

**Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei**

**ELŐTÉTABLAOK ENERGETIKAI ÉRTÉKELÉSE**

Kerekes Attila

Témavezető: Prof. Dr. Zöld András



DEBRECENI EGYETEM  
Földtudományok Doktori Iskola  
Debrecen, 2017.

## Bevezetés

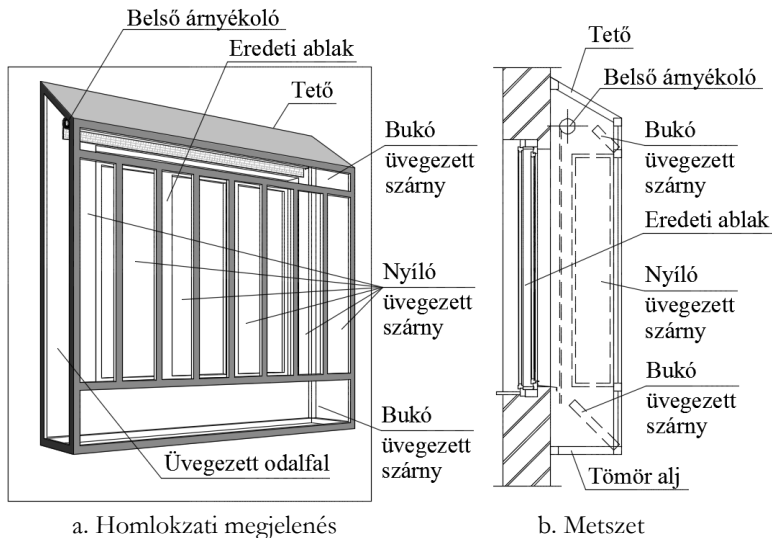
A klímaváltozás és a globális felmelegedés felgyorsításában jelentős szerepet játszik az emberi tevékenységből, ezen belül is a fosszilis energiahordozók felhasználásából származó CO<sub>2</sub> kibocsátás. A kibocsátás csökkentésének elengedhetetlen feltétele a fosszilis energiahordozók felhasználásának 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 m<sup>2</sup> 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 m<sup>3</sup>/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.

Az előtáblak ilyen megoldást nyújt. Lényege a külső falsík előtt elhelyezett, üvegezett szerkezet, amely takarja az eredeti ablakot és az a körüli falsávot. 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 előtáblak kifejezést használjuk – a jelző a hozzáadott jelleget kifejezi. Az előtáblak és az eredeti homlokzat közötti tér megnevezésére az előtétzóna kifejezés alkalmas.

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



1. ábra. Előtétablak egy lehetséges kialakítási vázlata.

### A kutatás célja

A kutatás célja az előtétablakok alkalmazásából eredő energetikai hatások elemzése elegendő számú dinamikus szimulációval ahhoz, hogy különböző fal, eredeti és cserélt ablak változaton elérhető fűtési energiaigény megtakarítás bemutatható legyen. A szimulációk kiterjednek azokra az esetekre is, amikor az előtétzóna a természetes szellőztetés légáram útjának részét képezi. A szimulációk eredményeinek megbízhatósága mérési eredményekkel összevetve kerül alátámasztásra. Ugyancsak az elsődleges célok közé tartozik az előtétzónában elhelyezett árnyékolók hatékonyságának mérésekkel történő igazolása. A klímaérzékenység elemzése végett néhány fal- és eredeti ablak változatra más földrajzi helyek éghajlati adataival is elvégzésre kerültek a szimulációk.

## Anyag és módszer

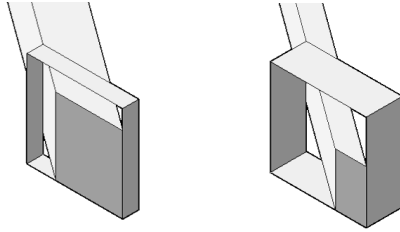
A kutatás során párhuzamosan két módszer került alkalmazásra. Nagyszámú épületváltozatra és a kísérleti mérőfűlkékre dinamikus szimulációkat végeztünk az Energy Plus v. 8.4.0 validált szoftverrel. Az éghajlati adatok az "Climate Design Data 2009 ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers) Handbook" állományiból, a Debreceni Egyetem AKIT – Agrometeorológiai és Agroökológiai Monitoring központ rendelkezésre bocsátott méréseiből, illetve az itt nem rögzített adatok a [www.ogimet.com](http://www.ogimet.com) oldalról származtak. Két mérőfűlkét építettem (hagyományos, illetve előtétablakkal, minden egyéb tekintetben azonos kivitelben), amelyek a Debreceni Egyetem Kismacson található Agrometeorológia Obszervatóriuma területén kerültek felállításra. A fűlkékre lefuttatott szimulációk és a mérések eredményeinek összevetése alátámasztotta a szimulációs számítások megbízhatóságát. Az árnyékolás hatékonyságának vizsgálata kizárólag a helyszíni mérési eredményeken alapult. Feldolgozásra kerültek külföldi helyszínek éghajlati jellemzői a fűtési energiafogyasztás és az „éghajlati zordság” kapcsolatának vizsgálata céljából. Meghatároztam a mitigáció várható értékét két országos felújítási szcenárióra.

## Eredmények

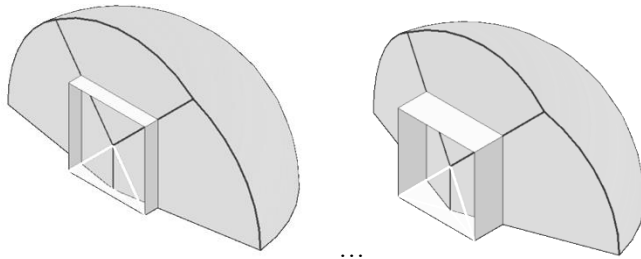
### *A falvastagság hatása az ablakok sugárzási nyereségére*

A homlokzatok utólagos hőszigetelésének eredményessége kétségtelen, de nem szabad elfelejteni, hogy ezzel az ablakokon át az épületbe jutó sugárzási nyereség csökken. A nagyobb kávamélység csökkenti az ablak sugárzási nyereségét.

A csökkenés a direkt sugárzás esetében abban nyilvánul meg, hogy nullánál nagyobb beesési szögek esetén a nagyobb kávamélység csökkenti a nyíláson átjutó direkt sugárnyaláb keresztmetszetét – és ezzel a besugárzott felületet. A diffúz és a felszínről visszavert sugárzás esetén nagyobb kávamélység esetén csökken az a térszög tartomány, amelyből érkező sugárzás átjut a falnyíláson, továbbá amíg nulla káva mélység esetén az üvegezett felület minden egyes pontját a  $\pi$  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.



2. ábra. Az ablakkáva hatása a direkt sugárnyaláb által besugárzott felület csökkenésére.



3. ábra. Az ablakkáva hatása a térszög tartományokra, amelyekből az égbolt diffúz sugárzás a helyiségbe érkezik.

Nem mellékesen az utólagos hőszigetelés növeli az épület nyári túlmelegedésének kockázatát vagy a gépi hűtés energiaigényét.

