

**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 épület Természetes filtráció

Általános jelenség, hogy a hagyományos építésű társasházi lakások történeti ablakait, ajtóit kibontják és modern nyílászárókra cserélik, ami után a fűtési idényben penészesedni kezdenek a falak. A nagy légzárású modern nyílászárók ugyanis nem tudják azt a természetes filtrációt biztosítani, amit az átlagos páratelhelésű, hagyományos szellőzésű lakóterek megkövetelnek, és amit a történeti nyílászárók az ablakcsere előtt biztosítottak. Emiatt a lakóterek relatív nedvességtartalma megnő, ami a határoló-szerkezetek belső felületén kicsapódik, ez pedig penészesedéshez vezethet. Cikkünk azt hivatott bemutatni, hogy a palló- és gerébtokos ablakok filtrációs tulajdonságaik miatt is igen fontosak a természetes szellőzésű, hagyományos lakóépületekben, modern nyílászárókra való cseréjük vagy túlzott tömítésük igen súlyos párasodási problémák okozója lehet.

Általános jelenség, hogy a hagyományos építésű társasházi lakások történeti ablakait, ajtóit kibontják és modern nyílászárókra cserélik, ami után a fűtési idényben penészesedni kezdenek a falak. Cikksorozatunk 3. részében ezért megállapítjuk a kétrétegű, geréb- vagy pallótokos ablakokkal épült hagyományos társasházi lakások átlagos páramérlegének szempontjából szükséges légcsereszám értékét, és ezt összehasonlítjuk a fűtési idényben szükséges, zárt nyílászárók mellett számítható természetes filtrációval. Megvizsgáljuk továbbá, hogy általános lakóterek esetén melyek azok a nyílászáró tömítésére irányuló beavatkozások, amelyek a filtrációs hőveszteség csökkentése érdekében még esetlegesen javasolhatók. A cikk célja annak bemutatása, hogy a palló- és gerébtokos ablakok filtrációs tulajdonságaik miatt is igen fontosak a természetes szellőzésű, hagyományos lakóépületekben, modern nyílászárókra való cseréjük, vagy túlzott tömítésük súlyos párasodási problémákhoz vezethet.

Kulcsszavak: kétrétegű geréb- vagy pallótokos fa ablak, hőátbocsátási tényező, filtráció, páramérleg, penészképződés, légáteresztés

It's common, that after replacing traditional wood casement windows of traditionally built condominium homes with modern windows, the walls start molding in the heating season. Thus in the 3rd piece of our article we determine the natural filtration required due to the average moisture balance of traditional condominium homes built with traditional wood casement windows, and compare this with the calculated minimum amount of ventilation required in the heating season by closed windows and doors. We also examine which window sealing methods are possible in general living spaces in order to reduce heat loss due to filtration. The paper's goal is to prove that traditional wood casement windows are also important in naturally ventilated, traditional residential buildings due to their filtration properties, and replacing them with modern windows, or excessively sealing them can lead to serious condensation problems.

Kulcsszavak: double-layer casement window, thermal transmittance, filtration, moisture balance, mold, air permeability

KIVONAT

fizikai tulajdonságai 3.



Bevezetés

A természetes szellőzésű lakóterekben mindig szükséges a megfelelő légcsera a párasodási problémák megelőzése érdekében. Ez a légcsera elsősorban a nyílászárókon keresztül megy végbe: zárt nyílászárók melletti természetes filtrációval, valamint az ablak- és ajtónyitások, szellőztetések során. Cikksorozatunk 3. részében ezért megállapítjuk a kétrétegű, geréb- vagy pallótokos ablakokkal épült hagyományos társasházi lakások átlagos páramérlegének szempontjából a fűtési idényben szükséges minimális légcsereszámot és a természetes filtráció mértékét zárt nyílászárók mellett. Ismertetjük továbbá a történeti ablakok különböző tömítési módszereit, illetve hogy ezekkel mekkora mértékben csökken a légáteresztési tényező, ezzel a nyílászáró filtrációs hőátbocsátási tényezője, illetve a fűtési idényre vett filtrációs hőveszteség. Végezetül esettanulmányi szinten vizsgáljuk, hogy általános lakóterek esetén melyek azok a nyílászáró tömítésre irányuló beavatkozások, amelyek a filtrációs hőveszteség csökkentése érdekében még elvégezhetők anélkül, hogy a zárt nyílászárók melletti filtrációt a kapilláris kondenzáció kialakulása és a penészesedés szempontjából veszélyes szintre csökkentenénk. Jelen cikk csak a páramérleg szempontjából vizsgálja a szükséges légcserét, a friss levegő igényt befolyásoló egyéb szempontokra (belső szennyezőanyag emisszió, CO₂-koncentráció, égetermék elvezetés stb.) nem térünk ki.

A páramérleg szempontjából szükséges természetes filtráció

Hagyományos lakóépületek esetén a nyílászárók filtrációs levegőforgalma két szempontból is figyelmet igényel. Egyrészt az eltérő fal-tok és tok-szárny csatlakozások különböző tömítéseivel a nyílászárók légáteresztési tényezője különböző mértékben csökkenthető, amivel a fűtési idényre vett filtrációs hőveszteség mérséklődik. Másrészt a nyílászárók bizonyos mértékű természetes filtrációja a lakóterek páraháztartásának szempontjából kulcsfontosságú, túlzott tömítés és nem megfelelő szellőztetés esetén párasodási problémák léphetnek fel a lakótérben [1].

