

# A nyílászárók légzárási teljesítménycsökkenésének hatása a filtrációs hőveszteségre

BENCSIK Balázs<sup>1</sup>, KOVÁCS Zsolt<sup>1</sup>, DÉNES Levente<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nyugat-magyarországi Egyetem, Simonyi Károly Kar, Terméktervezési és Gyártástechnológiai Intézet

## Kivonat

Az utóbbi években a nyílászárók fejlesztése leginkább a tok és a szárnykeret, valamint az üvegezés U-értékének csökkentésére irányult. A legkézenfekvőbb megoldás a transzmissziós hőáramlás mérséklésére a tok-szárnyprofil vastagságának növelése, valamint az alacsonyabb hővezetési értékkel rendelkező anyagok alkalmazása. A nyílászárók transzmissziós hővesztesége mellett azonban számolni kell a filtrációból eredő energiaveszteséggel is, amely az ablakok légzárási teljesítményével áll szoros kapcsolatban. Az ismertetett kutatásban négy ablakon végeztünk különböző időpontokban szabványos légzárási méréseket, majd a szabványban meghatározott nyomásértékeken mért légáteresztéshez tartozó filtrációs hőveszteséget hasonlítottuk össze a transzmissziós hőveszteséggel. A mérések során változtattuk a záródási pontok szorosságát, mesterségesen befolyásolva az ablak légáteresztését. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgálatba bevont ablakok légzárási teljesítménye a tárolás alatt jelentős mértékben csökkent, amely növekvő filtrációs energiaveszteséget vont maga után. Összehasonlítva a gyártás utáni és a tárolást követő filtrációs energiaveszteségeket az időben állandó transzmissziós hőveszteséggel, elmondható, hogy a filtrációs hőveszteség mindegyik próbatestnél meghaladta a transzmissziós hőveszteséget.

**Kulcsszavak:** ablak, légzáras, filtráció, hőveszteség, transzmisszió

## The effect of the reduced performance of windows on filtration heat losses

### Abstract

In recent years, window-related research and development focused mostly on sash and frame structure optimization and minimizing the glazing's U value. The most obvious solution to reduce the heat flow by transmission is increasing sash and frame profile thickness, or using materials with low thermal conduction coefficients. However, in addition to the window's transmission heat loss, we have to take the thermal energy loss caused by filtration into consideration. This is closely related to the air tightness of the window.

In this research, four different windows' heat loss values due to air filtration were determined using the standard European norms, and compared to the transmission heat loss. During the tests, the tightness and number of locking points were changed as primary factors responsible for air permeability. The main conclusion is that the air tightness performance of windows deteriorated significantly during storage. This, in turn, caused significant energy loss by filtration. The comparison of the two types of energy losses immediately after the manufacturing and after storage, revealed that the thermal loss by filtration exceeded the heat loss by transmission for all samples.

**Key words:** window, air tightness, filtration, heat loss, transmission

### Bevezetés

A modern lakóépületek tervezésekor, valamint épületfelújításkor a tervezőnek számos szabványt és előírást kell ismernie és alkalmaznia ahhoz, hogy alacsony energiaigényű és jó komfortérzetű épüle-

tet tervezhessen. A modern építőanyagok és építési technológiák alkalmazásával lehetővé váló racionális fűtési-hűtési energiafelhasználás reális igényként jelenik meg az építetők részéről (Specht 2010, Sieberath 2010). Az emberiség a világban megter-



melt energiának évente közel a felét az épületek energiaellátására használja fel (M. Orme 2001). Az Európai Unióban ez az érték 41% (Urbikain, 2009). Napjainkban a globális felmelegedés miatt egyre nagyobb figyelmet kell fordítanunk a megtermelt energia minél nagyobb hatásokkal történő hasznosítására. Az épületek tervezése során nagy gondot kell fordítani arra, hogy az a lehető legjobb energia hatékonyságú legyen. Nyári időszakban – ahol lehetséges – törekedni kell arra, hogy az épületek túlmelegedése ellen természetes szellőzéssel lehessen védekezni, ugyanis a jelentős mennyiségű elektromos energiát használó klímaberendezések nagymértékben hozzájárulnak az üvegházhatás kialakulásáért felelős gázok kibocsátásához. A természetes szellőztetéshez megfelelő méretű és elhelyezkedésű nyitható ablakokra van szükség, amelyek a fűtési időben megfelelő légzárási tulajdonságokkal rendelkeznek (Bangalee 2012).