### ***Az előtétablak energetikai hatása***

A szimulációk igazolták, hogy az előtétablak puffer és üvegházhatása révén mind az eredeti ablakhoz, mind a cserélt ablakhoz viszonyítva jelentős fűtési energiaigény csökkenés érhető el. Ennek mértéke természetesen függ a tájolástól és attól, hogy milyen fal- és eredeti ablakszerkezeteken történik alkalmazásuk. Arányait tekintve nyilvánvaló módon a hőtechnikailag rosszabb minőségű homlokzatokon érhető el látványosabb eredmény és az üvegezési arány növelésének hatása kedvező.

| Fűtési energiaigény csökkenés<br>[GJ/a] |                | Homlokzat üvegezési aránya $A_{\text{ü}}/A_{\text{homl}} [\%]$ |        |        |        |
|-----------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                         |                | 4                                                              | 15     | 20     | 34     |
| 1 rétegű<br>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<br>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 |

1. 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<br>[GJ/a] |                | Homlokzat üvegezési aránya $A_{\text{ü}}/A_{\text{homl}} [\%]$ |        |        |        |
|-----------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                         |                | 4                                                              | 15     | 20     | 34     |
| 1 rétegű<br>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<br>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 |

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

| Fűtési energiaigény csökkenés<br>[GJ/a] |                | Homlokzat üvegezési aránya $A_{\text{ü}}/A_{\text{homl}}$ [%] |        |        |        |
|-----------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                         |                | 4                                                             | 15     | 20     | 34     |
| 1 rétegű<br>előtétablak                 | 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<br>előtétablak                 | 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 |

3. táblázat. Fűtési energiaigény csökkenése előtétablak 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 előtétablak:  $U_{\text{üv,előtét}} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{üv,előtét}} = 0,861$ .

Kétrétegű előtétablak:  $U_{\text{üv,előtét}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{üv,előtét}} = 0,649$ .

| Fűtési energiaigény csökkenés<br>[GJ/a] |                | Homlokzat üvegezési aránya $A_{\text{ü}}/A_{\text{homl}}$ [%] |        |         |        |
|-----------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------|--------|---------|--------|
|                                         |                | 4                                                             | 15     | 20      | 34     |
| 1 rétegű<br>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 |

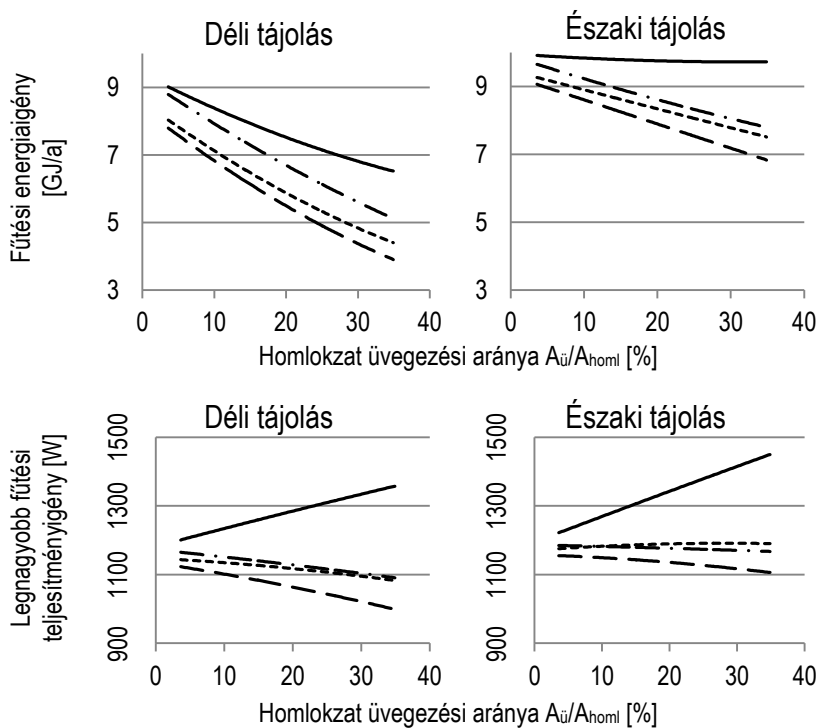
4. táblázat. Fűtési energiaigény csökkenése előtétablak alkalmazásával  
puffer-, és üvegházhatás esetén.

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

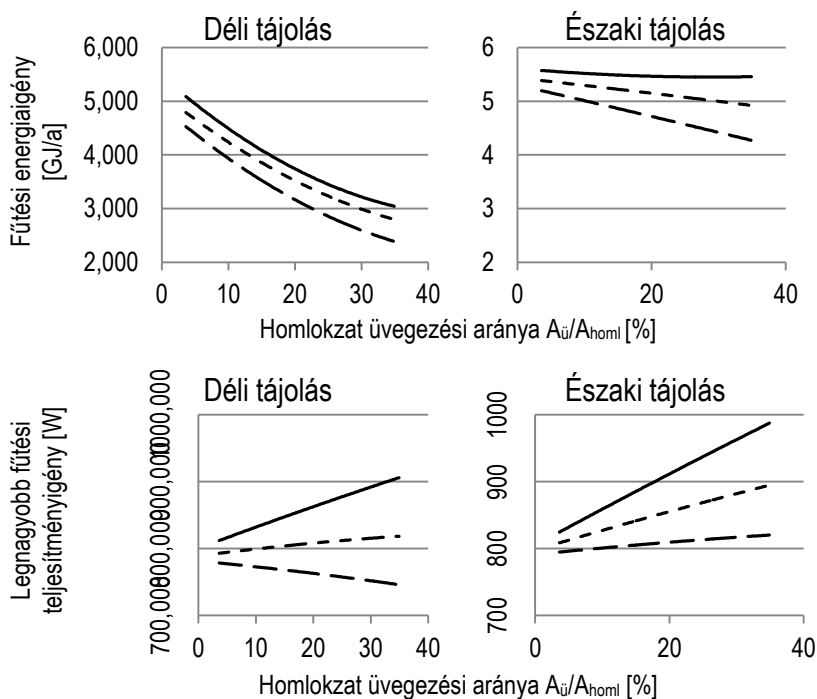
Ugyanakkor az is megfigyelhető volt, hogy a fűtés csúcsteljesítmény igénye  
sok esetben az üvegezési arány függvényében emelkedő tendenciát mutat.



#### 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,  
 $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $U_{\text{üv,abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{üv,abl}} = 0,765$ ,  
 $U_{\text{üv,előtét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{üv,előtét}} = 0,764$

4. ábra. Fűtési energiaigények és legnagyobb fűtési teljesítményigények

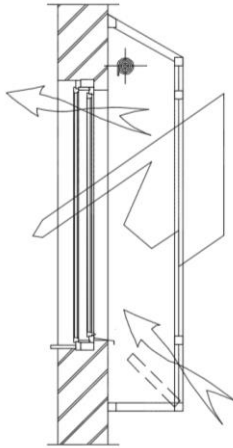


### Jelmagyarázat

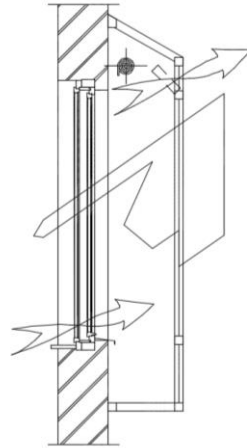
- Eredeti állapot,  $U_{\text{fal}} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $U_{\text{üv,abl}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{üv,abl}} = 0,649$
- Puffer-, és üvegházhatás, 1 rétegű előtétablakkal,  
 $U_{\text{fal}} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $U_{\text{üv,abl}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$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

5. ábra. Fűtési energiaigények és legnagyobb fűtési teljesítményigények

A fűtési energiaigény tovább csökkenthető, ha a helyiségek természetes szellőztetése az előtétzónán át történik. A nyomásviszonyoktól függően kétféle áramút lehetséges: kívülről befelé vagy belülről kifelé. A nyomásviszonyok számos tényezőtől függenek, az év folyamán ugyanazon az ablakon át beáramlás és kiáramlás egyaránt lehetséges.



a. Levegő előmelegítés



b. Távozó levegő hőhasznosítás

6. ábra. Előtétablak szellőzőses üzemmódban

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.

| Fűtési energiaigény csökkenés<br>[GJ/a]   |                | Homlokzat üvegezési aránya $A_{\tilde{u}}/A_{\text{homl}}$ [%] |        |        |        |
|-------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                           |                | 4                                                              | 15     | 20     | 34     |
| Levegő-<br>előmelegítés<br>üzemmód        | 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<br>hőhasznosítás<br>üzemmód | 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 |

5. táblázat. Fűtési energiaigény csökkenése egyrétegű előtétablak alkalmazásával az előtétablak szellőzések üzemmodjaiban.