Az egészséges élettér feltétele ugyanis a szellőzés biztosítása. A hagyományos lakóépületek túlnyomó többsége gépi szellőztetés nélküli, hagyományos szellőzéssel rendelkezik, vagyis a nyílászárókon és esetleges szellőzőkön, réseken keresztül létrejövő állandó, lassú gravitációs légcsera biztosítja a belső tér paradusabb levegőjének kicserélődését. Ha ez az alapszellőzés megszüntetésre kerül – akár az új, nagy légzárású nyílászárók beépítése, akár a meglévő, történelmi, kétrétegű ablakok túlzott tömítése miatt –, akkor penészes, dohos környezet alakulhat ki.

A helyiségek rendeltetészerű használatával együtt jár a nedvességfejlődés. Ez származhat az emberek, háziállatok, szobanövények nedvességeleadásából, párologtatásából, különböző háztartási



tevékenységből (pl. főzés, mosás, ruhaszárítás), vagy létrejöhet szabad vízfelszín párolgása következtében (pl. fürdés, zuhanyozás, akvárium, mosogató stb.). A keletkező nedvesség a szellőző levegővel és az épület határoló szerkezetein keresztül diffúzióval igyekszik távozni. Elégtelen szellőzés esetén kondenzáció indulhat a határoló szerkezetek (elsősorban a homlokzati falak) belső felülete mentén, ami penészesedéshez vezet. Ha a lakótér relatív nedvességtartalma $\varphi > \sim 75\%$ -ra¹ emelkedik, akkor kapilláris kondenzáció, ha $\varphi = 100\%$, akkor felületi kondenzáció indul meg. Ha a $\sim 75\%$ -nál magasabb relatív nedvességtartalom tartósan (3-5 napig) fennáll, a penészképződés nagyon valószínű [2].

Megállapítható, hogy adott belső hőmérséklet, adott felületi hőmérséklet mellett egységnyi térfogatáramú szellőző levegő nedvességkoncentrációja mennyivel emelkedhet, hogy a határrétegben a levegő relatív nedvességtartalma éppen 75% legyen, és ebből adott nedvességfejlődéshez számítható az állagvédelmi szempontból szükséges szellőző levegő térfogatáram.

A jelenlegi épületenergetikai szabályozások, tehát a 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet alapján a lakóépületek tervezési légcsereszám $n = 0,5$ 1/h, ami azt jelenti, hogy átlagosan 1 óra alatt a lakóegység légtérfogatának felének szükséges kicserélődni friss levegőre, ami természetes filtrációval, szellőztetéssel, ablak/ajtó nyitásokkal biztosítható [4]. A hagyományos szellőzésű lakások esetén relevánsabb adat a fűtési idényben szükséges légcsereszám zárt nyílászárók mellett [3]. Ugyanis a kondenzációra (és ezzel a penészképződésre) a leghűlő épülethatároló felületek miatt a legnagyobb esély a téli időszakban van, és a szellőztetés is ekkor a legritkább (a fűtésszámla miatt). A zárt nyílászárók feltételezése természetesen a párásodás szempontjából a legkedvezőtlenebb állapotot jelenti, ugyanakkor mivel a lakók szokásai nem általánosíthatók (van, aki sűrűbben szellőztet, és van, aki ritkábban), illetve a lakóktól nem várható el bizonyos időszakokban a szellőztetés (éjszaka alvás közben, amikor nincsenek otthon, bizonyos időjárási körülmények között stb.), azonban ilyenkor is van különböző mértékű páráképződés, ezért a szükséges légcsereszámot e feltételrendszer között érdemes vizsgálni.

A fűtési idényben szükséges légcsereszám értékét az adott lakóegység páramérlege szabja meg, mivel ez helyiségenként és a lakás adottságaként változhat a páratelhelés függvényében. Az eltérő lakástér fogatokhoz átlagosnak tekinthető páratelheléseket rendelve meghatározható a különböző lakások esetén fejlődő pára átlagos mennyisége. Az 1 m³ friss levegő által eltérő hónapokban elszállítható pára mennyiségének számítása után meghatározható a fűtési hónapokban szükséges óránkénti légcsereszám a különböző lakások esetén. Ezeket átlagolva számítható a lakások átlagos szükséges légcsereszám [1, 2].

Lakás légtérfogata [m ³]	100 m ³	150 m ³	200 m ³	250 m ³	300 m ³	350 m ³	400 m ³
Lakás helyiségei (közelítő becslés)	0,5 szoba + konyha + 0,5 fürdő ²	1 szoba + konyha + fürdő	1,5 szoba + konyha + fürdő	2 szoba + konyha + fürdő	2,5 szoba + konyha + fürdő	3 szoba + konyha + fürdő	3,5 szoba + konyha + fürdő
Fejlődő pára mennyisége [g/h]	500 g/h	700 g/h	820 g/h	900 g/h	1020 g/h	1100 g/h	1220 g/h
Fajlagos nedvességterhelés [g/h,m ³]	5,0 g/h,m ³	4,7 g/h,m ³	4,1 g/h,m ³	3,6 g/h,m ³	3,4 g/h,m ³	3,1 g/h,m ³	3,1 g/h,m ³

¹A kapilláris kondenzáció különböző anyagú felületeken eltérő relatív páratartalom mellett indul meg. Általában a szorpciós izoterma inflexió pontjánál szokás a max. megengedhető relatív nedvességtartalmat meghatározni, de ha ez nem ismert, a 75%-os relatív páratartalom jó átlagos közelítés.