Épületenergetikai szempontból kézenfekvő megoldást jelentene, ha fűtési időben a szellőző levegő mennyiségét csökkentenénk, azonban a légcsereszám jelentős csökkentésével megnő a beteg épület szindróma (SBS) kialakulásának esélye (Bánhidi 2000). A beteg épület szindróma a gyakorlatban számos esetben előfordul, különösen akkor, amikor a régebbi épületek rosszul záródó, nagy filtrációt eredményező nyílászáróit jobb légzárási teljesítményűekre cserélik anélkül, hogy a szükséges légcsereszámot biztosítanák. Mindezek figyelembevételével kijelenthető, hogy az épület légátöblítését a tervezett módon folyamatosan kell biztosítani és a „költség elvű” térfogatáram-számításnak nincs helye egy épület légtechnikai méretezésében (Magyar 2007). Hatályos szabvány rögzíti a helyiségek rendeltetésétől függő tartózkodási zónák követelményeit ( $t$ ,  $\phi$ ,  $k_{CO_2}$ ,  $h$  stb.), amelyek teljesülését egy modern épületben a tervezett légvezetési rendszer (LVR) hivatott biztosítani. A gépi és a gravitációs légvezetési rendszer tervezett működéséhez fontos ismerni az adott épületen található esetleges szabályozatlan infiltrációs helyeket, amelyek kedvezőtlenül befolyásolják az épület légátöblítését és a fűtési-hűtési energiafelhasználást (Poroszlay 2007). A jelenlegi épületgépészeti méretezési eljárások nem számolnak az egyes épületszerkezeti elemek teljesítményjellemzőinek időbeni változásával, melynek következtében diszkomfortérzet alakulhat ki, a megemelkedett energiafelhasználás mellett. Az építési termékek közül a nyílászárók teljesítményjellemzőinek változása

a leggyakoribb, ugyanis jelenlegi konstrukciójuknál fogva a legsérülékenyebb elemei az épületnek, hiszen az egyetlen, mozgó és naponta mozgatásnak kitett épületem. A nyílászárók teljesítményromlása különösen a passzívházaknál kritikus, ahol a nyílászárók teljesítménycsökkenése akár a passzívház minőségének elvesztéséhez is vezethet.

Ebben a cikkben vizsgálatokkal és számításokkal arra szeretnénk rámutatni, hogy az időben csökkenő légzárási teljesítménnyel miként változik az ablak filtrációs hővesztése, szemben az időben állandó transzmissziós hővesztéssel. A második mérésorozatot követő vasalattállításra kerestük a választ, hogy a megnövekedett légáteresztési értéket milyen mértékben lehet csökkenteni a zárás szorosságával. Ez azért kiemelten fontos a kutatásunk szempontjából, mivel a gyakorlatban számos esetben találkozhatunk rosszul beállított, vagy elállított, hibás működésű nyílászárókkal, amelyek a tervezett teljesítményjellemző értékeket nem biztosítják. Kutatásunk végső céljaként egy olyan robotizált termék kifejlesztését tűztük ki célul, amely képes az eredeti teljesítményjellemző értékeket nagy biztonsággal a teljes életciklusán keresztül az előírt értéken biztosítani. Az eredmény eléréséhez további tervezett kísérleteket kívánunk elvégezni, amelyek hozzájárulnak a termék degradációs modelljének felállításához is.

### Elméleti háttér

Egy épület hővesztése két részből, a szellőzési és a transzmissziós hővesztésből tevődik össze. Az épület nyílászárói mindkét veszteségben jelentős szerepet játszanak. A nyílászáró – mint építési termék – egy épület transzmissziós hővesztéséhez a hőátbocsátási tényezőjével ( $UW$ ,  $W/m^2K$ ), a szellőzési veszteségekhez pedig a szerkezet légáteresztésével járul hozzá (Zöld 2006).