Eredeti állapot:  $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,

$U_{\tilde{u},\text{abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\tilde{u},\text{abl}} = 0,765$ .

Egyrétegű előtétablak:  $U_{\tilde{u},\text{előtét}} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\tilde{u},\text{előtét}} = 0,861$ .

| Fűtési energiaigény csökkenés<br>[GJ/a]   |                | Homlokzat üvegezési aránya $A_{\tilde{u}}/A_{\text{homl}}$ [%] |        |        |        |
|-------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                           |                | 4                                                              | 15     | 20     | 34     |
| Levegő-<br>előmelegítés<br>üzemmód        | 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<br>hőhasznosítás<br>üzemmód | 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 |

6. táblázat. Fűtési energiaigény csökkenése kétrétegű előtétablak alkalmazásával az előtétablak szellőzések üzemmodjaiban.

Eredeti állapot:  $U_{\text{fal}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,

$U_{\tilde{u},\text{abl}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\tilde{u},\text{abl}} = 0,765$ .

Kétrétegű előtétablak:  $U_{\tilde{u},\text{előtét}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\tilde{u},\text{előtét}} = 0,754$ .

| Fűtési energiaigény csökkenés<br>[GJ/a]   |                | Homlokzat üvegezési aránya $A_{\text{ü}}/A_{\text{homl}}$ [%] |        |        |        |
|-------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                           |                | 4                                                             | 15     | 20     | 34     |
| Levegő-<br>előmelegítés<br>üzemmód        | 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<br>hőhasznosítás<br>üzemmód | 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 |

7. táblázat. Fűtési energiaigény csökkenése egyrétegű előtétablak alkalmazásával az előtétablak szellőzőses üzemmódjaiban.

Eredeti állapot:  $U_{\text{fal}} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,

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

Egyrétegű előtétablak:  $U_{\text{üv,előtét}} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{üv,előtét}} = 0,861$ .

| Fűtési energiaigény csökkenés<br>[GJ/a]   |                | Homlokzat üvegezési aránya $A_{\text{ü}}/A_{\text{homl}}$ [%] |        |        |        |
|-------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                           |                | 4                                                             | 15     | 20     | 34     |
| Levegő-<br>előmelegítés<br>üzemmód        | 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<br>hőhasznosítás<br>üzemmód | 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 |

8. táblázat. Fűtési energiaigény csökkenése kétrétegű előtétablak alkalmazásával az előtétablak szellőzőses 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<br>[GJ/a]   |                | Homlokzat üvegezési aránya $A_{ü}/A_{homl}$ [%] |        |        |        |
|-------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                           |                | 4                                               | 15     | 20     | 34     |
| Levegő-<br>előmelegítés<br>üzemmód        | 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<br>hőhasznosítás<br>üzemmód | 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 |

9. táblázat. Fűtési energiaigény csökkenése egyrétegű előtétablak alkalmazásával az előtétablak szellőzései üzemmodjaiban.

Eredeti állapot:  $U_{fal} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,

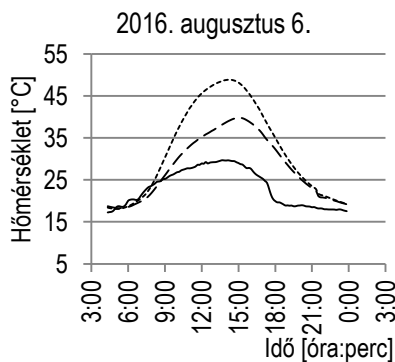
$U_{üv,abl} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{üv,abl} = 0,579$ .

Egyrétegű előtétablak:  $U_{üv,előtét} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{üv,előtét} = 0,861$ .

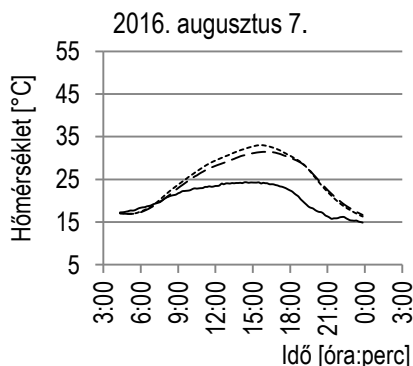
A hőtároló képesség hatása többzónás modellen is vizsgálatra került. Az eredmények arra utalnak, hogy a hőtároló tömeg szokásos 24 órás periódusidőre vonatkozóan számított értékének hatása lényegesen kisebb, mint azt általában feltételezik – nagyobb jelentőséggel bír az épület időállandója és a zónák közötti hőcsere.

A klímaérzékenység elemzése céljából néhány modell változatot más földrajzi helyek éghajlati adataival is lefuttatunk. Az eredmények nem mutatnak szoros összefüggést a hőfokhíddal, jobb közelítés mutatkozott az „éghajlati zordság index” alapján.

A szimulációs eredmények megbízhatóságát mérésekkel ellenőriztük. Ugyancsak mérésekkel igazoltuk, hogy az előtétzónában elhelyezett árnyékoló lényegesen kedvezőbb, mint az előtétablak nélküli esetben alkalmazott belső oldali árnyékoló (a előtétablakos fülke felmelegedése  $9,18^\circ\text{C}$ -al alacsonyabb). Az előtétzónában alkalmazott belső árnyékoló pedig 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

#### Jelmagyarázat

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

7. ábra. Fülkék nyári mérési eredményei

A részletek taglalását mellőzve belátható, hogy az előtétablak

- élettartama az épületszerkezetek élettartamával megegyezik, (szemben az aktív szoláris rendszerekkel, amelyeket az épület fizikai élettartamán belül többször is cserélni kell),
- a szokásos ablakcserével összehasonlítva mentes a bontási hulladék elhelyezésének, ártalmatlanításának, újrahasznosításának problémáitól,
- a lakók zavarása nélkül kivitelezhető,
- állagvédelmi szempontból előnyös, mert az ablak kerülete mentén kialakuló hőhidak nem a külső levegővel, hanem a magasabb hőmérsékletű előtétzónával érintkeznek, így a veszteségek csökkennek, a belső átlagos felületi hőmérsékletek a kritikus mezőkben nőnek,
- javítja az épület légtömörségét, védelmet nyújt a környezeti zajok ellen,
- a takart homlokzati szakasz magasabb belső átlagos felületi hőmérséklete és a szellőző levegő előmelegítése révén javítja a termikus komfortfeltételeket.

