



Szűts László

okl. építőmérnök,
TÉ épületenergetikai
tanúsító



Dr. Szalay Zsuzsa

okl. építészmérnök,
adjunktus, BME
Építőmérnöki Kar,
Építőanyagok és
Magasépítés Tanszék

Lőrinczi Zsuzsanna

okl. építészmérnök,
műemlékvédelmi
szakmérnök

Történeti ablakok hőtechnikai tulajdonságai 2. Felújítási lehetőségek

A történelmi, kétrétegű fa ablakszerkezetek hőátbocsátási tényezői eredeti állapotukban sem annyira kedvezőtlenek, mint az építőipari köztudatban és sokszor a tervezési ajánlásokban ökol szabályként szerepelő értékek, ráadásul különböző felújítási lehetőségekkel épületfizikai tulajdonságaik is jelentősen javíthatók. A cikk célja a történelmi, kétrétegű fa ablakszerkezetek építészeti és műemlékvédelmi szempontból is szóba jöhető energetikai felújítási lehetőségeinek bemutatása, melyekkel átlagosan akár 25-50%-kal is javíthatók az ablakok U_w értékei. A cikk útmutatást nyújt továbbá a felújított ablakok hőátbocsátási tényezőjének szabványos számításához is.

Kulcsszavak: kétrétegű, fa ablak, gerébtok, pallótok, nyílászáró, hőátbocsátási tényező, U érték, passzítás, filtráció, low-E, hőszigetelő üveg, társított szerkezet, megtérülés

The heat transfer coefficient of traditional wood casement windows, which isn't as poor as often deemed by the public and design recommendations, can be greatly upgraded with various renovation options. The paper's goal is to exhibit the renovation options compatible with historic preservation and architectural considerations, and to show the standardized numerical calculation method of the heat transfer coefficients for these renewed double-layer windows, with which their U values can be decreased with 25-50%.

Kulcsszavak: historic, double-layer, casement window, thermal transmittance, U value, filtration, low-E, thin double glazing, shutter, payback period

Bevezetés a hőátbocsátási tényezők javításának világába

Egyre jellemzőbb tendencia, hogy a történeti ablakokat vélemezett „rossz” hőtechnikai tulajdonságaik miatt kibontják, és modern nyílászárókra cserélik, pedig szakszerű felújításukkal épületfizikai tulajdonságaik jelentősen javíthatók. Cikksorozatunk első része a meglévő állapotú kétrétegű, geréb- vagy pallótokos ablakok hőátbocsátási tényezőjének szabványos számításával foglalkozott. Cikksorozatunk második része ezen ablakok lehetséges felújítási

módszereit, és a hőátbocsátási tényezőjükben (U_w értékükben) elérhető javulást ismerteti. A közölt hőátbocsátási tényezők a hivatkozott szabványok, valamint a szakirodalom adatai és képletei alapján a szerzők saját számításainak eredményei.

A különböző lehetséges beavatkozások eltérő fajsúlyúak, ezért a felújítási módszer kiválasztása előtt mindig tisztáznunk kell a felújítandó ablakok műemléki értékét, a beavatkozás súlyát, a felújítási módszerek költségét, a kivitelezhetőség nehézségi fokát, valamint az általuk elérhető hőtechnikai javulást. A cikk által felsorolt felújítási módszerekkel a történeti ablakok hőátbocsátási tényezői eltérő

megetérülési idő mellett, akár a rendeletben előírt követelményszint szerinti kielégítő értékre is csökkenthetők. A jelenleg hatályos épületenergetikai rendeletek alapján új épület építése esetén, továbbá meglévő épület bővítéssel létesített vagy energiamegtakarítási célú felújítással érintett, 0,5 m²-nél nagyobb fa keretszerkezetű ablakának hőátbocsátási tényezőjére (U_w) 2017. 12. 31-ig a követelményérték 1,6 W/(m²K). Hazai/uniós támogatás vagy költségvetési forrás esetén, illetve 2018. 01. 01-től pedig 1,15 W/(m²K). A 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet hatálya azonban „nem terjed ki azon műemlék épületekre, helyi védelem alatt álló épületekre és azok épületelemeire, ahol az energiahatékonyságra vonatkozó minimumkövetelmények betartása a műemléki vagy a helyi védettséget megalapozó érték megváltoztatását eredményezné” [1]. Tehát amennyiben a felújítási kívánt ablakok műemléki értéket képviselnek, nem azt a felújítási módszert kell választani, amelyik a legnagyobb energetikai javulást eredményezi, hanem azt, amelyik a legkisebb beavatkozás mellett, az ablak élettartamát növelve optimális mértékben mérsékli annak hőátbocsátási tényezőjét.

Az ablak filtrációjának mérséklése

A történelmi ablakszerkezetek esetén az egyik legegyszerűbb, és a lakástulajdonosok által is legsűrűbben alkalmazott beavatkozás az ablak filtrációjának mérséklése. A nagy légáteresztésű, rosszul záródó, vagy vetemedett szárnyú történelmi ablakok természetes filtrációja különböző módszerekkel (a tok-fal csatlakozás utólagos tömítésével, a tok-szárny csatlakozás tömítésével, az ablakszárnyak passzításával) csökkenthető. Fontos azonban megjegyezni, hogy természetes szellőzésű helyiségek esetén a filtráció túlzott lecsökkentése nem javasolt, mivel az páralecsapódási problémákhoz, penészképződéshez vezethet. A nyílászárók utólagos tömítésével elérhető hőátbocsátási tényező csökkenéssel cikksorozatunk következő (3.) részében, a történelmi nyílászárók filtrációjáról és a lakótér páramérlegéről szóló cikkben foglalkozunk részletesen.

Alacsony emissziós bevonatú (low-E) üvegcseré

A történelmi, kétrétegű ablakok transzmissziós hőátbocsátási tényezőjének javítására egy egyszerű, viszonylag kevés munkával és kis költséggel jár, az ablak műemléki értékét nem károsító módszer az üvegezés cseréje keménybevonatos low-E üvegre. Az üvegcseré azonban nem javasolt, ha maga az üvegezés is értékes (pl. savmaratott üvegek, színes ólmozott üvegek és az üveggyártás emlékei). Ide tartoznak a még fellelhető húzott üvegezések buborékos, nem tökéletes üvegei is – főleg a barokk és a klasszicista stílusú épületek ablakaiban –, ahol az üvegezés is szerepelhet az értékleltárban, mert pótolhatatlan érték.

