezek minimumának arányát tükrözi). Esetünkben az „egyszerűsítés” abban áll, hogy az általunk alkalmazott arány az épülettől független, csak éghajlati jellemzőktől függ.

Több információt nyerhetünk azonban, ha ennek az indexnek az időbeli változását elemezzük. Ehhez az éghajlati zordság havi értékei kerültek meghatározásra.

$$CSI_j = \frac{HDD_{18,3,j}}{Q_{glob,j}} \quad (4.4.)$$

ahol:

CSI_j a j -edik hónap éghajlati zordsága, napfok/(kWh/m²hó),
 $HDD_{18,3,j}$ a j -edik hónap 18,3°C-ra vonatkozó éghajlati hőfokhídja, napfok
 $Q_{glob,j}$ globál sugárzási energiahozam a j -edik hónapban, kWh/m² hó

A hőfokhíd és a sugárzási nyereség kapcsolata hat földrajzi helyre (Lerwick, Berlin, Nizza, Debrecen, Leuchars, Bergen) került elemzésre. A sugárzási és hőmérséklet adatok forrása a Climate Design Data 2009 ASHRAE Handbook statisztikai adatai. A hőfokhíd adatok közül a $t_c = 18,3^\circ\text{C}$ -ra vonatkozót választottuk, egyrészt azért, mert erre vannak részletes adatok, másrészt azért, mert ha a vonatkoztatási hőmérsékletnek a szokásos 20°C belső hőmérséklet értéket is választanánk, a kettő különbségéhez tartozó hőveszteséget a rendeltetésszerű használatból származó belső hőnyereségek még a rossz minőségű épületek esetében is fedezik (a belső hőmérséklet 20°C szinten fenntartható fűtés és sugárzási nyereség nélkül is).

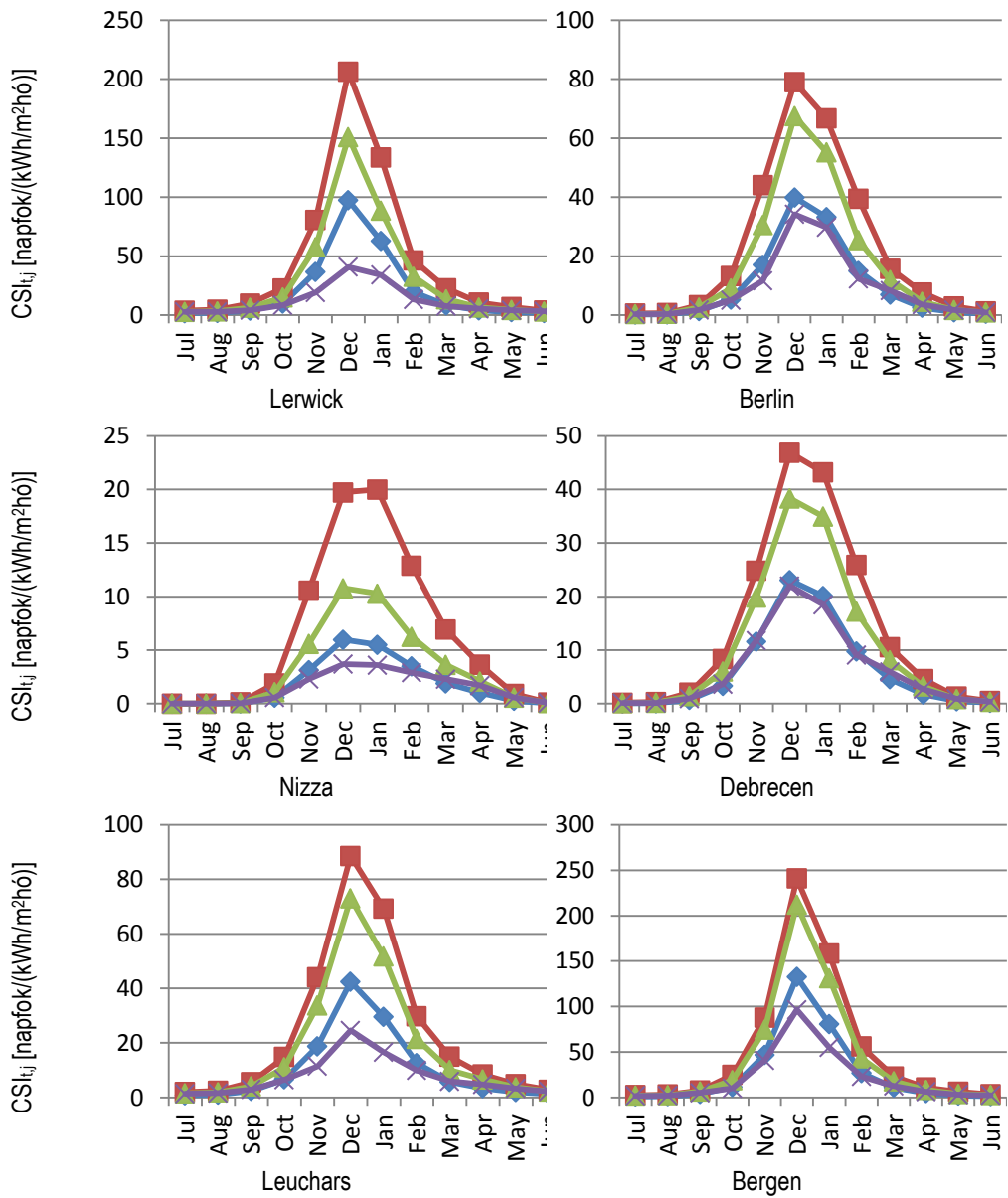
Alapvető jelentőségű a transzparens szerkezetek tájolása, ezért az egyszerűsített index értékét nemcsak a vízszintes, hanem különböző tájolású függőleges felületekre is meghatározásra kerültek (4.5).

$$CSI_{t,j} = \frac{HDD_{18,3,j}}{Q_{t,j}} \quad (4.5.)$$

ahol:

$CSI_{t,j}$ a t -edik helyzetű felület éghajlati zordsága a j -edik hónapban, napfok/(kWh/m²hó),
 $Q_{t,j}$ a t -edik helyzetű felület sugárzási energiahozama a j -edik hónapban, kWh/m²hó (vízszintes felület esetén a globál sugárzás értéke)

Az éghajlati zordság havi értékeit hat európai helyszínrre a 4.14. ábra tartalmazza.



Jelmagyarázat

- ◆ Vízszintes felület
- Északi tájolású függőleges felület
- ▲ Keleti tájolású függőleges felület
- × Déli tájolású függőleges felület

4.14. ábra. A vízszintes és függőleges felületekre számított éghajlati zordság

A külső hőmérséklet és a sugárzási nyereség minimumai időben közel esnek egymáshoz. A Nap járása a napfordulók időpontjára „szimmetrikus”, a csillagászatilag lehetséges sugárzás az északi féltekén decemberben éri el az éves minimumot. A földfelszínen észlelhető globál sugárzás időbeli változása ettől statisztikai alapon értelmezhető függvények szerint eltérhet, aminek okai a nedvességtartalom, a felhőzet változása. A külső hőmérséklet menete az északi féltekén statisztikai adatok szerint jellemzően januárban éri el az éves minimumot. Az éghajlati zordság időbeli változását tekintve tehát van statisztikai alapon értelmezhető függvény.

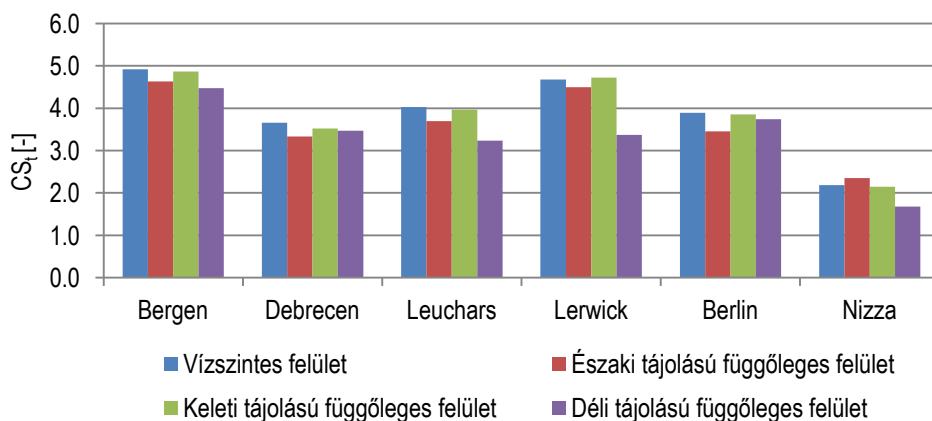
Ennek az indexnek az idő függvényében maximuma mutatkozik – a fűtés tekintetében ez a legkedvezőtlenebb helyzet, amikor a veszteségek nagyok, a sugárzási nyereség pedig kicsi. Minél „csúcsosabb” ez a függvény, annál kedvezőtlenebbül alakul a fűtési energiafogyasztás egy adott éghajlati hőfokhíd mellett. A csúcsosságot a legnagyobb havi érték és az éves átlagérték arányaként értelmezzük.

$$CS = \frac{\left(\frac{HDD_{18,3,j}}{Q_{glob,j}} \right)_{MAX}}{\left(\sum_{j=1}^{12} \frac{HDD_{18,3,j}}{Q_{glob,j}} \right) / 12} \quad (4.6.)$$

ahol:

CS az éghajlati zordság csúcsossága, -,
 $\left(\frac{HDD_{18,3,j}}{Q_{glob,j}} \right)_{MAX}$ az adott helyszínre vonatkozó legnagyobb értékű havi egyszerűsített climate severity index, napfok/(kWh/m²hó).

A csúcsosság alakulását mutatja a vizsgált helyszíneken a 4.15. ábra.



4.15. ábra. Az éghajlati zordság csúcsossága

A nagyobb hőfokhíd kétségtelenül nagyobb fűtési energiafogyasztással jár, nem közömbös azonban a hőfokhíd időbeli alakulása. A kevésbé csúcsos hőfokhíd esetében a sugárzási nyereség a veszteségek nagyobb hányadát fedezheti és a beépítendő fűtőteljesítmény sem olyan nagy, mint csúcsosabb hőfokhíd esetében. Az időben jobban elnyúló hőfokhíd kezdeti és záró szakaszai már a nagyobb sugárzási nyereségű hónapokra esnek. Itt jegyzendő meg, hogy a hőfokhíd „hossza” dátum szerint nem értelmezhető: a kezdeti és a záró szakaszok „töredeztettek” abban az értelemben, hogy a viszonyítási hőmérsékletnél magasabb és alacsonyabb középhőmérsékletű napok egyenként vagy egymásra következően hosszabb-rövidebb szakaszokban többször váltakozva követhetik egymást. Enyhébb éghajlati övezetekben ez az egész téli félévben is előfordul. A fűtési idény hossza tehát értelmezhető azon napok számaként, amikor a veszteségek fedezése céljából a fűtési rendszert üzemeltetni kell, de nem értelmezhető dátumok között eltelt időként, mert időben nem összefüggő.

A transzparens hányad növelésével együtt jár az épület nyári túlmelegedésének kockázata vagy a gépi hűtés energiaigényének a növekedése. E gondok kiküszöbölésének vagy mérséklésének legkézenfekvőbb módja az árnyékvető vagy árnyékoló szerkezetek alkalmazása.

4.7. Hővédelem és túlmelegedés

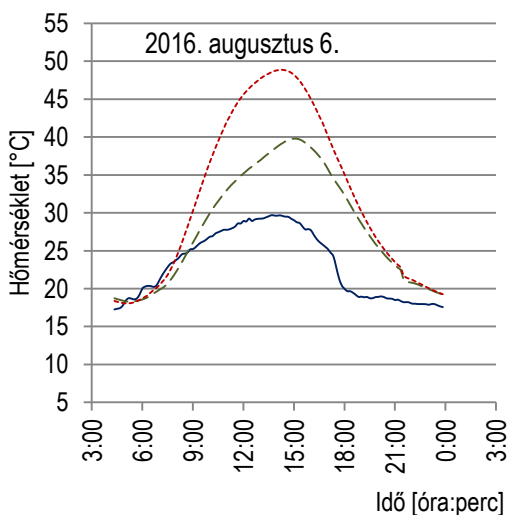
Az előtétablak hatását a mérőfülkéken a harmadik fejezetben és a II. mellékletben ismertetett módon végzett mérésekkel vizsgáltuk. A mérések során hőmérséklet adatgyűjtőkkel rögzítettük fülkék belső hőmérsékletét a következő állapotokra:

- előtétablakos fülkén:
 - árnyékoló az előtétzónában, az előtétablak alsó és felső részén az előtétablak alapterületével azonos méretű szellőzőnyílást biztosítva,
- hagyományos fülkén:
 - belső árnyékoló az ablakon belül a fülkében,
 - külső árnyékoló az ablak előtt.

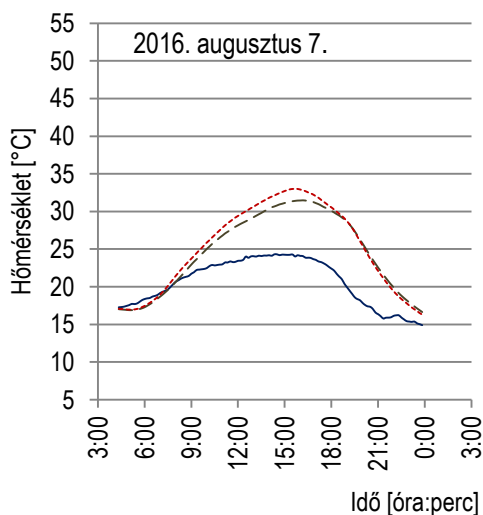
A méréseket déli és nyugati tájolásra végeztük el. Néhány napra vonatkozó eredményeket mutat be a 4.16. ábra. A külső levegő hőmérséklet adatok a mérés helyszínén, a Debreceni Egyetem Kismacson található Agrometeorológiai Obszervatóriumának mérési eredményeiből származnak, amelyeket a Debreceni Egyetem AKIT – Agrometeorológiai és Agroökológiai Monitoring Központja bocsátott rendelkezésünkre.

Az előtétzónában alkalmazott árnyékoló lényegesen kedvezőbb, mint az előtétablak nélküli esetben alkalmazott belső oldali árnyékoló. A 4.16. ábrán látható esetekben az előtétablakos fülke felmelegedése déli tájolásnál 9,18°C-al, nyugati tájolásnál 11°C-al alacsonyabb, mint a hagyományos fülke felmelegedése.

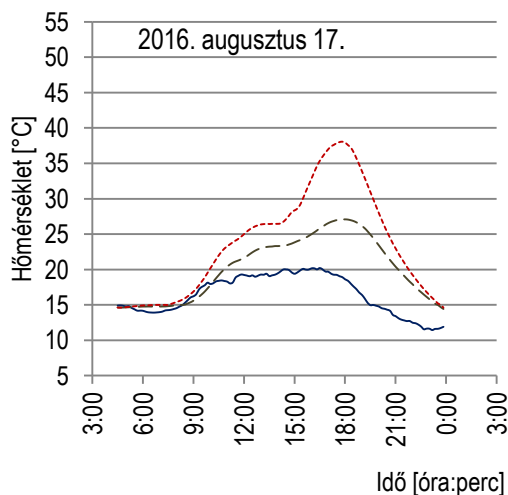
Az előtétzónában alkalmazott belső árnyékoló ugyanolyan hatékonynak, sőt a mért esetben kismértékben kedvezőbbnek is mondható, mint az előtétablak nélküli esetben alkalmazott külső oldali árnyékoló, a fülkék felmelegedése közel azonos.



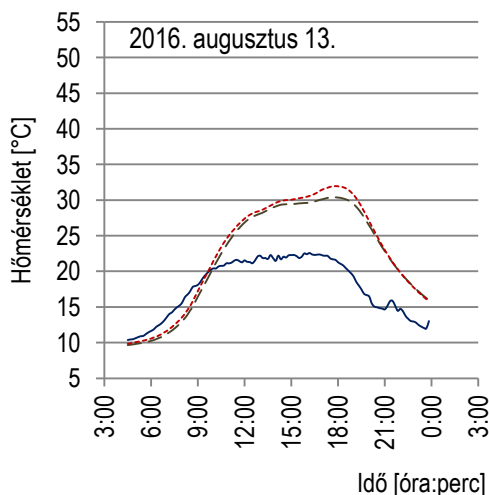
a. ábra. Déli tájolás, hagyományos fülke ablakán belső árnyékoló



b. ábra. Déli tájolás, hagyományos fülke ablakán külső árnyékvető



c. ábra. Nyugati tájolás, hagyományos fülke ablakán belső árnyékoló



d. ábra. Nyugati tájolás, hagyományos fülke ablakán külső árnyékvető

Jelmagyarázat

- — — — — Előtétablakos fülke belső hőmérséklet
- Hagyományos fülke belső hőmérséklet
- Külső levegő hőmérséklet

4.16. ábra. Fülkék nyári mérési eredményei

4.8. Az előtétablak hatása a kibocsátásra

A Nemzeti Épületenergetikai Rendszer 2 (továbbiakban: NÉER2), a Nemzeti Épületenergetikai Stratégia (továbbiakban: NÉeS) és a kapcsolódó háttér tanulmányok adataira támaszkodva néhány szcenárióra meghatározásra kerültek az előtétablakok alkalmazásával elérhető primerenergia megtakarítási és CO₂ kibocsátás csökkentési potenciálok.

A NÉER2 a magyarországi lakóépületeket az egy épületben található lakásszám, az alkalmazott építési rendszer és az építésük éve alapján az alábbi 23 kategóriába sorolja:

1. típus	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - vályog, alapozás nélkül
2. típus	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - vályog, alapozással
3. típus	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 1944 előtt - tégl, kő, kézi f.
4. típus	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 1944-1959 - tégl, kő, kézi f.
5. típus	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 1960-1979 - tégl, kő, kézi f. - 119 m ² alatt
6. típus	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 1960-1979 - tégl, kő, kézi f. - 120 m ² felett
7. típus	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 1980-1989 - tégl, kő, kézi f. - 119 m ² alatt
8. típus	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 1980-1990 - tégl, kő, kézi f. - 120 m ² felett
9. típus	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 1990-2005 - tégl, kő, kézi f. - 119 m ² alatt
10. típus	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 1990-2005 - tégl, kő, kézi f. - 120 m ² felett
11. típus	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 2006 után - tégl, kő, kézi f. - 119 m ² alatt
12. típus	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 2006 után - tégl, kő, kézi f. - 120 m ² felett
13. típus	Társasház 4-9 lakás - 1945 előtt - tégl, kő
14. típus	Társasház 4-9 lakás - 1945-1989 - tégl, kő, kézi f.
15. típus	Társasház 4-9 lakás - 1990-2005 - tégl, kő, kézi f.
16. típus	Társasház 4-9 lakás - 2006 vagy utána - tégl, kő, kézi f.
17. típus	Társasház min, 10 lakás - 1944 előtt - tégl, kő, kézi f.
18. típus	Társasház min, 10 lakás - 1945-1989 - tégl, kő, kézi f.
19. típus	Társasház min, 10 lakás - közép nagybl, öntött b.
20. típus	Társasház min, 10 lakás - 1979 előtt - panel
21. típus	Társasház min, 10 lakás - 1980 után - panel
22. típus	Társasház min, 10 lakás - 1990-2005 - tégl, kő, kézi f.
23. típus	Társasház min, 10 lakás - 2006 vagy utána - tégl, kő, kézi f.

4.13. táblázat. A NÉER2 23 épület kategóriája.

Az épületkategóriákhoz meghatározásra került egy-egy referenciaépület, és annak főbb adatai. Egy épületkategórián belül a referencia épület adataiból meghatározásra került a kategóriára jellemző tájolásonkénti homlokzati üvegezési arány. A részletes

szimulációs eredmények alapján meghatározott regressziós függvények segítségével a tájolás, a homlokzati üvegezési arány és a meglévő fal és ablakszerkezet ismeretében meghatározásra került az épületkategóriához közelálló modellhelyiségre vonatkozó fűtési energiaigény csökkenés. A kapott eredményt kiterjesztésre került a referenciaépületre, a referenciaépület és a modellhelyiség üvegezett felületének arányában. Az épületkategória összes épületének fűtött alapterület és a referenciaépület fűtött alapterületének aránya alapján a referencia épületre kapott eredményt kiterjesztésre került az épületkategóriára. Ezzel meghatározásra került az épületkategórián belül az előtéblakok alkalmazásával elérhető fűtési energiaigény csökkenés mértéke. A NÉeS tartalmazza az egyes épületkategóriákban alkalmazott fűtési módokat és egy-egy épületkategórián belül azok %-os megoszlását. A NÉeS csak 15 épület kategóriát különböztet meg, de a NÉER2 szerinti 23 kategória könnyen megfeleltethető a korábbi 15 kategóriának. Az egyes fűtési módokhoz a 7/2006. (V.24.) TNM rendelet 2. számú melléklet IV. pontja alapján meghatározásra került a hőtermelők C_k teljesítménytényezője, a 3. számú melléklet V. pontja alapján pedig a fűtésre használt energiahordozó e_f primerenergia-átalakítási tényezője. Egy épületkategória primerenergia felhasználás csökkenésének mértéke így a következő összefüggéssel számítható:

$$\Delta E_{F,i} = \sum_j \Delta Q_{F,i} C_{k,j} \frac{\alpha_j}{100} e_{f,j} \quad (4.7.)$$

ahol:

- $\Delta E_{F,i}$ az i -edik épületkategória primerenergia felhasználás csökkenése, PJ/a
- $\Delta Q_{F,i}$ az i -edik épületkategória fűtési energiaigény csökkenése, PJ/a
- $C_{k,j}$ az i -edik épületkategória fűtésére alkalmazott j -edik fűtési mód hőterhelőjének fűtési teljesítménytényezője, -
- α_j az i -edik épületkategória fűtésére alkalmazott j -edik fűtési mód %-os gyakorisága, %
- $e_{f,j}$ az i -edik épületkategória fűtésére alkalmazott j -edik fűtési mód hőterhelője által használt energiahordozó primerenergia átalakítási tényezője -

A teljes lakóépület állományra vonatkozóan a összegezni kell a figyelembe vehető épületkategóriák megtakarításait:

$$\Delta E_F = \sum_i \Delta E_{F,i} \quad (4.8.)$$

ahol:

- ΔE_F a teljes lakóépület állomány primerenergia felhasználás csökkenése, PJ/a

A számításoknál csak azokat az épületkategóriák kerültek figyelembevételre, amelyeknél az épületek várható hátralévő élettartama legalább akkora, mint a beépítendő szerkezeté.

A kapott eredmények az üvegezett felületek teljes benapozására vonatkoznak. A valós esetekben, különösen városias beépítés esetén ez nem teljesül minden esetben, azaz a nem teljes benapozású déli, keleti, nyugati tájolású homlokzatok eredményei az északihoz közelebbi tájolásnak megfelelő eredményt szolgáltatják. A kapott eredmények szerint az egyes épületkategóriák referenciaépületeinek homlokzat üvegezési aránya esetén a modellhelyiség fűtési energiaigény csökkenésének mértéke a különféle tájolások esetén nem mutat 30%-nál nagyobb eltérést.

Egy épületkategória CO₂ kibocsátás csökkenésének mértékét a S_{CO2} kibocsátási tényező alkalmazásával határoztuk meg. A kibocsátási tényező értékeit a 410/2012. (XII. 28.) Korm. rendelet 5. számú melléklet 1. táblázata alapján került figyelembevételre.

$$\Delta E_{CO2,i} = 10 \sum_j \Delta Q_{F,i} C_{k,j} \alpha_j S_{CO2,j} \quad (4.9.)$$

ahol:

$\Delta E_{CO2,i}$ az i -edik épületkategória CO₂ kibocsátás csökkenése, t/a

$\Delta Q_{F,i}$ az i -edik épületkategória fűtési energiaigény csökkenése, PJ/a

$C_{k,j}$ az i -edik épületkategória fűtésére alkalmazott j -edik fűtési mód hőterhelőjének fűtési teljesítménytényezője, -

α_j az i -edik épületkategória fűtésére alkalmazott j -edik fűtési mód %-os gyakorisága, %

$S_{CO2,j}$ az i -edik épületkategória fűtésére alkalmazott j -edik fűtési mód hőterhelője által használt kibocsátási tényezője, t(CO₂)/PJ

A teljes lakóépület állományra vonatkozóan összegezni kell a figyelembe vehető épületkategóriák CO₂ megtakarításait:

$$\Delta E_{CO2} = \sum_i \Delta E_{CO2,i} \quad (4.10.)$$

ahol:

ΔE_{CO2} a teljes lakóépület állomány CO₂ kibocsátás csökkenése, t/a

A számításokkal kapcsolatban említést érdemel, hogy a hivatkozott rendeletekben a biomassza kibocsátási tényezője S_{CO2} = 0, (CO₂ semleges), de az primerenergia-átalakítási tényezője viszont $c_f = 0,6$. Maga a biomassza CO₂ semlegesnek tekinthető, bár a lekötés és a kibocsátás nem azonos helyen van. Az erdők, energiaültetvények művelése, a tüzelőanyag szállítása és feldolgozása energiát igényel, amely részben belsőégésű motorok üzemanyaga, részben elektromos energia, tehát ebben az esetben is jelentős primer energia felhasználás és abból kibocsátás van.

A hőtermelők fűtési szezonra vonatkozó C_k teljesítménytényezője az átlaghatásfok reciprok értéke. Kazánok esetén ez az érték függ a készülékjellemzőktől és a kihasználási tényezőtől. Az alacsony fűtési energiaigényhez tartozó magas csúcs-teljesítményigény alacsony kihasználási tényezőt eredményez. A hagyományos állandó hőmérsékletű kazánok átlaghatásfoka a kihasználási tényező csökkenésével egyre alacsonyabb, a

kondenzációs kazánoké pedig a csökkenő kihasználási tényező egy bizonyos értékéig növekszik.

A primerenergia felhasználás és CO₂ kibocsátás csökkenés számszerűsítéshez egy pesszimista és egy optimista scenárió került meghatározásra. A pesszimista változat a lakóépületek 20%-ának, az optimista változat pedig a 60%-ának előtétablakkal történő felújítását veszi figyelembe.

Pesszimista scenárió esetén a kibocsátás csökkenés és a primerenergia felhasználás csökkenés az 4.7. – 4.10. összefüggések alapján meghatározva:

$$\Delta E_{CO_2} = 382\,985 \text{ t/a} \approx 383\,000 \text{ t/a}$$

$$\Delta E_F = 7,5 \text{ PJ/a}$$

Optimista scenárió esetén hasonló módon számítva:

$$\Delta E_{CO_2} = 1\,148\,956 \text{ t/a} \approx 1\,149\,000 \text{ t/a}$$

$$\Delta E_F = 22,6 \text{ PJ/a}$$

5. Következtetések

5.1. Az előtétablak hatása az energiamérlegre

Az előtétablak önmagában jelentősen csökkenti a fűtési energiaigényt. Az előtétablak a takart homlokzati rész előtt – amely az eredeti ablakból és az azt környező falfelületről áll – járulékos hőátviteli ellenállást képez. Ez a pufferhatás csökkenti annak transzmissziós hőveszteségét. Az előtétablak passzív napenergia hasznosító rendszerként is működik – általa megvalósul az a fontos körülmény, hogy a napsugárzás elnyelésében meghatározó szerepet játszó felületek jelentős besugárzásban részesülnek, ugyanakkor a környezettől számottevő hőátviteli ellenállás választja azokat el. Az előtétablakban kialakuló üvegházhatás révén a bejutó napsugárzási energia növeli az előtétzóna és a benne lévő szerkezetek hőmérsékletét, amely a takart homlokzati felületen csökkenti a helyiség hőveszteségét. A takart falfelület tömegfalként, az eredeti ablak pedig egyrészt kollektorként működik, valamint biztosítja a természetes megvilágítást. Az előtétablak alkalmazása esetén a helyiségnek az eredeti ablakon keresztül továbbra is lesz szoláris nyeresége a direkt szoláris rendszer számára, de az kisebb mértékű, mint az előtétablak alkalmazása nélkül lenne. Az előtétablaknak tehát hőveszteség csökkentő, sugárzási nyereséget növelő, valamint nyereséget csökkentő hatása is van. Alkalmazása akkor vezet a fűtési energiaigény csökkenéséhez, amennyiben a veszteségcsökkentő és nyereségnövelő hatások nagyobb mértékűek, mint a nyereség csökkentő hatás. A puffer és üvegházhatásra részletes szimulációs eredményekkel igazoltuk, hogy megfelelő előtétablak alkalmazása minden tájolás esetén csökkenti a fűtési energiaigényt. A csökkenés az északi tájolásnál is számottevő, amely azt jelenti, hogy nem, vagy csak részben benapozott homlokzatok esetén is lehet megtakarítással számolni. A fűtési energiaigény csökkenése nagyobb homlokzati üvegezési arány esetén nagyobb mértékű, amely azt jelenti, hogy a passzív módon hasznosított sugárzási nyereség még északi tájolás esetén is számottevő.