²Az igen kicsi, 100 m³ lakástérfogat esetén a konyha és a fürdő általában nagyon kicsik, sokszor egybeépítettek, így kevesebb olyan épületgépészeti berendezés, szaniter stb. található, ami párárt fejleszt. Emiatt 100 m³ lakástérfogat esetén 500 g/h nedvességterhelést vettünk figyelembe.

A lakások és lakások helyiségeire vonatkozó nedvességterheléseket és nedvességforrásokat (a visszavont MSZ 04-140/2:1991 szabvány helyett) az MSZ 24140:2015 szabvány tartalmazza. A különböző lakosszámú, különböző rendeltetésű lakásokban különböző háztartási tevékenységek végzése esetén a fejlődő pára mennyisége az alábbi táblázatok (1. táblázat, 2. táblázat) segítségével határozható meg [5].

A nedvességforrás megnevezése	A nedvességterhelés értéke	Mértékegység
Emberek nedvességleadása kis intenzitású tevékenység esetén	50	g/h,fő
Emberek nedvességleadása közepes intenzitású tevékenység esetén	150	g/h,fő
Emberek nedvességleadása nagy intenzitású tevékenység esetén	250	g/h,fő
Zuhanyozás	2500	g/h
Cserepes szobanövény	5-15	g/h,db
Szabad vízfelszín	40	g/m ² h
4,5 kg száradó ruha, centrifugálva	50-200	g/h
4,5 kg száradó ruha, centrifugálás nélkül	100-500	g/h

1. táblázat: A nedvességterhelés méretezési értékei a források szerint – MSZ 24140:2015 szabvány B mellékletének B2. táblázata [5]

A helyiség megnevezése	A nedvességterhelés [g/h]	
	átlagos értéke	csúcsértéke
Lakószoba	200	-
Félszoba	120	-
Konyha	250	600-1500
Fürdőszoba	250	700-2500

2. táblázat: A nedvességterhelés méretezési értékei a lakások helyiségeire – MSZ 24140:2015 szabvány B mellékletének B1. táblázata [5]

A fenti két táblázat segítségével meghatározható a lakások nedvességterhelésének mértéke. Általános esetben, átlagos lakosszámú és méretű lakások esetén, az általános nedvességterhelések (2. táblázat) figyelembevételével kapott eredményeket a 3. táblázat összegzi.

3. táblázat: A fajlagos nedvességterhelés átlagos értéke különböző légtérfogatú lakások esetén



Légállapot-jellemzők		Hónapok											
		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
beltéri hőmérséklet	t_i	20 °C	20 °C	20 °C	20 °C	22 °C	24 °C	26 °C	24 °C	22 °C	20 °C	20 °C	20 °C
beltéri relatív páratartalom	φ_i	65%	65%	65%	65%	70%	70%	70%	70%	70%	65%	65%	65%
kültéri hőmérséklet	t_e	-2 °C	0 °C	5 °C	13 °C	19 °C	22 °C	25 °C	23 °C	18 °C	12 °C	5 °C	0 °C
kültéri relatív páratartalom	φ_e	90%	85%	74%	73%	70%	70%	63%	67%	73%	80%	86%	91%

4. táblázat: Légállapot jellemzők téli és nyári nedvességtartalom-változás számításához – MSZ 24140:2015 szabvány
A mellékletének A1. táblázata [5]

5. táblázat: Levegő különböző hőmérsékleten vett telítési nedvességtartalmak [6]

Levegő hőmérséklet	-2 °C	0 °C	5 °C	12 °C	13 °C	18 °C	19 °C	20 °C	22 °C	23 °C	24 °C	25 °C	26 °C
Telítettségi vízgőztartalom	3,76 g/m ³	4,85 g/m ³	6,8 g/m ³	10,66 g/m ³	11,34 g/m ³	15,36 g/m ³	16,3 g/m ³	17,29 g/m ³	19,41 g/m ³	20,56 g/m ³	21,76 g/m ³	23,03 g/m ³	24,36 g/m ³

A lakótérbe jutó friss levegő mennyisége megegyezik az eltávozó használt levegővel, csak a nedvességtartalma és a hőmérséklete lesz más. A bejutó friss levegő felmelegszik, és ezáltal megnő a vízpára megtartó képessége. Az 1 m³ friss levegő által elszállítható pára mennyiségének kiszámításához tisztában kell lenni a Magyarországra jellemző, különböző hónapokra vett kültéri és beltéri légállapotokra vonatkozó statisztikai adatokkal, melyeket szintén az MSZ 24140:2015 szabvány tartalmaz (4. táblázat) [5].

Különböző hőmérsékleteken a levegő telítettségi vízgőztartalma más és más. A levegő különböző hőmérséklethez tartozó telítési nedvességtartalmát az 5. táblázat tartalmazza.