A low-E típusú bevonatok az üveggyártás során az üveg felületére felvitt alacsony emissziójú, nemesfém alapú, speciális fém-oxid rétegek, melyek alacsony sugárzási hőveszteségüknek köszönhetően növelik az üvegtáblák közötti légrés hőátbocsátási ellenállását, ezzel javítva az ablak transzmissziós hőátbocsátási tényezőjét és a komfortérzetet is. Elsősorban hőszigetelő üvegezések gáztöltés felőli oldalát látják el low-E bevonattal, de léteznek önmagukban

¹A keménybevonat jóval ellenállóbb a lágfém bevonatnál, de így is érzékeny esetleges karcolásokra, súrolásra, ezért ettől óvni kell, az ilyen ablakok kezelése és tisztítása gondosságot igényel.



(forrás: <http://dynamicglass.ca>) [4]

2. ábra: A low-E üveg működése

használható keménybevonatos síküvegek is. Ezek a történelmi, kétrétegű ablakok akár külső, akár belső rétegébe beépíthetők – a low-E bevonatos oldalukkal a légréteg felé nézve –, ezzel az üvegréteg közti hőátbocsátási ellenállást jócskán növelve! [2,3,4,5] Az EN ISO 10077-1 szabvány alapján a kétrétegű ablakok hőátbocsátási tényezőjének számításához szükséges mindkét ablakréteg üvegezésének légréteg felőli felületi hőátadási ellenállásának ismerete. A szabvány „A” melléklete által közölt R_{si} és R_{se} felületi hőátadási ellenállások azonban csak normál ($> 0,8$) emissziójú üvegek esetén alkalmazhatók. Alacsony emissziós bevonat esetén a felületi hőátadási ellenállásokat az ISO 6946:2007 szabvány „A” melléklete szerint kell kiszámolni: (1. képlet) [2,6]

$$R_{si} = \frac{1}{h_{ci} + h_{ri}} \quad (1)$$

ahol

h_{ci} : konvektív együttható [W/(m²K)],

ablakoknál: $h_{ci} = 2,5$ W/(m²K); $h_{ce} = 4$ W/(m²K)

h_{ri} : sugárzási együttható [W/(m²K)], $\epsilon = 0,13$ emissziós tényezőjű low-E bevonat és $T_{mi} = 0^\circ\text{C}$ ill. $T_{me} = 20^\circ\text{C}$ felületi hőmérséklet esetén $h_{ri} = 0,743$ W/(m²K); $h_{re} = 0,601$ W/(m²K)

A fenti paramétereket behelyettesítve az (1.) képletbe egy átlagos, $\epsilon = 0,13$ emissziós tényezőjű low-E üvegezésű kétrétegű ablak külső ablakrétegének belső felületi hőátadási ellenállása a másik réteg figyelembe vétele nélkül $R_{si} = 0,308$ (m²K)/W értékre, míg a belső ablakrétegének külső felületi hőátadási ellenállása a másik réteg figyelembe vétele nélkül $R_{se} = 0,217$ (m²K)/W értékre adódik.

A számított felületi hőátadási ellenállásokból immár meghatározható a low-E bevonatos üvegtábla hőátbocsátási tényezője, mely 4 mm-es vastagság esetén $U_g = 2,8$ W/(m²K) értékre adódik.

A low-E bevonatos ablakrétegek felületi hőátadási tényezőjének számítása után a kapott értékeket felhasználva az ISO 6946:2007 B melléklete alapján számolható a közbenső légréteg R_s hővezetési ellenállása (2. képlet) [6]:

$$R_s = \frac{1}{h_a + h_r} \quad (2)$$

ahol

h_a : hőáramlási együttható [W/(m²K)]; $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ hőmérsékletkülönbség esetén kétrétegű geréb- vagy pallótokos ablakoknál $h_a = 1,982$ W/(m²K)

h_r : sugárzási együttható [W/(m²K)]; $h_r = 0,654$ W/(m²K) egy réteg low-E üveg esetén, és $h_r = 0,355$ W/(m²K) két réteg low-E üveg esetén (normál üveg $\epsilon = 0,9$ és low-E üveg $\epsilon = 0,13$)

Low-E bevonatos üveg a történelmi ablak külső, belső, vagy mindkét ablakszárnyába beépíthető. Az alábbi táblázat (1. táblázat) összegzi e lehetséges üvegcserek hatását az ablak különböző hőtechnikai paramétereire.

Low-E üvegcsérés ablakok esetén a fenti táblázatban látható megfelelő értékek behelyettesíthetők a cikksorozatunk előző részében ismertetett numerikus számítási módszer megfelelő képletébe, és így kiszámítható a felújított ablakok hőátbocsátási tényezője. A Magyarországon legjellemzőbb, 55–70%-os üvegfelület arányú, 45 mm-es luc- vagy vörösfenyő keretű, kétrétegű, történelmi ablakok esetén

ezen U_w értékeket a 2. táblázat foglalja össze. A táblázat tanúsága szerint egy réteg low-E üvegcsérével a társított szerkezet nélküli palló- vagy gerébtokos ablakok U_w hőátbocsátási tényezője 1,45-1,57 W/(m²K) értékre adódik, spaletta megléte mellett 1,28-1,37 W/(m²K), redőny megléte mellett pedig 1,32-1,41 W/(m²K) értékre csökkenthető az átlagos U_w érték. Két réteg low-E üvegcsérével a társított szerkezet nélküli palló- vagy gerébtokos ablakok U_w hőátbocsátási tényezője 1,38-1,47 W/(m²K) értékre adódik, míg spaletta megléte mellett 1,22-1,29 W/(m²K), redőny megléte mellett pedig 1,26-1,33 W/(m²K) értékre csökkenthető az átlagos U_w érték.