## Az értekezés új tudományos eredményei

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

Az előtétablakot alkalmazva az eredeti ablakok megtarthatók, nem keletkezik bontási hulladék, elmarad annak szállításával, ártalmatlanításával, újrafelhasználásával kapcsolatos energiafelhasználás és kibocsátás. Az előtétablak fizikai élettartama az épületszerkezetek fizikai élettartamával megegyezik, szemben az aktív szoláris rendszerekkel, amelyeket az épület fizikai élettartamán belül többször kell cserélni.

Az előtétablak érzékeny szerkezeti csomópontokat (káva, párkány, kiváltó) takar, ami nemcsak a hőhidak miatti veszteségeket, hanem az ezzel összefüggő állagkárosodások kockázatát is mérsékli és javítja az épület légtömörségét. A takart homlokzati szakaszon a belső felületi hőmérséklet nő, ami javítja a hőérzetet. A magasabb, a léghőmérséklethez közelebbi vagy azt akár meg is haladó operatív hőmérséklet enyhíti az utóbbira történő (elvileg kötelező) méretezéssel kapcsolatos gyakorlati problémákat.

**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.

Az épületfelújítások szokásos gyakorlata szerint az eredeti ablakokat újakra cserélik és a homlokzatok külső felületét utólagos hőszigeteléssel látják el. Ez utóbbi vastagsága a jelenlegi követelmények szerint  $18 \pm 2$  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. Ennek számszerű megítélése bármilyen tájolásra és szélességi körre a kidolgozott grafoanalitikus módszerrel lehetséges – a hatás dátum és óra szerint is követhető. Az előtétablak esetében ilyen sugárzási nyereségcsökkenés nem jön létre.

**3. TÉZIS:** Kísérleti fűlkék mérési adataival is alátámasztott dinamikus szimulációkkal igazoltam, hogy az előtétablakok a különböző homlokzatú 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 különböző homlokzatváltozatokra és referenciaépületekre elvégzett jelentős számú szimuláció eredményei alapján az előtétablak puffer- és üvegház hatása következtében elérhető energiamegtakarítás – mind az eredeti, mind a cserélt ablakkal összevetve - egyértelműen kimutatható. Az üvegezési arány hatása a tájoláson túl alapvetően függ attól, hogy milyen hőátbocsátási tényezőű falon milyen minőségű eredeti ablak előtt alkalmazunk előtétablakot.

A fűtési energiaigény és a fűtési rendszer maximális teljesítményigénye az egyes paraméterek függvényeként az esetek túlnyomó részében ellentétesen változik. A szabályozásokban előírt egyes – alsóbb szintű - követelmények a beépítendő (maximális) teljesítményigény korlátozását célozzák – ez a koncepciója a tervezési gyakorlatnak is. A teljesítményigény korlátozása azonban akadályozza az energiafogyasztás (és ezzel a kibocsátás) mérséklését célzó megoldások alkalmazását, ezért bizonyos szabályozási elemek módosítására és a tervezési koncepciók átértékelésére van szükség.

**4. TÉZIS:** Kísérleti fűlkék 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.

Lakóépületekben a természetes szellőzés jelenleg és a következő évtizedekben is a légcseré foganatosításának jellemző módja és felújítás esetében is többnyire az marad. Az előtétablakot és az előtétézónát a szellőző levegő előmelegítésére vagy a távozó levegő hőtartalma egy részének visszanyerésére használva a hőérzet is javul.

Az Európai Unió épületenergetikai irányelve elvárja, hogy a fogyasztás jelentős hányadát megújuló energia fedezze. Az előtétablak ennek megfelel, de a szoláris energia passzív hasznosítása az Irányelv hibás megfogalmazása miatt a megújuló részarányba nem számítható be – ez az ellentmondás feloldandó.

**5. TÉZIS:** Kísérleti fűlkék 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 hatékony árnyékolás csökkenti az épületek túlmelegedésének kockázatát, javítja a hőérzetet, elkerülhetővé teszi a gépi hűtés alkalmazását, az ezzel járó kibocsátást és a városi hősziget intenzitásának öngerjesztő növekedését. A külső légfüggöny üzemmód következtében kialakuló feláramlás kismértékben élénkíti a városi szellőt.

**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 az egyszerűsített, de tájolásonként differenciált „éghajlati zordság” (climate severity index) fogalmát, amelynek havi bontása alapján mutakozó csúcso sszása befolyásolja a fűtés energia- és teljesítményigényét.

A gyakorlatban a fűtési energiaigény számítása a hőfokhíd alapján történik. de a különböző helyszínekre elvégzett számítások szerint ezek között nincs szoros összefüggés. Az” éghajlati zordság” alapján rendezett energiaigény adatok jobb közelítést mutatnak.

**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.

A kibocsátás számítás esetében különös figyelem fordítandó a biomasszára, amely a meglévő és felújítandó épületek jelentős hányadának, mintegy 720 000 darab épületnek a tüzelőanyaga. A biomassza szén-dioxid semlegességét nem vitatva megjegyzendő, hogy annak lekötése a településen kívül, kibocsátása viszont a település határain belül történik, ami lokálisan a levegőtisztaságot rontja és a szmogképződés kockázatát növeli. Nem hagyható viszont figyelmen kívül az a kibocsátás, ami az erdőművelés, a szállítás, a feldolgozás és az újabb szállítás (jellemzően fosszilis) energiafogyasztásából származik.

### **További kutatási célok**

Az értekezésben alkalmazott módon további nagyszámú szimuláció futtatható a fal- és ablakszerkezetek hőtechnikai jellemzőinek különböző kombinációira vagy többzónás épületekre, hazai éghajlati feltételekre. Ilyeneket elsősorban konkrét feladatokkal kapcsolatban érdemes végezni: az értekezésben bemutatott változatok a várható eredmények tartományáról átfogó képet adnak.. Különböző földrajzi helyek éghajlati jellemzőivel történő futtatások alapján az éghajlat zordságát jellemző index és a fűtési energiaigény között szorosabb kapcsolat kereshető. Fontos gyakorlati kérdés tisztázható a lég- és az operatív hőmérsékletek eredményeinek összevetésével, hiszen az utóbbi számításra a tervezési gyakorlatban „kézi” módszerrel aligha lehetséges, ugyanakkor formálisan ez lenne kötelező.

### **Hitelesített publikációs lista**



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

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

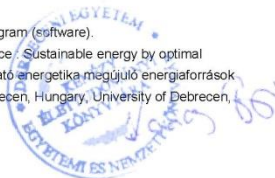
### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

#### 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

#### Idgen 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





Időgen 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. előtétablak.  
*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.

Időgen 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.

Időgen 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





Időgen nyelvi absztrakt kiadványok (3)

16. **Kerekes, A., Zold, 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., Zold, 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

Időgen nyelvű hazai könyvrészletek (1)

20. **Kerekes, A., Zold, 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 hőátadás vesztesége - 2. rész  
*Magy. épülgép.* 64 (1-2), 41-43, 2015. ISSN: 1215-9913.
23. **Kerekes, A.:** Biomassza kazánok teljesítménytényezője és a hőátadás vesztesége - 1. rész  
*Magy. épülgép.* 63 (12), 13-16, 2014. ISSN: 1215-9913.



Időgen 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 alapján szolgáló közleményekre):  
4,067**

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

Debrecen, 2017.07.27.