A fűtési energiaigény csökkenése különösen jelentős a korábbi periódusban épült épületek esetében, de számottevő a legújabb szabályozási követelményeknek megfelelő épületekben is. Adott szerkezetű előtétablak nagyobb veszteségtényezőjű eredeti szerkezetekhez alkalmazva a pufferhatása révén nagyobb mértékű veszteségcsökkenést eredményez, az előtétzónában az elnyelt sugárzási energiának pedig nagyobb hányada fog a helyiség fűtésére fordítódni, mivel az előtétablak hőátviteli ellenállása nagyobb hányadát teszi ki az előtétablak és az eredeti szerkezet együttesének hőátviteli ellenállásának. Ezek a megállapítások általában növekvő üvegarány esetében is érvényesek, néhány esetben azonban csak egy bizonyos üvegarányig.

Az előtétablak energetikai szempontból kedvezőbb mint a szokásos ablakcsere.

Nem kell számolni az utólagos hőszigetelés sugárzási nyereségcsökkentő hatásával. Amennyiben az ablak nem a külső falsíkban van elhelyezve, az ablakkáva árnyékoló hatása miatt a sugárzási nyereség csökkenésével kell számolni, amely különösen jelentős a vastag külső oldali utólagos hőszigetelések esetén, azaz a hőszigetelés veszteségcsökkentő hatása mellett nyereség csökkenéssel is kell számolni, amely persze nem írja felül a veszteségcsökkenést, de hatása mégis számottevő. Az előtétablak alkalmazása esetén a sugárzás átbocsátó üvegezett felület szempontjából – amely maga

az előtáblak – annak konvex formája miatt hasonló árnyékoló hatás nem jelentkezik, továbbá az eredeti ablakot környező kávéfelület hatékony elnyelő felületté lép elő, mivel most már az előtáblaknak köszönhetően a külső környezettől számottevő hőátviteli ellenállású szerkezet választja el.

Az előtáblak bevonása a szellőzőlevegő útjába tovább növeli a megtakarítási lehetőségeket, jelentősen mérsékli a nyári sugárzásos hőterhelést. Lehetőség van a helyiség szellőzését biztosító levegőnek az előtétzónán keresztül történő bevezetésére a helyiségbe, vagy a távozó levegőnek az előtáblakon keresztül szabadba történő kivezetésére. Előbbi esetben az előtétzónában a szellőzőlevegő előmelegítéséről, utóbbiban pedig a távozó levegő hőtartalma egy részének hasznosításáról van szó. A levegő előmelegítés a szoláris nyereség és/vagy a helyiségből az előtétzónába áramló hő rovására történik. A távozó levegő előtétzónán keresztül történő kivezetése esetén a helyiségből az előtétzónába érkező, az előtétzóna hőmérsékleténél magasabb hőmérsékletű levegő az előtétzóna hőmérsékletét javítja, növeli az előtétzóna hőmérsékletét, ezzel közvetetten csökkenti a helyiség előtáblakkal takart homlokzati részének veszteségét. Részletes szimulációs eredmények bizonyítják, hogy a szellőző üzem módok csökkentik a fűtési energiaigényt - a levegő előmelegítéses üzem mód kedvezőbb, mint a távozó levegő hőhasznosítás üzem mód. A szellőző levegő iránya véletlenszerűen változik, ezért a fűtési energiaigény a valós esetekben a két érték között várható.

Mérésekkel igazoltuk, hogy a külső légfüggöny üzem módban az előtétzónában elhelyezett egyszerű belső oldali árnyékoló a helyiség nyári túlmelegedés elleni védelemben hasonló megoldás, mint a hagyományos ablakon elhelyezett külsőoldali árnyékoló, és sokkal hatékonyabb, mint a hagyományos ablakon alkalmazott belső oldali árnyékoló.

5.2. Az előtáblak hatása a termikus komfortra

A nyári túlmelegedés kockázata csökken. A külső légfüggöny üzem módban az előtáblakban alkalmazott belső árnyékoló nem csak az eredeti ablakot, hanem a teljes takart felületet árnyékolja, ezzel csökkentve azok hőterhelését és a kialakuló belső felületi hőmérsékletét, mérsékelve a helyiség túlmelegedését. Az alacsonyabb belső felületi-, és helyiség léghőmérséklet alacsonyabb operatív hőmérsékletet eredményez.

A fűtési szezonban az eredeti ablak és a takart falfelület belső felület átlaghőmérséklete a magasabb lesz. A magasabb felületi átlaghőmérséklet magasabb közepes sugárzási hőmérsékletet és így azonos levegő hőmérséklet mellett magasabb operatív hőmérsékletet eredményez, vagy ami ezzel egyenértékű, azonos operatív hőmérséklet alacsonyabb léghőmérséklettel biztosítható. Az operatív hőmérséklet közelebb kerül a léghőmérséklethez, ez által megszűnik az operatív hőmérsékletre történő méretezéssel kapcsolatos probléma.

A szellőzőlevegő előmelegítve lép be a helyiségbe, csökken a huzathatás kialakulásának veszélye.

5.3. Az előtétablak hatása a kibocsátásra

A Nemzeti Épületenergetikai Rendszer 2 (továbbiakban: NÉER2), a Nemzeti Épületenergetikai Stratégia (továbbiakban: NÉeS) és a kapcsolódó háttér tanulmányok adataira támaszkodva a szimulációs eredmények felhasználásával több scenárióra meghatározásra kerültek az előtétablakok alkalmazásával elérhető primerenergia megtakarítási és CO₂ kibocsátás csökkentési potenciálok.

A számításokkal kapcsolatban említést érdemel, hogy a hivatkozott rendeletekben a biomassa kibocsátási tényezője nulla, (CO₂ semleges), de az primerenergia-átalakítási tényezője viszont 0,6. Maga a biomassa CO₂ semlegesnek tekinthető, bár a lekötés és a kibocsátás nem azonos helyen van. Az erdők, energiaültetvények művelése, a tüzelőanyag szállítása és feldolgozása energiát igényel, amely részben belsőégésű motorok üzemanyaga, részben elektromos energia, tehát ebben az esetben is jelentős primer energia felhasználás és abból kibocsátás van.

A hőtermelők fűtési szezonra vonatkozó C_k teljesítménytényezője az átlaghatásfok reciprok értéke. Kazánok esetén ez az érték függ a készülékjellemzőktől és a kihasználási tényezőtől. Az alacsony fűtési energiaigényhez tartozó magas csúcs-teljesítményigény alacsony kihasználási tényezőt eredményez. A hagyományos állandó hőmérsékletű kazánok átlaghatásfoka a kihasználási tényező csökkenésével egyre alacsonyabb, a kondenzációs kazánoké pedig a csökkenő kihasználási tényező egy bizonyos értékéig növekszik.

A primerenergia felhasználás és CO₂ kibocsátás csökkenés számszerűsítéshez egy pesszimista és egy optimista scenárió került meghatározásra. A pesszimista változat a lakóépületek 20%-ának, az optimista változat pedig a 60%-ának előtétablakkal történő felújítását veszi figyelembe.

Pesszimista scenárió esetén a kibocsátás csökkenés és a primerenergia felhasználás csökkenés:

$$\Delta E_{CO_2} = 382\,985 \text{ t/a} \approx 383\,000 \text{ t/a}$$

$$\Delta E_F = 7,5 \text{ PJ/a}$$

Optimista scenárió esetén:

$$\Delta E_{CO_2} = 1\,148\,956 \text{ t/a} \approx 1\,149\,000 \text{ t/a}$$

$$\Delta E_F = 22,6 \text{ PJ/a}$$

5.4. Az előtétablak egyéb hatásai

Állagvédelem, hőhídhatás csökkentése. Az előtétablak által takart homlokzati fal, az eredeti ablak, az ablakpárkány mentesül a közvetlen környezeti hatásoktól, emiatt élettartamuk növekszik, csökken a karbantartási igényük. Az ablak keretszerkezete és a fal, kiváltó, párkány, könyöklő csatlakozásánál kialakuló hőhíd szintén az előtétzónába kerül, amely mérsékli a hőhíd okozta hőveszteséget, és hatására növekszik a hőhíd belső felületi hőmérséklete, csökkentve ezzel a páralecsapódás kockázatát.

Az előtétablak javítja a légtömörséget, mert kialakításánál fogva lefedi az eredeti ablak működési és beépítési hézagjait is.

Elmarad a meglévő ablak bontásából származó bontási hulladék, és az azzal járó szállítási, lerakási, hulladékkezelési feladat, költség és nem utolsósorban energiafelhasználás és CO₂ kibocsátás.

Nem kell számolnunk az ablaksere esetén elkerülhetetlen helyiségen belüli munkavégzéssel és a jelentős mértékű helyreállítással járó kényelmetlenségekkel.

Az előtétablak segédenergia nélküli passzív indirekt szoláris rendszer. Nem érzékeny az energiaellátás esetleges zavaraira.

Fizikai élettartama az épületszerkezetek fizikai élettartamával összemérhető.

Az előtétablak növeli az épület passzív sugárzási nyereségét. Részletes szimulációs eredményekkel bizonyításra került, hogy az alacsony veszteségtényezőjű épületekben a szoláris nyereség a veszteségek nagyobb hányadát fedezi, tehát a passzív módon hasznosított sugárzási nyereség energetikai jelentősége növekszik. Az Európai Unió épületenergetikai irányelve a Directive 2010/31/Eu (a szakzsargonban „recast”) az épületek primerenergia igényének felső korlátozásán túlmenően azt is előírja, hogy a határértéknek megfelelő vagy annál alacsonyabb energiaigény „szignifikáns hányadát” megújuló energiával kell fedezni, azonban ez csak kifejezetten az aktív rendszerekkel hasznosított megújuló energiára vonatkozik. Nem tagadja ugyan az épület által passzív módon hasznosított szoláris nyereség szerepét, de azt nem „megújuló energia” hasznosításaként ismeri el, hanem az igényeket csökkentő tételként. A mérleg tehát a végeredményt tekintve rendben levő, de a „megújuló részarány” mértékében a passzív eszközökkel hasznosított szoláris energia nem jelenik meg, így formálisan a „szignifikáns hányadból” hiányzik.

Összefoglalás

A klímaváltozás és a globális felmelegedés felgyorsításában jelentős szerepet játszik az emberi tevékenységből, ezen belül is a fosszilis energiahordozók felhasználásából származó CO₂ kibocsátás. A kibocsátás csökkentésének elengedhetetlen feltétele a fosszilis energiahordozók felhasználásának csökkentése.

A 2011. évi adatok szerint a magyarországi 1044 PJ/a primerenergia felhasználás közel 40%-át, 404 PJ/a-et az épületek energiafelhasználása teszi ki, amelynek ezen belül 60%-át a lakóépületek jelentik. A 4,464 millió lakást tartalmazó lakóépület állomány hozzávetőlegesen 37millió m² ablakfelülettel rendelkezik, amely a transzmissziós hőveszteségek, a sugárzási nyereségek és az ablakokon keresztül megvalósuló természetes szellőzés révén közel 75 PJ/a primerenergia felhasználásért felelős. A kérdés a csúcsteljesítmény oldaláról nézve sem érdektelen: méretezési állapotban az ablakok és a szellőzés hővesztesége mintegy 9000 MW teljesítményt köt le, amely – összevetve a 2016. január havi országos órai csúcs földgázfogyasztása 2814 m³/h értékével (MEKH 2016.), amely 26577 MW hőterhelést a jelent – az órai csúcs földgázfogyasztás 34%-át teszi ki.

Az épületek fűtési energiafelhasználásának csökkentésére több lehetőség kínálkozik (épületgépészeti rendszerek korszerűsítése, utólagos hőszigetelés, ablakcsere). A meglévő ablakok cseréje a szokásos épületfelújítások mondhatni kötelező lépése. A fizikai élettartam szempontjából az ablakcsere nem kritikus, de a bontási hulladék elhelyezése, ártalmatlanítása, újrahasznosítása szempontjából problematikus, emellett a csere művelete a lakók komoly zavarásával, tetemes hulladékképződéssel jár. Célszerű volt olyan megoldás kifejlesztése is, amely mentes az előző megoldások hátrányaitól, nevezetesen:

- csökkenti az épületek fűtési energiaigényét,
- az épület túlzott nyári felmelegedésének kockázatát mérsékli,
- élettartama az épületszerkezetek élettartamával megegyezik,
- mentes a bontási hulladék elhelyezésének, ártalmatlanításának, újrahasznosításának problémáitól,
- a lakók zavarása nélkül kivitelezhető.

Az előtétablak ilyen megoldást nyújt. Lényege a külső falsík előtt elhelyezett, üvegezett szerkezet, amely takarja az eredeti ablakot és az a körüli falsávot. Megjelenésében az elsősorban angolszász területen hagyományosnak tekinthető bay window, bow window-hoz vagy garden window-hoz hasonló, de ez csak a homlokzat külső megjelenésére igaz. Lényegi különbség, hogy a bay vagy bow window esetén az így kialakuló kiöblösödő tér a szoba részét képezi. A hagyományos szerkezetek esetén belülről nézve vagy a szobának egy térbővületéről vagy egy nagyobb mélységű könyöklőről van szó. Az előtétablak az utóbbi változathoz hasonlít azzal, hogy a belső oldalon ott van a homlokzat eredeti ablaka. Formailag az előtét ablak külső megjelenése is sokféle lehet – ez részben az építészeti formaképzés tárgya, másrészt olyan gyakorlati kérdésekkel függ össze, mint az ablakszárnyak működtetése (nyíló, bukó, billenő, forgó) és a tisztíthatóság.

Rendelkezik a klasszikus passzív szoláris rendszerek és a kéthéjú homlokzatok számos ismervével, de egyik kategóriába sem sorolható be egyértelműen, emellett utólagos hőszigetelést is jelent.

Önmagában az előtét üvegezés annyiban jelent hőszigetelést, hogy egyrészt az ablak üvegezésének rétegszámát megnöveljük, másrészt a takart falsáv hőátbocsátási ellenállását is növeli az elé helyezett üvegezés és légréteg.

Lényeges, hogy az előtétablaknak alul és felül vannak szellőzőnyílásai és az előtétzónában van mobil társított szerkezet, amely olyan könnyű lehet, mint a belső oldali, hiszen védett helyen van, és közel van az eredeti üvegezéshez, hogy az oldalsó üvegezésen bejutó direkt sugárzás ellen is védjen.

Az eredeti ablak körüli hőhidakat lényegében betakarja, és ez hangsúlyt érlemlő szempont nemcsak a hőveszteség, hanem az állagvédelem miatt. Mellesleg javítja az épület légtömörségét is.

1. TÉZIS: Kifejlesztettem az – elsősorban épület-felújításoknál előnyösen alkalmazható – előtétablak koncepcióját, amely az utólagos hőszigetelés, az üvegházhatás, a tömegfal és a kéthéjú homlokzat energetikai hatásait ötvözi és mentes az ablakcserével kapcsolatos bontási hulladék környezeti problémáitól.

Az ablakok energiaforgalmának két fontos eleme van, a transzmissziós veszteség a sugárzási nyereség. A sugárzási nyereség szempontjából lényeges az üvegezés és a fal külső síkja közötti távolság, a kávamélység. A direkt sugárzás esetén a nagyobb kávamélység csökkenti a besugárzott üvegfelület. A besugárzott felületarány számítható. Adott nyílásméret esetén a kapott értékek az azimuth és altitude szögek függvényében ortogonális koordináta rendszerben ábrázolhatók. Azonos léptékben készült hengeres nappálya diagrammal fedésbe hozva, adott szélességi körre vonatkozóan lehetséges a hatás órai lekövetése, tetszőleges tájolású felület esetén. A diffúz sugárzás esetében a hatás abban nyilvánul meg, hogy az üvegezés külső felületéről nézve az égbolt bizonyos részeit a káva teljes mértékben, bizonyos részeit részlegesen kitakarja. Az épületfelújítások szokásos gyakorlata szerint a homlokzatok külső felületét utólagos hőszigeteléssel látják el, amelynek vastagsága a jelenlegi követelmények szerint 18 ± 2 cm – ennyivel nő meg az ablakkáva mélysége. Ennek árnyékoló hatása miatt csökken az üvegezésre jutó direkt és diffúz sugárzás, következésképpen az épület passzív szoláris nyeresége. A kávak árnyékoló hatásának következtében a helyiség sugárzási nyeresége akár 3 - 4%-kal is csökkenhet. Az előtétablak esetében ilyen sugárzási nyereségcsökkenés nem jön létre.

2. TÉZIS: Eljárást dolgoztam ki az ablakkáva árnyékoló hatásának grafoanalitikus meghatározására és ezzel igazoltam, hogy a homlokzati falak utólagos hőszigetelése csökkenti az – eredeti vagy cserélt – ablakon át bejutó passzív sugárzási nyereséget. Ez a kedvezőtlen hatás az előtétablak alkalmazásával kiküszöbölhető.

Elemzéseink egyik fő célja a fűtési energiaigény meghatározása. A tervezési gyakorlatban erre használt módszerek alapja a fűtési hőfokhíd alkalmazása. Az éghajlati hőfokhíd a kívánt belső hőmérséklet és a külső hőmérséklet különbségének integrálja az év azon részére, amikor a külső hőmérséklet kisebb, mint a kívánt belső hőmérséklet. Az

épületgépész tervezési gyakorlatban használt hőfokhíd az épületből távozó hőenergiával arányos, de annak csak egy részét fedezi a fűtési rendszer, más részét a passzív szoláris nyereség és a belső hőforrások fedezik – minél jobb az épület, annál nagyobb az utóbbiak aránya. A módszer alkalmazásának nehézsége, hogy szükséges meghatározni a sugárzási nyereség hasznosulásának mértékét. Az irodalomkutatásaim alapján úgy döntöttem, hogy a vizsgálatokhoz részletes dinamikus szimulációs programot és kísérleti berendezést fogok alkalmazni.

A szimulációhoz az Energy Plus v.8.4.0 white-box rendszerű, nyitott forráskódú, 1500 oldalnyi módszertani leírással támogatott, validált programot választottam. A programban felépítettem a modellhelyiség és a mérőberendezések modelljét is.

A mérésekhez 2 darab mérőfülkét építettem, amelyeket a Debreceni Egyetem Agrometeorológiai Obszervatóriumában állítottam fel.

A mérési eredményeket összehasonítottam a mérőfülkék szimulációs eredményeivel, ezzel alátámasztottam a szimulációs eredményeket. Egyértelműen kimutattam az előtétablak energetikai hatását.

A modellhelyiség szimulációjával különféle fal és eredeti ablakszerkezetekre, ablakcserére, 1 és 2 rétegű üvegezésű előtétablak, különféle tájolásokra és helyszínekre, többféle üzemállapotra, összesen 111 változatra, 4-35% homlokzati üvegezési arány tartományban meghatároztam az éves fűtési energiaigényt és a fűtési csúcsteljesítményt. Az előtétablak minden vizsgált esetben energia megtakarítást eredményezett nem csak az eredeti ablakhoz, hanem a cserélt ablakhoz viszonyítva is.

Ugyanakkor a fűtési csúcsteljesítmények változásának jellege számos esetben ellentétes tendenciát mutat a fogyasztással.

3. TÉZIS: Kísérleti fülkék mérési adataival is alátámasztott dinamikus szimulációkkal igazoltam, hogy az előtétablakok a különböző homlokzati helyiségek fűtési energiaigényét a tájolás függvényében jelentősen csökkentik. A fűtés nettó csúcsteljesítmény igényének párhuzamos elemzésével igazoltam, hogy a követelményrendszerek és szabályozások területén paradigmaváltásra van szükség az energiafogyasztás és a kibocsátás csökkentése végett.

A cél a fogyasztás csökkentése, de a szabályozás alsóbb szintjei (W/m^3K , overall heat loss coefficient: $\sum AU / \sum V$) a csúcsteljesítményt korlátozzák.

Előtétablak alkalmazása esetén mód van arra, hogy a levegőt az előtét zónán átvezessük. A nyomásviszonyoktól függően kétféle áramút lehetséges: kívülről befelé vagy belülről kifelé. Beáramlás esetén a szellőző levegő előmelegszik – természetesen a konvektív hőfelvétel miatt az előtétzóna hőmérséklete csökken. Kiáramlás esetén a szobából távozó levegő hőt ad le az előtétzónában, az előtétzóna hőmérséklete nő, a távozó levegő hőtartalmának egy része visszanyerhető.

A nyomásviszonyok számos tényezőtől függenek – a teljesség igénye nélkül: a belső és külső hőmérséklet különbsége, a szél iránya és sebessége, az ablak és az összes többi ablak pozíciója az épületen, a hidraulikai ellenállások a levegő áramútjában, beleértve az épületek belső ajtóinak ellenállását, az esetleges szellőző kürtöket. Nyilván más a helyzet az alsó és a felső szinteken, a szél felőli és a szél alatti homlokzatokon. Mivel a külső hőmérséklet is, a szél iránya és sebessége is változó, az év folyamán ugyanazon az ablakon át beáramlás és kiáramlás egyaránt lehetséges.

Ennek megfelelően az éves energiaigény nem számítható egyféle áramút alapján. Ezért azt minden változatra meghatároztuk mindkét áramútra, ezzel behatárolva annak lehetséges határait. Nyilván kérdés a szellőző levegő térfogatárama, amely a lakók által foganatosított természetes szellőzés esetén szabatosan és általános érvénnyel nem határozható meg (de ez minden ablaktípus esetén igaz!). Az összehasonlíthatóság végett minden esetben a szükséges ($n = 0,5 \text{ h}^{-1}$) légcsereszámot vettem alapul.

4. TÉZIS: Kísérleti fülkék mérési adataival is alátámasztott dinamikus szimulációkkal igazoltam, hogy az előtétablakok a szellőző levegő előmelegítésével és/vagy a távozó levegő hőtartalma egy részének visszanyerésével a szellőzési energiaigényt is hatékonyan csökkentik, ezzel is növelve a passzív szoláris nyereség részesedését a fűtési energiaigény fedezésében.

A nyári túlmelegedés kockázatának értékeléséhez mérőfülkéken nyári méréseket végeztem. Megállapítottam, hogy az előtétablakban alkalmazott árnyékoló kedvezőbb, mint az eredeti vagy cserélt ablakhoz alkalmazott, lényegesen drágább külső oldali árnyékolók, a belső oldaliakról nem is szólván.

5. TÉZIS: Kísérleti fülkék mérési eredményeivel igazoltam, hogy az előtétzónában elhelyezett egyszerű társított árnyékoló hasonló hatékonysággal mérsékli az épületek nyári felmelegedését, mint a hagyományos ablakok előtti, nagy igénybevételnek kitett és nehezen karbantartható külső árnyékolók.

A modell helyiségen a szimulációkat különböző földrajzi helyekre is elvégeztem. A kapott fogyasztási adatokat nem tükrözték sem a hőfokhíd adatok, sem az éghajlati osztályok: Köppen-féle leíró jellegű osztályozás és az ASHREA féle specifikus osztályozás sem.

6. TÉZIS: Különböző földrajzi helyek éghajlati adataival végzett dinamikus szimulációk eredményei alapján igazoltam, hogy a fűtési hőfokhíd önmaga és a fűtési energiaigény között nincs lineáris függvénykapcsolat. Az éghajlati feltételek jellemzésére bevezettem a tájolásonként differenciált „éghajlati zordság” (climate severity index) fogalmát, amelynek havi bontása alapján mutatózó csúcossága befolyásolja a fűtés energia- és teljesítményigényét.

A NÉER2. és a NÉeS adatai alapján a szimulációs eredményeimet felhasználva kiszámítottam a várható megtakarítási potenciálokat.

7. TÉZIS: A Nemzeti Épületenergetikai Rendszer 2. és a Nemzeti Épületenergetikai Stratégia adatai alapján több szcenárióra meghatároztam az előtétablak alkalmazásával elérhető mitigáció mértékét. Igazoltam, hogy pesszimista szcenárió esetében az üvegházhatású gázok kibocsátása 383 000 t/a, optimista szcenárió esetében 1 149 000 t/a értékkel csökkenthető.

Summary

CO₂-emission created by using fossils by human activity plays an important role in acceleration of climate change and global warming. Reduce the use of fossils is an indispensable condition of reducing the CO₂-emission.

Based on the data from 2011, in Hungary 40% of the 1044 PJ/a primer energy consumption covers the energy use of the buildings, which is 404 PJ/a, 60% of this are for residential buildings. The 4.464 million residential building have approximately 37 million m² of window surface areas, which are responsible for about 75 PJ/a primer energy consumption caused by transmission heat losses, solar gains, the natural ventilation through the windows. This problem is significant concerning peak load: in design condition the windows and the ventilation heat loss mean about 9000 MW of capacity, it is the 34% of hourly peak consumption of natural gas (which was 2814 m³/h in January 2016 and equals with 26577 MW (MEKH 2016.)).

For reducing the heating energy consumption of the building there are several possibilities (modernization of the building services systems, added thermal insulation, change of windows). In the current practice change of the existing windows is an obligatory step of the building refurbishment. As far as the physical life time of the window is concerned, the change of window isn't critical, but it is problematic because of the huge amount of waste and the disposal and recycling of the demolished material. The process is accompanied by serious disturbance of inhabitants. It was appropriate to invent such a solution, that does not have the previously mentioned disadvantages, namely:

- decreases the energy need for heating of the building
- reduces the risk of the summer overheating of the building
- its life time equals with the building's one
- it is free of problems of the disposal and the recycle of the demolished material
- it can be installed without the serious disturbance of the inhabitants.

It was appropriate to invent such a solution, that does not have the previously mentioned disadvantages. The added convex window can tackle this problem. The main point of this structure is the glazed surface installed in front of the façade wall, it covers the existing window and the wall area surrounding it. In its appearance is similar to the bay- and bow- and garden windows, which are commonly used in UK and US, but the similarity is only about the external look. The main difference is that in case of bay- or bow window the area behind the window is part of the premise. In case of the traditional structures looking at the window from inside the room it is an extended space, which is belonging to the room or a deeper window sill. The added convex window is alike the last variation, but on the inner side the existing window of the façade is there. As for shape the added convex window can be many kinds – on one hand it is partly the question of the architectural design, on the other hand it is depending on such practical point of views like the operation of the windowleaves (casement, hopper, vertical and horizontal pivot) and the cleanability.

The proposed solution has both the traits of the classic passive solar systems and the double-skin façades, but it can't be clearly identified with either of them. Besides it is also a mean of added thermal insulation.

The added convex window on its own is thermal insulation, because on one hand the number of layers of the window glazing will increase, on the other hand the added glazing and the buffer zone increase the heat resistance of the covered wall area.

It is important that the added convex window has ventilation gap (e.g. hopper window leaf on Figure 1.) and in the buffer zone there is a movable shade situated, which is as light as an inner shade as a protection from the direct beam radiation. It has advantage concerning the preservation and conservation of the building, because the thermal bridges around the window are covered.

It is an important feature of the structure. Moreover the air tightness of the building will be better.

1. I have developed the concept of added convex window which is applicable especially for buildings' retrofit. It combines the energy features of added thermal insulation, green-house effect, mass wall and double skin façade and free of the environmental problems of demolition garbage accompanying the usual window change.