| kétrétegű ablak felépítése | külső ablakréteg üvegezésének hőátbocsátási tényezője | belső ablakréteg üvegezésének hőátbocsátási tényezője | külső ablakréteg belső felületi hőátadási ellenállása | belső ablakréteg külső felületi hőátadási ellenállása | légréteg hőátbocsátási ellenállása |
|----------------------------|---|---|---|---|------------------------------------|
| | U_{g1} | U_{g2} | R_{si} | R_{se} | R_s |
| | W/m ² K | W/m ² K | m ² K/W | m ² K/W | m ² K/W |
| Eredeti állapot | 5,8 | 5,8 | 0,13 | 0,04 | 0,180 |
| Belső rétegen low-E üveg | 5,8 | 2,8 | 0,13 | 0,217 | 0,379 |
| Külső rétegen low-E üveg | 2,8 | 5,8 | 0,308 | 0,04 | 0,379 |
| Mindkét rétegen low-E üveg | 2,8 | 2,8 | 0,308 | 0,217 | 0,428 |

1. táblázat: **Eltérő rétegek low-E üvegcséréjének hatása a különböző hőtechnikai paraméterekre [2]**

| Üvegezés aránya: A_g/A_w | U_w [W/(m ² K)] | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| | Nem passzívított | | | Passzívított | | | Passzívított + 1 rtg low-E üvegcsere | | | Passzívított + 2 rtg low-E üvegcsere | | |
| | Társított szerkezet nélküli | Spalettaval átlagosan | Redőnyvel átlagosan* | Társított szerkezet nélküli | Spalettaval átlagosan | Redőnyvel átlagosan* | Társított szerkezet nélküli | Spalettaval átlagosan | Redőnyvel átlagosan* | Társított szerkezet nélküli | Spalettaval átlagosan | Redőnyvel átlagosan* |
| 55% | 2,076 | 1,751 | 1,817 | 1,993 | 1,690 | 1,752 | 1,454 | 1,278 | 1,317 | 1,383 | 1,222 | 1,258 |
| 56% | 2,096 | 1,766 | 1,833 | 2,012 | 1,704 | 1,767 | 1,462 | 1,284 | 1,324 | 1,389 | 1,227 | 1,263 |
| 57% | 2,116 | 1,780 | 1,849 | 2,030 | 1,717 | 1,781 | 1,470 | 1,291 | 1,330 | 1,395 | 1,231 | 1,268 |
| 58% | 2,136 | 1,786 | 1,864 | 2,049 | 1,731 | 1,796 | 1,478 | 1,297 | 1,337 | 1,401 | 1,236 | 1,273 |
| 59% | 2,156 | 1,809 | 1,880 | 2,067 | 1,744 | 1,810 | 1,486 | 1,303 | 1,344 | 1,406 | 1,240 | 1,277 |
| 60% | 2,176 | 1,824 | 1,895 | 2,086 | 1,758 | 1,825 | 1,494 | 1,309 | 1,350 | 1,412 | 1,245 | 1,282 |
| 61% | 2,196 | 1,839 | 1,911 | 2,104 | 1,771 | 1,839 | 1,502 | 1,316 | 1,357 | 1,418 | 1,250 | 1,287 |
| 62% | 2,217 | 1,854 | 1,927 | 2,122 | 1,785 | 1,853 | 1,510 | 1,322 | 1,363 | 1,424 | 1,254 | 1,292 |
| 63% | 2,237 | 1,868 | 1,942 | 2,141 | 1,798 | 1,868 | 1,518 | 1,328 | 1,370 | 1,429 | 1,258 | 1,296 |
| 64% | 2,257 | 1,883 | 1,958 | 2,159 | 1,812 | 1,882 | 1,526 | 1,334 | 1,376 | 1,435 | 1,263 | 1,301 |
| 65% | 2,277 | 1,897 | 1,973 | 2,178 | 1,825 | 1,897 | 1,534 | 1,341 | 1,383 | 1,441 | 1,268 | 1,306 |
| 66% | 2,297 | 1,912 | 1,989 | 2,196 | 1,839 | 1,911 | 1,541 | 1,346 | 1,389 | 1,447 | 1,272 | 1,311 |
| 67% | 2,317 | 1,926 | 2,004 | 2,215 | 1,852 | 1,925 | 1,549 | 1,352 | 1,395 | 1,453 | 1,277 | 1,316 |
| 68% | 2,337 | 1,941 | 2,019 | 2,233 | 1,865 | 1,939 | 1,557 | 1,359 | 1,402 | 1,458 | 1,281 | 1,320 |
| 69% | 2,358 | 1,955 | 2,035 | 2,251 | 1,879 | 1,953 | 1,565 | 1,365 | 1,408 | 1,464 | 1,286 | 1,325 |
| 70% | 2,378 | 1,970 | 2,050 | 2,271 | 1,893 | 1,968 | 1,572 | 1,370 | 1,414 | 1,470 | 1,291 | 1,330 |

2. táblázat: **Különböző felújítási módszerek hatása a kétrétegű, történelmi ablakok U_w hőátbocsátási tényezőjére**

*Az eltérő szerkezetű redőnyök miatt a redőnyszerkevény hatása az U_w érték számításában nem lett figyelembe véve a jobb összehasonlíthatóság érdekében

A fenti táblázat alapján megállapítható, hogy egy réteg low-E üvegcserével átlagosan 25-30%-kal, két réteg low-E üvegcserével pedig 29-35%-kal csökkenthetők a történelmi, kétrétegű ablakok hőátbocsátási tényezői. A táblázatban közölt low-E üvegcserés ablakok mindegyike még társított szerkezet nélkül is kielégíti a 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet 1. melléklete szerinti, fa vagy PVC keretszerkezetű homlokzati üvegezett nyílászárókra vonatkozó követelményszintjét [$U_w = 1,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$], bár a pályázati forrásból vagy támogatásból megvalósuló felújítások esetén hatályos, költségoptimalizált, illetve közel nulla követelményszintet [$U_w = 1,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$] nem éri el. Műemléki és helyi védelem alatt álló épületek esetén az energetikai megfelelés azonban nem is kötelező (lásd: Bevezetés), így a legtöbb esetben (az értékes üvegezéseket kivéve) a keménybevonatos low-E üvegcseré egy elfogadott kompromisszum a műemlékvédelem és az épületenergetika szempontjai között.