A szabályozatlan légszivárgás három módon is hatással van az épület energiafelhasználására. Először is a környezetből a helyiségbe beáramló levegő hőmérsékletét növelni vagy csökkenteni kell. Másodszor, a beáramló levegő a helyiségben kialakuló páratartalom értékét is befolyásolja, amit szintén csak többlet energiával lehet szabályozni. A harmadik járulékos tényező akkor jelentkezik, ha az épület fűtési-hűtési rendszerének méretezése során nem számoltak a légszivárgásból adódó többlet energiával (Urbikain 2009).

Az épület 7/2006.(V.24.) TNM rendelet szerinti fajlagos hővesztégtényezője ( $q_m$ ,  $W/m^3K$ ) kö-

vetelményértékének teljesüléséhez, valamint a fűtés primer energiaigényének ( $E_f$ , kWh/m<sup>2</sup>a) minimális értéken tartásához mindkét teljesítményjellemzőt alacsony szintre kell hozni. A rendeletben meghatározott számításokhoz szükséges ismernünk az adott épület óránkénti légcsereszámát ( $n$ , 1/h). Energetikai számítás és épületgépészeti tervezés során a tervezőnek lehetősége van a légcsereszámot a követelményszabványból kivenni, és azzal számolni, de a pontosabb számítás érdekében, méréssel is meg lehet határozni, az ún. „Blower door” eljárással (Szánthó 2007). Egy passzívház méretezésénél elengedhetetlen a méréssel történő légcsereszám meghatározás. Passzívház esetében az 50 Pa-os nyomáskülönbséghez tartozó maximális kontrollálatlan légcsereszám megengedett értéke  $n_{50}=0,6$  1/h. Fokozott jelentőséggel bír, hogy ezt az értéket a lehető legkisebbre redukáljuk, ugyanis a tervezett légbevezetési rendszeren keresztül elegendő mennyiségű levegőt juttatunk az épületbe, melynek hőtartalmát jórészt a használt levegő hővisszanyeréséből fedezzük (Debreczy 2010). A nyílászárók résein, valamint a különböző szerkezeti elemeken, építési hézagokon átáramló levegő hőáramát a következő összefüggéssel számíthatjuk:

$$q_{fil} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t \quad [W] \quad [1]$$

ahol:

- $q_{fil}$  – az építési hézagokon átáramló levegő-hőárama [W]
- $\dot{V}$  – térfogatáram [m<sup>3</sup>/sec]
- $\rho$  – levegő sűrűsége [kg/m<sup>3</sup>]
- $c$  – levegő fajhője [J/kgK]
- $\Delta t$  – hőmérséklet-különbség [K]

Az új építésű lakóházaknál is elvárt az említett  $n=0,6$  1/h légcsereszám-érték. Olyan épületeknél, amelyek az MSZ EN 1991-1-4:2007-es szabvány szerinti I-es vagy II-es beépítettségi osztálynak megfelelő területen állnak, a szél sebességéből származó dinamikus nyomás (torlónyomás) akár két nagyságrenddel nagyobb nyomáskülönbséget is eredményezhet, mint a külső és belső oldali hőmérséklet, és az abból eredő légsűrűség különbség okozta 3-4 Pa nyomáskülönbség. Ez jelentős filtrációnövekedést okoz.

A szél sebességéből származó felületi torlónyomás alapértékét az MSZ EN 1991-1-4:2007-es szabvány szerint az alábbi összefüggéssel számíthatjuk:

$$p_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad [2]$$

ahol:

- $p_b$  – a felületre ható torlónyomás [Pa]
- $\rho$  – a levegő sűrűsége [kg/m<sup>3</sup>]
- $v_b$  – a szélesség alapértéke [m/s]

A szélesség alapértékét a következő összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0} \quad [3]$$

ahol:

- $v_b$  – szélesség alapértéke
- $C_{dir}$  – iránytényező, szabvány szerinti értéke  $C_{dir}=0,85$
- $C_{season}$  – évszaktényező, a szabvány nemzeti melléklete szerint Magyarországon ez az érték  $C_{season}=1$
- $V_{b,0}$  – szélesség kiindulási alapértéke [m/s], Magyarországon a szabvány szerinti értéke  $V_{b,0}=23,6$  m/s

A [3] összefüggésből következik, hogy Magyarországon a szélesség alapértéke 20,06 m/s, amiből a [2] összefüggés alapján 251,5 Pa-os felületi torlónyomás adódik ( $\rho=1,25$  kg/m<sup>3</sup>). A valóságban kialakuló nyomásérték az épület környezetének beépítettségétől és az épület magasságától függően akár a többszörösére is növekedhet. Egy fűtött épület homlokfelületén kialakuló eredő nyomáskülönbség a szél torlónyomásából és a külső és a belső tér hőmérsékletkülönbségéből származó nyomáskülönbségből adódik.