**Abstract of the Ph.D. Thesis**

**ENERGY EVALUATION OF ADDED CONVEX WINDOWS**

by

Attila Kerekes

Thesis supervisor: Prof. Dr. András Zöld



UNIVERSITY OF DEBRECEN  
Doctoral School of Earth Sciences  
Debrecen, 2017.



## Introduction

CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 m<sup>2</sup> 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 m<sup>3</sup>/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). 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.

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. The name „added convex window” is precise, as it is additional and has surfaces, which are not parallel with the façade. The space between the added convex windows and the existing façade is the so-called buffer zone.

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.

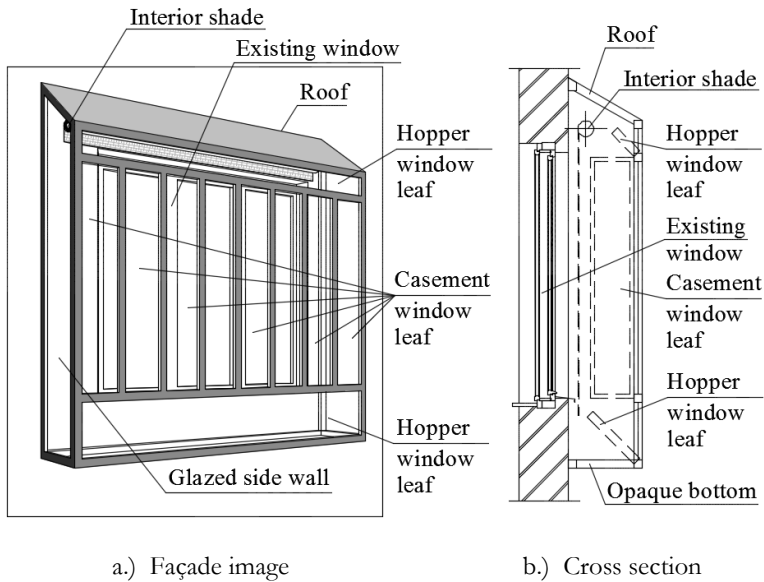


Figure 1. Sketch of a possible form of the added convex window .

### The aim of the research

The main point of the research is the evaluation of energetic effect of the added convex windows. Energy savings can be shown in case of different kind of walls, existing and new windows, by appropriate number of dynamic simulations. The simulations are also run for those cases when the buffer zone is part of the flow path of the natural ventilation. To ensure that the results of the simulations are correct, measurements were carried out. Further primary aim is to prove the impact of the shades placed in the buffer zone. For analysing the climate sensitivity dynamic simulations were run for different geographical locations with their climatic data for some variations of window and wall structures.

## Methodology

Throughout the research two parallel methods were applied. Dynamic simulations were run for numerous building variations and for the measuring cabins. Simulations were done by Energy Plus v. 8.4.0 validated software. The climatic data were taken from the files of Climate Design Data 2009 ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers) Handbook; the measured data received from the Agrometeorologic and Agroecological Monitoring Centre of University of Debrecen (AKIT), and from the [www.ogimet.com](http://www.ogimet.com) site. Two experimental huts were built, one of them is with, and the other one is without added convex window (they do not differ in anything else). Huts were placed on territory of the Agrometeorologic Centre of University of Debrecen in Kismacs. The results of the simulations and the measured data of the cabins were compared, and they proved the reliability of the dynamic simulation methods. Efficiency of the shades were evaluated by on-site measurements. The climatic dates for different geographical locations were processed for the relationship between the energy need for heating and climate severity index. The expected values of the mitigation were calculated for two residential building refurbishment scenarios in Hungary.

## Results:

### *Effect of the wall thickness on the solar gain of the window*

The success of the added thermal insulation of the wall is obvious, although one must not forget the solar gain entering to the building through the window will be reduced. The more the wall thickness and as a consequence the window reveal are the smaller the solar gain of the window is. The decrease of the direct beam appears because the thicker wall with deeper window reveal decreases the area of cross section and the area of irradiation (if the incidence angle of the direct beam is over zero). In case of the diffuse and the reflected radiance, the bigger the wall thickness is the smaller the solid angle interval is, from which the arriving radiation gets through the opening, furthermore would be the glazing in a wall with zero thickness its each point would be hit from diffuse radiation from each point of the sky in  $\pi$  sr solid angle interval. The disclosed part of the sky is bigger if the reveal is deeper.

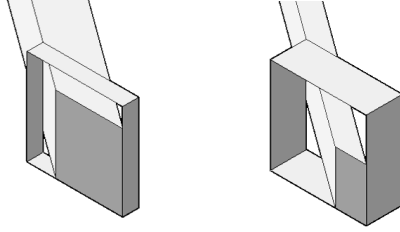


Figure 2. Effect of the wall thickness to the irradiated area by beam solar radiation.

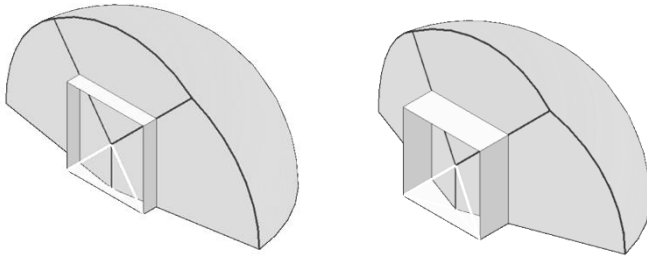


Figure 3. Effect of the wall thickness to the solid angle intervals in which the diffuse radiation enters the room.

Moreover, the added thermal insulation increases the risk of summer overheating or the energy need for cooling.

### ***Energetic effect of the added convex window***

Results of simulations proved that the added convex windows – by its buffer and greenhouse effect - decreases the energy need for heating compared to the existing and the changed windows. The value of the decrease depends on the orientation and the structure of existing walls and windows of course.

Obviously, better result can be shown in case of the worse quality façade from thermotechnical point of view and the bigger glazed-ratio is the bigger the positive effect is.

| Reduction of energy need for heating [GJ/a] |       | Glazed ratio of façade $A_{glazed}/A_{façade}$ [%] |        |        |        |
|---------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                             |       | 4                                                  | 15     | 20     | 34     |
| Added window with single glazing            | South | 0.9973                                             | 1.4538 | 1.6373 | 2.0713 |
|                                             | North | 0.6634                                             | 1.1621 | 1.4023 | 2.1202 |
|                                             | East  | 0.7836                                             | 1.3138 | 1.5548 | 2.2296 |
| Added window with double glazing            | South | 1.2409                                             | 1.803  | 2.0345 | 2.6029 |
|                                             | North | 0.8734                                             | 1.5336 | 1.8498 | 2.7886 |
|                                             | East  | 1.0063                                             | 1.6707 | 1.9647 | 2.7613 |

Table 1. Reduction of energy need for heating by using added convex window – buffer and greenhouse effect.

Existing state:  $U_{wall} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,

$U_{glaz,wind} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{glaz,wind} = 0,765$ .

Added window single glazing:  $U_{glaz,add} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{glaz,add} = 0,861$ .