3. ábra: 1 rtg. keménybevonatos Low-E üveg beépítésének példája, Székesfehérvár, püspöki palota ablaka, hagyományos kittes megoldással



Vékony hőszigetelő üvegezés

A történelmi, kétrétegű ablakok transzmissziós hőátbocsátási tényezője az egyik rétegbe beépített vékony, hőszigetelő üvegszerkezettel is javítható. Ma már egyre több (sajnos főleg külföldi illetőségű) cég foglalkozik vékony hőszigetelő üvegezések (pl. 3 vagy 4 mm üveg – 4 vagy 6 mm gáztöltés – 3 vagy 4 mm low-E üveg) gyártásával történelmi és műemléki ablakszárnyakba (pl: *Histoglass, Thindow Double Glazed Units, Slenderglass, Slimlite Double Glazing, Rákossy Glass stb.*). Ezen hőszigetelő üvegszerkezetek kis vastagságukhoz képest meglepően alacsony U_g értékkel és kedvező hőtechnikai tulajdonságokkal rendelkeznek, köszönhetően néhány igen korszerű technológiai újításuknak: gáztöltésük magas koncentrációjú kripton vagy xenon (argon helyett), low-E bevonatuk rendkívül alacsony emissziójú, modern termikus távtartóval készülnek stb. [3,7]

Ablakszárnyba történő beépítésük többfajta módon képzelhető el. Műemlékvédelmi szempontból legkedvezőbb megoldás, ha az üvegfal mélyítése nélkül elhelyezhetők az eredeti szárnyban. Mivel Magyarországon a történelmi geréb- és pallótokos ablakok esetében a leggyakoribb a 10-12 mm-es üvegfal, így a 3-4-3-as, 3-4-4-es és esetleg a 3-6-3-as hőszigetelő üvegezések képesek falmélyítés nélkül illeszkedni a meglévő ablakszárnyba. Az üvegfal mélyítésével ennél vastagabb hőszigetelő üvegszerkezet beépítése is lehetséges, de ez sem esztétikai szempontból nem kedvező, sem pedig szerkezeti, kivitelezhetőségi okokból nem ajánlott. A hőszigetelő üvegezés fogadására lehetséges megoldás továbbá az ablakszárny formaazonos újragyártása, mely inkább akkor ajánlott, ha az eredeti menthetetlen állapotban van. [3]

A történelmi kapcsolt gerébtokos ablakok külső ablakszárnya gyakran díszes üvegosztókkal és további vékony alosztókkal tagolt, ezért ezeknél az ablakoknál a külső rétegbe nem építhető be a hőszigetelő üveg. Homlokzati, városképi és illeszkedési szempontból is kedvezőbb a belső ablakszárnyak üvegezésének cseréje, mivel a belső ablakszárnyak üvegcseréjével az épület külső, eredeti megjelenése nem változik meg. [3]

A régi nyílászárnyak megtartása ellen sokszor felhozott érv, hogy nem bírja el a nehezebb, hőszigetelő üvegezést. Kétségtelen, hogy a régi üvegtábláknál a hőszigetelő üvegezés kétszeres-háromszoros súlytöbblettel jár, de a 3 mm-es és annál vastagabb üveg már kiélkelhető keményfa ékekkel az ablakszárnyhoz, így az üveg saját síkjában jelentős terhet képes elviselni. E célra külön modern rendszerek is hivatottak, pl. rugós rögzítők, ezért felesleges az ön-hordó méretezés, és a vastag keretprofilok használata. Kiekeléssel a kismértékű vetemedés is korrigálható. [3]

4. ábra: hőszigetelő üvegezésű ablakok:

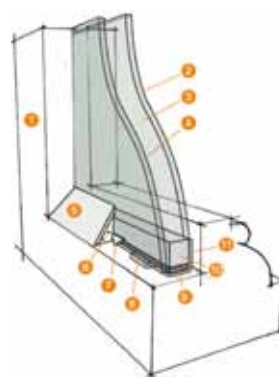
Bal: 3-4-3 Histoglass üvegezéssel ellátott, lenolajfestéssel felújított ablak – kiállítva a lipcsei Denkmalon 2008-ban

Jobb: Budapest, dunaparti lakás eredeti ablaka belső szárnyban egy 3-6-4-es üvegcserével



5. ábra: Vékony hőszigetelő üvegszerkezet felépítése

(forrás: <http://histoglass.co.uk/>) [7]



1. ablakszárny
2. 3mm low-E belső üvegréteg
3. 4 mm gázkamra
4. 3 mm külső üvegréteg
5. kitt „túlfestése” az üvegen 1-2 mm-rel
6. speciális kitt
7. rugós rögzítő
8. keményfa ék
9. kerület tömítése
10. alumínium profil
11. tömítés, kittagy

A hőszigetelő üvegszerkezetre cserélt üvegezésű történelmi, kétrétegű geréb- és pallótokos ablakok U_w hőátbocsátási tényezőjének számítása a cikksorozatunk előző részében ismertetett, az EN ISO 10077-1 szerinti numerikus számítási módszer (1. cikkrész 1. illetve 2. képlete) alapján végezhető el, két fontos változtatással:

Egyrészt tisztában kell lenni a beépíteni tervezett/beépített vékony hőszigetelő üvegszerkezet saját U_g hőátbocsátási tényezőjével, melyet a gyártók minden esetben megadnak [pl: a Histoglass 3-4-3-as szerkezete $U_g = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, a 3-6-3-as szerkezete $U_g = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, és az 1. cikkrész 2. képletbe ezt az értéket kell behelyettesíteni] [7].



Másrészt fontos, hogy hőszigetelő üvegszerkezetek esetén az 1. cikkrész 2. képletének számlálójában lévő utolsó tagot is figyelembe kell venni, mely az üvegbéépítés és a távtartó vonalmenti hőátbocsátási tényezőjének hatását szemlélteti. Ehhez ismerni kell az adott ablakrétegen az üvegezés kerületét (l_g), és a kiválasztott hőszigetelő üvegszerkezet távtartójának vonalmenti hőátbocsátási tényezőt (ψ_g), mely gyártói laborvizsgálatok, vagy az EN ISO 10077-1 szabvány E melléklete alapján vehető fel. A vékony hőszigetelő üvegszerkezeteket gyártók általában modern, melegperemes (hőhídmegszakító) távtartókat építenek az üvegszerkezetekbe, így fakeretű ablakok esetén vonalmenti hőátbocsátási tényezőnek $\psi_g = 0,06 \text{ W/mK}$ érték vehető fel² [8].