Az épület nyílászáróin a légcseréből származó hőveszteségek mellett transzmisszió útján is származnak további veszteségek, amelyek a nyílászárók hővezetési tényezőjével vannak összefüggésben. A homlokzati üvegezett nyílászárók hőátbocsátási teljesítményjellemzőinek határértékeit a – cikk írásának időpontjában – a 91/2002/EK Európai Unió Energetikai Direktívának megfelelően (EPBD) országonként saját rendeletben határozzák meg. Ez az érték passzívházaknál egységesen maximum 0,8 W/m<sup>2</sup>K lehet. Egy ablakon a transzmissziós hőáram a következő összefüggéssel számítható:

$$q_{tr} = A \cdot U \cdot \Delta t \quad [4]$$

ahol:

- $q_{tr}$  – transzmissziós hőáram [W]
- $A$  – felület [m<sup>2</sup>]
- $U$  – transzmissziós hőátbocsátási tényező [W/m<sup>2</sup>K]
- $\Delta t$  – hőmérséklet különbség [K]

Az épület határoló szerkezeteinek hőátbocsátásából származó hőveszteséget transzmissziós hőveszteségnek nevezzük. A transzmissziós hőáram számításához felhasznált transzmissziós hőátbocsátási tényező ( $U$ ) értéke nem tartalmazza a sugárzás útján kialakuló hőátadást.

### Anyag és módszer

Vizsgálatainkat négy különböző típusú és gyártmányú fa ablakon végeztük el. Az ablakok műszaki paramétereit az 1. táblázat, a vizsgálatok időpontjait a 2. táblázat tartalmazza. A táblázatban található hőátbocsátási tényezőket az EN ISO 10077-1:2000 szabvány szerint számítottuk, azonban ez az eredmény csekély mértékben változhat más számítási eljárás alkalmazása során (Elek 2011).

A vizsgálathoz igyekeztünk különböző méretű és záródású ablakokat összeválogatni. A légzárési vizsgálatokat az EN 1026:2001 szabvány szerint végeztük az ÉMI Nonprofit Kft. és a Nyugat-magyarországi Egyetem FAIMEI akkreditált ablakvizsgáló laboratóriumaiban. A szabványban meghatározott minden nyomásfokozaton mért légáteresztési értékhez kiszámítottuk a filtrációs hőáramokat, amelyeket a teljes ablakszerkezetre vonatkoztatott transzmissziós hőveszteséggel hasonlítottunk össze. Ezzel az összehasonlítással szeretnénk kihangsúlyozni, hogy a napjainkban fokozott figyelmet kapott hőátbocsátási tényező mellett nem elhanyagolható mértékű a nyílászáró résein keresztül kialakuló, szabályozatlan légcseréből származó filtrációs energiaveszteség. Az ablakokat először röviddel a gyártásuk után, 2007-ben vizsgáltuk, majd becsukott állapotban a vizsgáló laboratóriumban kerültek elhelyezésre. Egy évig tartó tárolás után három próbatesten ismételt légzárá-

si vizsgálatokat végeztünk vasalat- és tömítésállítás nélkül, majd a vasalatállítást követően ismét megmértük a próbatestek légáteresztését. Az állítás során a szárnyban található zárógombok excenterén állítottunk úgy, hogy a lehető legszorosabb zárást biztosítsa a tok és a szárny között. A 4. számú próbatestet közel négyéves tárolás után vizsgáltuk, hasonlóan az első három próbatesthez. A légzárési adatokból az 1. valamint az 5. összefüggések felhasználásával kiszámítottuk a különböző nyomásfokozatokhoz tartozó,  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  hőmérsékletkülönbség hatására kialakuló filtrációs és transzmissziós hőáramokat, amelyeket oszlopdiagramos formában (1–4. ábra) jelenítettük meg. Az oszlopdiagramon a mért értékekhez tartozó 95%-os konfidencia intervallumot is feltüntettük.