There are two important elements of the energy transport of the windows, the transmission heat loss and the solar gain. In terms of solar gain the distance between the glazing and the outside surface of the wall is important, the reveal. In case of the direct beam radiation the bigger the reveal depth is the smaller the irradiation glazed area is. It is possible to calculate the ratio of the irradiated area. The received results (for given opening size) can be drawn in orthogonal coordinate systems, depends on azimuth and altitude angles. Providing its scale is the same as the above set of curves the two diagrams can be overlapped in such a way that the zero azimuth of the set of curves coincides with the azimuth angle of the window on the horizontal scale of the sun-path diagram. In case of diffuse radiation the impact appears, that the reveal totally covers some the parts of the sky and partially covers some another parts of the sky, observing from the outer side of the glazing. According to the current practice of building retrofit original windows are changed with new ones and external thermal insulation is added to the surface of the façade wall. The thickness of the last mentioned insulation is 18 ± 2 cm, this is also the increase of the window reveal depth. Its shading effect decreases the direct and diffuse solar radiation, thus decreases the passive solar gain. The solar heat gain of the premise can be decreased by 3-4% caused by the shading effect of the reveals. Applying added convex window, this negative side effect does not exist.

2. I have developed a grapho-analytical method facilitating the evaluation of shading effect of window reveal and I have proven that the added thermal insulation decreases the passive solar gain passing through the original or changed window. Applying added convex window this negative side effect can be eliminated.

One of our main aim is to determine the energy need for heating. In design practice the degree-day method is being used. The „climate” degree-day is the integral of the difference of the inner required temperature and the outside temperature for the period of the year when the outside temperature is lower than the inner required one. The

degree-day used in the design practice is proportional to the heat loss leaving the building, but only a part of it covers the heating system, other part is covered by the passive solar gain and the inner heat sources- the better the building is thermotechnically – the larger the ratio of the last mentioned is. The difficulty of using this method is the value of the utilization factor of the solar gain has to be determined. Based on my literary research I decided to use dynamic simulation program and experimental huts.

For the simulations I used Energy Plus v.8.4.0 with white-box system, it is open-source, supported by 1500 sites long methodological description and validated. In the simulation program I created the models of the sample premise and the experimental huts.

For the measurements I have built two experimental huts, which I placed on the site of Agrometeorological Observatory of University of Debrecen.

I compared the experimental huts' results received both from the measurements and the simulations. The energetic impact of the added convex window was clearly shown.

By the simulation of the sample premise I determined the annual energy need for heating and the heating peak load for the followings: different kinds of wall and existing windows, new windows, single and double glazed added convex windows, for different orientations and geographical locations, for various operation modes. There were 111 variations in total, for each variation 4-35% glazed ratio interval was analysed. All investigated variations for the added convex window have shown energy saving compared to the existing window, even to the changed window.

Meanwhile the results show in many cases the heating peak load's trend is rising when the glazed-ratio is larger.

3. I have proven with dynamic simulations supported with measured data of experimental huts that added convex windows considerably decrease the heating energy need in the function of orientation. Simultaneously analysing the peak load of heating I have proven that in order to decrease the energy consumption and emission conceptual change of requirement system and regulation is necessary.

The aim is reducing the consumption, but the lower levels of regulation limits the peak load W/m^3K , overall heat loss coefficient: $\sum AU / \sum V$).

The energy need for heating can be reduced further, if the natural ventilation of the premise is through the buffer zone. Depending on the pressure conditions there are two directions of the airflow: from outside to inside or from inside to outside. In case of inflow the fresh air will be preheated – evidently due to the convective heattransfer the temperature of the buffer zone decreases. In case of outflow the exhaust air leaving the premise releases heat in the buffer zone, the temperature of buffer zone will be raised, a part of the exhausted air's heat can be regained.

The pressure conditions are depending on many factors: regardless listing all of them: the difference of the inside and outside temperature, the orientation and speed of the wind, positions of the examined window and all the other windows, the hydraulic resistances in the air flow path, including the resistances in the inner doors and possible

vent horns. The situation is obviously different on the lower and upper storeys, the facades which are facing the wind or which are not touched by the wind. While both the outside temperature, the direction- and the speed of the wind are changeable, throughout the year both inflow and outflow are possible through the same window.

Because of this the annual energy need for heating can't be calculated only for one direction of the airflow. Therefore the annual energy need for heating was calculated for all variations of structures for both direction of the airflow. The two kind of results received for the inflow and outflow mean the borders of the annual energy need. The energy balance can be evaluated based on the average of the two results or can be judged pessimistically based on the less favourable results. Certainly in the case of natural ventilation the air change rate depends on the users' habits (but it is true for all kinds of windows!). For correct comparison I used $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ for all cases.

4. I have proven with dynamic simulations supported with measured data of experimental huts that preheating of fresh air and/or heat recovery in the added convex window result considerable decrease of ventilation heat loss, this way increasing the renewable share in covering the heating energy need.

For evaluating the summer overheat risk measurements were carried out in the experimental huts.

5. Based on the measured data of experimental huts I have proven that simple shading devices in the added convex window temper the summer overheating as efficiently as external shading devices (exposed to heavy recourse and difficult to maintain) on usual windows.

The simulations for different geographical locations were done for the sample premise. Neither the degree-day, nor the Köppen- and ASHREA climate classifications referred to the received consumption data.

6. Based on dynamic simulations with climatic data for different geographical locations I have proven that the energy need for heating is not a linear function of the heating degree-days. To characterise the climatic conditions I have implemented the simplified but orientation dependent climate severity index. The peaks of its monthly values influence the energy need and net peak load of heating.

Based on the data of National Building Energetic System 2 and the National Strategy of Building Energetics I have calculated the expected saving potentials by using simulation results.

7. Based on the data of National Building Energetic System 2 and the National Strategy of Building Energetics I have determined for certain scenarios the mitigation due to the application of added convex windows. I have proven that in case of pessimistic scenario the saving of green-house gas emission is 383 000 t/a whilst in case of optimistic scenario is 1 149 000 t/a.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm mindazoknak a segítségét és támogatását, akik bármivel is hozzájárultak jelen értekezésem megszületéséhez.

Köszönöm témavezetőmnek, Prof. Dr. Zöld Andrásnak a folyamatos, lelkes támogatást, értékes javaslatait, a publikációk megjelenésében és konferencia előadásokhoz nyújtott segítségét. Munkámat mindvégig támogatta, szakmailag és emberileg is sokat tanultam tőle.

Köszönet illeti a Debreceni Egyetem Műszaki Karát és az Épületgépészeti- és Létesítménymérnöki Tanszéket PhD tanulmányaim támogatásáért, továbbá azért, hogy a mérőfülkék megépítéséhez helyet biztosított és a főanyagok vásárlásában anyagi segítséget nyújtott valamint lehetővé tette, hogy a mérésekhez a tanszék műszereit használhassam.

Köszönet Halász Péternek és Nádasdi Zoltánnak, akik kétkezi segítségével a mérőfülkéket nem tudtam volna megépíteni. Köszönet illeti a mérőfülkék megépítésében, szállításában, forgatásában segítséget nyújtó minden barátomat, ismerősömet, családtagomat.

Köszönöm a Debreceni Egyetem AKIT – Agrometeorológiai és Agroökológiai Monitoring Központjának, hogy a kutatásomhoz szükséges meteorológiai adatokat rendelkezésemre bocsátotta és lehetővé tette, hogy a mérőfülkéket a kismacsi állomás területén elhelyezhessem.

Külön köszönet feleségemnek, Lakatos Nórának, aki végig mindenben kitartóan támogatott, buzdított és segített a kutatási munka és az értekezés megírása során.

Végül, de nem utolsó sorban hálával tartozom családomnak a támogatásukért.

Irodalomjegyzék

2001 ASHRAE Handbook – Fundamentals

2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals

2013 ASHRAE Handbook - Fundamentals

410/2012. (XII. 28.) Korm. Rendelet az üvegházhatású gázok közösségi kereskedelmi rendszerében és az erőfeszítés-megosztási határozat végrehajtásában való részvételtől szóló 2012. évi CCXVII. törvény végrehajtásának egyes szabályairól (njt.hu)

A bizottság 813/2013/eu rendelete (2013. augusztus 2.) a 2009/125/EK európai parlamenti és tanácsi irányelvnek a helyiségfűtő berendezések és a kombinált fűtőberendezések környezettudatos tervezésére vonatkozó követelmények tekintetében történő végrehajtásáról.

A. Kerekes, a. Effect of wall thickness on the solar gain, *Journal of Sustainable Energy Vol.* 7, No. 1, March, 2016. pp. 15-21.

Appelfeld, D., Svendsen, S. (2011). Experimental analysis of energy performance of a ventilated window for heat recovery under controlled conditions, *Energy and Buildings*, 43. pp. 3200-3207.

Azari, R. et al. (2016). Multi-objective optimization of building envelope design for life cycle environmental performance, *Energy and Buildings*, 126. pp. 524-534.

Carlos, J.S. et al. (2010). Real climate experimental study of two double window systems with preheating of ventilation air, *Energy and Buildings*, 42. pp. 928-934.

Carlos, J.S. et al. (2011). Modelling and simulation of a ventilated double window, *Applied Thermal Engineering*, 31. pp. 93-102.

Carlos, J.S. et al. (2012). Heat recovery versus solar collection in a ventilated double window, *Applied Thermal Engineering*, 3. pp. 258-266.

Carlos, S., Corvacho, H. (2015). Evaluation of the performance indices of a ventilated double window through experimental and analytical procedures: SHGC-values, *Energy and Buildings*, 86. pp. 886-897.

Clark, G., Allen, C. The Estimation of Atmospheric Radiation for Clear and Cloudy Skies, Proceedings 2nd National Passive Solar Conference (AS/ISES), (1978), pp. 675-678.

Cuce, E., Riffat, S. B. (2015). A state-of-the-art review on innovative glazing technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41. pp. 695–714

Csoknyai T. et al. (2014). Lakóépület tipológia Magyarországon, BME, (2014.) pp. 15.

Csoknyai T. személyes közlése Nemzeti Épületenergetikai Rendszer 2 (NÉER2) adatai alapján (2016).

- Dijk, von D. (2013.) Standardized calculation methods in relation to the EPBD, TNO Energy and Comfort Systems (NL) Forrás: konferencia előadás, *High Energy Performance Buildings Design and Evaluation Methodologies*, Monday 24 June 14:00 until Wednesday 26 June 13:00, 2013.
- EnergyPlus™ Documentation, v8.4.0, Engineering Reference, Information on <https://energyplus.net/documentation> (hozzáférés dátuma: 2016. 04. 22.)
- Erbs D. G. et al. Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation, *Solar Energy* Vol. 28. No. 4. (1982) pp. 293-302,
- Fekete I. et al. (1985) *Épületfizika kézikönyv*, Műszaki Könyvkiadó Bp. (1985) pp. 389.
- Firlag, Sz. et al. (2015). Control algorithms for dynamic windows for residential buildings, *Energy and Buildings*, 109. pp. 157-173.
- Ford, B. et al. (2007). *The passivhaus standard in european warm climates: design guidelines for comfortable low energy homes, Part 3. Comfort, climate and passive strategies*, July 2007
- Gábor L., Zöld A. *Energiagazdálkodás az építészetben*, Akadémiai kiadó, Budapest, (1981) pp. 187.
- Gloriant, F. et al. (2015). Modeling a triple-glazed supply-air window, *Building and Environment*, 84. pp. 1-9.
- H. Burger, W. Rogatty, Überschlägige Ermittlung der erforderlichen, Kesselleistung.
- HEIZUNGSTECHNIK, Ausgabe 18/2004, Seite 44 ff. (<http://www.ikz.de/19962005/2004/18/0418044.php>, letöltve: 2017. 04.02.).
- Hoes, P., Hensen, J.L.M. (2016). The potential of lightweight low-energy houses with hybrid adaptable thermal storage: Comparing the performance of promising concepts, *Energy and Buildings*, 110. pp. 79-93.
- IEA.org & woldbank.org
- Imre L. (1983). *Hőátvitel összetett szerkezetekben*, Akadémia Kiadó, Budapest, pp. 95.
- International Energy Agency (1986). *Calculation of Seasonal Heat Loss and Gain through Windows; a comparison of some simplified models*, TNO Institute of Applied Physics, Delft
- Iqbal, M., (1983). *An Introduction to Solar Radiation*, Academic, Toronto
- John A. Duffie, William A. Beckman, (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey pp. 963,
- Kalema, T, Pylsy, P. (2008). Accuracy of the Calculation of Heating and Cooling Energy Needs in Nordic Conditions., forrás: https://www.researchgate.net/publication/237335576_Accuracy_of_the_Calculation_of_Heating_and_Cooling_Energy_Needs_in_Nordic_Conditions
- Kerekes, A. (2016). Effect of wall thickness on the solar gain, *Journal of Sustainable Energy*, Vol. 7, No. 1, pp. 15-21.
- Kerekes, A. Zöld, A. (2016). How to interpret the renewable share? *Energy and Buildings* 126, pp. 70–76.

- Liu, B. Y. H. and R. C. Jordan, (1963). The Long-Term Average Performance of Flat-Plate Solar Energy Collectors. *Solar Energy*, 7, 53
- Makhmalbaf, A. et al. (2013). Simulation-based weather normalization approach to study the impact of weather on energy use of buildings in the U.S., *13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, August 26-28. 2013.*
- Manz, H., Menti, U. P. (2012). Energy performance of glazings in European climates, *Renewable Energy*, 37. pp. 226-232.
- Mark F. Jentsch et al. (2008). Climate change future proofing of buildings—Generation and assessment of building simulation weather files, *Energy and Buildings* 40 pp. 2148–2168
- Markus, T. (1982). Development of a cold climate severity index. *Energy and Buildings*, 4. pp. 277–283.
- MEKH (2016). <http://mekh.hu/foldgazipari-tarsasagok-2016-evi-adatai> (letöltve: 2016. 06. 23.)
- Minister of Natural Resources Canada (2001-2004). *Passive Solar Heating Project Analysis Calpter*, ISBN: 0-662-35675-6. forrás: www.retscreen.net
- Monetti, V. et al. (2015). Calibration of building energy simulation models based on optimization: a case study, *Energy Procedia*, 78. pp. 971-2976.
- MSZ EN ISO 10077-1:2007. Ajtók, ablakok és társított szerkezetek hőtechnikai viselkedése. A hőátbocsátási tényező számítása. 1. rész: Általános előírások (ISO 10077-1:2006)
- MSZ EN ISO 10077-1:2007. Ajtók, ablakok és társított szerkezetek hőtechnikai viselkedése. A hőátbocsátási tényező számítása. 1. rész: Általános előírások (ISO 10077-1:2006)
- MSZ EN ISO 13790:2008 Épületek energetikai teljesítőképessége. A fűtési és hűtési energiaigény számítása (ISO 13790:2008)
- Nemzeti Épületenergetikai Stratégia (NÉeS) Budapest 2015. február <http://www.kormany.hu/download/d/85/40000/Nemzeti%20E%CC%81pu%CC%88letenergetikai%20Strate%CC%81gia%20150225.pdf> (letöltve 2016. 09. 29.)
- Rodriguez-Ubinas, E. et al. (2014). Passive design strategies and performance of Net Energy Plus Houses, *Energy and Buildings*, 83. pp. 10-22.
- Santamouris, M. (2010), *Energy Performance of Residential Buildings: A Practical Guide for Energy Rating and Efficiency*, Taylor & Francis
- Skaiff, M.C., Gosselin, L. (2014). Summer performance of ventilated windows with absorbing or smart glazings. *Solar Energy*, 105. pp. 2-13.
- Spencer, J. W. (1971). *Fourier Series Representation of the Position of the Sun*, *Search*, 2 (5), 172

- Szalay, Zs. (2007). Life cycle environmental impacts of residential buildings, *Budapest University of Technology and Economics*, Doctoral dissertation
- Szalay, Zs. (2010). The Energy Performance of Old Windows, *New4Old workshop Dublin*, 16 April 2010, Conference lecture
- Szalay, Zs. Csoknyai, T. (2013). Life cycle costs and environmental impacts of a nearly zero-energy detached house, *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 4:(2) pp. 163-169.
- Underwood, C. P., Yik, F. W. H., (2004). *Modelling methods for energy in buildings*, Blackwell Publishing Ltd, Oxford
- Unger – Sümeghy, Környezeti klimatológia. SZTE TTK jegyzet, Szeged, (2002) 132-197
- Valentia Fabi et al. (2015). Verification of stochastic behavioural models of occupants' interactions with windows in residential buildings, *Building and Environment*, 90. pp. 371-383.
- Vanhoutteghem, L. et al. (2015). Impact of facade window design on energy, daylighting and thermal comfort in nearly zero-energy houses, *Energy and Buildings* 102. pp. 149–156
- Walton, G.N. (1985). Thermal Analysis Research Program- Reference Manual, NBSIR 83-2655, U.S. Department of Commerce, March (1983), Update 1985.
- Weber, T. et al. (2004). The Utilization Factor for Free Heat in Buildings, a Statistical Approach, *forrás: <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:424204/FULLTEXT01.pdf>*
- Wei, J. et al. (2010). Energy performance of a dual airflow window under different climates, *Energy and Buildings*, 42. pp. 111-122.
- Yohanis, Y.G., Norton, B. (1999). Utilization factor for building solar-heat gain for use in a simplified energy model, *Applied Energy*, 63. pp. 227-239.
- Zöld A. et al. *Energiatudatos építészet 2.0*, Terc Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. Budapest, (2016) pp. 309.
- Zöld A. et al. *Épületfizika*, Budapest, (1991)
- Zöld A. et al. *Épületfizika*, Budapest, (1997)

Publikációs lista



DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR



Nyilvántartási szám: DEENK/251/2017.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Kerekes Attila
Neptun kód: XEIU15
Doktori Iskola: Földtudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10045812

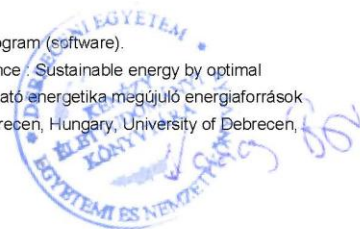
A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (4)

1. **Kerekes, A.:** A fűtési energiafogyasztás érzékenysége az éghajlati tényezőkre.
In: Műszaki Tudomány az Észak - Kelet Magyarországi Régióban 2017. Szerk.: Bodzás Sándor, MTA Debreceni Akadémiai Bizottság, Debrecen, megjelenés alatt, [3], 2017.
2. **Kerekes, A.:** A napenergiahasznosítás figyelembevétele: szabályozási anomáliák az épületenergetikában.
In: Környezet és energia a mindennapokban. Szerk.: Lázár István, MTA DAB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 265-270, 2016. ISBN: 9789637064340
3. **Kerekes, A.:** Sok kicsi sokra megy.
In: Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban 2016 konferencia előadásai : Miskolc, 2016. május 25.. Szerk.: Bodzás Sándor, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 196-204, 2016. ISBN: 9789637064333
4. **Kerekes, A.:** Épület energetikai viselkedésének vizsgálata.
In: 17th "Building Services, Mechanical and Building Industry days" International Conference, 13-14 October 2011, Debrecen, Hungary. Szerk.: Kalmár Ferenc, Balla Tibor, Debreceni Egyetem Műszaki Főiskolai Kar, Debrecen, 31-38, 2011. ISBN: 9789634734642

Idegen nyelvű, hazai könyvrészletek (1)

5. Varga, E., **Kerekes, A.**, Matkó, A.: Building energetics program (software).
In: Proceedings of DENZERO International Conference : Sustainable energy by optimal integration of renewable energy sources = Fenntartható energetika megújuló energiaforrások optimalizált integrálásával : 9-10 october 2014 : Debrecen, Hungary, University of Debrecen, Debrecen, 183-192, 2014. ISBN: 9789634737360





Idegen nyelvű, külföldi könyvrészletek (1)

6. **Kerekes, A.**: Impact of added convex windows on heating energy need and peak load in different climatic zones.
In: Design to thrive : proceedings : PLEA 2017 Conference. Ed.: by Luisa Brotas, Susan Roaf, Fergus Nicol, PLEA, Edinburgh, 628-634, 2017.

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

7. Zöld, A., **Kerekes, A.**: A napenergia passzív hasznosítása épületekben.
Magy. tud. 178 (5), 545-551, 2017. ISSN: 0025-0325.
8. **Kerekes, A.**: Ablakcsere vs. előtáblák.
Magy. épülgép. 66 (4), 8-12, 2017. ISSN: 1215-9913.
9. **Kerekes, A.**: Mi is az a közel nulla energiaigényű épület a jelenleg érvényes épületenergetikai szabályozás szerint?
Magy. épülgép. 63 (7-8), 9-11, 2014. ISSN: 1215-9913.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

10. **Kerekes, A.**, Halász, E.: Use of continuous and discontinuous energy model for office building.
Mech. Eng. Lett. 6 (2), 103-111, 2011. ISSN: 2060-3789.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (5)

11. **Kerekes, A.**, Zöld, A.: Added convex windows for improving the energy balance.
Appl. Mech. Mater. 824, 339-346, 2016. ISSN: 1660-9336.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.824.339>
12. **Kerekes, A.**, Zöld, A.: Consideration of operative temperature in design and operation.
Appl. Mech. Mater. 861, 438-445, 2016. ISSN: 1660-9336.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.861.438>
13. **Kerekes, A.**: Effect of glazed ratio on indoor comfort and energy need for heating.
Appl. Mech. Mater. 861, 183-189, 2016. ISSN: 1660-9336.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.861.183>
14. **Kerekes, A.**: Effect of wall thickness on the solar gain.
J. Sustain. Energy. 7 (1), 15-21, 2016. ISSN: 2067-5534.
15. **Kerekes, A.**, Zöld, A.: How to interpret the renewable share?
Energy Build. 126, 70-76, 2016. ISSN: 0378-7788.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.003>
IF: 4.067





Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (3)

16. **Kerekes, A.**, Zöld, A.: Consideration of operative temperature in design and operation.
In: enviBUILD 2016 - Buildings and Environment: International conference proceedings. Eds.:
Milos Kalousek, Karel Struhala, Brno, Brno University of Technology, 138, 2016. ISBN:
9788021453920
17. **Kerekes, A.**: Effect of glazed ratio on indoor comfort and energy need for heating.
In: enviBUILD 2016 - Buildings and Environment : International conference proceedings. Ed.:
Milos Kalousek, Karel Struhala, Brno, Brno University of Technology, 57, 2016. ISBN:
9788021453920
18. **Kerekes, A.**, Zöld, A.: Added convex windows for improving the energy balance.
In: Zbornik prednášok a abstraktov z medzinárodnej konferencie : International conference
proceedings and abstracts, Nakladateľstvo STU, Bratislava, 74, 2015. ISBN:
9788022744690

További közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

19. **Kerekes, A.**: Összetett épületgépészeti rendszer gráfelméleti vizsgálata.
In: Műszaki tudomány az Észak-alföldi régióban 2009 konferencia előadásai : Mezőtúr 2009.
május 20.. Szerk.: Pokorádi László, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága,
Debrecen, 173-178, 2009. ISBN: 9789637064210

Idegen nyelvű, hazai könyvrészletek (1)

20. **Kerekes, A.**, Zöld, A.: The fiancée is unduly beautiful. Utánközlés másodközlés,
In: Proceedings of DENZERO International Conference : Sustainable energy by optimal
integration of renewable energy sources = Fenntartható energetika megújuló energiaforrások
optimalizált integrálásával : 9-10 october 2014 : Debrecen, Hungary, University of Debrecen,
Debrecen, 52-63, 2014. ISBN: 9789634737360

Magyar nyelvű közlemények hazai folyóiratban (3)

21. **Kerekes, A.**: Az átadott energia elszámolása ma és a jövőben.
Magy. épülgép. 64 (11), 7-10, 2015. ISSN: 1215-9913.
22. **Kerekes, A.**: Biomassza kazánok teljesítménytényezője és a hőátvitel vesztesége - 2. rész.
Magy. épülgép. 64 (1-2), 41-43, 2015. ISSN: 1215-9913.
23. **Kerekes, A.**: Biomassza kazánok teljesítménytényezője és a hőátvitel vesztesége - 1. rész.
Magy. épülgép. 63 (12), 13-16, 2014. ISSN: 1215-9913.



Idegen nyelvű közlemények hazai folyóiratban (1)

24. **Kerekes, A.**, Zöld, A.: The fiancée is unduly beautiful.

Int. Rev. Appl. Sci. Eng. 6 (1), 55-62, 2015. ISSN: 2062-0810.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/1848.2015.6.1.8>

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 4,067

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
4,067**

A DEENK a Jelölt által az IDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudásmetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2017.07.27.



List of publications



UNIVERSITY OF DEBRECEN
UNIVERSITY AND NATIONAL LIBRARY



Registry number:
Subject:

DEENK/251/2017.PL
PhD Publikációs Lista

Candidate: Attila Kerekes
Neptun ID: XEIU15
Doctoral School: Doctoral School of Earth Sciences
MTMT ID: 10045812

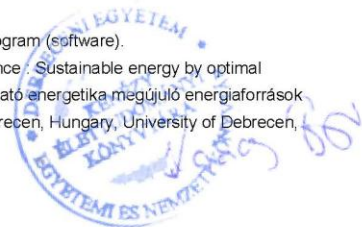
List of publications related to the dissertation

Hungarian book chapters (4)

1. **Kerekes, A.:** A fűtési energiafogyasztás érzékenysége az éghajlati tényezőkre.
In: Műszaki Tudomány az Észak - Kelet Magyarországi Régióban 2017. Szerk.: Bodzás Sándor, MTA Debreceni Akadémiai Bizottság, Debrecen, megjelenés alatt, [3], 2017.
2. **Kerekes, A.:** A napenergiahasznosítás figyelembevétele: szabályozási anomáliák az épületenergetikában.
In: Környezet és energia a mindennapokban. Szerk.: Lázár István, MTA DAB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 265-270, 2016. ISBN: 9789637064340
3. **Kerekes, A.:** Sok kicsi sokra megy.
In: Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban 2016 konferencia előadásai : Miskolc, 2016. május 25.. Szerk.: Bodzás Sándor, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 196-204, 2016. ISBN: 9789637064333
4. **Kerekes, A.:** Épület energetikai viselkedésének vizsgálata.
In: 17th "Building Services, Mechanical and Building Industry days" International Conference, 13-14 October 2011, Debrecen, Hungary. Szerk.: Kalmár Ferenc, Balla Tibor, Debreceni Egyetem Műszaki Főiskolai Kar, Debrecen, 31-38, 2011. ISBN: 9789634734642

Foreign language Hungarian book chapters (1)

5. Varga, E., **Kerekes, A.**, Matkó, A.: Building energetics program (software).
In: Proceedings of DENZERO International Conference : Sustainable energy by optimal integration of renewable energy sources = Fenntartható energetika megújuló energiaforrások optimalizált integrálásával : 9-10 october 2014 : Debrecen, Hungary, University of Debrecen, Debrecen, 183-192, 2014. ISBN: 9789634737360



Address: 1 Egyetem tér, Debrecen 4032, Hungary Postal address: Pf. 39. Debrecen 4010, Hungary
Tel.: +36 52 410 443 Fax: +36 52 512 900/63847 E-mail: publikaciok@lib.unideb.hu Web: www.lib.unideb.hu



Foreign language international book chapters (1)

6. **Kerekes, A.**: Impact of added convex windows on heating energy need and peak load in different climatic zones.
In: Design to thrive : proceedings : PLEA 2017 Conference. Ed.: by Luisa Brotas, Susan Roaf, Fergus Nicol, PLEA, Edinburgh, 628-634, 2017.

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (3)

7. Zöld, A., **Kerekes, A.**: A napenergia passzív hasznosítása épületekben.
Magy. tud. 178 (5), 545-551, 2017. ISSN: 0025-0325.
8. **Kerekes, A.**: Ablakcsere vs. előtáblak.
Magy. épülgép. 66 (4), 8-12, 2017. ISSN: 1215-9913.
9. **Kerekes, A.**: Mi is az a közel nulla energiaigényű épület a jelenleg érvényes épületenergetikai szabályozás szerint?
Magy. épülgép. 63 (7-8), 9-11, 2014. ISSN: 1215-9913.

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (1)

10. **Kerekes, A.**, Halász, E.: Use of continuous and discontinuous energy model for office building.
Mech. Eng. Lett. 6 (2), 103-111, 2011. ISSN: 2060-3789.