A Magyarországon legjellemzőbb, 55–70%-os üvegfelület arányú, 45 mm-es luc vagy vörösfenyő keretű, átlagos osztású és átlagos üvegezés kerületű kétrétegű, vékony hőszigetelő üvegszerkezetekkel ellátott történelmi ablakok U_w értékeit a 3. táblázat foglalja össze. A táblázat tanúsága szerint a 3–4–3-as ($U_g = 1,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) hőszigetelő üvegszerkezet beépítésével a társított szerkezet nélküli palló- vagy gerébtokos ablakok U_w hőátbocsátási tényezője $1,45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ értékre adódik, míg spaletta megléte mellett $1,27 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, redőny megléte mellett pedig $1,31 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ értékre csökkenthető az átlagos U_w érték³.

A kicsit vastagabb, 3–6–3-as ($U_g = 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) hőszigetelő üvegszerkezet beépítésével a társított szerkezet nélküli palló- vagy gerébtokos ablakok U_w hőátbocsátási tényezője a low-E üvegcserekkal elérhető értéknél kedvezőbb, $1,34 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ értékre adódik, míg spaletta megléte mellett $1,19 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, redőny megléte mellett pedig $1,22 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ értékre csökkenthető az átlagos U_w érték (lásd 3. táblázat).

A történelmi, kétrétegű ablakok transzmissziós hőátbocsátási tényezőjének további javítására az előző és a jelen pontban ismertett felújítási módszerek kombinálhatók (a történelmi ablak egyik szárnyába hőszigetelő üvegszerkezetet építve, a másik szárnyában lévő üveget pedig low-E üvegre cserélve). Ez esetben az 1. táblázat 2. vagy 3. sorának hőátadási ill. hőátbocsátási ellenállás értékeit felhasználva lehet az imént ismertett számításokat elvégezni. A belső rétegen 3–4–3-as hőszigetelő üvegszerkezettel ellátott, külső rétegen pedig keménybevonatos low-E üvegcserevel felújított 55–70%-os üvegfelület arányú, 45 mm-es luc vagy vörösfenyő keretű, átlagos osztású és üvegezés kerületű kétrétegű, társított szerkezet nélküli palló- vagy gerébtokos ablakok U_w hőátbocsátási tényezője $1,13 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ értékre adódik, míg spaletta megléte mellett $1,02 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, redőny megléte mellett pedig $1,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ értékre csökkenthető az átlagos U_w érték. Hasonlóan, 3–6–3-as hőszigetelő üvegszerkezet és low-E üvegcsere esetén a társított szerkezet nélküli ablakok U_w hőátbocsátási tényezője $1,06 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ értékre adódik, míg spaletta megléte mellett $0,96 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, redőny megléte mellett pedig $0,99 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ értékre csökkenthető az átlagos U_w érték (lásd 3. táblázat).

A belső szárnyon hőszigetelő üvegszerkezettel ellátott, külső szárnyon pedig low-E üvegcserevel felújított, 55–70%-os üvegfelület arányú, 45 mm-es luc vagy vörösfenyő keretű, átlagos osztású és üvegezés kerületű kétrétegű, történelmi ablakok U_w

| 55-70%-os üvegfelületű, 45 mm-es keretű, passzívított kétrétegű történelmi fa ablak | U_w [W/(m ² K)] | | |
|---|------------------------------|-----------------------|----------------------|
| | Társított szerkezet nélkül | Spalettaval átlagosan | Redőnyrel átlagosan* |
| Belső oldalon 3-4-3 hőszig. üvegszerkezet** beépítésével | 1,45 | 1,27 | 1,31 |
| Belső oldalon 3-4-3 hőszig. üvegszerk.**, külső oldalon low-E üvegcsere | 1,13 | 1,02 | 1,05 |
| Belső oldalon 3-6-3 hőszig. üvegszerkezet** beépítésével | 1,34 | 1,19 | 1,22 |
| Belső oldalon 3-6-3 hőszig. üvegszerk.**, külső oldalon low-E üvegcsere | 1,06 | 0,96 | 0,99 |

3. táblázat: Különböző felújítási módszerek hatása a kétrétegű, történelmi ablakok U_w hőátbocsátási tényezőjére

*Az eltérő szerkezetű redőnyök miatt a redőnyszerkevény hatása az U_w érték számításában nem lett figyelembe véve a jobb összehasonlíthatóság érdekében

**Az üvegezés kerületeként a korra legjellemzőbb (középfelnyíló, vízszintes tokosztós), általános kialakítású ablak esetén mérhető hosszát vettük fel, az üvegezés arányának figyelembe vételével (65%-os üvegezés aránynál 12,0 m)

hőátbocsátási tényezője már kielégíti a 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet költségoptimalizált, illetve közel nulla követelményszintjét is [$U_w = 1,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$].

Gazdaságosság

Az ablakfelújítás vagy ablakcsere gazdaságosságát a beruházási költség, illetve a megtakarított energiaköltség jellemzi. A gazdaságosságot többféle mutatóval lehet leírni, ezek közül most kétféle indikátort ismertetünk:

- Egyszerű megtérülési idő: a legegyszerűbb, általános használt mutató, mely azt mutatja meg, hogy hány év alatt kapjuk vissza a befektetett összeget az éves megtakarításokból. Hátránya, hogy a pénz értékének időbeli változását nem veszi figyelembe, illetve a megtérülési időn túli hozamokat figyelmen kívül hagyja.
- Globális költség: a beruházási költség, illetve az energiaköltségek és fenntartási költségek összege jelenértéken a számítási időszakra, mely lakóépületek esetén 30 év [10]. Az energetikai tanúsítás szabályait leíró 176/2008 (VI. 30.) kormányrendelet erre a módszerre hivatkozik költséghatékonysági vizsgálatok esetén [11].

A gazdaságosság megítéléséhez tájékoztatásul a kapcsolt gerébtokos ablakok energetikai felújítási lehetőségeit, illetve referenciaként az ablak műanyag ablakra való cseréjét vizsgáltuk 1 m^2 ablakfelületre vetítve (3. táblázat). A vizsgálat nem konkrét épületre készült, ezért általános feltételezéseken alapszik.