A második vizsgálat során minden nyomásfokozaton három ismételt mérést végeztünk, így lehetőség nyílt a vasalatállítás előtti, valamint vasalatállítás utáni filtrációs hőáram összehasonlítására. Az értékek különbségének szignifikanciáját varianciaanalízissel (ANOVA) állapítottuk meg. Mivel az 1., 3. és 4. számú ablakok oszlopdiagramjairól is jól látható az egyes vizsgálati beállításokhoz tartozó hőáramok különbsége, ezért az analízist csak a 2. számú próbatesten végeztük el, azért, hogy megbizonyosodjunk a különböző beállítások hatásairól.

Beállítások alatt értjük a gyártás utáni első mérési állapotot (1. beállítás), a raktározást követő első légzárési vizsgálat állapotát (2. beállítás), valamint az azt követő vasalatállítás utáni állapotot (3. beállítás). Az analízis alkalmazási feltételeit, miszerint a csoportok varianciája megegyezik, a hibák függetlenek, valamint az adatok normális eloszlást mutatnak az eljárás alkalmazása előtt ellenőriztük. A számításokat a STATISTICA programmal végeztük el.

**1. táblázat** A vizsgálatba bevont ablakok műszaki paramétereit

**Table 1** The characteristics of the tested Windows

Próbatest száma	Fafaj	mérete [mm]	Nyitási mód	Szárnyak száma	Gumitömítés száma	Fugahossz [mm]	Záródási helyek száma	Hőátbocsátási tényező $U$ [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]	Tok-szárny profiltagság [mm]
1.	Meranti	1230x1480	Bukónyíló	1	2	4914	7	1,46	68
2.	Fenyő	1780x2080	Bukónyíló	3	2	11640	9	1,58	68
3.	Fenyő	1500x3000	Bukónyíló	3	1	13100	11	1,46	68
4.	Fenyő	1230x1250	Bukónyíló	1	1	4930	8	1,46	68

**2. táblázat** A vizsgálatba bevont ablakok műszaki paramétereit

**Table 2** The characteristics of the tested Windows

próbatest száma	Vizsgálatok ideje	
	1. vizsgálat	2. vizsgálat
1.	2007.06.29	2008.06.06
2.	2007.06.16	2008.06.05
3.	2007.06.27	2008.06.04
4.	2007.07.25	2011.04.06

**Eredmények és kiértékelés**

Az 1–4. ábrák a vizsgált próbatestek filtrációs és transzmissziós hőáramait tartalmazzák 1 °C hőmérséklet-különbség mellett.

A 1. ábrán látható, hogy az 1. próbatest gyártás utáni filtrációs hőárama csak 450 Pa torlónyomáson és afölött haladta meg a transzmisszióból adódó hőáramot, míg ezzel szemben a tartós állást követően a megnövekedett légáteresztés hatására már 100 Pa nyomáson megközelítette és 150 Pa nyomáson már 0,2 W-tal meg is haladta a transzmissziós hőáram 2,6 Wattos értékét.

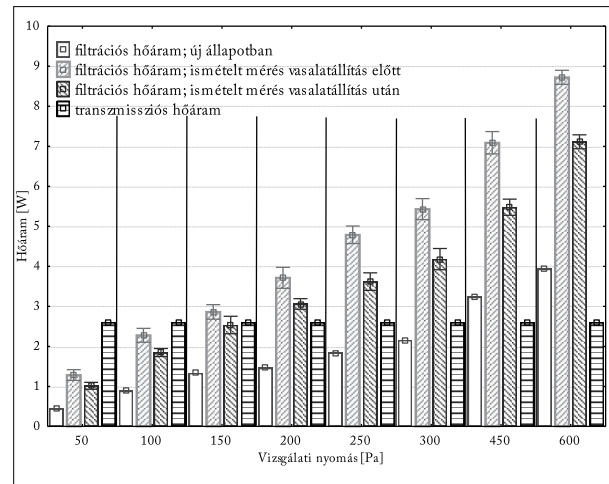
A legkisebb mértékű teljesítményromlást a 2. próbatestnél tapasztaltuk, amely egy kétszárnyú, közepesen felnyíló, felülvilágítóval rendelkező ablak volt (2. ábra). Annak érdekében, hogy egyértelműen meghatározhassuk, van-e hatása a tárolásnak, valamint a vasalatállításnak, varianciaanalízist végeztünk. Az analízis keresztosztályozását egy rögzített (nyomás) és egy véletlen faktor (beállítás) szerint végeztük el. A többi próbatest diagramjai jól szemléltetik az eredményeket, ezért nem tartottuk indokoltnak a varianciaanalízis alkalmazását. Az analízis eredményét a 3. táblázat tartalmazza. Látható, hogy a beállítás hatása szignifikáns: az F próbastatisztika értéke 1208,9; *p* értéke pedig nagyon kicsi.