Az 4. táblázat légállapot jellemzőihez hozzárendelve az adott hőmérsékleten vett telítési vízgőztartalmat (5. táblázat), a belső és külső levegő abszolút nedvességtartalma kiszámítható (1. képlet):

$$c = c_s \times \varphi \quad [\text{g/m}^3] \quad (1),$$

ahol

c_s : adott hőmérséklethez tartozó telítési páratartalom [g/m³],
 φ : relatív páratartalom [%],

Végül az 1 m³ friss levegővel elszállítható pára mennyisége, vagyis a beltérbe jutó friss levegő által felvehető vízpára mennyisége (Δc) a két abszolút nedvességtartalom különbségként számítható (6. táblázat).

6. táblázat: 1 m³ friss levegő által elszállítható páramennyiség hónapoként [1]

Légállapot jellemzők		Hónapok											
		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
beltéri hőmérséklet	t_i	20 °C	20 °C	20 °C	20 °C	22 °C	24 °C	26 °C	24 °C	22 °C	20 °C	20 °C	20 °C
beltéri hőmérséklethez tartozó telítési páratartalom	c_s	17,29 g/m ³	17,29 g/m ³	17,29 g/m ³	17,29 g/m ³	19,41 g/m ³	21,76 g/m ³	24,36 g/m ³	21,76 g/m ³	19,41 g/m ³	17,29 g/m ³	17,29 g/m ³	17,29 g/m ³
beltéri relatív páratartalom	φ_i	65%	65%	65%	65%	70%	70%	70%	70%	70%	65%	65%	65%
belső levegő abszolút nedvességtartalma	c_e	11,24 g/m ³	11,24 g/m ³	11,24 g/m ³	11,24 g/m ³	13,59 g/m ³	15,23 g/m ³	17,05 g/m ³	15,23 g/m ³	13,59 g/m ³	11,24 g/m ³	11,24 g/m ³	11,24 g/m ³
kültéri hőmérséklet	t_e	-2 °C	0 °C	5 °C	13 °C	19 °C	22 °C	25 °C	23 °C	18 °C	12 °C	5 °C	0 °C
kültéri hőmérséklethez tartozó telítési páratartalom	c_s	3,76 g/m ³	4,85 g/m ³	6,8 g/m ³	11,34 g/m ³	16,3 g/m ³	19,41 g/m ³	23,03 g/m ³	20,56 g/m ³	15,36 g/m ³	10,66 g/m ³	6,8 g/m ³	4,85 g/m ³
kültéri relatív páratartalom	φ_e	90%	85%	74%	73%	70%	70%	63%	67%	73%	80%	86%	91%
külső levegő abszolút nedvességtartalma	c_i	3,38 g/m ³	4,12 g/m ³	5,03 g/m ³	8,28 g/m ³	11,41 g/m ³	13,59 g/m ³	14,51 g/m ³	13,78 g/m ³	11,21 g/m ³	8,53 g/m ³	5,85 g/m ³	4,41 g/m ³
1 m ³ friss levegővel elszállítható pára mennyisége (beltérbe jutó friss levegő által felvehető vízpára mennyisége)	Δc	7,85 g/m ³	7,12 g/m ³	6,21 g/m ³	2,96 g/m ³	2,18 g/m ³	1,65 g/m ³	2,54 g/m ³	1,46 g/m ³	2,37 g/m ³	2,71 g/m ³	5,39 g/m ³	6,83 g/m ³



A páraegyensúly fenntartásához szükséges légcsereszám a fajlagos nedvességterhelés és az 1 m³ friss levegő által elszállítható pára mennyiségének hányadosa (2. képlet):

$$n = \frac{f}{\Delta c} \quad [1/h] \quad (2),$$

ahol

f : fajlagos nedvességterhelés [g/m³,h],

Δc : 1m³ friss levegővel elszállítható pára mennyisége [g/m³],

Az óránként szükséges légcsereszám értékének jelentése, hogy a lakásban levő levegő ekkora százalékának kell kicserélődni óránként ahhoz, hogy ne növekedjék a levegő páratartalma. A különböző páratartalmú és méretű lakások fajlagos nedvességterhelése és az esztendő eltérő hónapjaiban elszállítható páramennyiségek különböző óránkénti szükséges légcsereszámokat határoznak meg. Az átlagos nedvességterhelésű, különböző légtérfogatú lakóterek fűtési időnyben szükséges légcsereszámát a 7. táblázat összegzi.

Lakás légtérfogat [m ³]	Fajlagos nedvességterhelés [g/h,m ³]	I	II	III	XI	XII	Fűtési időny szükséges átlag légcsereszám [1/h]
		1m ³ friss levegővel elszállítható pára mennyisége [g/m ³]					
		7,85	7,12	6,21	5,39	6,83	
Fűtési időny havi szükséges légcsereszám [1/h]							
100 m ³	5,0 g/h,m ³	0,64	0,70	0,81	0,93	0,73	0,76
150 m ³	4,7 g/h,m ³	0,59	0,66	0,75	0,87	0,68	0,71
200 m ³	4,1 g/h,m ³	0,52	0,58	0,66	0,76	0,60	0,62
250 m ³	3,6 g/h,m ³	0,46	0,51	0,58	0,67	0,53	0,55
300 m ³	3,4 g/h,m ³	0,43	0,48	0,55	0,63	0,50	0,52
350 m ³	3,1 g/h,m ³	0,40	0,44	0,51	0,58	0,46	0,48
400 m ³	3,1 g/h,m ³	0,39	0,43	0,49	0,57	0,45	0,46

7. táblázat: Fűtési hónapokban szükséges óránkénti légcsereszám eltérő lakástérfogatok és átlagos páratartalmak esetén

A 7. táblázat alapján megállapítható, hogy az $n = 0.5$ 1/h tervezési légcsereszám a fűtési időnyben a kisebb légtérfogatú, így arányában nagyobb nedvességterhelésű lakóterek esetén nem elegendő ahhoz, hogy a belső tér páratartalma ne növekedjen. A leggyakoribb méretű, és legnagyobb számban megtalálható hagyományos lakóterekben tehát átlagos páratartalom mellett a fűtési időnyben nagyobb, 0.55-0.76 1/h légcsereszámra van szükség ahhoz, hogy a keletkező pára elszállítható legyen, így a belső tér páratartalma ne növekedjen, és ne alakulhasson ki kondenzáció.