Foreign language scientific articles in international journals (5)

11. **Kerekes, A.**, Zöld, A.: Added convex windows for improving the energy balance.
Appl. Mech. Mater. 824, 339-346, 2016. ISSN: 1660-9336.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.824.339>
12. **Kerekes, A.**, Zöld, A.: Consideration of operative temperature in design and operation.
Appl. Mech. Mater. 861, 438-445, 2016. ISSN: 1660-9336.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.861.438>
13. **Kerekes, A.**: Effect of glazed ratio on indoor comfort and energy need for heating.
Appl. Mech. Mater. 861, 183-189, 2016. ISSN: 1660-9336.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.861.183>
14. **Kerekes, A.**: Effect of wall thickness on the solar gain.
J. Sustain. Energy. 7 (1), 15-21, 2016. ISSN: 2067-5534.
15. **Kerekes, A.**, Zöld, A.: How to interpret the renewable share?
Energy Build. 126, 70-76, 2016. ISSN: 0378-7788.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.003>
IF: 4.067





Foreign language abstracts (3)

16. **Kerekes, A.,** Zöld, A.: Consideration of operative temperature in design and operation.
In: enviBUILD 2016 - Buildings and Environment: International conference proceedings. Eds.:
Milos Kalousek, Karel Struhala, Brno, Brno University of Technology, 138, 2016. ISBN:
9788021453920
17. **Kerekes, A.:** Effect of glazed ratio on indoor comfort and energy need for heating.
In: enviBUILD 2016 - Buildings and Environment : International conference proceedings. Ed.:
Milos Kalousek, Karel Struhala, Brno, Brno University of Technology, 57, 2016. ISBN:
9788021453920
18. **Kerekes, A.,** Zöld, A.: Added convex windows for improving the energy balance.
In: Zbornik prednášok a abstraktov z medzinárodnej konferencie : International conference
proceedings and abstracts, Nakladateľstvo STU, Bratislava, 74, 2015. ISBN:
9788022744690

List of other publications

Hungarian book chapters (1)

19. **Kerekes, A.:** Összetett épületgépészeti rendszer gráfelméleti vizsgálata.
In: Műszaki tudomány az Észak-alföldi régióban 2009 konferencia előadásai : Mezőtúr 2009.
május 20.. Szerk.: Pokorádi László, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága,
Debrecen, 173-178, 2009. ISBN: 9789637064210

Foreign language Hungarian book chapters (1)

20. **Kerekes, A.,** Zöld, A.: The fiancée is unduly beautiful. Utánközlés másodközlés,
In: Proceedings of DENZERO International Conference : Sustainable energy by optimal
integration of renewable energy sources = Fenntartható energetika megújuló energiaforrások
optimalizált integrálásával : 9-10 october 2014 : Debrecen, Hungary, University of Debrecen,
Debrecen, 52-63, 2014. ISBN: 9789634737360

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (3)

21. **Kerekes, A.:** Az átadott energia elszámolása ma és a jövőben.
Magy. épülgép. 64 (11), 7-10, 2015. ISSN: 1215-9913.
22. **Kerekes, A.:** Biomassza kazánok teljesítménytényezője és a hőtárolás vesztesége - 2. rész.
Magy. épülgép. 64 (1-2), 41-43, 2015. ISSN: 1215-9913.
23. **Kerekes, A.:** Biomassza kazánok teljesítménytényezője és a hőtárolás vesztesége - 1. rész.
Magy. épülgép. 63 (12), 13-16, 2014. ISSN: 1215-9913.



Foreign language scientific articles in Hungarian journals (1)

24. **Kerekes, A.**, Zöld, A.: The fiancée is unduly beautiful.

Int. Rev. Appl. Sci. Eng. 6 (1), 55-62, 2015. ISSN: 2062-0810.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/1848.2015.6.1.8>

Total IF of journals (all publications): 4,067

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 4,067

The Candidate's publication data submitted to the IDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of Web of Science, Scopus and Journal Citation Report (Impact Factor) databases.

27 July, 2017



I. számú melléklet

Az előtétablak formai megjelenése

A fényképeken eredeti bay és bow window valamint a garden window változatok láthatók Ezek az 1.3. fejezet szerint lényegükben különböznek az előtétablaktól, a felvételek kizárólag csak a külső látványt illusztrálják. További formai lehetőségeket vonalas rajz mutat.



1. ábra. Bay window



2. ábra. Bow window



3. ábra. Garden window



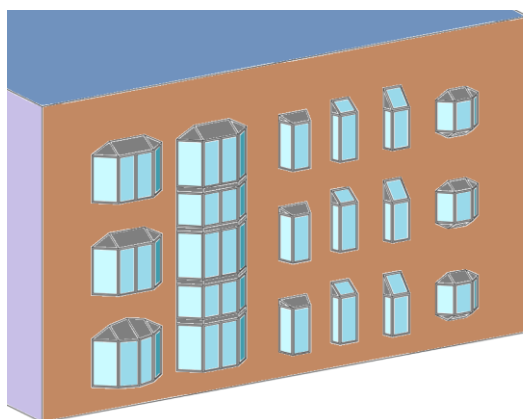
4. ábra. Előtétáblak belülről (egy bow window fényképre rajzoltam rá a homlokzatban megmaradó „eredeti” ablakot



5. ábra. Bow window korszerű épület homlokzaton (Tallin)



6. ábra. Bow window hotelépület látványtervén (Budapest Dorottya utca 8.)



7. ábra. Előtéblak néhány lehetséges homlokzati megjelenése

II. számú melléklet

Ábrák, táblázatok az anyag és módszer fejezethez

Külső fal

Külső fal $U_{fal} = 1,457 \text{ W/m}^2\text{K}$ (rétegsorrend kívülről befelé)

1 cm nemes vakolat,
1,5 cm cementvakolat,
38 cm tömör téglafal,
1,5 cm mészvakolat.

Külső fal $U_{fal} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ (rétegsorrend kívülről befelé)

1 cm nemes vakolat,
1,5 cm cementvakolat,
38 cm falazóblokk,
1,5 cm mészvakolat.

Külső fal felújított $U_{fal} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ (rétegsorrend kívülről befelé)

1 cm nemes vakolat,
15 cm hőszigetelés,
1,5 cm cementvakolat,
38 cm tömör téglafal,
1,5 cm mészvakolat.

Külső fal új építésű $U_{fal} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ (rétegsorrend kívülről befelé)

1 cm nemes vakolat,
14 cm hőszigetelés,
1,5 cm cementvakolat,
38 cm falazóblokk,
1,5 cm mészvakolat.

Ablak

Eredeti ablak $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$

kapcsolt gerébtokos ablak

Meglévő viszonylag jó ablak $U_{üv,abl} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,649$

2 rétegű, argon gáz töltetű hőszigetelő üvegezés, a belső üveg külső oldalán
alacsony hosszúhullámú emissziós tényezőjű bevonattal, fa keretszerkezettel.

Új ablak $U_{üv,abl} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,579$

3 rétegű, argon gáz töltetű hőszigetelő üvegezés, a belső üveg külső oldalán
alacsony hosszúhullámú emissziós tényezőjű bevonattal, fa keretszerkezettel.

Az előtétablak üvegezése

1 rétegű üvegezés, $U_{üv,előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,861$

2 rétegű üvegezés 1. változat, $U_{üv,előtét} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,764$

levegő töltetű hőszigetelő üvegezés

2 rétegű üvegezés 2. változat, $U_{üv,előtét} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,649$

2 rétegű, argon gáz töltetű hőszigetelő üvegezés, a belső üveg külső oldalán
alacsony hosszúhullámú emissziós tényezőjű bevonattal

A keretszerkezet: 50 mm vastagságú, anyaga lehet fa vagy alumínium profil.

Az előtétablak alja: 2,5 cm fenyőfa,
5 cm hőszigetelés,
2,5 cm fenyőfa.

1. táblázat. A modell helyiség szerkezetei

Adiabatikus szerkezetek:

Belső tartó fal 1. változat

1,5 cm mészvakolat
38 cm tömör téglafal,
1,5 cm mészvakolat.

Belső tartó fal 2. változat

1,5 cm mészvakolat
38 cm falazóblokk,
1,5 cm mészvakolat.

Válaszfal

1,5 cm mészvakolat
12 cm tömör téglafal,
1,5 cm mészvakolat.

Padló (rétegsorrend kívülről befelé)

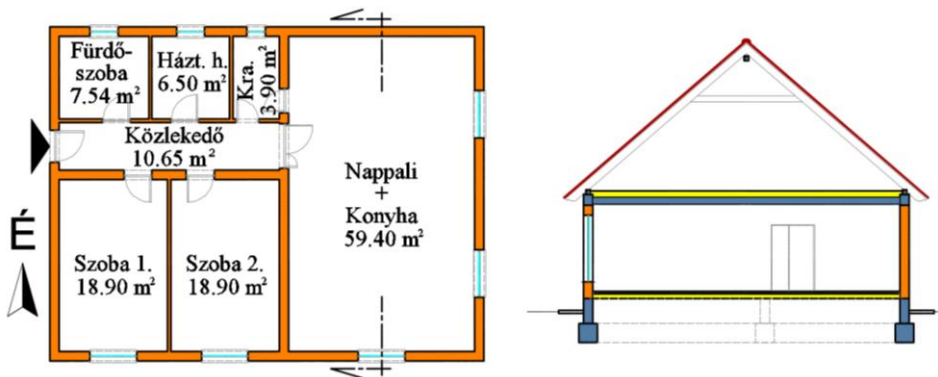
2 cm parketta,
6 cm aljzatbeton,
2 cm. homokfeltöltés,
20 cm vasbeton,
1,5 cm javított mészvakolat.

A mennyezet szerkezete megegyezik a padlóéval (a rétegsorrend fordított).

Belső ajtó

2,5 cm tömör fenyő

2. táblázat. A modell helyiség adiabatikus szerkezetei



1. ábra. A többzónás példaépület alaprajza és É-D irányú metszete

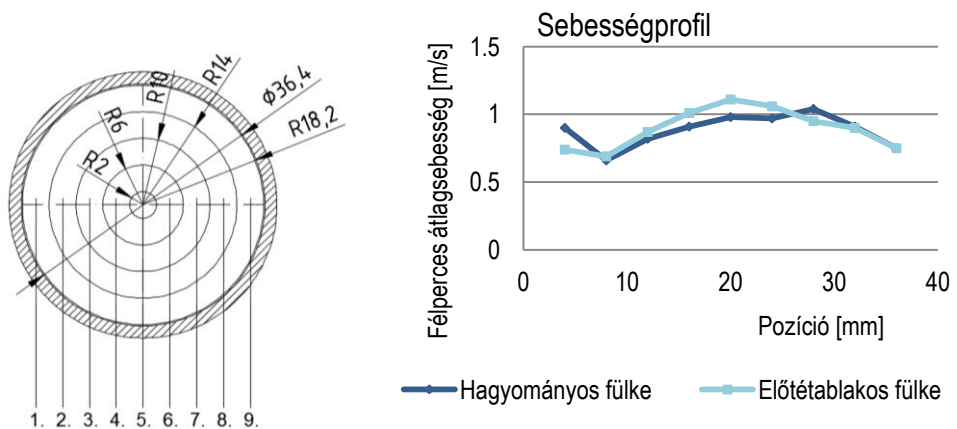
Változat jele		A	B	C	D	E	F	G	H
Jellemzők	U_{fal} [W/m ² K]	1,47	1,47	1,47	1,47	0,18	0,18	0,18	0,18
	$U_{padló}$ [W/m ² K]	1,35	1,35	1,35	1,35	0,58	0,58	0,58	0,58
	$U_{födém}$ [W/m ² K]	1,02	1,02	1,02	1,02	0,14	0,14	0,14	0,14
	$U_{üvegezés}$ [W/m ² K]	2,79	2,79	2,79	2,79	1,06	1,06	1,06	1,06
	g össz-sugárzás-átbocsátás	0,765	0,765	0,765	0,765	0,579	0,579	0,579	0,579
	Üvegezési arány ¹⁾	0,101	0,101	0,208	0,208	0,101	0,101	0,208	0,208
Szerkezetek	Külső fal	K	N	K	N	K	NH	K	NH
	Válaszfal	K	N	K	N	K	N	K	N
	Padló	LI	P	LI	P	LI	P	LI	P
	Födém	K	B	K	B	K	B	K	B
	Ablak	D	D	D	D	H	H	H	H
	Bejárati ajtó	F	F	F	F	H	H	H	H

¹⁾üvegfelület m²/homlokzatfelület m²

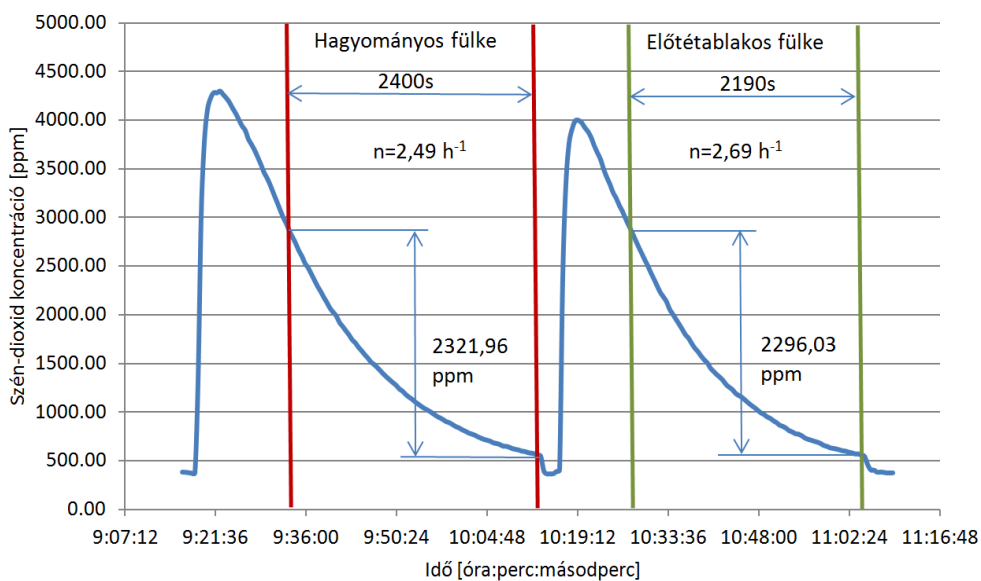
A betűjelek:

K – könnyű, N – nehéz, NH – nehéz, külső oldali hőszigeteléssel, LI – linóleum, P – parketta és kerámiaburkolat, B – vasbeton, D – kapcsolt gerébtokos kettős üvegezés, H – hőszigetelő üvegezés/hőszigetelt ajtó, F – faszerkezetű ajtó.

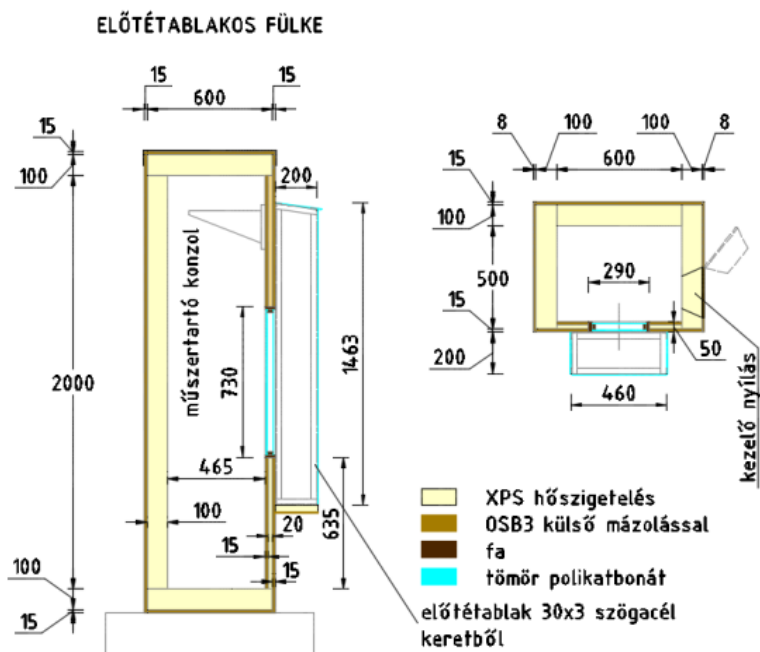
3. táblázat. A többzónás példaépület változatainak szerkezetei valamint azok hőtechnikai adatai



2. ábra. Sebességmérés - mérési pozíciók és mérési eredmények



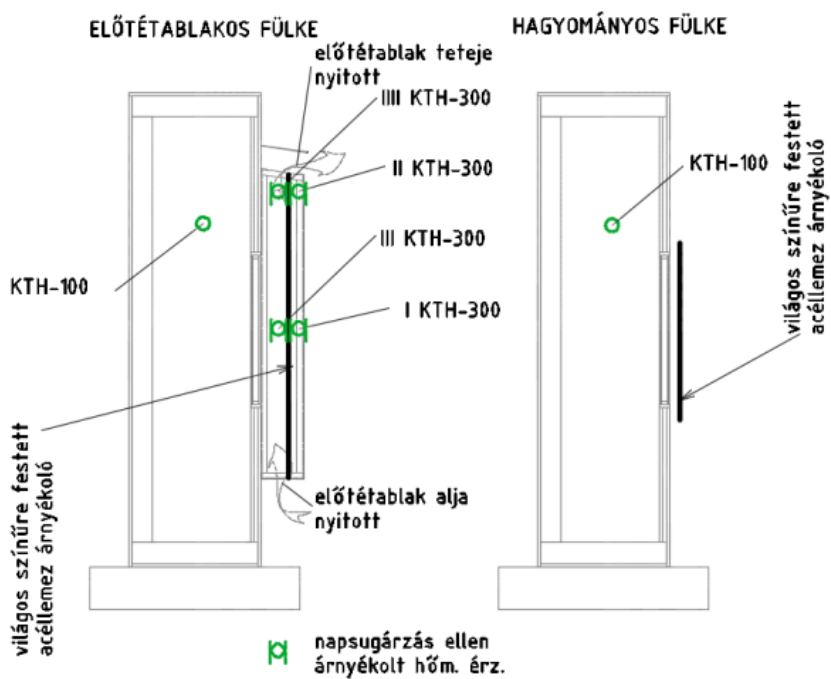
3. ábra. Szén-dioxid koncentráció mérések eredményei, és a légcsereszámok meghatározása



4. ábra. Mérőfülke alaprajz és metszet



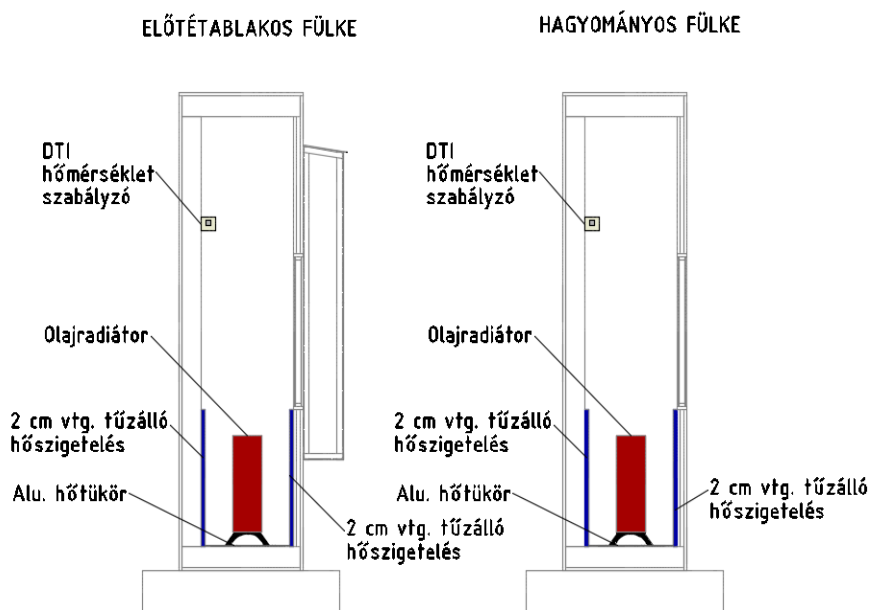
5. ábra. Mérőfülke építés közben



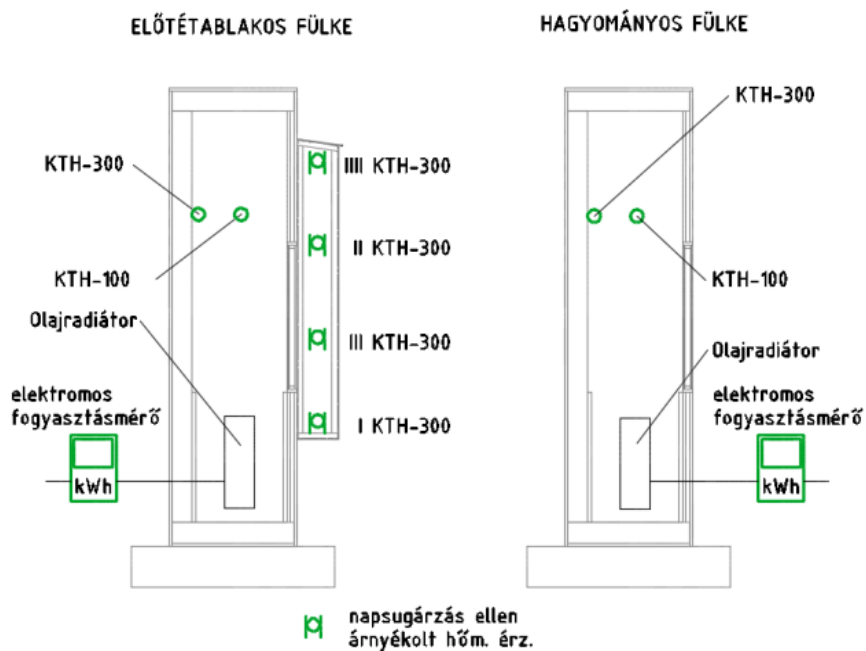
6. ábra. Mérőfülkék mérési pontjai a nyári üzemmód vizsgálata esetén



7. ábra. Mérőfülkék nyári üzemmódban (déli tájolás, hagyományos fülke belső árnyékolóval)



8. ábra. Mérőfülkék fűtése



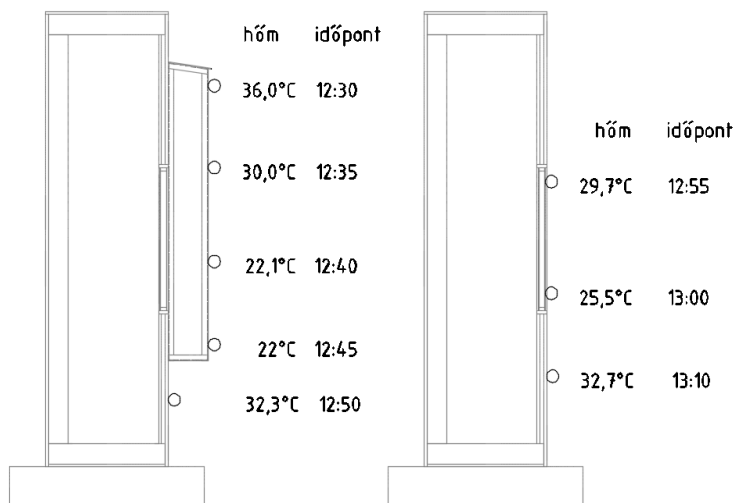
9. ábra. Mérőfűlkék mérési pontjai a fűtési üzem vizsgálata esetén

FELÜLETI HŐMÉRSÉKLETMÉRÉSEK EREDMÉNYEI

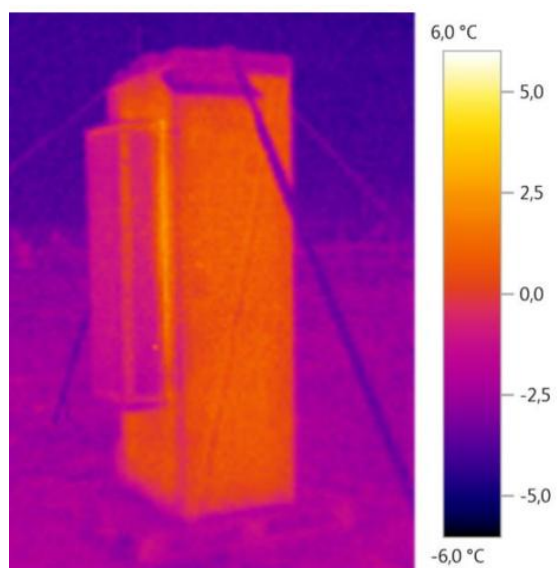
DÉLI tájolás, 2016. 12. 30.