²A legmodernebb melegperemű távtartók (pl: Swisspacer, TGI) akár $\psi_g \leq 0,04 \text{ W/mK}$ értékkel is rendelkezhetnek a gyártó által elvégzett mérések alapján, amely tovább javítja a hőszigetelő üvegszerkezettel ellátott ablakok U_w értékét [9].

³A 2. és 3. táblázatokat összevetve megállapítható, hogy a ritka, 3–4–3-as [$U_g = 1,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$] hőszigetelő üvegszerkezet beépítésével az adott ablak U_w hőátbocsátási tényezője nem lesz lényegesen kisebb, mint egy réteg (keménybevonatos) low-E üvegcsere esetén, sőt, 69%-os üvegarány alatt némileg magasabb lesz, mint mindkét réteg low-E üvegcsereje esetén. Ezért a 3–4–3-as hőszigetelő üvegszerkezet beépítése energetikai szempontból csak akkor célszerű, ha a valamilyen okból kifolyólag az adott történelmi ablaknak csak az egyik szárnyán hajtható végre üvegcsere, egyéb esetben mindkét ablakréteg üvegtáblájának low-E üvegre való cseréje gazdaságosabb.

A beruházási költséget árajánlatok és költségbecslés segítségével határoztuk meg (27% áfával). A megadott költségek átlagárak, a tényleges költség függ a kiszállási díjtól, a felújítandó ablakok darabszámától, az üvegezés alakjától stb. Nem vettük figyelembe az ablak egyébként is szükséges karbantartási munkáit, festését.

Az ablak a fűtési energiaigényt háromféle módon befolyásolja [1]:

- A szerkezet transzmissziós hővesztése az ablak hőátbocsátási tényezőjétől függ:

$$Q_{F,ir} = 72 \times A \times U \quad [\text{kWh/a}] \quad (3)$$

ahol

72: a konvencionális hőfokhíd ezredrésze [khK],

A: ablak felülete [m²],

U: ablak hőátbocsátási tényezője [W/m²K].

A szellőzési hővesztéseket alapvetően a biológiailag szükséges minimális légcsereszám határozza meg, de régi ablakok esetén az energetikai rendelet előírja a tömítetlenségéből származó légcserenövekedés figyelembe vételét:

$$Q_{F,szell} = 72 \times 0,35 \times (n+n_T) \times V \quad [\text{kWh/a}] \quad (4)$$

ahol

0,35: a levegő sűrűségének, fajhőjének és a mértékegység

átváltásához szükséges tényezőknek a szorzata,

n: átlagos légcsereszám [1/h], lakóépületek esetén 0,5 1/h,

n_T: tömítetlenségéből származó légcserenövekedés [1/h], gyenge légzárású, egy homlokzaton elhelyezkedő ablakok, 3-6 szintszámú, szélvédett épület esetében 0,2 1/h, közepes légzárású hasonló ablakok esetén 0,05 1/h, jó légzárású hasonló ablakok esetén 0,0 1/h,

V: fűtött térfogat [m³], 1 m²ablakra 20 m³ térfogatot feltételeztünk.

- A sugárzási nyereségek: az ablakhoz a veszteségek mellett nyereségek is kötődnek, melyek a fűtési igényt csökkentik:

$$Q_{sd} = \varepsilon \sum A_{\sigma} g Q_{TOT} \quad [\text{kWh/a}] \quad (5)$$

ahol

ε: hasznosítási tényező, nehéz épületek esetén 0,75,

A_σ: az üvegezés felülete [m²], átlagos 65%-os üvegezési arányt feltételeztünk,

g: az üvegezés összesített sugárzásátbocsátó képessége,

Q_{TOT}: a hagyományos fűtési idényre vonatkozó sugárzási energiahozam [kWh/m²a], K-Ny-i tájolást feltételezve 200 kWh/m²a.

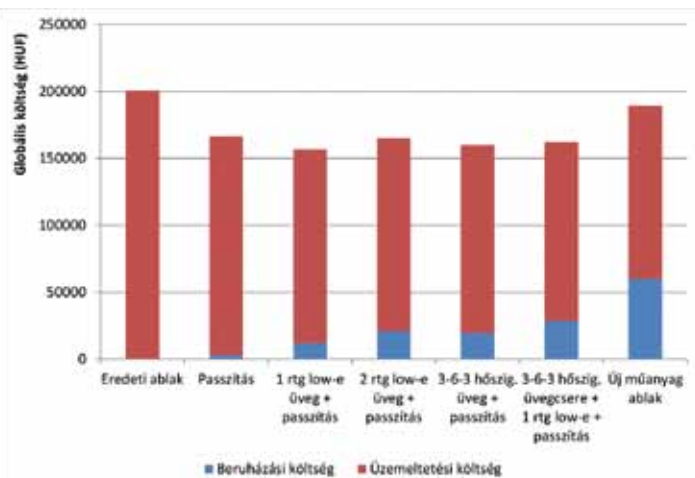
Az energiaköltség a nettó fűtési igényen kívül a fűtési rendszer hatásfokától és az energiahordozótól függ. Nyilvánvalóan nem mindegy, hogy egy jó vagy rossz hatásfokú kazán esetén takarítunk meg ugyanannyi energiaigényt. Három jellemző földgáz üzemű hőtermelőt vettük figyelembe, egy rossz hatásfokú gázkonvektort (C_k = 1,4), egy állandó hőmérsékletű kazánt (C_k = 1,3), illetve egy jó hatásfokú kondenzációs kazánt (C_k = 1,01). A fűtési rendszer egyéb veszteségeit és segédenergiaigényét nem vesszük figyelembe, mert az ablak felújítása/cseréje ezekre nincs hatással.