Az ablak filtrációjának mérséklése

A történelmi ablakstruktúrák esetén az egyik legegyszerűbb, és a lakástulajdonosok által is legsűrűbben alkalmazott beavatkozás az ablak filtrációjának mérséklésére tett különböző lépések. 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) mérsékelhető.

A történelmi, kétrétegű ablakok természetes filtrációjának mérséklésével egyszerre csökkenthető a fűtési időnyre vett filtrációs hőveszteségük (Q_w), valamint a transzmissziós (U_w) hőátbocsátási tényezőjük is, előbbi nagyobb, míg utóbbi kisebb mértékben.

A transzmissziós (U_w) hőátbocsátási tényező csökkenése annak tudható be, hogy a zártan tekinthető levegőrétegek R_s hőátbocsátási tényezője kisebb, mint a kissé szellőző levegőrétegeké az ISO 6946:2007 szabvány szerint. Emiatt a társított szerkezet nélküli passzított vagy tömített kétrétegű ablakok (U_w) hőátbocsátási tényezője ~4%-kal kisebb, mint az azonos, de nem passzított és tömíttelen ablakoké. Spaletta vagy redőny megléte esetén pedig az eltérés ~3%. Erről bővebben cikksorozatunk első részében, a 3. képletnél olvashat, míg a nem passzított (nagyobb természetes filtrációjú), illetve passzított (mérsékelt filtrációjú) ablakok hőátbocsátási tényezőinek értékeit ugyanott, az 1. táblázatban találhatja.

A nyílászárók tömítésének, vagyis ún. légáteresztési tényezőjük mérséklésének egyenes következménye a fűtési időnyre vett filtrációs hőveszteségük (Q_w) csökkenése. A 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet szerinti épületenergetikai számítás a nyílászárók filtrációját a tervezési légcsereszám (n) különböző mértékű növelésével veszi figyelembe a fűtési hőenergiaigény kalkulálásánál: ez az ún. tömíttetlenségből származó légcsereszám-növekedés (n_T). Nagyobb légtömörségű nyílászárók esetén kisebb értékű az n_T , így a fűtési

energiaigény csökken. A nyílászáróknak külön-külön is számítható a fűtési időnyre vett filtrációs hőveszteségük (Q_w) az alábbi képlettel (3. képlet):

$$Q_w = \rho \times c \times \frac{ax \cdot l}{A_w} \times H \quad [kWh/m^2a] \quad (3) [7]^3,$$

ahol

ρ : a levegő sűrűsége [kg/(kg°C)]

c : a levegő fajhője [kg/m³]

a : egységnyi réshosszra $\Delta p = 10$ Pa nyomáskülönbség esetén mérhető légáteresztési tényező [m³/m,h]

l : réshossz [m]

A_w : teljes ablakfelület [m²]

H : éves fűtési hőfokhíd ezredrésze [khK/a]

A fenti képlet alapján könnyen belátható, hogy adott méretű és réshosszú ablakok fűtési időnyre vett filtrációs hővesztesége egyenesen

³Az összefüggés az EN ISO 13789:2007 szabvány szellőzési hőátadási tényezőjének képlete alapján kapható a szerkezet résein áthaladó légtömögáram kifejtésével, a 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet jelöléseinek használatával.

Szakirodalom, Forrás	Ablaktípus, felújítási megoldás	Légáteresztési tényező		Csökk.
		m ³ /mhPa ^{2/3}	m ³ /mh10Pa	%
Dr. Várfalvy János PhD: Ablakszerkezetek Légáteresztése, Hőfizikai Laboratórium	Fakeretes, kapcs. szárnyú ablak	1,0	4,60	
	Fakeretes, egyszeres ablak	0,6	2,78	
	Fakeretes, kapcs. szárnyú ablak	0,5	2,32	ref.
Dr. Széll Mária: Épületek Rekonstrukciós Tervezése – Transzparens homlokzati szerkezetek energiahatékony, fenntartható felújítása BME Építőipari Laboratóriumában végzett vizsgálatok alapján	Tok és fal közötti hézag tömítése, kávas beépítés	0,28	1,30	44%
	Tok-szárny közti hézag tömítése helyszínen kigumisodó kittel (1. ábra)	0,25	1,14	51%
	Tok-szárny közti hézag tömítése Schlegel típusú tömítéssel	0,13	0,61	74%
Dr. Várfalvy János PhD: Ablakszerkezetek Légáteresztése	Jó minőségű, tömített ablak	0,02	0,09	96%
Dr. Kakasy László: Segédlet az Épületszerkezettan 7,8,9 tárgyak páratechnikai feladatrészeinek elkészítéséhez	Nagy légzárású ablakok	0,01	0,05	98%

8. táblázat: **Eltérő nyílászárók, ablaktípusok (és ablakfelújítási módok) légáteresztési tényezői [7, 8]**

arányos a légáteresztési tényezőjünkkel. A 8. táblázat összesíti a történelmi, kétrétegű ablakok kísérleti úton megállapított légáteresztési tényezőjét.