ELŐTÉBLAKOS FÜLKE

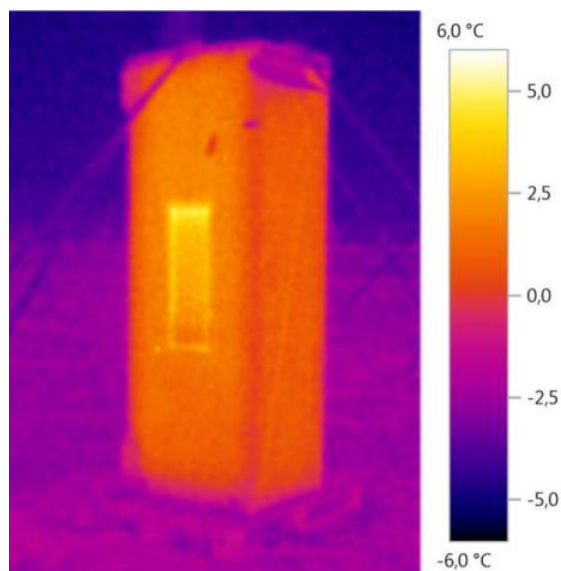
HAGYOMÁNYOS FÜLKE



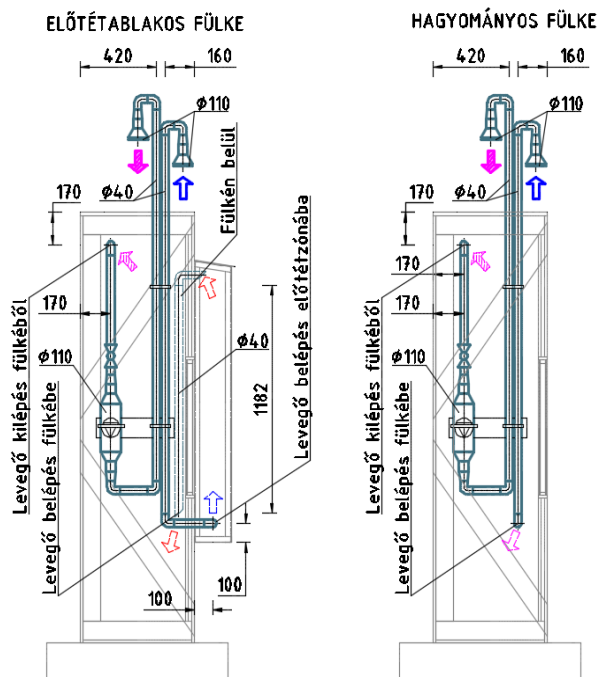
10. ábra. Eseti felületi hőmérséklet mérés és eredményei



11. ábra. Előtétablakos mérőfülke hőkamerás felvétele
(időpont: 2016. 12. 22. 14:12:29)



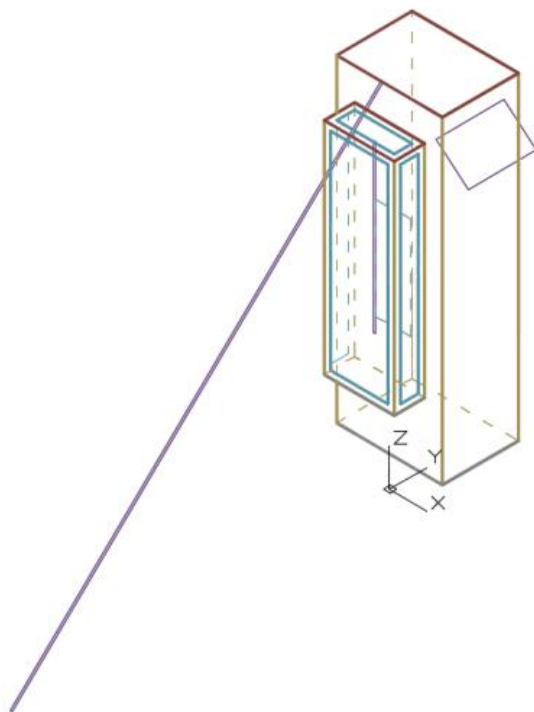
12. ábra. Hagymányos mérőfülke hőkamerás felvétele
(időpont: 2016. 12. 22. 14:20:23)



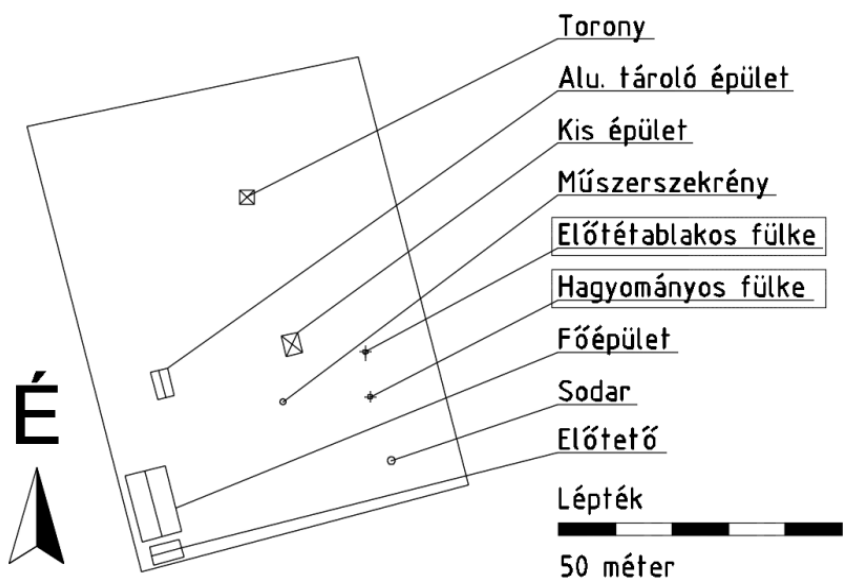
13. ábra. Mérőfülkék mesterséges szellőzői rendszere a szellőzéses üzemmód vizsgálatához



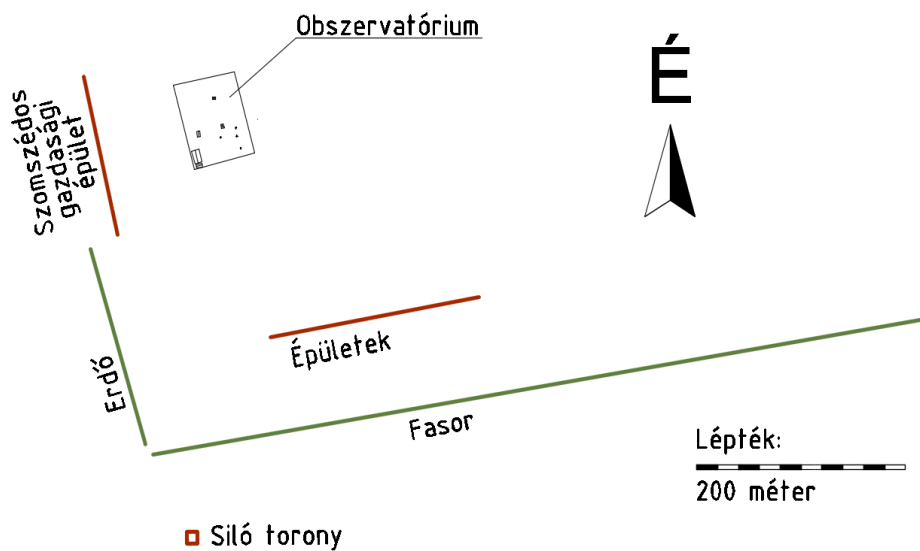
14. ábra. A mesterséges szellőzői rendszerrel felszerelt mérőfülkék (keleti tájolás)



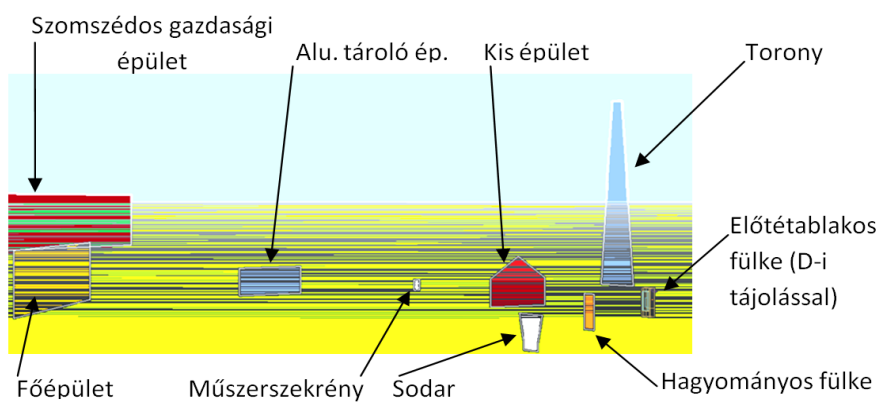
15. ábra. A fülkemodell geometriai felépítése



16. ábra. A fülkék elhelyezése és a modellben figyelembevett környező tereptárgyak

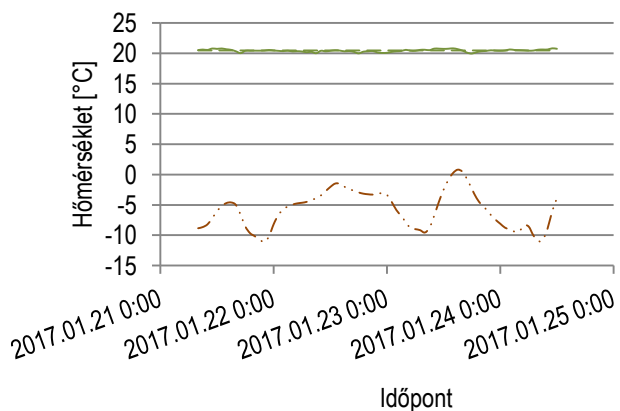


17. ábra. A modellben figyelembe vett távolabbi tereptárgyak



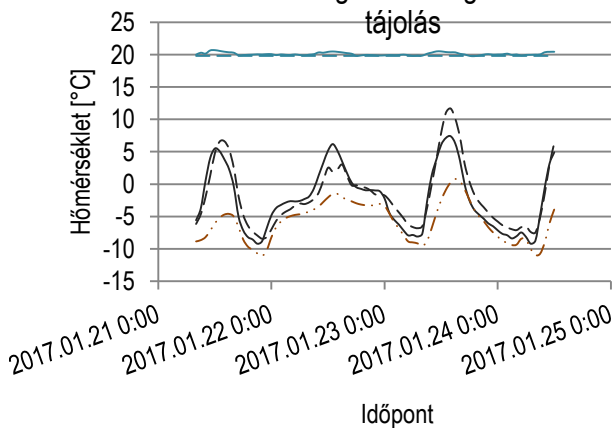
18. ábra. A fülkék közelében lévő épületek és tereptárgyak – mint árnyékvetők – a szimulációs modellben (részlet)

Hagyományos fülke - Szellőzéssel üzemelő - Északi tájolás



a. ábra

Előtétáblakos fülke - Levegő előmelegítéses üzemelő - Északi tájolás

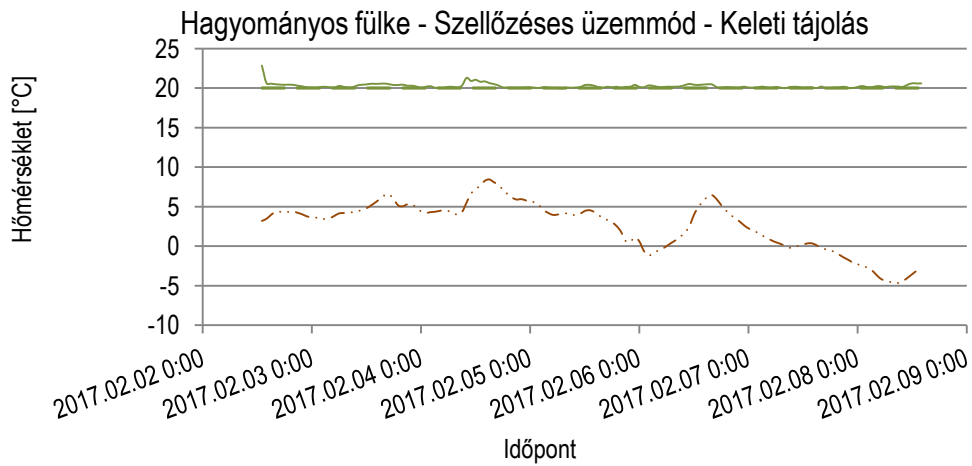


b. ábra

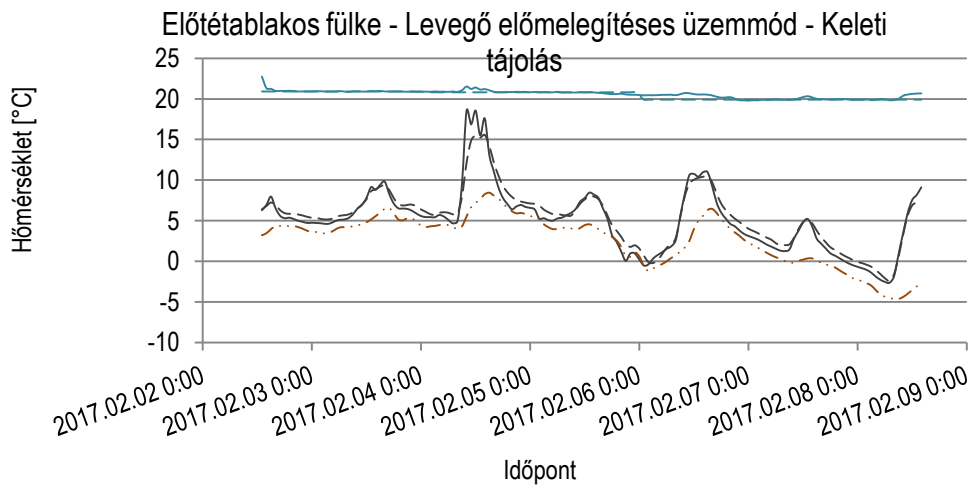
Jelmagyarázat

- Előtétáblakos fülke belső hőmérséklet mérési eredmény
- Előtétáblakos fülke előtétzóna hőmérséklet mérési eredmény
- - - Külső levegő hőmérséklet mérési eredmény
- - - Előtétáblakos fülke belső hőmérséklet szimulációs eredmény
- - - Előtétáblakos fülke előtétzóna hőmérséklet szimulációs eredmény
- Hagyományos fülke belső hőmérséklet mérési eredmény
- - - Hagyományos fülke belső hőmérséklet szimulációs eredmény

19. ábra. Hőmérséklet mérések és szimulációs eredmények időbeli alakulása – Északi tájolás



a. ábra

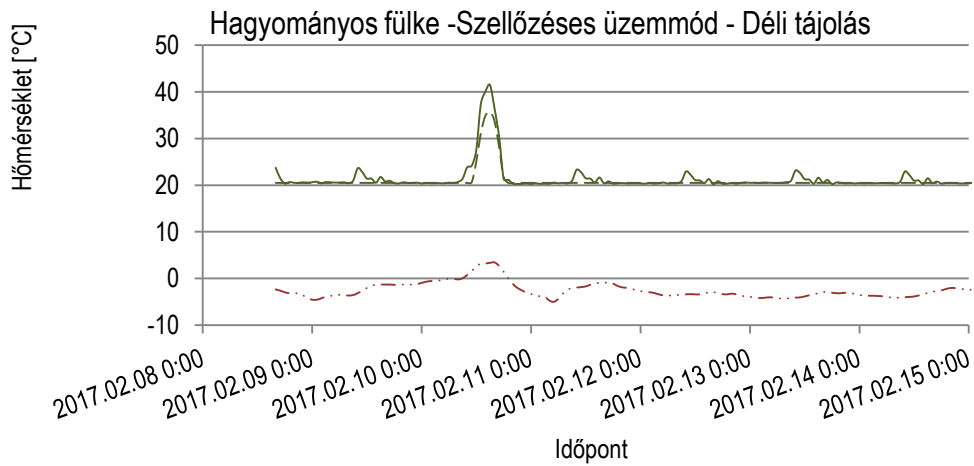


b. ábra

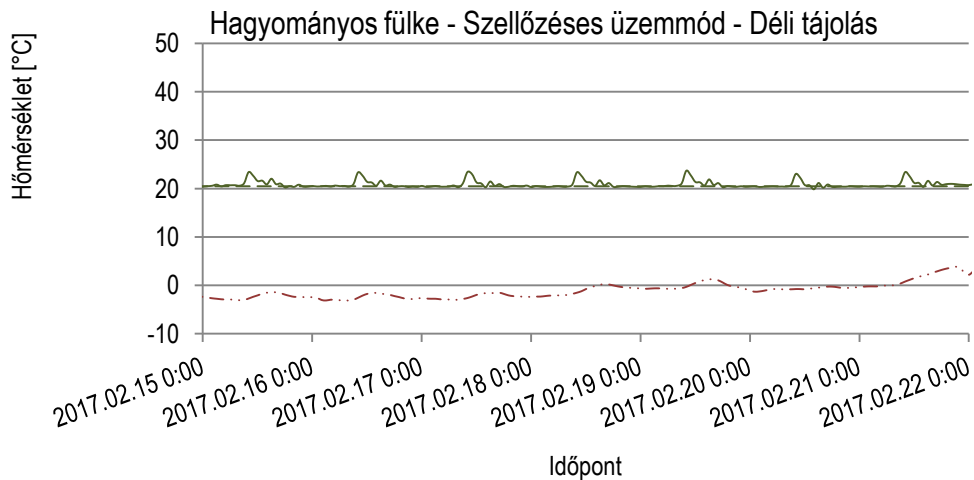
Jelmagyarázat

- Előtétablakos fülke belső hőmérséklet mérési eredmény
- Előtétablakos fülke előtétzóna hőmérséklet mérési eredmény
- · - · - Külső levegő hőmérséklet mérési eredmény
- - - - Előtétablakos fülke belső hőmérséklet szimulációs eredmény
- - - - Előtétablakos fülke előtétzóna hőmérséklet szimulációs eredmény
- Hagyományos fülke belső hőmérséklet mérési eredmény
- - - - Hagyományos fülke belső hőmérséklet szimulációs eredmény

20. ábra. Hőmérséklet mérések és szimulációs eredmények időbeli alakulása – Keleti tájolás



a. ábra

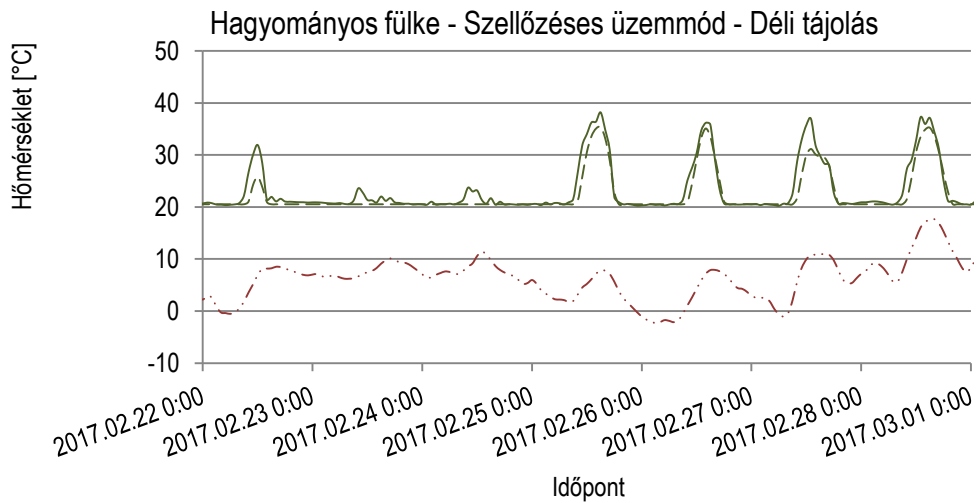


b. ábra

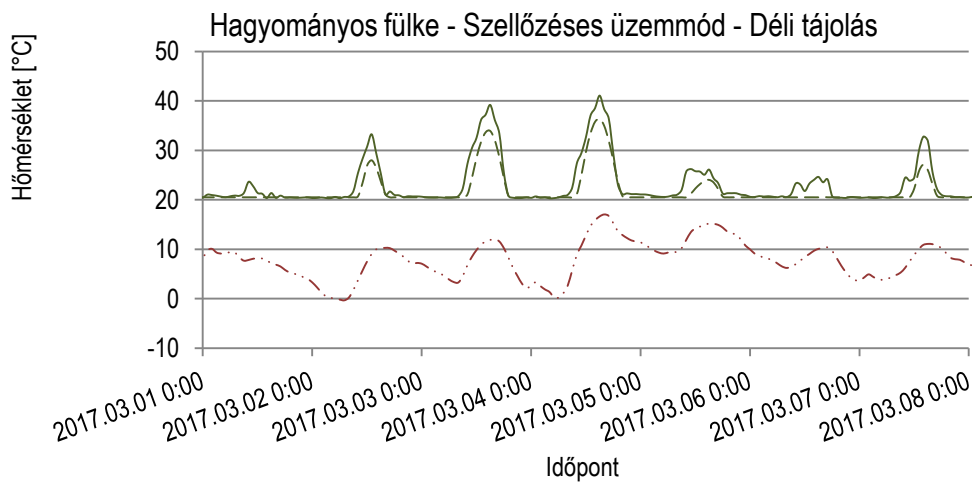
Jelmagyarázat

- Hagyományos fülke belső hőmérséklet mérési eredmény
- · - · - Külső levegő hőmérséklet mérési eredmény
- - - Hagyományos fülke belső hőmérséklet szimulációs eredmény

21. ábra. Hőmérséklet mérések és szimulációs eredmények időbeli alakulása – Déli tájolás



a. ábra

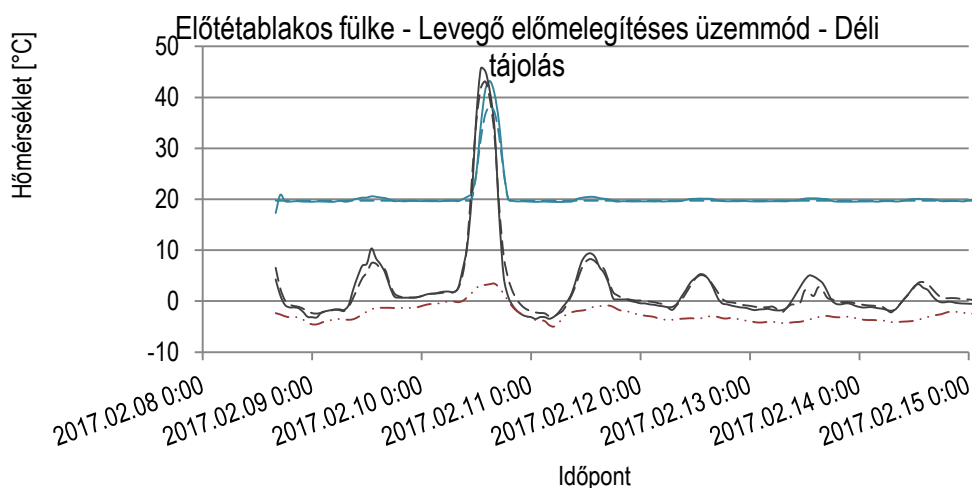


b. ábra

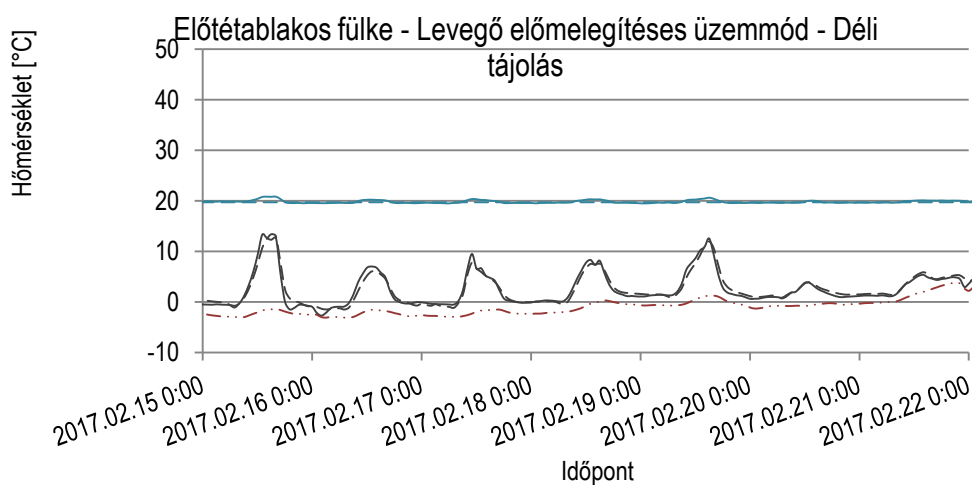
Jelmagyarázat

- Hagyományos fülke belső hőmérséklet mérési eredmény
- - - Külső levegő hőmérséklet mérési eredmény
- - - Hagyományos fülke belső hőmérséklet szimulációs eredmény

22. ábra. Hőmérséklet mérések és szimulációs eredmények időbeli alakulása – Déli tájolás



a. ábra

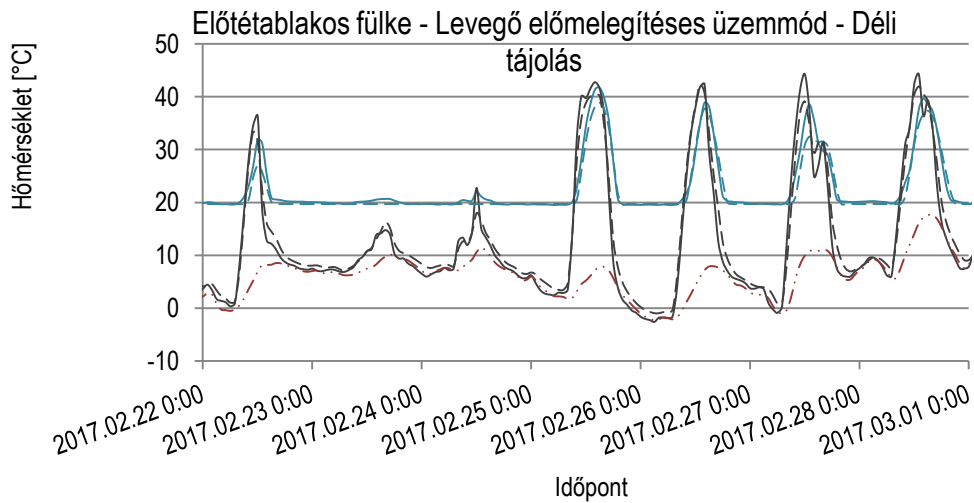


b. ábra

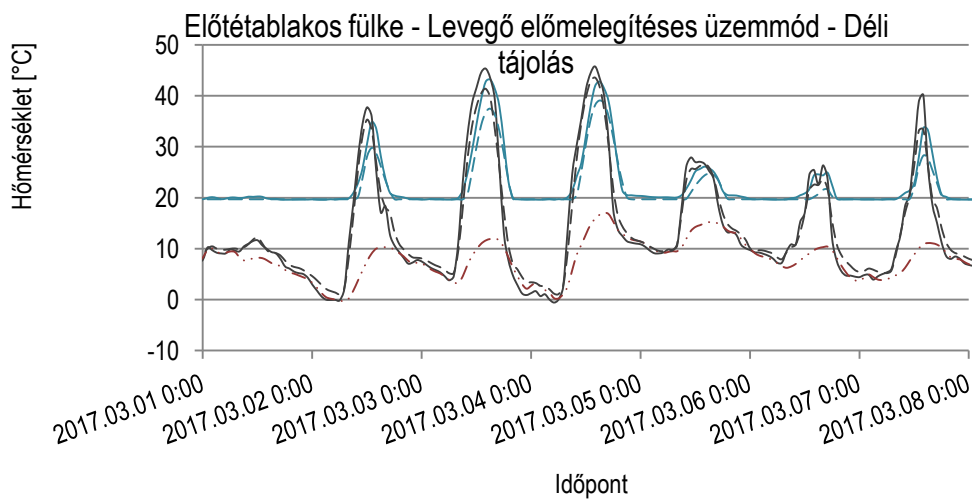
Jelmagyarázat

- Előtéblakos fülke belső hőmérséklet mérési eredmény
- Előtéblakos fülke előtétzóna hőmérséklet mérési eredmény
- - - Külső levegő hőmérséklet mérési eredmény
- - - Előtéblakos fülke belső hőmérséklet szimulációs eredmény
- - - Előtéblakos fülke előtétzóna hőmérséklet szimulációs eredmény

23. ábra. Hőmérséklet mérések és szimulációs eredmények időbeli alakulása – Déli tájolás



a. ábra

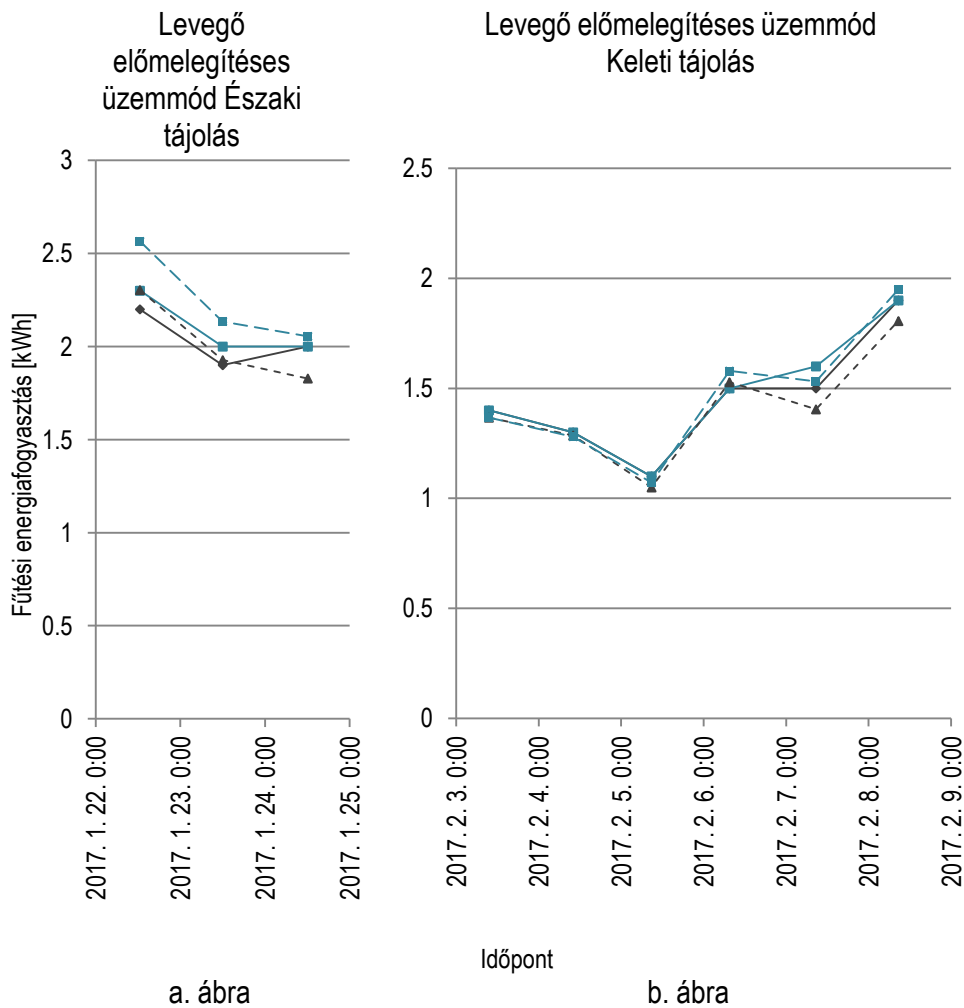


b. ábra

Jelmagyarázat

- Előtétablakos fülke belső hőmérséklet mérési eredmény
- Előtétablakos fülke előtétzóna hőmérséklet mérési eredmény
- - - Külső levegő hőmérséklet mérési eredmény
- - - Előtétablakos fülke belső hőmérséklet szimulációs eredmény
- - - Előtétablakos fülke előtétzóna hőmérséklet szimulációs eredmény