Annak valószínűsége tehát, hogy a nullhipotézis (beállításoknak nincs hatása az ablak légáteresztésére) érvényessége esetén az 1208,93 vagy annál nagyobb értéket kapjunk 0,0%, tehát nem fogadjuk el a nullhipotézist.

Mivel az összes beállítás várható értékének egyenlőségére végzett F-próba szignifikáns különbségeket mutatott ki, ezért elvégezhető a tervezett összehasonlítás Bonferroni-módszer alkalmazásával (Kemény 2000). A nyomásfokozatonként történt páros összehasonlítás eredményét a 4. táblázat tartalmazza.

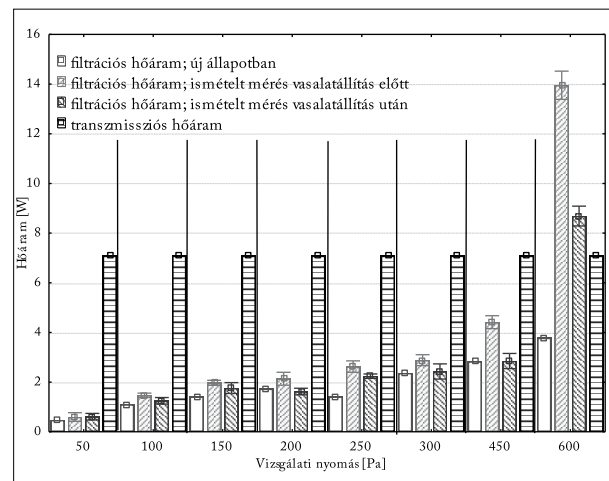
A 3. próbatest volt a kísérletsorozatban szereplő ablakok közül a legnagyobb méretű ablak.

Az alacsonyabb hővezetési értéknek köszönhetően az ablakszerkezeten, 1 °C hőmérsékletkülönbség hatására átáramló transzmissziós hőáram csupán 6,57 Watt (3. ábra).



**1. ábra** Az 1. számú próbatest filtrációs és transzmissziós hőáramának változása a vizsgálati nyomás függvényében

**Figure 1** Heat flow by filtration and transmission of sample 1 as a function of test pressure



**2. ábra** A 2. számú próbatest filtrációs és transzmissziós hőáramának változása a vizsgálati nyomás függvényében

**Figure 2** Heat flow by filtration and transmission of sample 2 as a function of test pressure

**3. táblázat** A 2. próbatest ANOVA táblázata

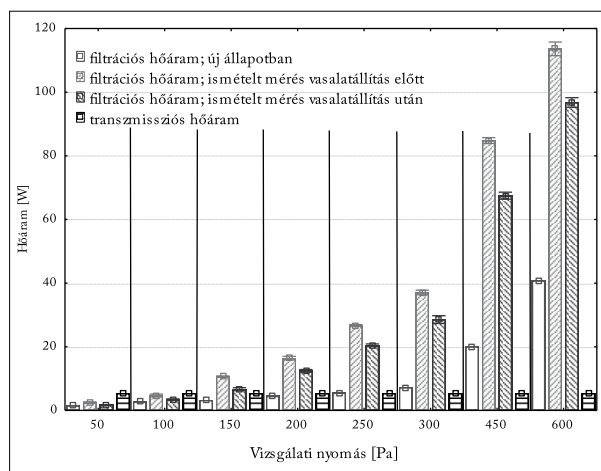
**Table 3** ANOVA results for sample 2

Az eltérés forrása	SS	df	MS	F <sup>0</sup>	p
nyomás	250,7324	7	35,8189	3334,93	0,00
beállítás	25,9690	2	12,9845	1208,93	0,00
nyomás * beállítás	70,8307	14	5,0593	471,05	0,00
maradék	0,3437	32	0,0107		