A táblázatban látható, hogy az általános történelmi, kétrétegű ablakok légáteresztési tényezője $\sim 0,5 \text{ m}^3/\text{mhPa}^{2/3}$, ami a különböző felújítási módszerekkel eltérő mértékben mérsékelhető. Az egyenes arányosság miatt tehát egy ablak fűtési idényre vett filtrációs hővesztése olyan arányban csökkenthető, amilyen mértékben a légáteresztési tényezőt mérsékeljük. Ezeket a százalékos csökkenéseket a fenti táblázat utolsó oszlopa szemlélteti. Egy általános, kávas beépítésű kapcsolt gerébtokos ablak légáteresztési tényezője, és ezzel fűtési idényre vett filtrációs hővesztése a tok és fal közötti hézag utólagos tömítésével $\sim 44\%$ -kal, a tok-szárny közti hézag akrilos tömítésével $\sim 51\%$ -kal, gumitömítésével pedig $\sim 74\%$ -kal mérsékelhető. A táblázat utolsó két sora jól szemlélteti, hogy a nagy légzárású (pl. modern PVC) ablakok légáteresztési tényezője akár 50-szer kisebb, mint a tömítetlen történelmi, kétrétegű ablakoké, így nem meglepő, hogy a nyílászárók modernre való cseréje természetes szellőztetésű terek esetén olyan sokszor vezet párosodási problémákhoz.

1. ábra: **A tok-szárny közti hézag akrilos tömítése könnyen kivitelezhető, jó megoldás lehet, mely az ablak légáteresztési tényezőjét kb. felére csökkenti. A megoldásról bővebben a www.ablakprofilok.hu weboldalon olvashat**



Légcsereszám esettanulmányi vizsgálata

A fenti adatokat felhasználva esettanulmányként megvizsgáltunk egy századfordulón épült történelmi épület három különböző, de az alaprajzi kialakítás és a nyílászárók tekintetében is tipikus városi lakásának légcsereszámát a nyílászárók különböző légáteresztési tényezője mellett, illetve hogy azok különböző beavatkozásokkal milyen mértékben csökkenthetők a hővesztés mérséklése érdekében úgy, hogy a páramérleg szempontjából szükséges mértékű természetes filtráció megmaradjon.

A vizsgálathoz kiválasztott lakóépület Budapest VIII. kerületében a József körút 18. szám alatt található⁴. Egy 1896-ban épült belső zárt udvaros, függőfolyosós lakóház. A főhomlokzati és belső udvari ablakok is jellemzően 120(109)×218(208)-as, vízszintes tokosztós, középfelnyíló kapcsolt gerébtokos faablakok. A légudvarokban kisebb, 60×120-as egyrétegű, pallótokos faablakok vannak. (Természetesen – mint a legtöbb társasházban – itt is sok nyílászárócseré történt már, a légudvari ablakok pedig több helyen befalazásra kerültek. Az esettanulmányhoz az eredeti állapotában vizsgáljuk a lakásokat.)

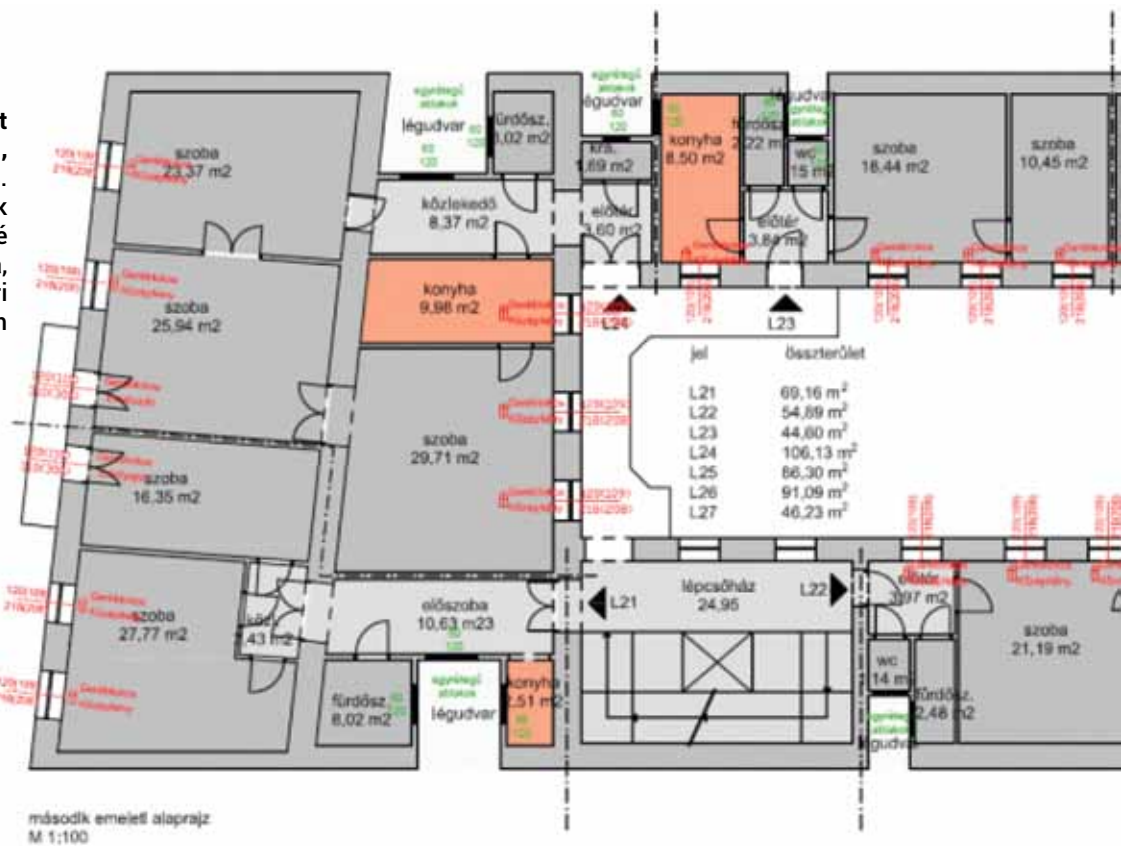
A lakóház második emeletén három különböző méretű lakás szükséges légcsereszámát vizsgáltuk:

- egy utcai és udvari „fő” ablakokkal, valamint két légudvarra nyíló „mellék” ablakokkal rendelkező nagy alapterületű lakását (L24, 106,1 m²; 403,3 m³),
- egy csak utcafronti „fő” ablakokkal és egyetlen légudvarra nyíló „mellék” ablakokkal rendelkező közepes alapterületű lakását (L21, 66,2 m²; 262,8 m³),
- és egy csak belső udvari „fő” ablakokkal, valamint két légudvarra nyíló „mellék” ablakokkal rendelkező kis alapterületű lakását (L23, 44,6 m²; 169,5 m³).

⁴A történelmi épületeink homlokzatát idővel egyre nagyobb mértékben nyitották meg. A növekvő ablakfelülettel nőtt a nyílászárók részhossza, vagyis a filtráció mértéke is idővel növekedett. Választásunk azért esett a fenti épületre, mert Budapesten nagy számban található hasonló lakóház, és mert a kicsi udvari traktusmélység, de nagy mértékben megnyitott homlokzat miatt egyúttal a legmagasabb légcsereszámokat is az ilyen épületek adják a korból.



2. ábra: A vizsgált VIII. kerületi, József krt. 18. második emeletének József krt. felé eső alaprajza, bm: 3,8 m, udvari traktusmélység: 4,3 m



3. ábra: Budapest, József körút 18. sz. alatti századfordulós lakóház utcai homlokzata és belső udvara





Lakás száma	Lakás alapterülete [m ²]	Lakás légtérfogata [m ³]	Nyílászárók száma és mérete	Beavatkozás	Kétrétegű gerébtokos nyílászárók		Egyrétegű pallótokos ablakok		Ajtó		Filtr. lev. forgalom [m ³ /h]	Légcserezés [1/h]	Szükséges légcsereszám [1/h]	Tervezési légcsereszám [1/h]
					Réshossz [cm]	Légáteresztési tényező [m ³ /mh10Pa]	Réshossz [cm]	Légáteresztési tényező [m ³ /mh10Pa]	Réshossz [cm]	Légáteresztési tényező [m ³ /mh10Pa]				
L24	106,13 m ²	403,29 m ³	5db 109x208 gerébtokos ablak 1db 110x300 gt. erkélyajtó 3 db 60x120 1 rtg-ű pallótokos ablak 1db 150x250 ajtó	eredeti állapot	5460	2,32	960	2,78	950	4,60	197,06	0,49	0,46	
				légudvari ablakok kettőzése	5460	2,32	960	2,32	950	4,60	192,64	0,48		
				légudvari egyrétegű ablakok kites tömítése	5460	2,32	960	1,14	950	4,60	181,32	0,45		
L21	69,16 m ²	262,81 m ³	2db 109x208 gt ablak 1db 110x300 erkélyajtó 3 db 60x120 1 rtg ablak 1db 150x250 ajtó	eredeti állapot	2856	2,32	960	2,78	950	4,60	136,65	0,52	0,54	0,5
L23	44,60 m ²	169,48 m ³	4db 109x208 gt ablak 3 db 60x120 1 rtg ablak 1db 120x250 ajtó	eredeti állapot	3472	2,32	960	2,78	660	4,60	137,60	0,81	0,67	
				légudvari egyrétegű ablakok kites tömítése	3472	2,32	960	1,14	660	4,60	121,85	0,72		
				2 db gerébtokos ablak kites tömítése	1736	2,32	960	2,78	660	4,60	117,11	0,69		
					1736	1,14								

 9. táblázat: **Eltérő nyílászárók, ablaktípusok (és ablakfelújítási módok) légáteresztési tényezői**

A vizsgálathoz felmértük a mintalakások nyílászáróinak számát, méretét és típusát, és ezekhez a 8. táblázat alapján hozzárendelve a megfelelő légáteresztési tényezőket kiszámítottuk azok filtrációs levegőforgalmát, amelyet a lakás légtérfogatával elosztva megkaptuk a lakótér zárt nyílászárók melletti tényleges légcsereszámát. A fűtési időnyben a mintalakások szükséges légcsereszámája a 7. táblázat alapján vehető fel. Mindezt a 9. táblázat tartalmazza.