24. ábra. Hőmérséklet mérések és szimulációs eredmények időbeli alakulása – Déli tájolás

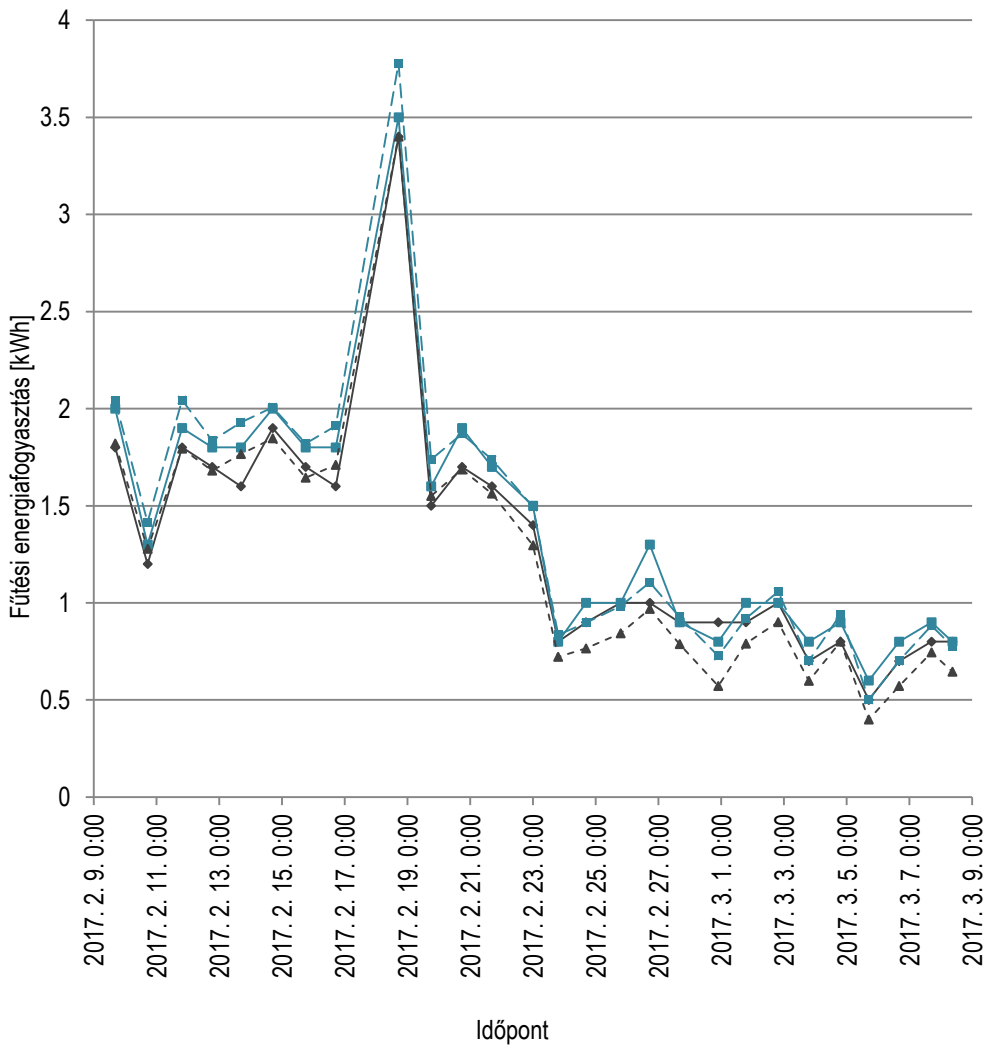


Jelmagyarázat

- Előtéblakos fülke mérési eredmény
- Hagyományos fülke mérési eredmény
- -▲- - Előtéblakos fülke szimulációs eredmény
- -■- - Hagyományos fülke szimulációs eredmény

25. ábra. Mérőfűlkék fűtési energiafogyasztása az egyes mérő leolvasási időpontok között

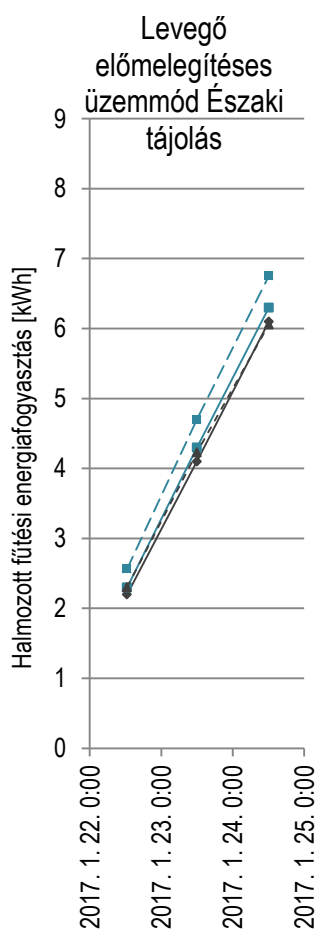
Levegő előmelegítéses üzemmód Déli tájolás



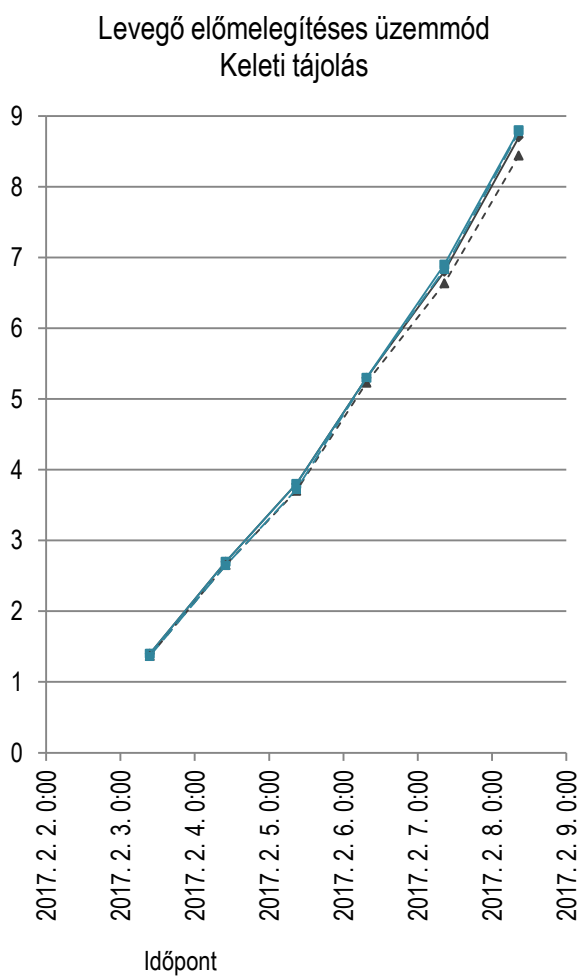
Jelmagyarázat

- ◆— Előtétáblakos fülke mérési eredmény
- Hagyományos fülke mérési eredmény
- -▲- - Előtétáblakos fülke szimulációs eredmény
- -■- - Hagyományos fülke szimulációs eredmény

26. ábra. Mérőfűlkék fűtési energiafogyasztása az egyes mérő leolvasási időpontok között.



a. ábra



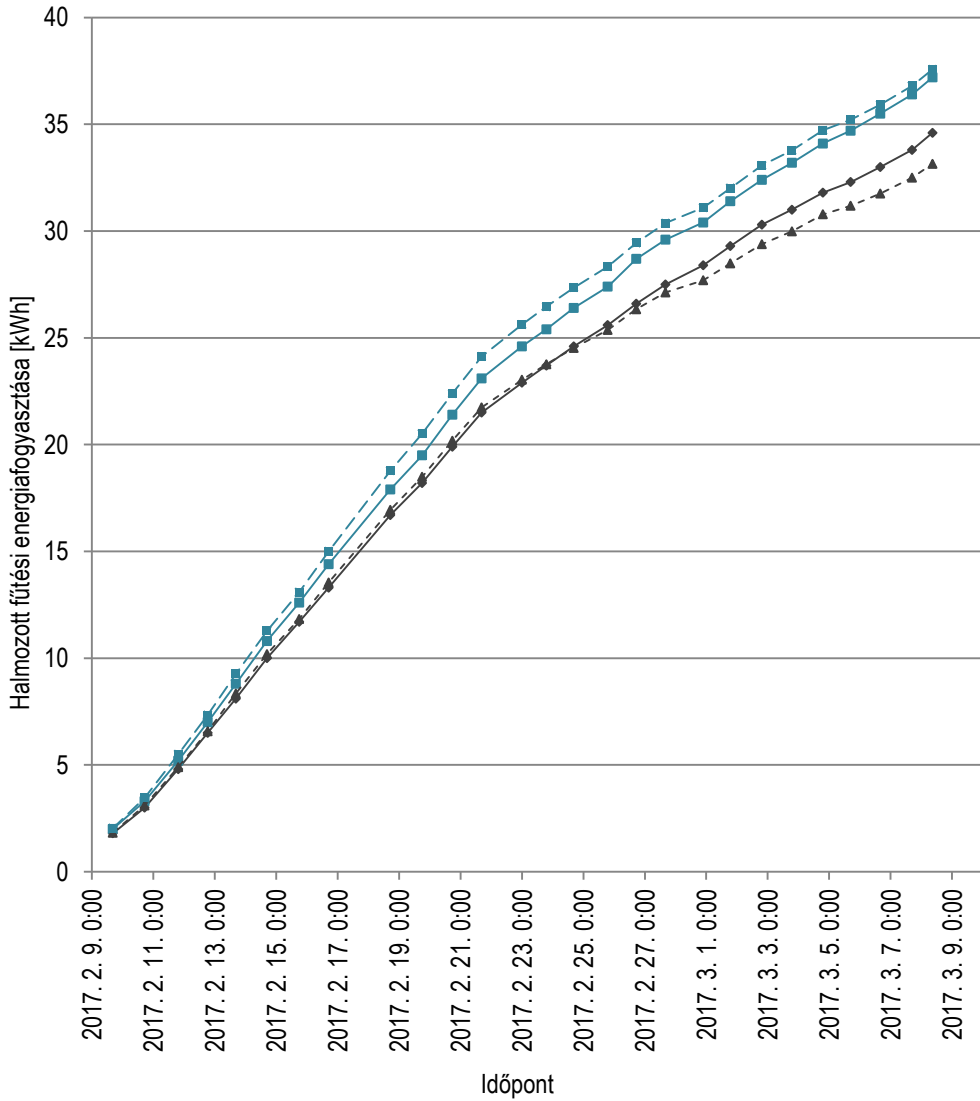
b. ábra

Jelmagyarázat

- ◆— Előtáblakos fülke mérési eredmény
- Hagományos fülke mérési eredmény
- - -▲- - - Előtáblakos fülke szimulációs eredmény
- - -■- - - Hagományos fülke szimulációs eredmény

27. ábra. MÉRŐFÜLKÉK HALMOZOTT FŰTÉSI ENERGIAFOGYASZTÁSA

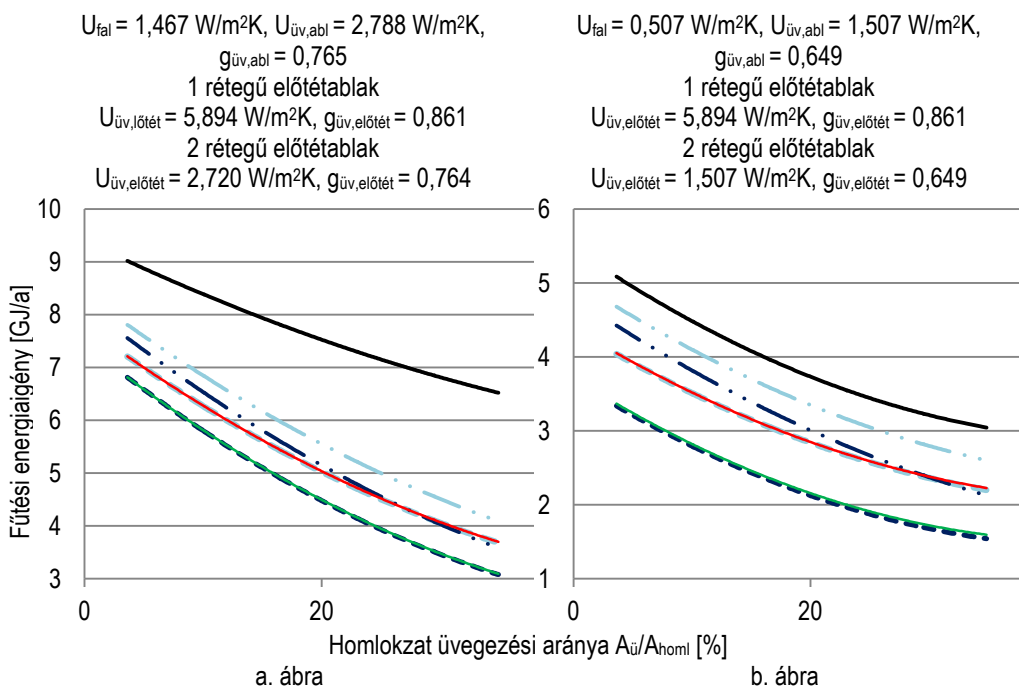
Levegő előmelegítéssel üzemű Déli tájolás



Jelmagyarázat

- ◆— Előtáblakos fülke mérési eredmény
- Hagyományos fülke mérési eredmény
- -▲- - Előtáblakos fülke szimulációs eredmény
- -■- - Hagyományos fülke szimulációs eredmény

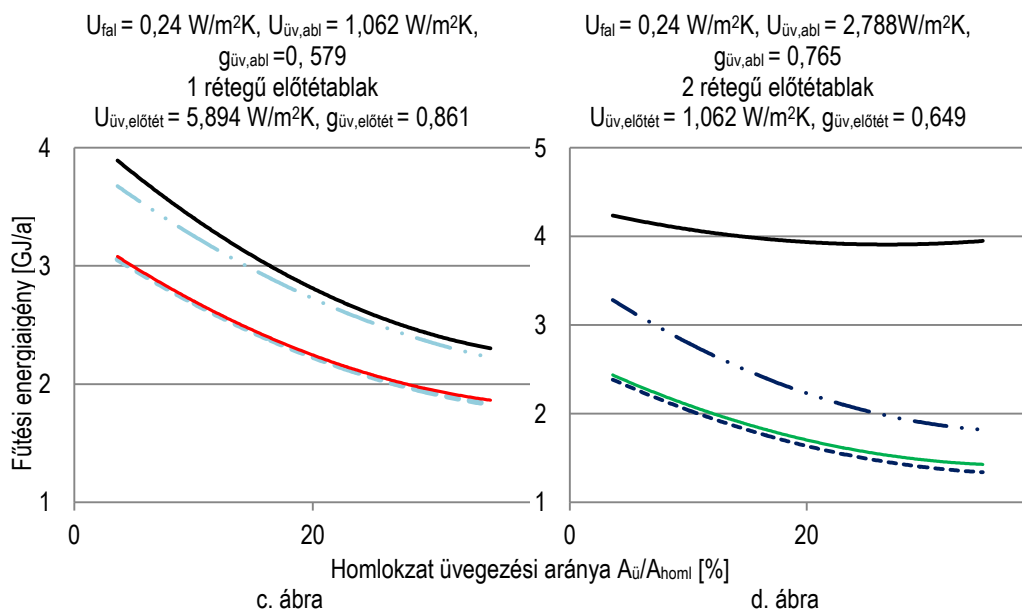
28. ábra. MÉRŐFÜLKÉK HALMOZOTT FŰTÉSI ENERGIAFOGYASZTÁSA



Jelmagyarázat

- Eredeti állapot
- - - Levegő-előmelegítés üzemmód, 1 rétegű előtétablakkal
- ... Távozó levegő hőhasznosítás üzemmód, 1 rétegű előtétablakkal
- Levegő-előmelegítés üzemmód, 1 rétegű előtétablakkal, helyiség túlfűtés ellen szabályozottan
- - - Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal
- ... Távozó levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal
- Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, helyiség túlfűtés ellen szabályozottan

29. ábra. Éves fűtési energiaigények különféle szellőzéses üzemmódokban Déli tájolásnál



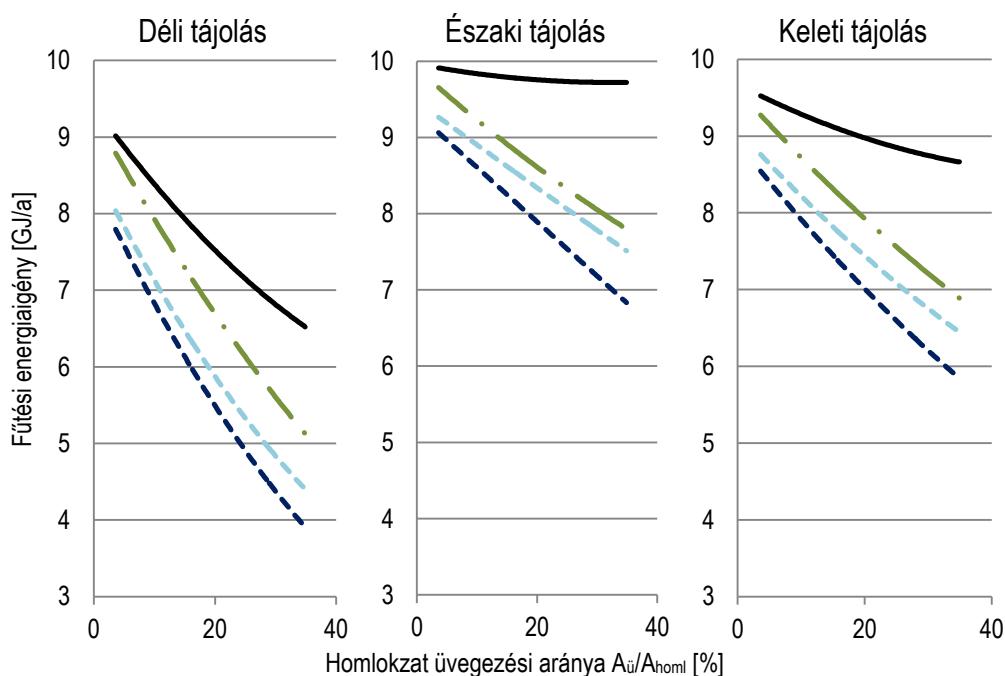
Jelmagyarázat

- Eredeti állapot
- - - Levegő-előmelegítés üzemmód, 1 rétegű előtétablakkal
- . - Távozó levegő hőhasznosítás üzemmód, 1 rétegű előtétablakkal
- Levegő-előmelegítés üzemmód, 1 rétegű előtétablakkal, helyiség túlfűtés ellen szabályozottan
- - - Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal
- . - Távozó levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal
- Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, helyiség túlfűtés ellen szabályozottan

30. ábra. Éves fűtési energiaigények különféle szellőzőes üzemmódokban Déli tájolásnál

III. számú melléklet

Szimulációs eredmények



Jelmagyarázat

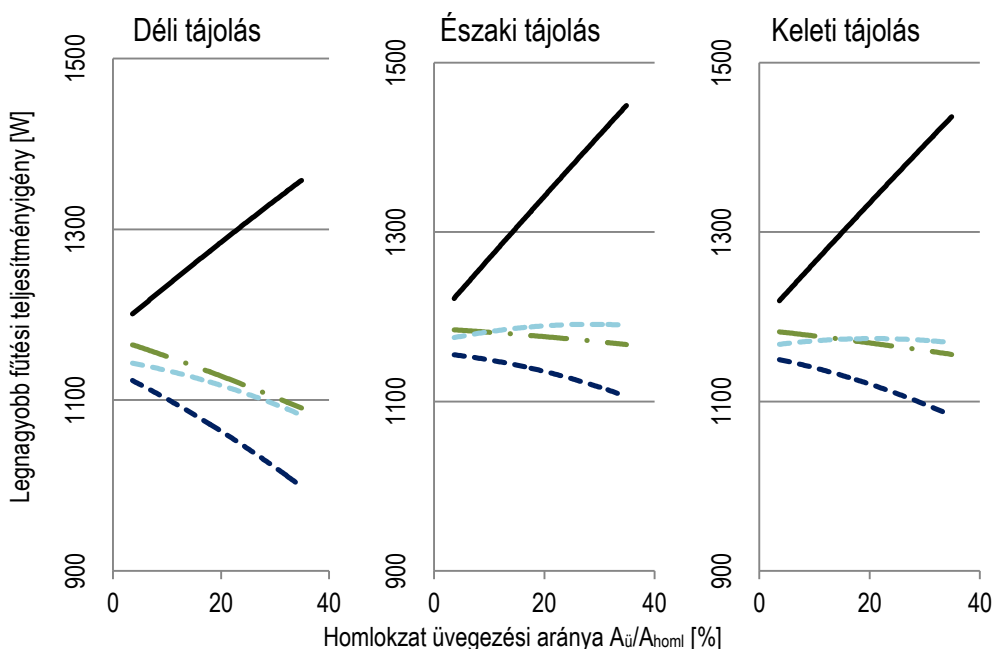
- Eredeti állapot, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$
- · Ablakcsere, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{üv,abl}} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,579$
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 1 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,861$
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,764$

1. ábra. Éves fűtési energiaigények

A hagyományos falazott szerkezetben kapcsolt gerébtokos ablak van – ez a régebbi épületállományra jellemző. Az eredeti homlokzat fűtési energiafogyasztása az ablakarány növelésével kedvező tájolás esetében csökken, ami a fal gyenge hőszigetelő képességének is következménye. Kedvezőtlen tájolás esetében a sugárzási nyereség alig ellentételezi a transzmissziós veszteség növekedését.

Az eredeti ablakot korszerűre cserélve (változatlan falszerkezetben) a sugárzási nyereségkedvező hatása minden tájolás esetében érvényesül.

Az eredeti ablakot egy- és kétrétegű előtétablakkal kiegészítve a lényegesen csökkenő transzmissziós veszteség és a mérsékeltebben csökkenő sugárzásátbocsátás minden tájolás esetében kedvezőbb, mint az ablakcsere. A kétrétegű előtét üvegezés az egyrétegűhöz viszonyítva ugyan csökkenti a transzmissziós veszteségeket, de csökkenti a sugárzási nyereséget is, ezért a kis különbség.



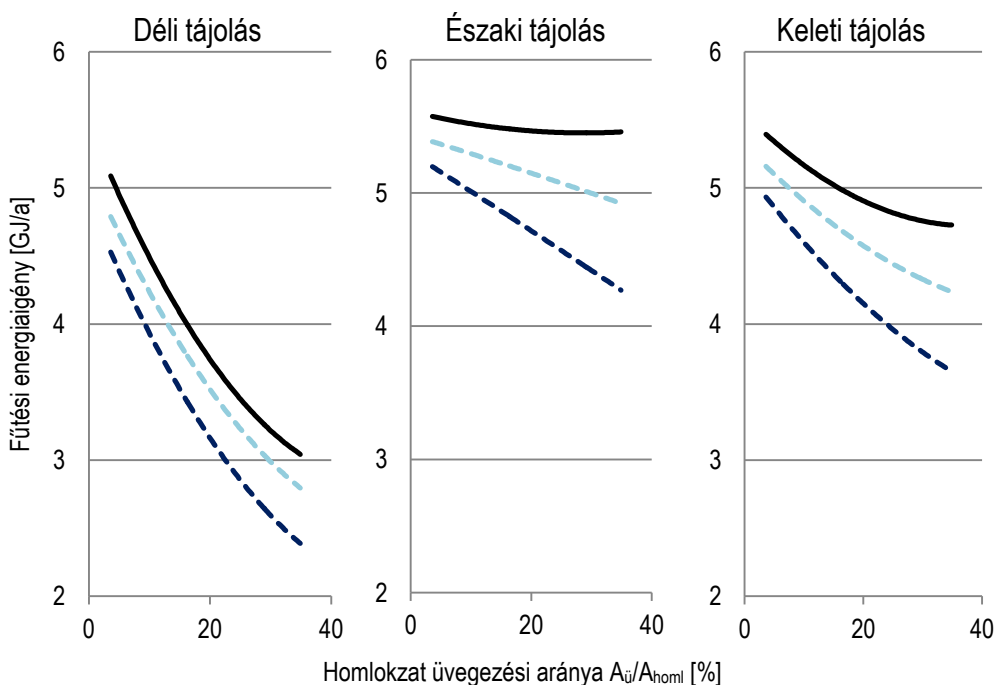
Jelmagyarázat

- Eredeti állapot, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$
- • Ablakcsere, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,579$
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 1 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$, $U_{üv,előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,861$
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$, $U_{üv,előtét} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,764$

2. ábra. Legnagyobb fűtési teljesítményigények

Az ablakarány növelésével a legnagyobb teljesítményigény egyértelműen nő. Az ablakcsere vagy az előtétablak egyaránt csökkenti a csúcsteljesítmény igényt, mivel a falszerkezet hőátbocsátási tényezője magas.

Az ablakcsere és az eredeti ablak elé helyezett egyrétegű előtét üvegezés hatása közel azonos. Kis üvegezési arány esetében az előtétablak hatása kedvezőbb, mint az ablakcsere: ennek oka az, hogy a kis ablakméret mellett viszonylag nagyobb az előtétablakkal takart, tömegfalként működő fal- és elnyelő felületként működő káva felület. Növekvő homlokzat üvegezési arány esetében az ablakcsere hatása válik kismértékben kedvezőbbé. Mindkét változat és minden tájolás esetében azonban kijelenthető, hogy az ablakarány hatása a csúcsteljesítmény igényre szinte elhanyagolható. Kétrétegű előtét üvegezés esetében (változatlan falszerkezet mellett) a hatás egyértelműen kedvező.



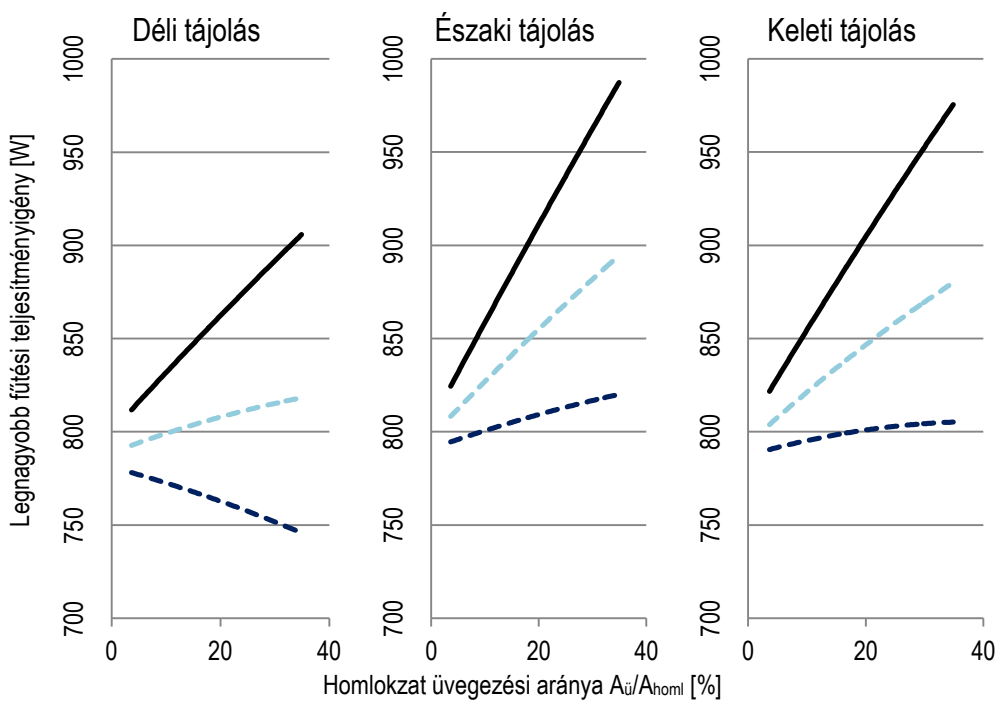
Jelmagyarázat

- Eredeti állapot, $U_{\text{fal}} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{üv,abl}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,649$
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 1 rétegű elötéablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{üv,abl}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,649$, $U_{\text{üv,elötét}} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,elötét}} = 0,861$
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű elötéablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{üv,abl}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,649$, $U_{\text{üv,elötét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,elötét}} = 0,649$

3. ábra. Éves fűtési energiaigények

A homlokzat hőtechnikai jellemzői a 2007-ben hatályossá vált követelményeknek megfelelő új épületekre jellemzőek. Az eredeti homlokzat esetében a kedvező tájolással járó sugárzási nyereség egyértelműen csökkenti az energiafogyasztást, ha az ablakarány nő. Kedvezőtlen tájolás esetében ez a hatás kisebb homlokzati üvegezési arányok esetében csekély mértékben jelentkezik, majd a homlokzati üvegezési arány növelésével megszűnik és fordított tendenciát mutat. Ennek magyarázata az eredeti ablak alacsonyabb sugárzásátbocsátási tényezője.