**4. táblázat** A 2. próbatést Bonferroni-féle tervezett összehasonlítás eredményei

**Table 4** Results of Bonferroni comparison for sample 2

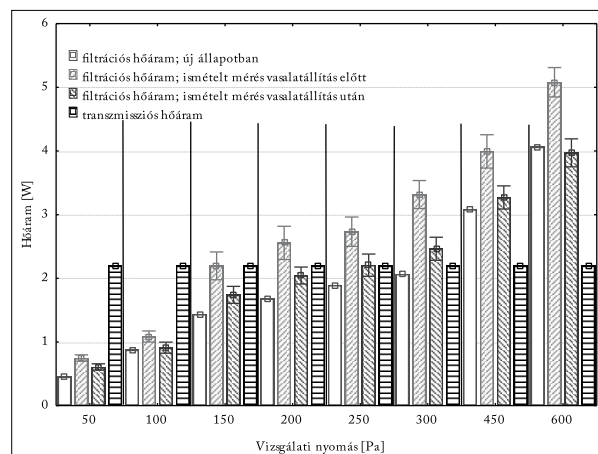
Vizsgálati nyomás [Pa]	Szignifikáns különbség a beállítások között
50	nincs szignifikáns különbség a beállítások között
100	nincs szignifikáns különbség a beállítások között
150	1. és 2. beállítás között kimutatható
200	2. és 3. beállítás között kimutatható
250	mindhárom beállítás között kimutatható
300	1. és 2., valamint a 2. és 3. beállítás között kimutatható
450	1. és 2., valamint a 2. és 3. beállítás között kimutatható
600	mindhárom beállítás között kimutatható



**3. ábra** A 3. számú próbatést filtrációs és transzmissziós hőáramának változása a vizsgálati nyomás függvényében

**Figure 3** Heat flow by filtration and transmission of sample 3 as a function of test pressure

Az első (gyártás utáni) vizsgálat során az ablak nagy mérete ellenére 300 Pa nyomásig a 4. légzárési osztálynak megfelelően teljesített, azonban az alacsony hővezetési tényezőnek köszönhetően a filtrációs veszteségek már 250 Pa nyomáson meghaladták a transzmissziós hőveszteséget. Az ablak kémleletes tárolása során is olyan mértékben romlott az ablak légzárása, hogy a filtrációból származó veszte-



**4. ábra** A 4. számú próbatést filtrációs és transzmissziós hőáramának változása a vizsgálati nyomás függvényében

**Figure 4** Heat flow by filtration and transmission of sample 4 in function of test pressure

ségek alacsonyabb nyomásértékeken is meghaladták a transzmissziós veszteségeket, amit a záródás szorosságának növelésével sem lehetett számottevően csökkenteni.

A 4. próbatést közel négyéves tárolás után is minden nyomásfokozaton a 4. osztálykövetelménynek megfelelően teljesített. A vasalatállítást megelőzően a légáteresztési értékek megközelítették a minősítő határértékeket, mindamelllett az állításnak köszönhetően az ismételt mérési eredmények közel estek a gyártás utáni első vizsgálat eredményeihez. Alacsony nyomásfokokozatokon a filtrációs veszteségek jelenősen elmaradnak a transzmissziós hőátbocsátástól (50–100 Pa-ig) és csak 200 Pa nyomás felett haladták meg a filtrációs a transzmissziós veszteségeket (4. ábra).

#### Következtetések

A kísérletek eredményeiből, valamint a számításokból kiderül, hogy a növekvő, szabályozatlan légáteresztésből származó fűtési-hűtési energiatöbblet (filtrációs veszteség) megközelítheti, vagy akár meg is haladhatja a nyílászáró transzmissziós hőveszteségét. A probléma azért kiemelt fontosságú, mert – megfelelő alapanyagok felhasználása esetén – a transzmissziós hőveszteség az ablak teljes élettartama alatt csak csekély módon változhat, viszont gondatlan kezeléssel, a karbantartás elmulasztásával a filtrációs energiaveszteség jelentős mértékben növekedhet, amit kis odafigyeléssel meg lehet akadályozni. Kísérletekkel sikerült bizonyítani, hogy a nyílászárók légzárási teljesítménye az idők folyamán külső környezeti hatásoktól függetlenül is folyamatosan változik. A légzárási teljesítménycsökkenés a vizsgált négy