Added window double glazing:  $U_{glaz,add} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{glaz,add} = 0,764$ .

| Reduction of energy need for heating [GJ/a] |       | Glazed ratio of façade $A_{glazed}/A_{façade}$ [%] |        |        |        |
|---------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                             |       | 4                                                  | 15     | 20     | 34     |
| Added window with single glazing            | South | 0.7581                                             | 0.8021 | 0.7901 | 0.6501 |
|                                             | North | 0.3841                                             | 0.2943 | 0.275  | 0.2929 |
|                                             | East  | 0.5135                                             | 0.5036 | 0.4991 | 0.4865 |
| Added window with double glazing            | South | 1.0017                                             | 1.1513 | 1.1873 | 1.1817 |
|                                             | North | 0.5941                                             | 0.6658 | 0.7225 | 0.9613 |
|                                             | East  | 0.7362                                             | 0.8605 | 0.909  | 1.0182 |

Table 2. Reduction of energy need for heating by using added convex window – buffer and greenhouse effect – compared to change of window.

The state after change of window:  $U_{fal} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,

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

Added window single glazing:  $U_{glaz,add} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{glaz,add} = 0,861$ .

Added window double glazing:  $U_{glaz,add} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{glaz,add} = 0,764$ .

| Reduction of energy need for heating [GJ/a] |       | Glazed ratio of façade $A_{glazed}/A_{façade}$ [%] |        |        |        |
|---------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                             |       | 4                                                  | 15     | 20     | 34     |
| Added window with single glazing            | South | 0.2942                                             | 0.2304 | 0.2174 | 0.2342 |
|                                             | North | 0.1908                                             | 0.2675 | 0.3207 | 0.531  |
|                                             | East  | 0.2382                                             | 0.302  | 0.347  | 0.5262 |
| Added window with double glazing            | South | 0.5578                                             | 0.5556 | 0.5626 | 0.6088 |
|                                             | North | 0.3847                                             | 0.6254 | 0.7524 | 1.1665 |
|                                             | East  | 0.4671                                             | 0.6552 | 0.7487 | 1.0371 |

Table 3. Reduction of energy need for heating by using added convex window – buffer and greenhouse effect.

Existing state:  $U_{wall} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,

$U_{glaz,wind} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{glaz,wind} = 0,649$ .

Added window single glazing:  $U_{glaz,add} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{glaz,add} = 0,861$ .

Added window double glazing:  $U_{glaz,add} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{glaz,add} = 0,649$ .

| Reduction of energy need for heating [GJ/a] |       | Glazed ratio of façade $A_{glazed}/A_{façade}$ [%] |        |         |        |
|---------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------|--------|---------|--------|
|                                             |       | 4                                                  | 15     | 20      | 34     |
| Added window with single glazing            | South | 0.1331                                             | 0.0088 | -0.0157 | -0.069 |
|                                             | North | 0.0849                                             | 0.0776 | 0.0878  | 0.1617 |
|                                             | East  | 0.1151                                             | 0.0887 | 0.0927  | 0.1571 |

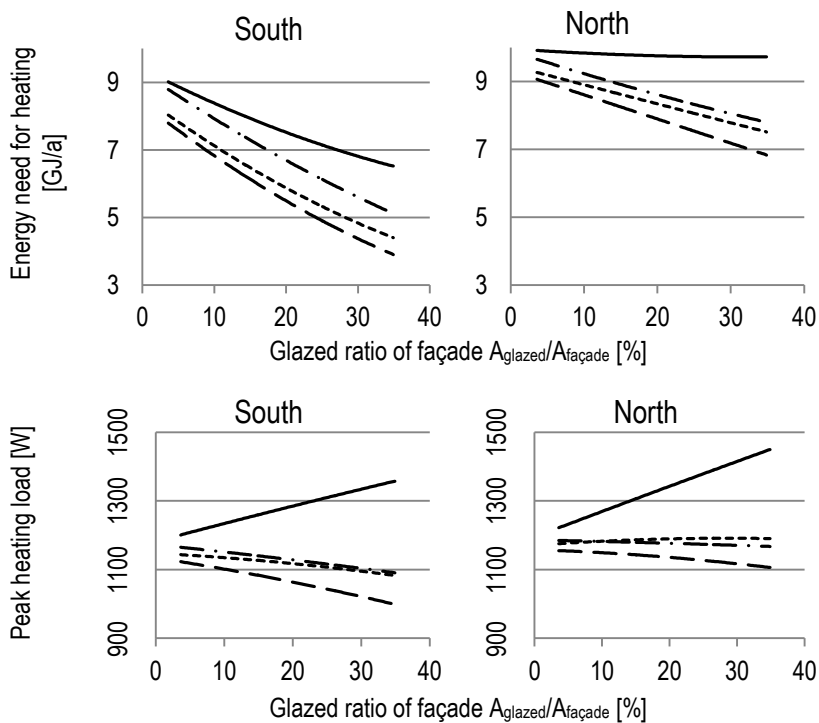
Table 4. Reduction of energy need for heating by using added convex window – buffer and greenhouse effect.

Existing state:  $U_{wall} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,

$U_{glaz,wind} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{glaz,wind} = 0,579$ .

Added window single glazing:  $U_{glaz,add} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{glaz,add} = 0,861$ .

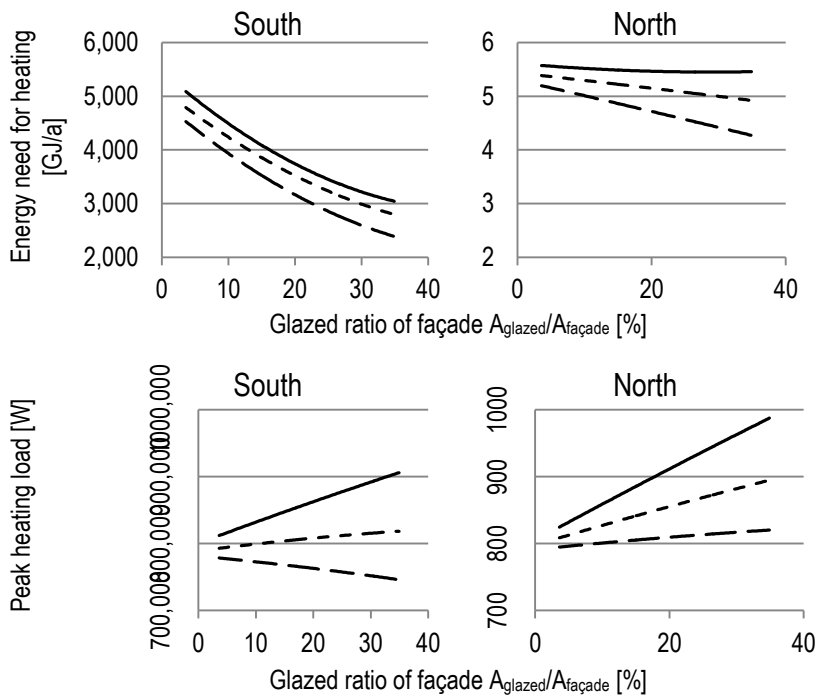
Meanwhile the results show in many cases the heating peak load's trend is rising when the glazed-ratio is larger.



### Legend

- Existing state,  $U_{wall} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $U_{glaz,wind} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{glaz,wind} = 0,765$
- · - · - After change of window,  $U_{wall} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  
 $U_{glaz,wind} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{glaz,wind} = 0,579$
- - - - Buffer and greenhouse effect – added window with single glazing,  
 $U_{wall} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $U_{glaz,wind} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{glaz,wind} = 0,765$ ,  
 $U_{glaz,add} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{glaz,add} = 0,861$
- - - - Buffer and greenhouse effect – added window with double glazing,  
 $U_{wall} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $U_{glaz,wind} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{glaz,wind} = 0,765$ ,  
 $U_{glaz,add} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{glaz,add} = 0,764$

Figure 4. Energy need for heating and peak load.