Jelentősen befolyásolja az eredményeket az energiahordozó ára, illetve amennyiben a pénz időértékét is figyelembe vesszük, a feltételezett diszkontráta és az energiahordozók árának jövőbeli

emelkedése. Magyarországon a földgáz ára az utóbbi években jelentősen csökkent, ezért a megtérülési mutatókat 2016-os (12 Ft/kWh) és 2012-es (16 Ft/kWh) árakkal is megadjuk. A feltételezett diszkontráta 3%, a földgáz árának jövőbeli emelkedése 2,8%.

| | Eredeti ablak | Passzítás | 1 réteg low-e üveg + passzítás | 2 réteg low-e üveg + passzítás | 3-6-3 hősziget. üveg + passzítás | 3-6-3 hősziget. üveg + 1 réteg low-e + passzítás | Új műanyag ablak | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--|------------------|---------|---------|------|
| U-érték (W/m ² K) | 2,277 | 2,178 | 1,534 | 1,441 | 1,34 | 1,06 | 1,15 | | | |
| g-érték | 0,75 | 0,75 | 0,7 | 0,65 | 0,65 | 0,6 | 0,5 | | | |
| Légcsereszám (1/h) | 0,7 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,5 | | | |
| Beruházási költség (Ft/m ²) | 0 | 3200 | 12200 | 21200 | 19700 | 28700 | 60000 | | | |
| 2016-os energiák | fűtési költség megtakarítás (Ft/év) | gázkonvektor | 0 | 1385 | 2080 | 2110 | 2232 | 2488 | | |
| | | áll. hőm. kazán | 0 | 1266 | 1931 | 1960 | 2073 | 2310 | 2450 | |
| | | kond. kazán | 0 | 1039 | 1560 | 1583 | 1674 | 1866 | 1979 | |
| | megtérülési idő (év) | gázkonvektor | | 2 | 6 | 10 | 9 | 12 | 23 | |
| | | áll. hőm. kazán | | 2 | 6 | 11 | 10 | 12 | 24 | |
| | | kond. kazán | | 3 | 8 | 13 | 12 | 15 | 30 | |
| | globális költség (Ft) | gázkonvektor | 216 256 | 179 128 | 167 901 | 178 013 | 170 968 | 172 517 | 199 444 | |
| | | áll. hőm. kazán | 209 809 | 166 561 | 156 779 | 164 955 | 160 163 | 162 244 | 189 484 | |
| | | kond. kazán | 162 192 | 135 146 | 128 975 | 137 310 | 133 151 | 136 563 | 164 563 | |
| | 2012-es energiák | fűtési költség megtakarítás (Ft/év) | gázkonvektor | 0 | 1842 | 2785 | 2806 | 2968 | 3308 | 3507 |
| | | | áll. hőm. kazán | 0 | 1710 | 2568 | 2605 | 2756 | 3072 | 3257 |
| | | | kond. kazán | 0 | 1381 | 2074 | 2104 | 2226 | 2481 | 2631 |
| megtérülési idő (év) | | gázkonvektor | | 2 | 4 | 8 | 7 | 9 | 17 | |
| | | áll. hőm. kazán | | 2 | 5 | 8 | 7 | 9 | 18 | |
| | | kond. kazán | | 2 | 6 | 10 | 9 | 12 | 23 | |
| globális költség (Ft) | | gázkonvektor | 287 496 | 237 064 | 219 193 | 227 013 | 220 800 | 219 896 | 245 381 | |
| | | áll. hőm. kazán | 266 962 | 220 378 | 204 408 | 212 312 | 206 436 | 205 238 | 232 140 | |
| | | kond. kazán | 215 623 | 178 613 | 167 445 | 175 560 | 170 525 | 172 096 | 199 036 | |

4. táblázat: Ablakok energetikai felújításának gazdaságossági mutatói 1 m² ablakfelületre vetítve (tájékoztató értékek)



6. ábra: Különböző változatok 30 évre vetített globális költsége, állandó hőmérsékletű kazánt feltételezve, 1 m² ablakfelületre

A passzítás viszonylag olcsó és nagyon rövid idő alatt megtérülő beruházás (2-3 év), emiatt ez az intézkedés ajánlható elsőként. A passzítás egy réteg low-E üvegcserevel kombinálva 6-8 éves megtérülést eredményez, két réteg low-E üvegcsere esetén azonban magasabb a megtérülési idő, csakúgy mint a hőszigetelő üvegezés beépítése esetén (9-13 év). Az új, háromrétegű műanyag ablakok megtérülési ideje nagyon hosszú (23-30 év), megközelíti vagy meghaladja az ablak várható élettartamát. Magasabb energiaárak esetén a megtérülések természetesen még kedvezőbbek.

A globális költségeket tekintve a passzítás + 1 réteg low-E üvegezés, illetve a vékony hőszigetelő üvegezés a legkedvezőbb változatok (6. ábra). Hangsúlyozzuk, hogy a globális költség nem tartalmazza a lakás vagy épület teljes fűtési költségét, csak az 1 m² ablak hővesztése miatti fűtési költségeket, ezért az abszolút értékek nem, csak a globális költségek egymáshoz viszonyított relatív különbsége érdemel figyelmet. A lakás/épület összes globális költsége

ennél jóval magasabb lesz, mivel az ablak a hőveszteségeknek csak viszonylag kis részéért felel (belvárosi bérházakban a nyílászárók transzmissziós vesztesége a hőveszteség kb. 15%-a).

A diszkontráta hatását a táblázat nem mutatja, annak változtatása befolyásolja a globális költséget, de 2-4%-os diszkontráta esetén a változatok sorrendje azonos marad.

A közölt értékek tájékoztató jellegűek. A konkrét esetben (eltérő tájolás, benapozottság, légzársági szint stb.) esetén a gazdaságossági értékek változhatnak.

Konklúziók

A számítások bizonyítják, hogy a történelmi kétrétegű fa ablakszerkezetek hőátbocsátási tényezője különböző felújítási lehetőségekkel különböző mértékben, de hatékonyan mérsékelhető. Ezen ablakokat gyakran kibontják és műanyagra cserélik, pedig a történelmi ablakszerkezetek szakszerű felújításával épületfizikai tulajdonságaik jelentősen javíthatók. Cikkünkben ismertettük az építészeti és műemlékvédelmi szempontból is szóba jöhető felújítási lehetőségeket, és ezeket a történelmi, kétrétegű ablakok széles skáláján vizsgálva az EN ISO 10077 szerinti szabványos számítási módszerrel, meghatároztuk a korra jellemző ablakok U_w értékeit. Az eredménytáblázatokban megadott hőátbocsátási tényezők harmonizált európai szabvány szerinti értékek.

A táblázatok segítségével egyszerűen és gyorsan kikereshetőek a különböző paraméterű ablakok hőátbocsátási tényezői, eredeti és eltérő módon felújított állapotukban. Ez szemléletessé teszi a kétrétegű, történelmi ablakokban rejlő épületfizikai potenciált, és tájékoztató viszonyítási alapot nyújt a felújítással elérhető eredményekre vonatkozóan.