próbatestnél jellemzően a nagyobb nyomásértékeken volt szignifikáns. A változás következtében az állandónak vett transzmissziós hőveszteségek mellett a filtrációból származó hőveszteségek fokozatosan növekedtek. A vizsgált próbatestek öregedésével a transzmissziós hőveszteséget megközelítette, vagy meg is haladta a filtrációból származó hőveszteség, ami jellemzően 150 Pa torlónyomáson következett be. Az ismételt mérésorozat során elvégzett vasalatállítást a próbatestek légzárési teljesítményére kimutatható hatással volt. Az állítás hatására a vizsgálatba bevont négy próbatest közül háromnál lecsökkent légzárési értékek jelentősen nem különböztek az első mérés során kapott eredményektől. Az ismételt mérések eredményei rámutatnak arra, hogy az egyre szigorodó követelmények mellett nagy figyelmet kell fordítani arra, hogy a beépített nyílászárók teljesítményjellemzőinek értékei a termék tervezett élettartama során megbízhatóan, a kezdeti értékeken maradjanak. Mivel az ablakok légzárásának használat közbeni változása további teljesítményjellemzők értékére is hatással van, ezért fokozottan indokolt a megbízhatóan alacsony légáteresztés biztosítása. A használat során kiemelt figyelmet kell fordítani a vasalatok beállítására, ugyanis egy elégtelen záródás negatívan befolyásolhatja az épület energiafelhasználását.

#### Köszönetnyilvánítás

„Bencsik Balázs publikációt megalapozó kutatása a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

#### Irodalomjegyzék

Bangalee M Z I, Lin S Y, Miao J J, Wind driven natural ventilation through multiple windows of a building, *Energy and Buildings* 45 (2012) 317–325

Bánhidi L, Kajtár L (2000) *Komfortelmélet*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 187–202. oldal

Debreczy Z (2010) *Passzívházak tervezésének alapjai*. Kiadó: Passzívház Akadémia Kft. Budapest, 49–56. oldal

Elek L (2011) Ablakszerkezetek hőátbocsátási tényezőjének meghatározása hőhídhidatások figyelembevételével, *Faipar* 59(1) 5–11

Kemény S, Deák A (2000) *Kísérletek tervezése és értékelése*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 212–217. oldal

Magyar T (2007) A helyiség-átöblítés szerepe a légtechnika energiatudatos tervezésében *Magyar Épületgépészet* 56(5)7–11

Orme M, Estimates of the energy impact of ventilation and associated financial expenditures, *Energy and Buildings* 33 (2001) 199–205

Poroszlay I (2007) A szellőztetés nélkülözhetetlen I. *Magyar Építéstechnika* 2007/45(10)28–29

Specht K (2010) Where is energy optimisation heading? New designs, materials, provision in prEN 10077 and dispensations regarding documentary evidence. *International Rosenheim Window & Facade Conference 2010 Rosenheim 7-8 October 2010, Germany*

Sieberath U (2010) Green Windows – more than just energy-efficient? *International Rosenheim Window & Facade Conference 2010 Rosenheim 7-8 October 2010, Germany*

Szabó Gy (1982) *Ablakszerkezetek energetikai méretezése*, Építésügyi Tájékoztatási Központ, Budapest, 93–111. oldal

Szánthó Z, Chappon M., Elekes L. (2007) Légtömör épület önmagában még nem elég. *Hírhullám – Épületgépészeti szaklap* 8(4) 20–24

Urbikain M K, Sala J M, Analysis of different models to estimate energy savings related to windows in residential buildings, *Energy and Buildings* 41 (2009) 687–695

Zöld A (2006) *Az új épületenergetikai szabályozás*, Terc Kiadó, Budapest, 12–28. oldal

7/2006. (V.24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról. *Magyar Közlöny* 2006/62. Magyar Hivatalos Közlönykiadó, Budapest

MSZ EN 1026:2001; *Ablakok és ajtók. Légzáróság. Vizsgáló módszer*

MSZ EN 12207:2001; *Ajtók és ablakok. Légáteresztés. Osztályba sorolás*

MSZ CR 1752:2000; *Épületek szellőztetése. Épületek belső környezetének tervezési alapjai (angol nyelvű)*