### Legend

- Existing state,  $U_{\text{wall}} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $U_{\text{glaz,wind}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{glaz,wind}} = 0,649$
- - - - - Buffer and greenhouse effect – added window with single glazing,  
 $U_{\text{wall}} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $U_{\text{glaz,wind}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{glaz,wind}} = 0,649$ ,  
 $U_{\text{glaz,add}} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{glaz,add}} = 0,861$
- . - . - Buffer and greenhouse effect – added window with double glazing,  
 $U_{\text{wall}} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $U_{\text{glaz,wind}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{glaz,wind}} = 0,649$ ,  
 $U_{\text{glaz,add}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{glaz,add}} = 0,649$

Figure 5. Energy need for heating and peak load.

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. The pressure conditions are depending on many factors, so throughout the year on the same window both inflow and outflow are possible.

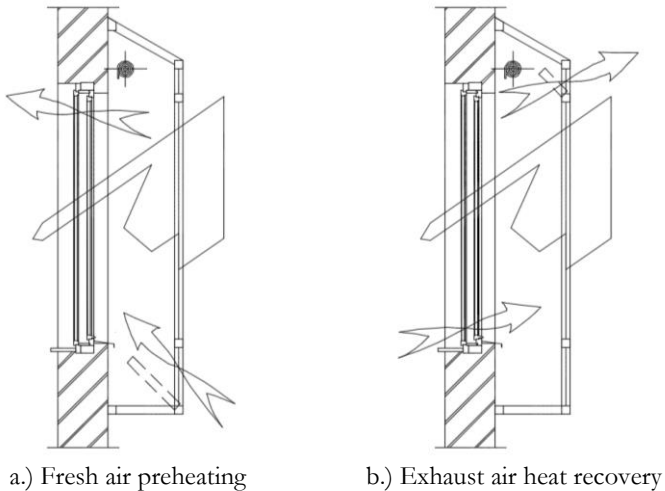


Figure 6. Different ventilation modes.

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.

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 ballance can be evaluated based on the average of the two results or can be judged pessimistically based on the less favorable results.

| Reduction of energy need for heating [GJ/a] |       | Glazed ratio of façade $A_{\text{glazed}}/A_{\text{façade}}$ [%] |        |        |        |
|---------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                             |       | 4                                                                | 15     | 20     | 34     |
| Fresh air preheating                        | South | 1.8274                                                           | 2.3235 | 2.501  | 2.8384 |
|                                             | North | 1.2217                                                           | 1.7855 | 2.0537 | 2.8447 |
|                                             | East  | 1.4447                                                           | 2.0365 | 2.2815 | 2.8877 |
| Exhaust air heat recovery                   | South | 1.2284                                                           | 1.7663 | 1.9708 | 2.4104 |
|                                             | North | 0.9227                                                           | 1.5046 | 1.7771 | 2.5667 |
|                                             | East  | 1.0335                                                           | 1.6308 | 1.8943 | 2.6055 |

Table 5. Reduction of energy need for heating by using added convex window with single glazing window – different ventilation modes.

Existing state:  $U_{\text{wall}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,

$U_{\text{glaz,wind}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{glaz,wind}} = 0,765$ .

Added window single glazing:  $U_{\text{glaz,add}} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{glaz,add}} = 0,861$ .

| Reduction of energy need for heating [GJ/a] |       | Glazed ratio of façade $A_{\text{glazed}}/A_{\text{façade}}$ [%] |        |        |        |
|---------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                             |       | 4                                                                | 15     | 20     | 34     |
| Fresh air preheating                        | South | 2.23                                                             | 2.8482 | 3.0732 | 3.517  |
|                                             | North | 1.567                                                            | 2.3271 | 2.6806 | 3.697  |
|                                             | East  | 1.8107                                                           | 2.5653 | 2.8843 | 3.6977 |
| Exhaust air heat recovery                   | South | 1.4834                                                           | 2.1412 | 2.4002 | 2.9924 |
|                                             | North | 1.1705                                                           | 1.9262 | 2.2777 | 3.2885 |
|                                             | East  | 1.2831                                                           | 2.0355 | 2.3615 | 3.2211 |

Table 6. Reduction of energy need for heating by using added convex window with double glazing window – different ventilation modes.

Existing state:  $U_{\text{wall}} = 1,467 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,

$U_{\text{glaz,wind}} = 2,788 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{glaz,wind}} = 0,765$ .

Added window double glazing:  $U_{\text{glaz,add}} = 2,720 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{glaz,add}} = 0,764$ .

| Reduction of energy need for heating [GJ/a] |       | Glazed ratio of façade $A_{\text{glazed}}/A_{\text{façade}}$ [%] |        |        |        |
|---------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                             |       | 4                                                                | 15     | 20     | 34     |
| Fresh air preheating                        | South | 1.0431                                                           | 0.9199 | 0.8719 | 0.7641 |
|                                             | North | 0.6123                                                           | 0.7445 | 0.8197 | 1.0809 |
|                                             | East  | 0.7912                                                           | 0.8517 | 0.8952 | 1.0702 |
| Exhaust air heat recovery                   | South | 0.4056                                                           | 0.377  | 0.372  | 0.3846 |
|                                             | North | 0.3326                                                           | 0.4661 | 0.5426 | 0.8091 |
|                                             | East  | 0.3625                                                           | 0.478  | 0.5385 | 0.7345 |

Table 7. Reduction of energy need for heating by using added convex window with single glazing window – different ventilation modes.

Existing state:  $U_{\text{wall}} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,

$U_{\text{glaz,wind}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{glaz,wind}} = 0,649$ .

Added window single glazing:  $U_{\text{glaz,add}} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{glaz,add}} = 0,861$ .

| Reduction of energy need for heating [GJ/a] |       | Glazed ratio of façade $A_{\text{glazed}}/A_{\text{façade}}$ [%] |        |        |        |
|---------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                             |       | 4                                                                | 15     | 20     | 34     |
| Fresh air preheating                        | South | 1.7472                                                           | 1.6471 | 1.6016 | 1.4742 |
|                                             | North | 1.104                                                            | 1.4692 | 1.6272 | 2.043  |
|                                             | East  | 1.3819                                                           | 1.5898 | 1.7003 | 2.0629 |
| Exhaust air heat recovery                   | South | 0.6625                                                           | 0.6812 | 0.7057 | 0.8275 |
|                                             | North | 0.5504                                                           | 0.8709 | 1.0301 | 1.5212 |
|                                             | East  | 0.6073                                                           | 0.8647 | 0.9897 | 1.3663 |

Table 8. Reduction of energy need for heating by using added convex window with double glazing window – different ventilation modes.

Existing state:  $U_{\text{wall}} = 0,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,

$U_{\text{glaz,wind}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{glaz,wind}} = 0,649$ .

Added window double glazing:  $U_{\text{glaz,add}} = 1,507 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{\text{glaz,add}} = 0,649$ .

| Reduction of energy need for heating [GJ/a] |       | Glazed ratio of façade $A_{glazed}/A_{façade}$ [%] |        |        |        |
|---------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                             |       | 4                                                  | 15     | 20     | 34     |
| Fresh air preheating                        | South | 0.8263                                             | 0.6294 | 0.5639 | 0.4603 |
|                                             | North | 0.4367                                             | 0.4976 | 0.5301 | 0.6371 |
|                                             | East  | 0.6098                                             | 0.5845 | 0.589  | 0.6548 |
| Exhaust air heat recovery                   | South | 0.211                                              | 0.1054 | 0.0814 | 0.094  |
|                                             | North | 0.1768                                             | 0.224  | 0.2539 | 0.3655 |
|                                             | East  | 0.2003                                             | 0.2223 | 0.2403 | 0.3173 |

Table 9. Reduction of energy need for heating by using added convex window with single glazing window – different ventilation modes.