Az eredeti homlokzat felújítása a kora és viszonylag jó hőtechnikai minőséget figyelembe véve nem reális opció, különösen nem az az ablakok cseréje. A fogyasztás csökkentése azonban elötéablakok alkalmazásával lehetséges. A fogyasztásban elérhető megtakarítás abszolút értéke kedvező tájolás esetében kisebb, kedvezőtlen tájolás esetében nagyobb: a sugárzási nyereség hatásánál jelentősebb a transzmissziós veszteségek szerepe.

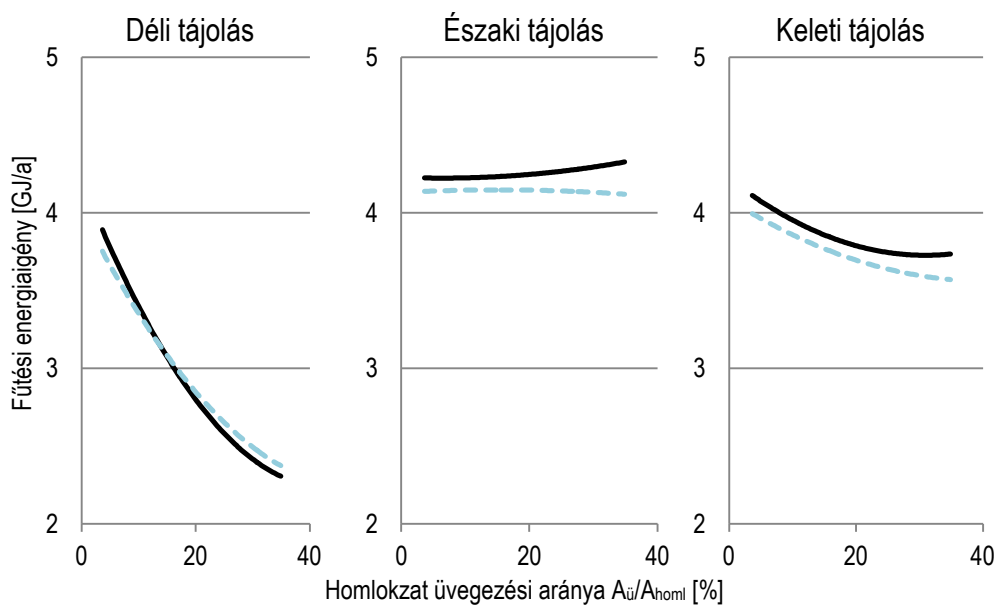


Jelmagyarázat

- Eredeti állapot, $U_{fal} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,649$
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 1 rétegű elötétítéssel, $U_{fal} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,649$, $U_{üv,elötét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,elötét} = 0,861$
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű elötétítéssel, $U_{fal} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,649$, $U_{üv,elötét} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,elötét} = 0,649$

4. ábra. Legnagyobb fűtési teljesítményigények

A homlokzati üvegezési arány növelésével a csúcsteljesítmény igény általában növekedik: kivételt csak a déli tájolás és kétrétegű elötét üvegezés képez, de a hatás ott is 5% -on belül marad.



Jelmagyarázat

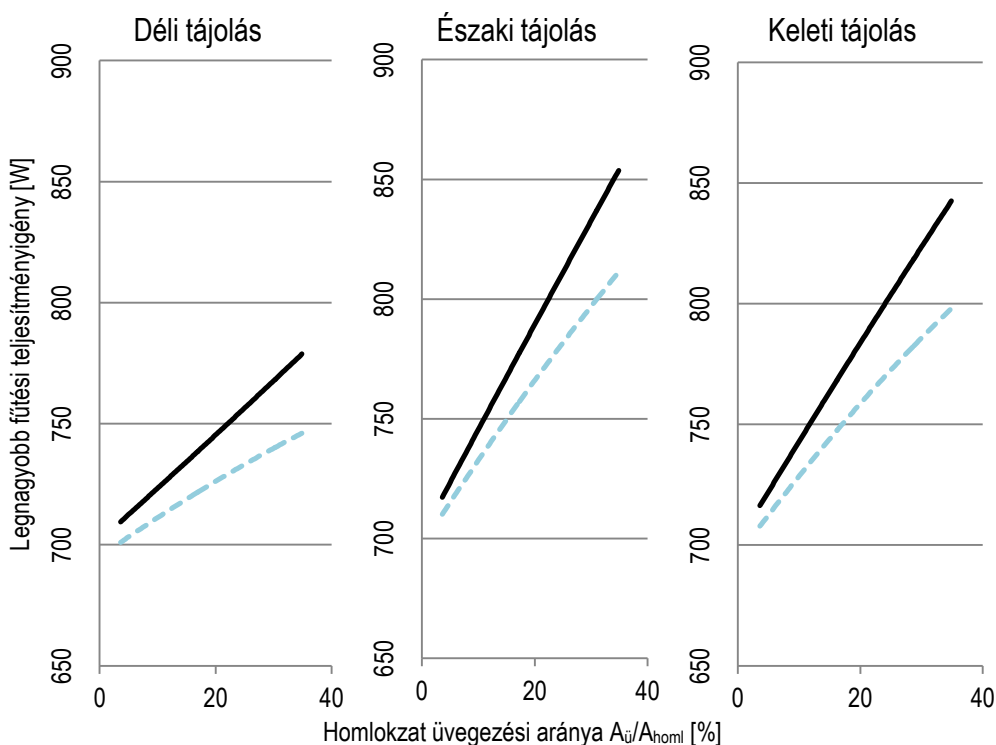
- Eredeti állapot, $U_{fal} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,579$
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 1 rétegű előtáblakkal, $U_{fal} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,579$, $U_{üv,előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,861$

5. ábra. Éves fűtési energiaigények

Az eredeti állapot fal- és ablakszerkezete a közel nulla energiaigényű épületek homlokzatára jellemző hőtechnikai minőségű. Az energiafogyasztás a homlokzati üvegezési arány növelésével a déli – délhez közeli tájolások esetében határozottan csökken, északi tájolás esetében kis mértékben nő. A köztes tájolások esetében a homlokzati üvegezési arány növelése kezdetben mérsékli az energiafogyasztást, majd egy határozott szélsőértéket meghaladva az energiafogyasztás ismét nő.

Az ilyen minőségű homlokzatok esetében sem az utólagos hőszigetelés, sem az ablakcsere nem reális útja az energetikai felújításnak. Előtét üvegezésként az egyrétegű változat alkalmazása kézenfekvő, amivel a nem déli, délhez közeli tájolások esetében csekély mértékű fogyasztás csökkenés érhető el. A déli és ahhoz közeli tájolások esetében a fogyasztás gyakorlatilag nem csökkenthető: a kisebb transzmissziós hőveszteséget a sugárzásátbocsátási tényező csökkenése ellentételezi.

Csak a puffer- és üvegházhatást tekintve ez azt mutatja, hogy az adott homlokzat esetében az előtáblák alkalmazásának célszerűsége a tájolástól függ, de a végleges megítéléshez a szellőztetés hatását is figyelembe kell venni.

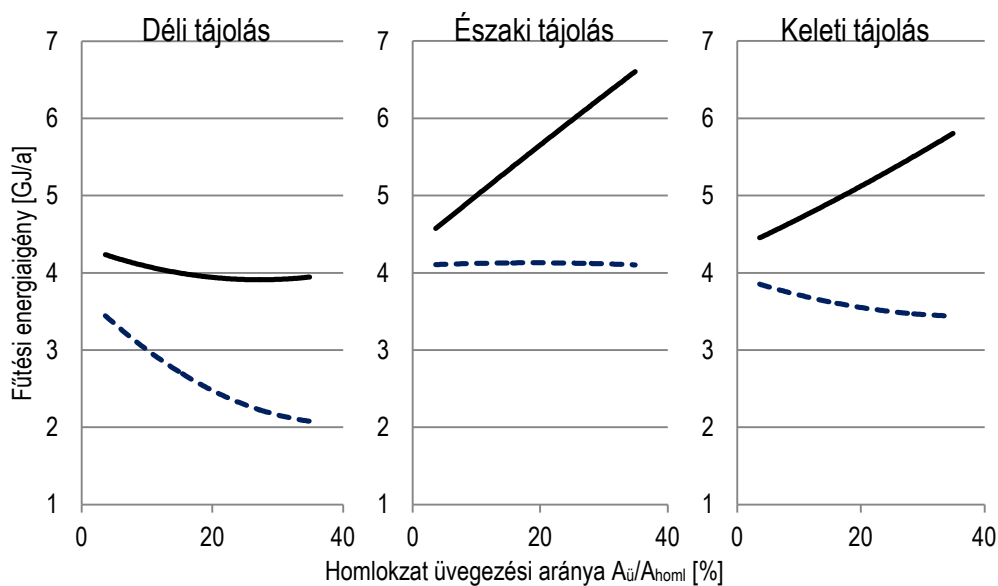


Jelmagyarázat

- Eredeti állapot, $U_{fal} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,579$
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 1 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,579$, $U_{üv,előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,861$

6. ábra. Legnagyobb fűtési teljesítményigények

Az eredeti homlokzat esetében a homlokzati üvegezési arány növelésével a csúcsteljesítmény igény nő. Az előtétablak alkalmazásával ez a tendencia ugyan nem változik, de a csúcsteljesítmény igény kisebb és az ablakarány változására kevésbé érzékeny.



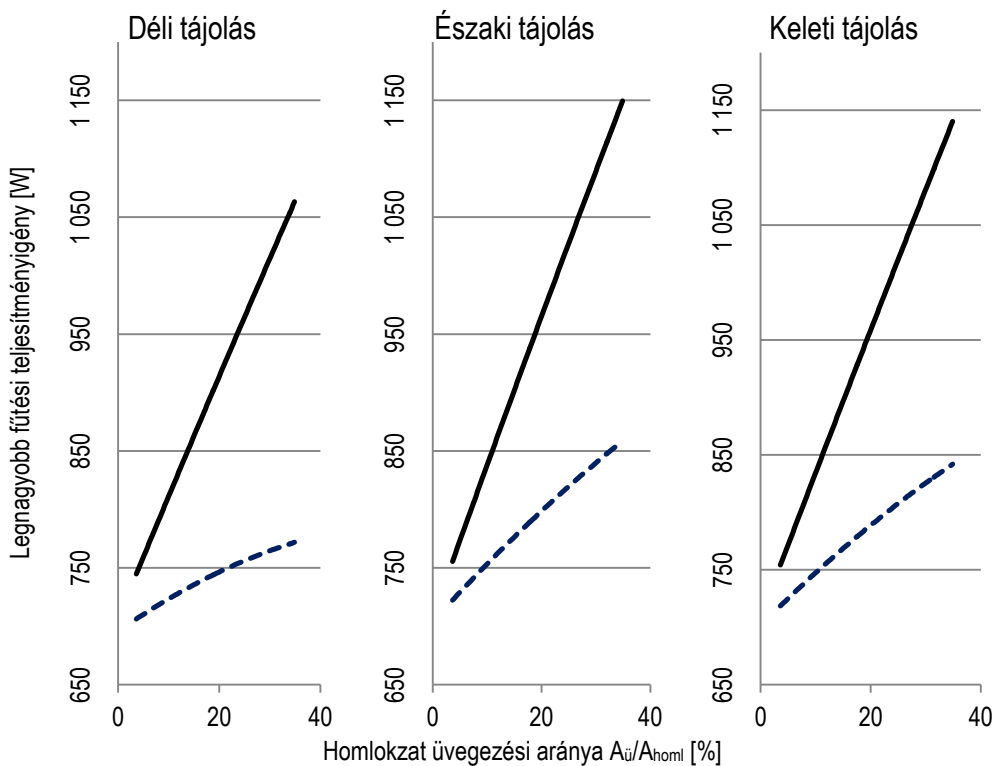
Jelmagyarázat

- Felújított, előtétablak nélkül, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,elötét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,elötét}} = 0,649$

7. ábra. Éves fűtési energiaigények

A vizsgált eset egy hagyományos épület homlokzat-felújítására jellemző: a fal kiegészítő hőszigetelése a közel nulla energia igényű épületek követelményszintnek megfelelő hőátbocsátási tényezőt eredményezi. Az eredeti ablak cseréje indokolt lehetne, hiszen a homlokzat hővesztesége azzal még elég magas lenne és a homlokzati üvegezési arány növelése a fogyasztás növekedésével járna. Ez utóbbi megállapítás a déli, délhez közeli tájolás esetében csak egy bizonyos homlokzati üvegezési arány felett, minden más tájolásnál általában igaz. Az ablakcserével járó kényelmetlenség és helyreállítási munka elkerülése végett elötét ablak alkalmazása célszerű, mégpedig a magas energetikai igényeknek megfelelően kettős üvegezéssel.

Ezzel a megoldással a fogyasztás csökkenthető és a homlokzati üvegezési arány növelése kedvező tájolás esetében a fogyasztás csökkenésével jár. Északi tájolás esetében a fogyasztást a homlokzati üvegezési arány gyakorlatilag nem befolyásolja.

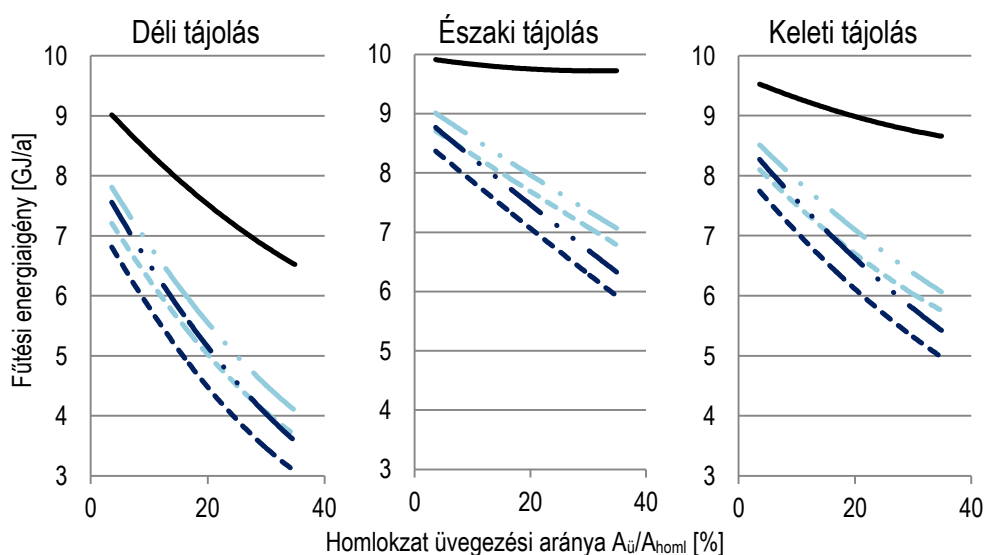


Jelmagyarázat

- Felújított, előtétablak nélkül, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$

8. ábra. Legnagyobb fűtési teljesítményigények

Az eredeti homlokzat esetében a homlokzati üvegezési arány növelésével a csúcsteljesítmény igény nő. Az előtétablak alkalmazásával ez a tendencia ugyan nem változik, de a csúcsteljesítmény igény kisebb és a homlokzati üvegezési arány változására kevésbé érzékeny.



Jelmagyarázat

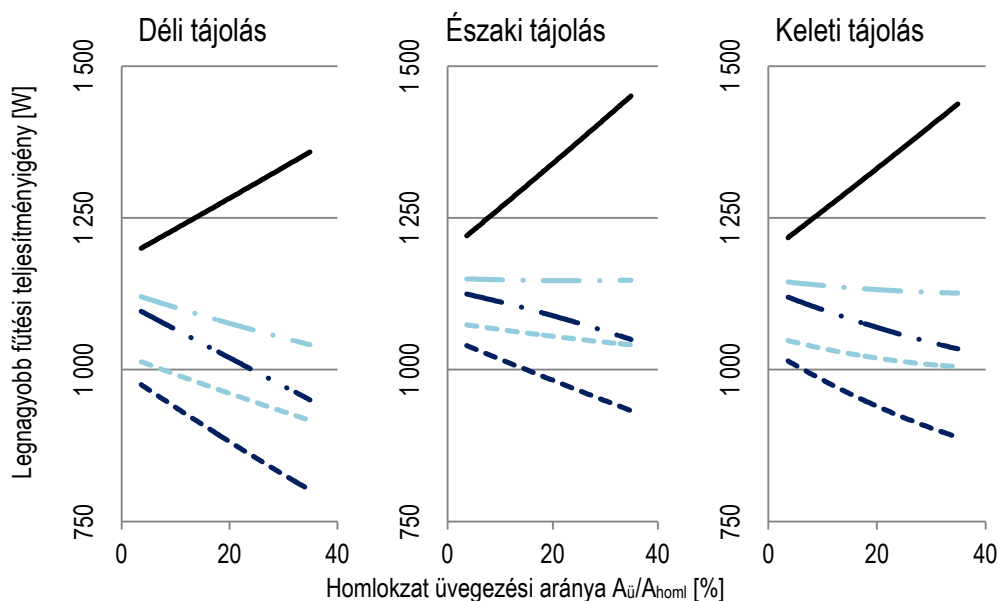
- Eredeti állapot, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$
- - - Levegő-előmelegítés üzemmód, 1 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$, $U_{üv,előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,861$
- ... Távozó levegő hőhasznosítás üzemmód, 1 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$, $U_{üv,előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,861$
- - - Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$, $U_{üv,előtét} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,764$
- ... Távozó levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$, $U_{üv,előtét} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,764$

9. ábra. Éves fűtési energiaigények különféle szellőztetéses üzemmódokban

Az eredeti állapot a meglévő épületállomány zömére jellemző. Az eredmények a puffer- és üvegházhatás, valamint a levegő előmelegítés vagy hővisszanyerés együttes hatását tükrözik. (a puffer- és üvegházhatás a harmadik fejez 3.3. ábrán szereplőtől eltérő az előtétzónán átáramló levegő miatt.)

A feltételezés szerint a természetes szellőztetés minden változatban azonos légcsereszámot eredményez. (Jelen esetben elhanyagoljuk azt, hogy az eredeti ablakok jellemzően rossz légzárása miatt a szándékolatlan filtrációs légcseré miatt az eredeti állapotban az energiafogyasztás a számítottnál nagy valószínűséggel magasabb.)

A homlokzati üvegezési arány növelése minden tájolás esetében fogyasztáscsökkenést eredményez. Ez az északi tájolás esetében is érvényes, ahol az előtétzónán át történő szellőztetés nélkül a fogyasztás gyakorlatilag nem függött a homlokzati üvegezési aránytól.

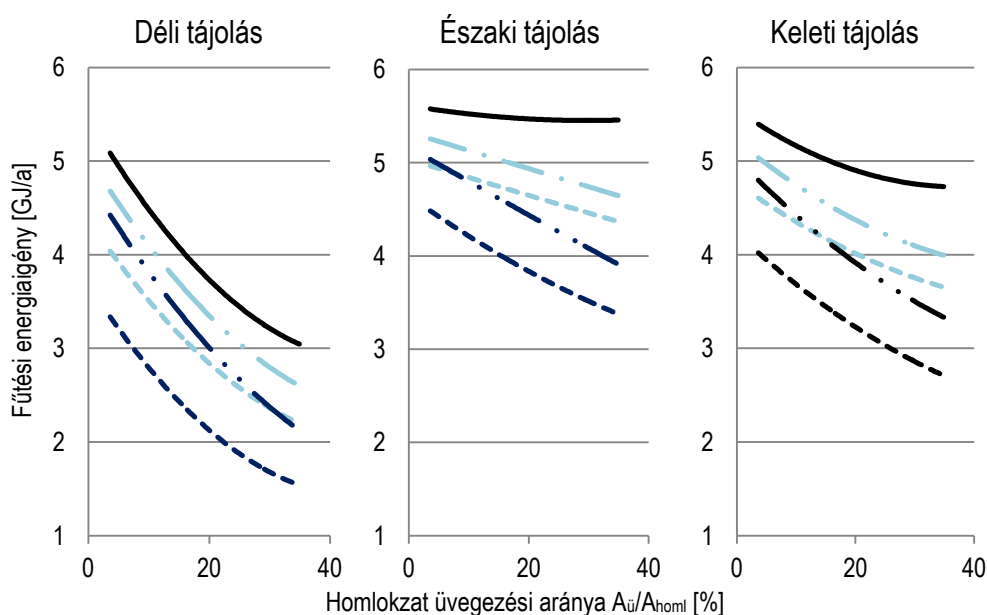


Jelmagyarázat

- Eredeti állapot, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$
- - - Levegő-előmelegítés üzemmód, 1 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$, $U_{üv,előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,861$
- · - Távozó levegő hőhasznosítás üzemmód, 1 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$, $U_{üv,előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,861$
- - - Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$, $U_{üv,előtét} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,764$
- · - Távozó levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$, $U_{üv,előtét} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,764$

10. ábra. Legnagyobb fűtési teljesítményigények különféle szellőztetési üzemmódokban

A csúcsteljesítmény igény az eredeti állapot esetében a homlokzati üvegezési arány növelésével nő. Az előtétzónán keresztül történő szellőztetés a déli tájolás esetén ezt a tendenciát megfordítja. Más tájolások mellett a legkevésbé előnyös szellőztetési változat is legalább annyi eredménnyel jár, hogy a homlokzati üvegezési arány változtatásának gyakorlatilag nincs hatása a csúcsteljesítmény igényre. A forrásoldal beépítendő teljesítményét természetesen erre az esetre kell meghatározni, mivel természetes szellőztetés esetén a levegő áramlási irányát nem lehet előre meghatározni.

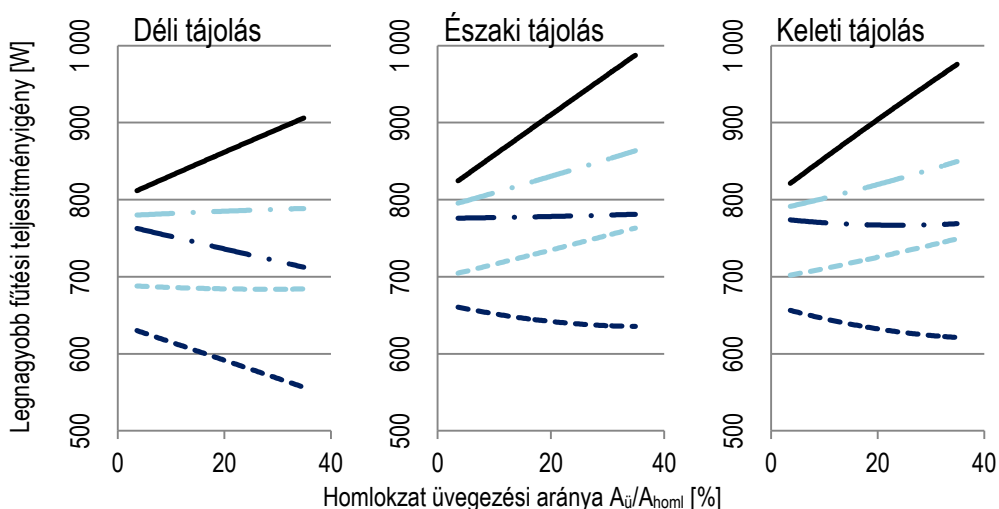


Jelmagyarázat

- Eredeti állapot, $U_{fal} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,649$
- - - Levegő-előmelegítés üzemmód, 1 rétegű előtétablakkal, $U_{fal}=0,507\text{W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,649$, $U_{üv,előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,861$
- · · Távozó levegő hőhasznosítás üzemmód, 1 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,649$, $U_{üv,előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,861$
- - - Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal}=0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,649$, $U_{üv,előtét} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,649$
- · · Távozó levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 0,507\text{W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,649$, $U_{üv,előtét} = 1,507\text{W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,649$

11. ábra. Éves fűtési energiaigények különféle szellőzési üzemmódokban

Az eredeti állapot a 2006-ben hatályba lépett követelményeknek megfelelő épületekre jellemző. Az előtétzónán keresztül történő szellőztetés minden változatban és minden tájolás esetében a fogyasztás csökkenését eredményezi. Nagyobb homlokzati üvegezési aránnyal nagyobb megtakarítás érhető el.



Jelmagyarázat

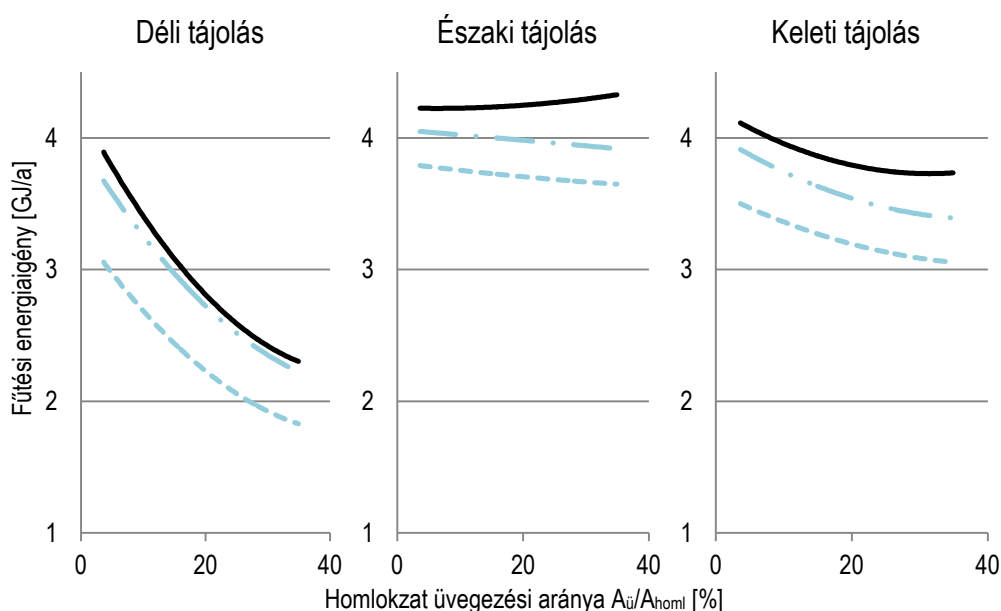
- Eredeti állapot, $U_{fal} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,649$
- - - Levegő-előmelegítés üzemmód, 1 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,649$, $U_{üv,előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,861$
- . - Távozó levegő hőhasznosítás üzemmód, 1 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,649$, $U_{üv,előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,861$
- - - Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,649$, $U_{üv,előtét} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,649$
- . - Távozó levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,649$, $U_{üv,előtét} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,649$

12. ábra. Legnagyobb fűtési teljesítményigények különféle szellőzőes üzemmódokban

Eredeti állapotban az ablakarány növelésével a csúcsteljesítmény igény nő. Egyrétegű előtét üvegezés esetében ez a tendencia megmarad, kivéve a déli, délhez közeli tájolások esetét, ahol ez a hatás annyira gyenge, hogy gyakorlatilag elhanyagolható.

Kétrétegű előtét üvegezés és levegő kiáramlás esetén a csúcsteljesítmény igény gyakorlatilag érzéketlen a homlokzati üvegezési arányra, kivéve a déli, ahhoz közeli tájolásokat, ahol a nagyobb a homlokzati üvegezési arány kisebb csúcsteljesítmény igénnyel jár.

Kétrétegű előtét üvegezés és levegő beáramlás esetén a homlokzati üvegezési növelése a csúcsteljesítmény igény csökkenésével jár, de ez a forrásoldal beépítendő teljesítményének számításakor nem vehető figyelembe, mert természetes szellőztetés esetében a levegő áramlási iránya előre nem határozható meg.