A hazánkra jellemző kialakítású, passzívított kapcsolt gerébtokos ablakok hőátbocsátási tényezője $1,9-2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ között mozog, társított szerkezettel (redőnnyel vagy spalettával) pedig az átlagos U_w értékük $1,7-2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ közötti. Ezen értékek egy réteg low-E üvegcserével átlagosan 25-30%-kal, két réteg low-E üvegcserével 29-35%-kal mérsékelhetők, 3-4-3-as hőszigetelő üvegszerkezet beépítésével 25-36%-kal, 3-6-3-as hőszigetelő üvegszerkezet beépítésével pedig 31-41%-kal csökkenthetők. E két módszert kombinálva, az egyik rétegen low-E üvegcserét alkalmazva, a másik rétegen pedig 3-4-3-as hőszigetelő üvegezést beépítve az ablak U_w értéke átlagosan 40-50%-kal mérsékelhető, míg a low-E üvegcserét 3-6-3-as hőszigetelő üvegszerkezettel párosítva az ablak hőátbocsátási tényezője 43-53%-kal csökkenthető.

Ez utóbbi esetekben a felújított geréb- és pallótokos ablakok U_w értéke már kielégíti a 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet költségoptimalizált követelményszintjét [$U_w = 1,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$]. Mindez világosan bizonyítja, hogy a történelmi ablakszerkezetek szakszerű felújításával épületfizikai tulajdonságaik jelentősen javíthatók.

Gazdaságossági szempontból a passzívítás, az 1 rtg. low-E üvegcseré, illetve a vékony hőszigetelő üvegezés is kedvezőnek bizonyult, az intézkedések megtérülési ideje és globális költsége is alacsonyabb, mint egy új műanyag ablakra való csere esetén.

Léteznek egyéb, értékvédelmi szempontból és energetikailag is kedvező felújítási megoldások, melyekre a cikk terjedelmi okok miatt nem tér ki. Például a légrétegben elhelyezett, textil vagy cel-lás árnyékolók is kedvezőnek bizonyultak [12].

Fontos megjegyezni, hogy bár bizonyos felújítási változatok megfelelnek a 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet 1. melléklet szerinti, sőt a költségoptimalizált követelményszintjének is, ez műemléki, védett épületek esetén nem kötelező (lásd: Bevezetés). Ilyen esetekben is

célszerű azonban az épület energetikai jellemzőit javítani olyan határig, ameddig az értékvédelmi szempontból elfogadható. Védettséget nem élvező történelmi épületek esetén, az energiamegtakarítású célú felújítással érintett szerkezeteknek meg kell felelnie a követelményeknek. Kérdéses azonban, hogy amennyiben egy lakásban saját forrásból csak az üvegezést cseréljük ki, alkalmazandó-e ez a passzus. Történelmi épületek pályázati forrásból megvalósuló felújítása során érdemes lenne felülvizsgálni a jelenlegi szabályozást, és az állami vagy önkormányzati pályázati kiírásokban az értékvédelmi szempontokat is figyelembe véve könnyítéseket, kevésbé szigorú követelményeket megfogalmazni ilyen épületek esetén. A passzívítás, a keménybevonatos low-E üvegcseré, illetve esetenként a vékony hőszigetelő üvegezések beépítése olyan intézkedések, amelyeket szükséges lenne állami forrásból is támogatni, mivel ennek hiányában a belvárosi lakóépületek értékes, megőrzése méltó, viszonylag egyszerűen felújítható ablakai sajnos előbb-utóbb elvesznek. Ilyen problémákra keresi a választ a *Historikus városi szövet megújítása* c. kezelési kézikönyv is. [4;13]

Cikksorozatunk utolsó, a következő lapszámban megjelenő részében bemutatjuk a történelmi, kétrétegű ablakok természetes filtrációjának mérséklési lehetőségeit, a filtrációs ($U_{w,inf}$) és transzmissziós ($U_{w,tr}$) hőátbocsátási tényezőjük ezzel elérhető javulását, ugyanakkor a hagyományos szellőzészű lakóterek páramérlegének számításával ismertetjük e nyílászárók szükséges természetes filtrációját.

Köszönetnyilvánítás

A cikk részben Szűts László: *Történelmi ablakszerkezetek hőtechnikai jellemzőinek vizsgálata* c. MSc diplomamunkáján alapszik. Szalay Zsuzsa munkáját a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatta.

Irodalom:

- [1] 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról
- [2] Szűts László: *Történelmi ablakszerkezetek hőtechnikai jellemzőinek vizsgálata*. MSc Diplomamunka, BME Építőmérnöki Kar, 2012.
- [3] www.ablakprofilok.hu (2016. 04. 12.)
- [4] www.dynamicglass.ca (2016. 04. 20.)
- [5] http://www.yourglass.com/agc-glass-europe/gb/en/technical_document/planibelg_tds.pdf (2016. 04. 20.)
- [6] MSZ EN ISO 6946:2008 *Épületszerkezetek és épületelemek. Hővezetési ellenállás és hőátbocsátás. Számítási módszer.*
- [7] www.histoglass.co.uk (2016. 04. 20.)
- [8] MSZ EN ISO 10077-1:2007 *Ajtók, ablakok és társított szerkezetek hőtechnikai viselkedése. A hőátbocsátási tényező számítása. 1. rész: Általános előírások.*
- [9] http://www.swisspacer.com/sites/en/files/Performance_Table_EN.pdf (2016.04.20)
- [10] A Bizottság 244/2012/EU felhatalmazáson alapuló rendelete (2012. január 16.)
- [11] 176/2008. (VI. 30.) kormányrendelet az épületek energetikai jellemzőinek tanúsításáról
- [12] Bakonyi Dániel, Dobszay Gergely: *Simulation aided optimization of a historic window's refurbishment*. *Energy and Buildings* 126: pp. 51-69 (2016)
- [13] BME Lakóépülettervezési Tanszék: *Historikus városi szövet megújítása. Történelmi épületállomány energetikai fejlesztése. Vezetői összefoglaló és kezelési kézikönyv*, Budapest, 2016.