Existing state:  $U_{wall} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,

$U_{glaz,wind} = 1,062 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{glaz,wind} = 0,579$ .

Added window single glazing:  $U_{glaz,add} = 5,894 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g_{glaz,add} = 0,861$ .

The impact of the heat capacity was examined in multizone modell as well. The results refer that the effect of the thermal mass calculated for the regular 24 h period significantly smaller, than it is generally expected – The time constant of the building and the heat transfer between the zones have larger impact.

For analysing the climate sensitivity simulations were run for different geographical locations with their specific climatic data for some variations of structures. The results did not show a strong correlation between the degree-day, there was a better correlation based on the climate severity index. The simulation results were checked by measurements as well.

It was proven by measurements too, that the shade placed in buffer zone is much more beneficial, than in case of using inner shade on the existing window with no added convex window on (the temperature is lower with  $9,18^\circ\text{C}$  in the cabin with the added convex window). Inner shade which was used in the added convex window is the same efficient or even more efficient than the outside shade placed on the existing window with no added convex window. The warming up of the both cabins are almost the same.

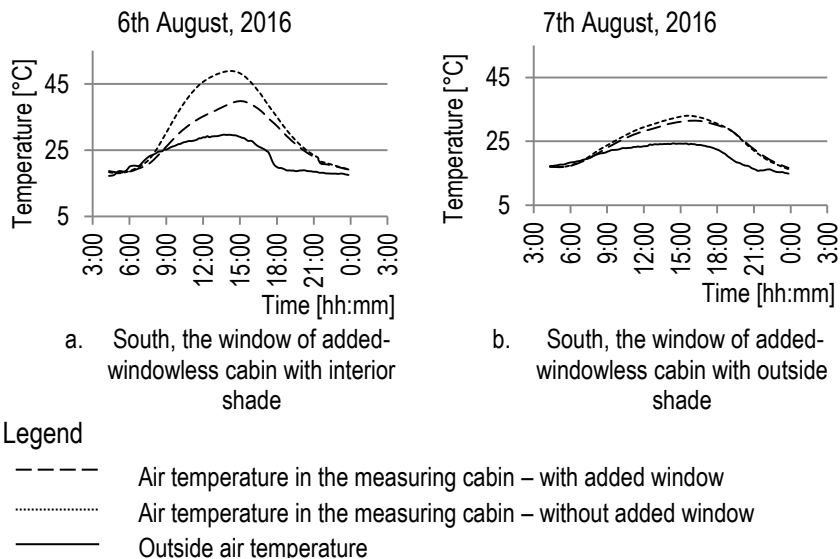


Figure 7. Summer measurements of the cabins

Regardless the details it is easy to see concerning the added window

- the life time of its structure equals with the life time of the building (in comparism with the active solar systems, which must be changed from time to time throughout the life time of the building)
- compared to the traditinal process of changing the windows, it is problem free of the disposal and recycling of the demolished material
- it can be installed without the disturbance of he inhabitants
- it has advantage concerning the preservation and conservation of the building, because the thermal bridges around the window are not in touch directly with the outside air, but the buffer zone with its higher temperature, thus the heat loss decreases, the inner avarage surface temperatures raise in the critical areas
- the air tightness of the building will be better, it protects the building from the environmental noises
- improves thermal comfort by higher avarage surface temperature of the covered façade area and the preheating of the fresh air

## **The new scientific findings of the thesis**

**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.**

Applying added convex windows the original ones can be kept, no energy need and emission arose for transport recycling, disposal since there is no garbage of demolition. The physical life time of added convex windows coincides with that of building elements contrary to active solar systems which should be changed several times within the physical life time of the building.

Covering sensitive constructional joints (sill, bearer, reveal) the added convex windows decrease the thermal bridge losses and the risk of fabric damage and improve the air tightness of the building. The temperature of the inside surface increases – this fact improves the thermal comfort. The higher operative temperature approaches or exceeds the indoor air temperatures alleviating the practical problem of design since pro forma the operative temperature is the base of calculation.

**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.**

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  $18 \pm 2$  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 grapho-analytical method facilitates to determine the last for any latitude, orientation for each day and hour of the year. Applying added convex window, this negative side effect does not exist.

**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.**

Considerable number of dynamic simulations for different façade variations and reference buildings proved that the buffer and greenhouse effect of added convex windows result energy saving in comparison to the original or changed windows. The effect of glazed ratio depends on – besides the orientation – the U- value of the wall and on the quality of the original window to which the convex window is added.

In most cases the heating energy need and the net peak load of heating change in opposite sense in function of different parameters. Certain elementary requirements in details of the regulation aim at the limitation of the built-in capacity – this is also the concept of the current design practice. Nevertheless this approach obstruct the application of solutions which aim at the limitation of energy consumption and emission, therefore some details of regulations and design concept are to be reconsidered.

**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.**

Natural ventilation is the typical way of the air change and likely will be in the forthcoming decades after retrofit in residential buildings. Preheating of fresh air or recovering a part of the energy of exhaust air in added convex window result improvement of the thermal comfort.

The Energy Performance of Building Directive expects that a significant part of energy consumption should be covered with renewable energy. The added convex window meets this expectation, however utilised passive solar gain cannot be accounted in the renewable share due to the disputable wording of directives – this contradiction is to be resolved.

**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.**

Efficient shading decreases the risk of summer overheating, improves the thermal comfort, facilitates to avoid the mechanical cooling which is accompanied with emission and the self-generating intensification of urban heat island. Upward air flow generated by external air curtain in added convex window slightly intensifies the urban breeze.

**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.**

According to the current practice the energy need for heating is calculated on the base of heating degree-days. The calculations for different geographical locations prove that there is no strong correlation between them: the correlation is better with the simplified climate severity index.

**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.**

Calculating the emission, biomass is worth of special consideration since it is the fuel of 720 000 buildings. Not disputing the CO<sub>2</sub> neutrality of biomass itself it is to be mentioned that the absorption takes place out of the settlement, the in the forest whilst the emission takes place within the settlements, resulting local deterioration of air quality and a higher risk of smog. The fossil energy consumption and its emission of forestry, transport, processing and transport again must be taken into account.

### **Further scientific research aims**

In the method used in the thesis further numerous simulations could be run for different wall- and window structures with their thermal traits; as well as for multizone buildings; national climate conditions. Such simulations would make sense for exact buildings (design): the variations which were investigated in the thesis shows a comprehensive picture about the expected results. Stronger coherence could be sought between the climate severity index and the energy need for heating based on simulations for different geographical locations' climate data. An important task would be sort out in practise, namely the comparison of the results of the air- and operative temperature. The last mentioned operative temperature is very complicated to calculate „manually” for design practise, at the same time it is formally obligatory to do so.

## **List of publications**



Registry number: DEENK/251/2017.PL  
Subject: 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, University of Debrecen, Debrecen, 183-192, 2014. ISBN: 9789634737360



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. előtétablak.  
*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., Zold, 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., Zold, 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., Zold, 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 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.



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