Jelmagyarázat

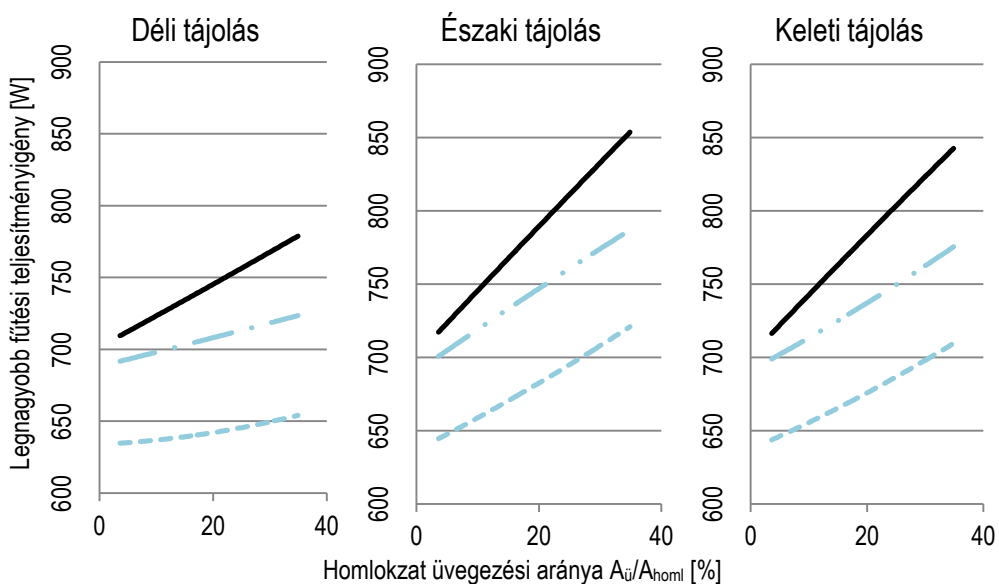
- Eredeti állapot, $U_{fal} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,579$
- - - Levegő-előmelegítés üzemmód, 1 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,579$, $U_{üv,előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,861$
- . - Távozó levegő hőhasznosítás üzemmód, 1 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,579$, $U_{üv,előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,861$

13. ábra. Éves fűtési energiaigények különféle szellőztési üzemmódokban

Az eredeti állapot a közel nulla energiaigényű épületekre jellemző. Eredeti állapotban a fogyasztás északi tájolás esetében a homlokzati üvegezési arány növelésével csekély mértékben nő, az előtétzónán keresztül történő szellőztetéssel ez a tendencia megfordul, de a homlokzati üvegezési arány hatása nem jelentős.

Déli tájolás és kiáramlás esetében az előtétzónán keresztül történő szellőztetésnek gyakorlatilag nincs hatása. Beáramlás esetében a megtakarítás jelentős, a beáramlás esélyét az épület belső helyiségeinek kürtős szellőztetése javítja, különösen, ha gépi elszívó szellőztetést is alkalmaznak.

Más tájolások esetében az előtétzónán keresztüli szellőztetés a fogyasztást csökkenti, a homlokzati üvegezési arány függvényében az eredeti állapotban mutatkozó szélsőértéket a nagyobb homlokzati üvegezési arányok felé eltolja.

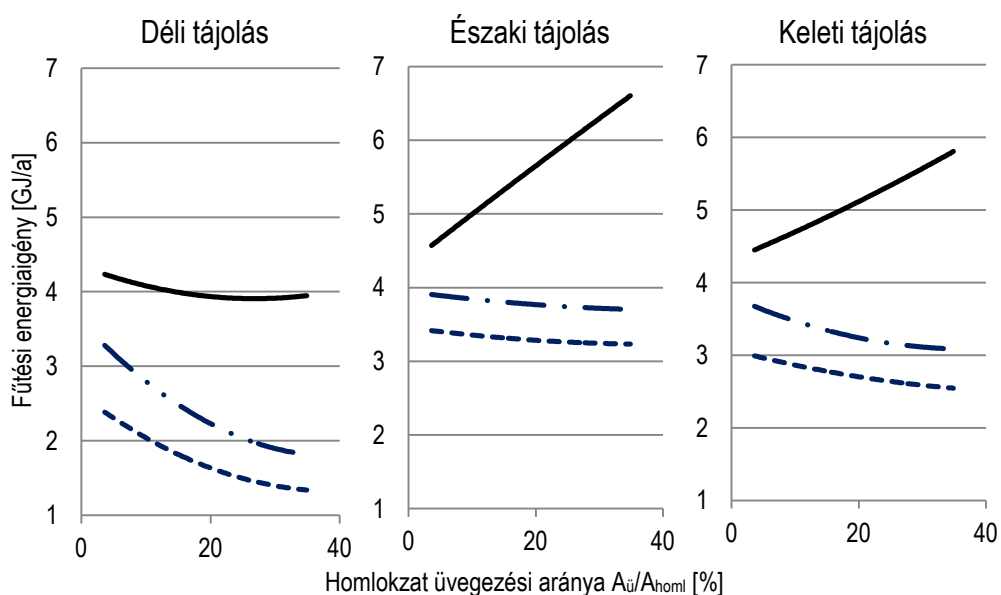


Jelmagyarázat

- Eredeti állapot, $U_{fal} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,579$
- - - Levegő-előmelegítés üzemmód, 1 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,579$, $U_{üv,előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,861$
- . - Távozó levegő hőhasznosítás üzemmód, 1 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,579$, $U_{üv,előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,861$

14. ábra. Legnagyobb fűtési teljesítményigények különféle szellőzőses üzemmódokban

A csúcsteljesítmény igény a homlokzati üvegezési arány növekedésével emelkedik, az előtétzónán keresztüli szellőztetés azonban a változás meredekségét mérsékli.



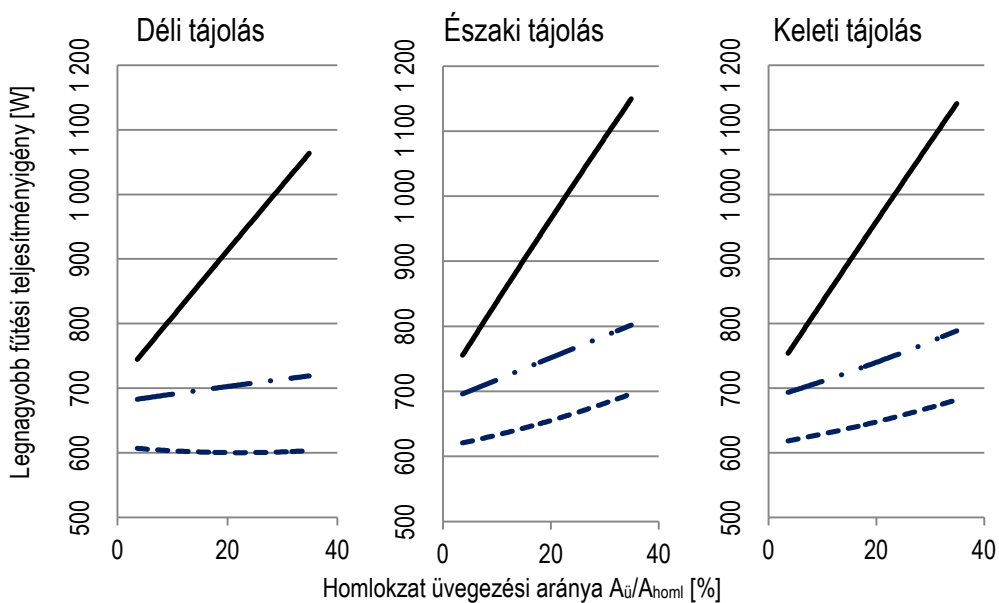
Jelmagyarázat

- Felújított előtétablak nélkül, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$
- - - Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$
- · - Távozó levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$

15. ábra. Éves fűtési energiaigények különféle szellőzési üzemmódokban

Az eredmények a közel nulla energiaigényű épületek követelményszintjének megfelelően felújított épületekre vonatkoznak. A hőszigetelt falban maradó eredeti ablak esetében a déli, délhez közeli tájolások esetében a fogyasztás és a homlokzati üvegezési arány közötti függvénykapcsolat gyenge, a hatás gyakorlatilag elhanyagolható. Más tájolások esetében a homlokzati üvegezési arány növekedése a fogyasztás növekedésével jár együtt.

Előtétablak és az előtétzónán keresztüli szellőztetés esetében a fogyasztás mindegyik szellőzési változatban növekvő homlokzati üvegezési arány csökkenő fogyasztást eredményez.

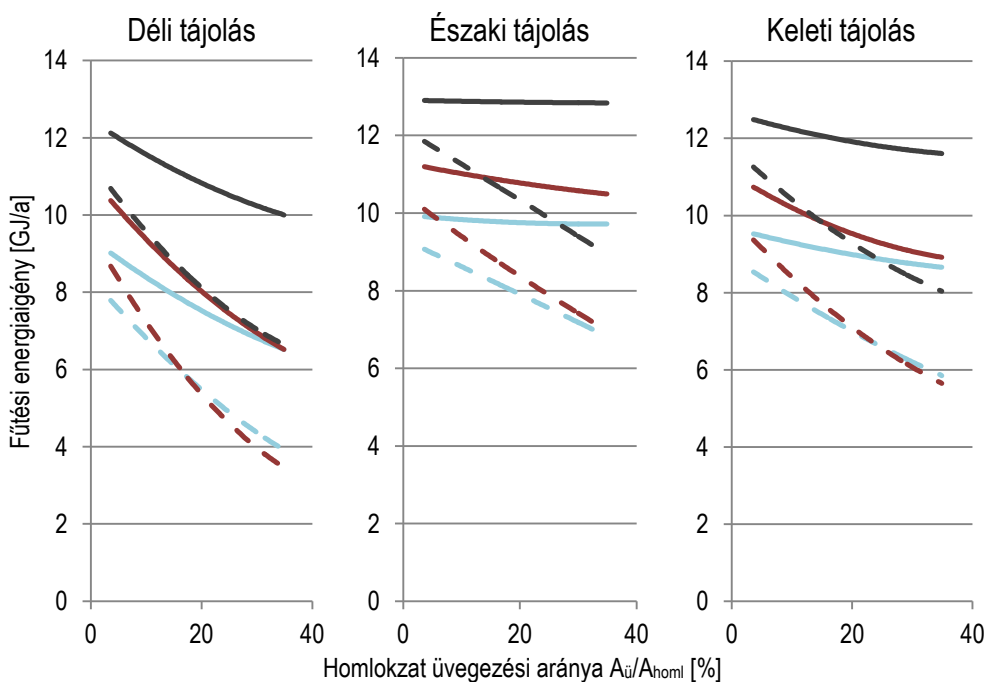


Jelmagyarázat

- Felújított előtétablak nélkül, $U_{fal} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$
- - - Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$, $U_{üv,előtét} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,649$
- · - Távozó levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$, $U_{üv,előtét} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,649$

16. ábra. Legnagyobb fűtési teljesítményigények különféle szellőzőes üzemmódokban

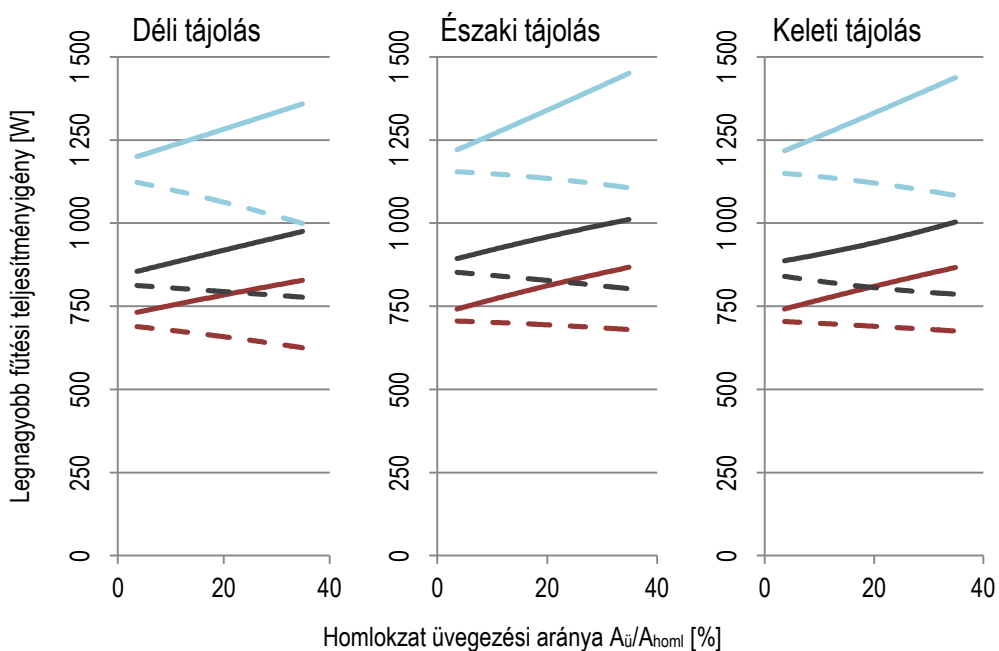
A csúcsteljesítmény igény a homlokzati üvegezési arány növekedésével emelkedik. Ez a tendencia az előtétzónán átvezetett szellőző levegő esetében megmarad, de enyhül.



Jelmagyarázat

- Eredeti állapot, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$, Bergen
- Eredeti állapot, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$, Debrecen
- Eredeti állapot, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$, Leuchars
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$, $U_{üv,előtét} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,764$, Bergen
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$, $U_{üv,előtét} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,764$, Debrecen
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{üv,abl} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,abl} = 0,765$, $U_{üv,előtét} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{üv,előtét} = 0,764$, Leuchars

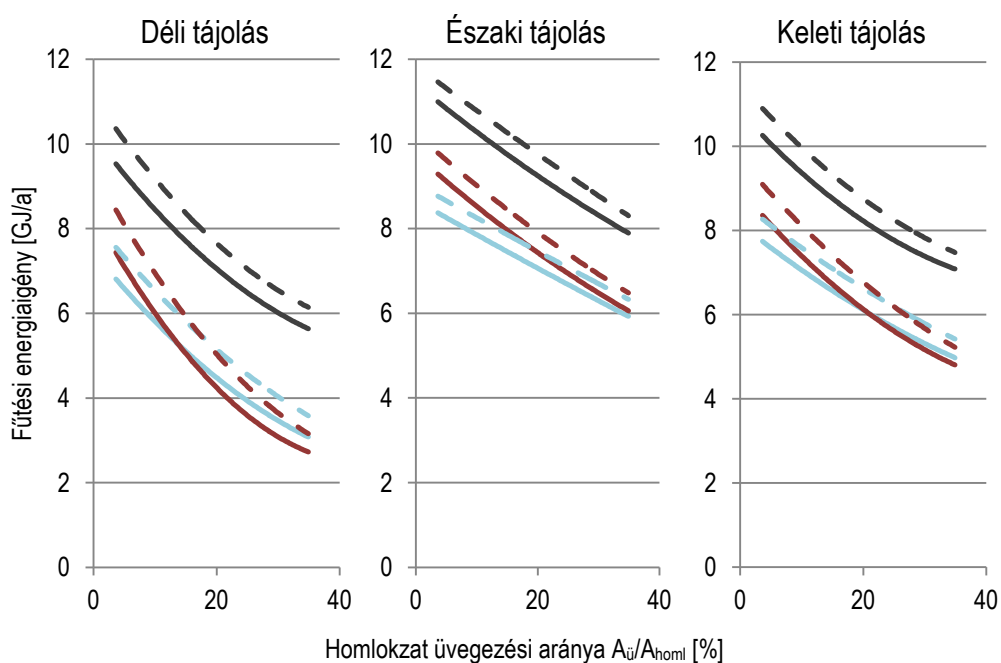
17. ábra. Éves fűtési energiaigények



Jelmagyarázat

- Eredeti állapot, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, Bergen
- Eredeti állapot, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, Debrecen
- Eredeti állapot, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, Leuchars
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű elötétablakkal, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,elötét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,elötét}} = 0,764$, Bergen
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű elötétablakkal, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,elötét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,elötét}} = 0,764$, Debrecen
- - - Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű elötétablakkal, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,elötét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,elötét}} = 0,764$, Leuchars

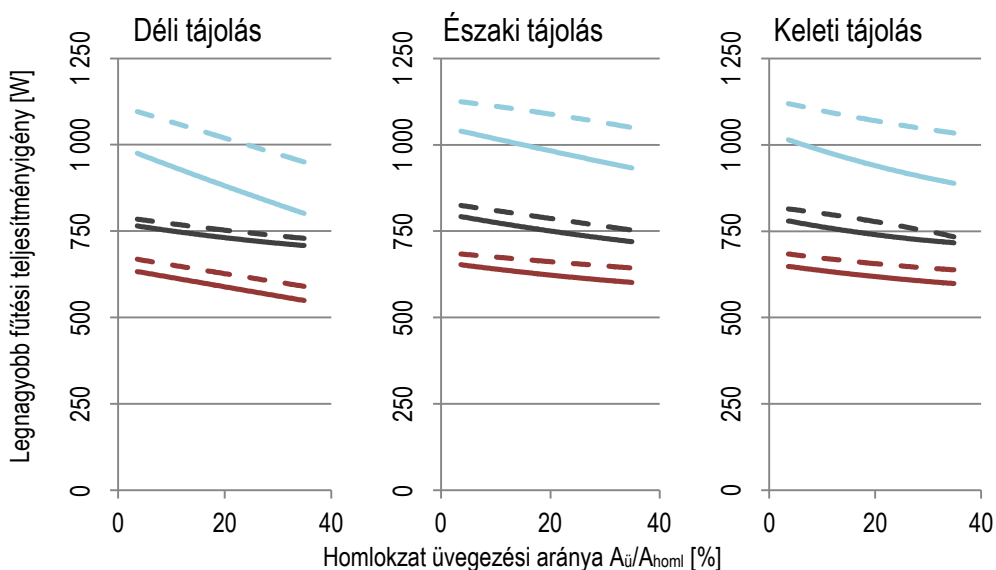
18. ábra. Legnagyobb fűtési teljesítményigények



Jelmagyarázat

- Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,elötét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,elötét}} = 0,764$, Bergen
- Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,elötét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,elötét}} = 0,764$, Debrecen
- Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,elötét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,elötét}} = 0,764$, Leuchars
- - Távozó-levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,elötét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,elötét}} = 0,764$, Bergen
- - Távozó-levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,elötét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,elötét}} = 0,764$, Debrecen
- - Távozó-levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,elötét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,elötét}} = 0,764$, Leuchars

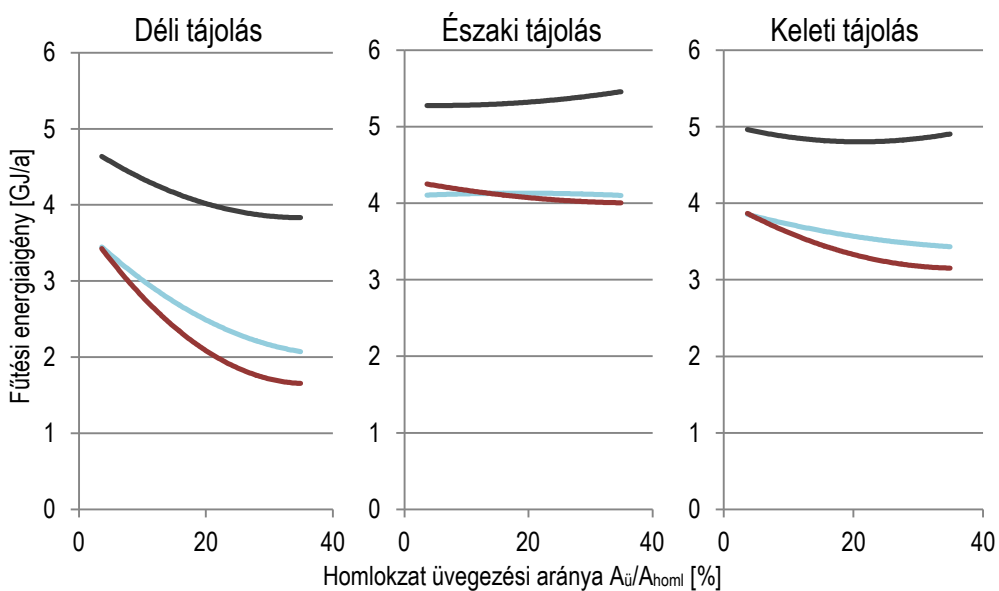
19. ábra. Éves fűtési energiaigények különféle szellőzőes üzemmódokban



Jelmagyarázat

- Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,764$, Bergen
- Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,764$, Debrecen
- Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,764$, Leuchars
- - - Távozó-levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,764$, Bergen
- - - Távozó-levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,764$, Debrecen
- - - Távozó-levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,764$, Leuchars

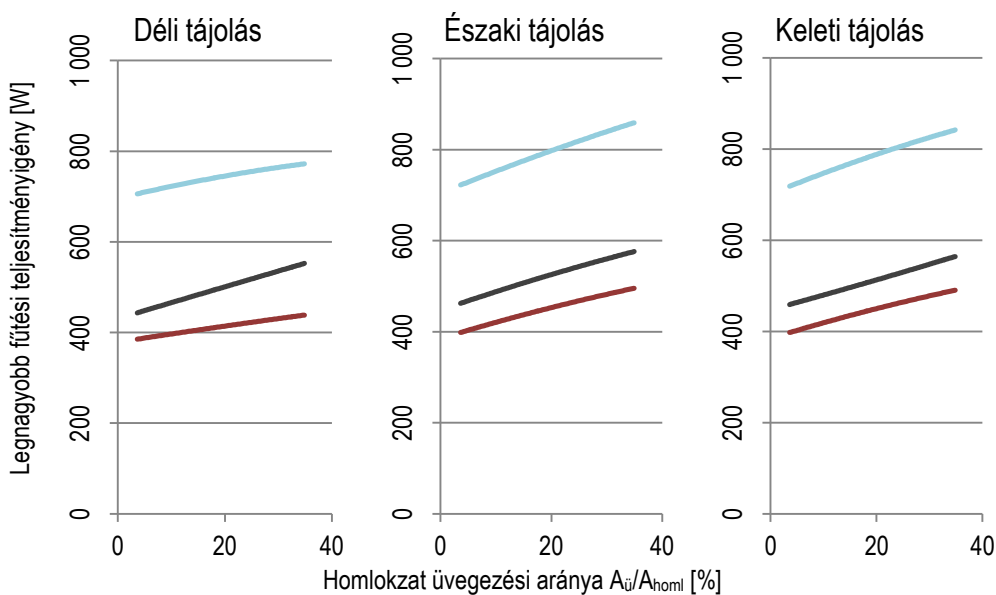
20. ábra. Legnagyobb fűtési teljesítményigények különféle szellőzéses üzemmódokban



Jelmagyarázat

- Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$, Bergen
- Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$, Debrecen
- Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$, Leuchars

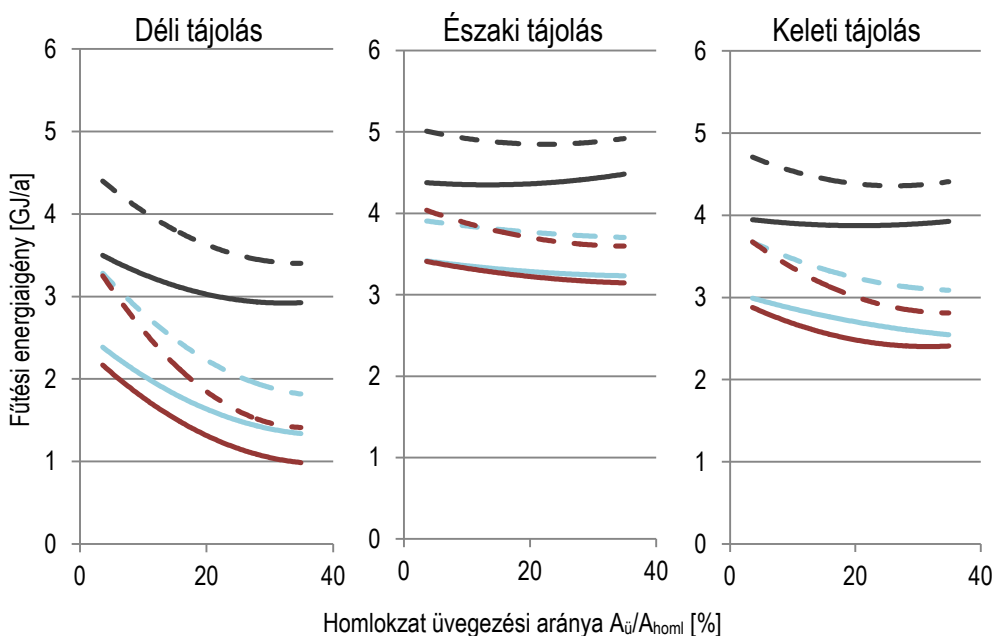
21. ábra. Éves fűtési energiaigények



Jelmagyarázat

- Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű elötétítéssel, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,elötét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,elötét}} = 0,649$, Bergen
- Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű elötétítéssel, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,elötét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,elötét}} = 0,649$, Debrecen
- Puffer-, és üvegházhatás, 2 rétegű elötétítéssel, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,elötét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,elötét}} = 0,649$, Leuchars

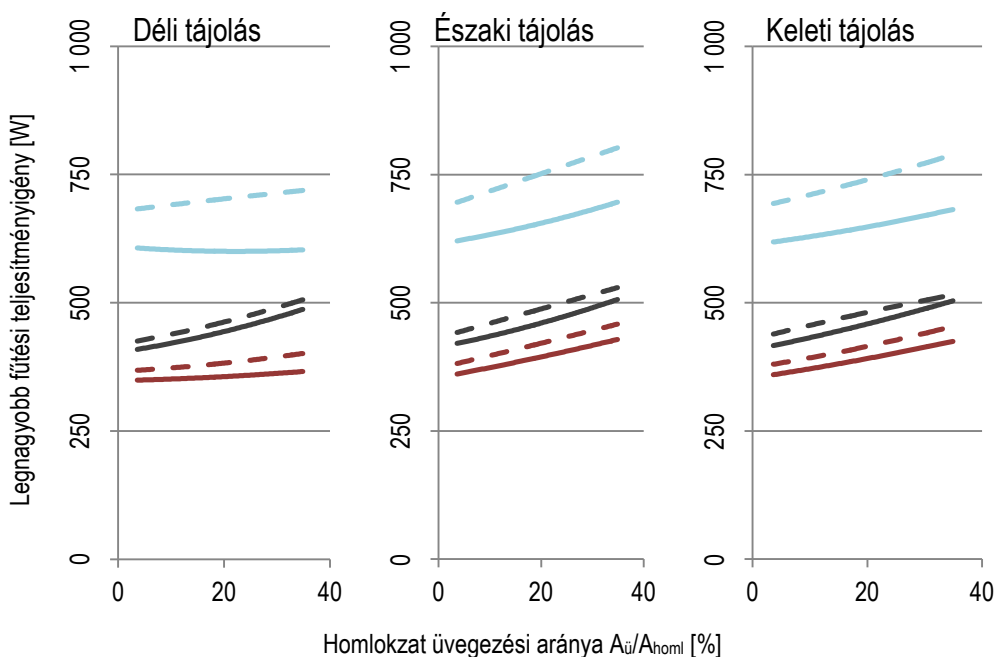
22. ábra. Legnagyobb fűtési teljesítményigények



Jelmagyarázat

- Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$, Bergen
- Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$, Debrecen
- Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$, Leuchars
- - Távozó-levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$, Bergen
- - Távozó-levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$, Debrecen
- - Távozó-levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$, Leuchars

23. ábra. Éves fűtési energiaigények különféle szellőzéses üzemmódokban



Jelmagyarázat

- Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$, Bergen
- Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$, Debrecen
- Levegő-előmelegítés üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$, Leuchars
- - Távozó-levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$, Bergen
- - Távozó-levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$, Debrecen
- - Távozó-levegő hőhasznosítás üzemmód, 2 rétegű előtétablakkal, $U_{\text{fal}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$, $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$, Leuchars

24. ábra. Legnagyobb fűtési teljesítményigények különféle szellőzőes üzemmódokban