A táblázat tanúsága:

- Az L24 jelű, nagy alapterületű (106 m²), utcai és udvari „fő” ablakokkal is rendelkező lakás esetén a nyílászárók eredeti állapotukban 0,49 1/h tényleges légcsereszámot biztosítanak, ami gyakorlatilag egybevág a tervezési légcsereszámával (0,5 1/h) és a páramérleg alapján minimálisan szükséges 0,46 1/h légcsereszámával. Ezért a hőveszteségek mérséklése érdekében a légcsereszám csökkentésére javasolható megoldás a légudvari, egyrétegű pallótokos ablakok

„kettőzése”, vagyis kétrétegűvé alakítása, de változatlanul tömítenül hagyása. (Az igényesebb, magasabb színvonalú lakóépületek eleve kétrétegű lichthof ablakokkal épültek.) Ezzel az eredeti, 0,49 1/h-ás légcsereszám 0,48 1/h-ra mérsékelhető. Ha az ablakok tok-szárny csatlakozását még helyszínen kigumisodó kittel is tömítenénk, a légcsereszám 0,45 1/h-ra csökkenne, ami viszont már alacsonyabb, mint a szükséges légcsereszám.

- Az L21 jelű, közepes alapterületű (69 m²), csak utcai „fő” ablakokkal rendelkező lakás esetén a nyílászárók már eredeti állapotukban sem biztosítanak nagyobb légcsereszámot, mint a lakás esetén minimálisan szükséges (és a tervezési légcsereszámánál nagyobb) 0,54 1/h érték. Ilyen típusú lakás esetén ezért a filtrációs levegőforgalom csökkentésére irányuló beavatkozások már nem javasoltak, nehogy a zárt nyílászárók melletti filtráció még inkább a páramérleg szempontjából szükséges mértékű filtrációs szint alá csökkenjen.



- Az L23 jelű, kis alapterületű (44,6 m²), csak udvari „fő” ablakkal rendelkező lakás kis (4,25 m-es) traktusmélységéhez és ezzel kis légtérfogathoz párosul, arányaiban nagy nyílászáró összfelület következtében a nyílászárók eredeti állapotukban 0,81 l/h légcsereszámot biztosítanak. Ez ~0,14 l/h-val nagyobb, mint a minimálisan szükséges 0,67 l/h (ami jóval magasabb a tervezési légcsereszámnál)⁵. A hőveszteségek mérséklése érdekében a légudvari, egyrétegű ablakokat duplázva, tok-szárny csatlakozásukon helyszínen kigumisodó kittel tömítve a légcsereszám 0,72 l/h értékre csökkenthető. Ehelyett lehetséges a kétrétegű, gerébtokos udvari nyílászárók tok-szárny csatlakozásának utólagos tömítése is helyszínen kigumisodó kittel (akrillal), vagy felragasztható öntapadó tömítőprofilal. Ezzel az eljárással a kétrétegű, gerébtokos nyílászárók légáteresztési tényezője jelentősen (nagyjából felére) csökkenthető, ezért e típuslakás kapcsán nem minden nyílászáró esetén javasolt az alkalmazása, mert az már túlzott légzáráshoz vezetne. Két darab kétrétegű, gerébtokos udvari ablak tok-szárny csatlakozásának utólagos kittes tömítésével az L23 lakás légcsereszáma 0,69 l/h értékre csökkenthető.

Negatív példaként említésre érdemes, hogy a hagyományos szellőzésű lakások esetén akár csak néhány nyílászárót (ablakot, erkély- vagy bejárati ajtót) fokozott légzárására (pl. gumitömítéses PVC keretszerkezetre) cserélve a légcsereszám mindhárom lakás esetén 0,10 – 0,20 l/h érték alá csökkenne, vagyis a szükséges légcsereszám töredékére. Ez azt jelenti, hogy a fűtési idényben, már átlagos páratartalom mellett is, zárt nyílászárók mellett igen hamar elérné a lakótér levegője a telítési páratartalmát, és beindulna a kapilláris, majd felületi kondenzáció (a határoló falak, és a szerkezetek belső oldali vizesedése), és ezzel a penészesedés. Nagy légzárású ablakcsere esetén ez a probléma már csak gyakori, átöblítéses szellőztetéssel, páraérzékelős légbevezetők ablakba építésével, vagy mechanikus szellőztetőrendszer kiépítésével kezelhető. Könnyen belátható tehát, hogy hagyományos épületeink történeti, kétrétegű ablakait modern nyílászárókra cserélni emiatt nem túl ésszerű vagy gazdaságos. Ahhoz, hogy a hagyományos lakóházi lakásba épített, hosszú megtérülési idővel rendelkező modern, nagy légzárású ablakok páratechnikai szempontból megfeleljenek, további (sokszor akár kivitelezhetetlen) beruházásokra (pl: homlokzati hőszigetelés, mesterséges szellőztetőrendszer kiépítése, résszellőzők beépítése), illetve lakáshasználati szokásaink megváltoztatására is szükség lehet azért, hogy ne alakulhasson ki penész.

Konklúziók

A történeti ablakokkal foglalkozó cikksorozatunk utolsó része rávilágított, hogy a tipikusan ilyen szerkezetekkel épült hagyományos lakóépületek esetén a fűtési idényben szükséges légcsereszám eltérhet a tervezési légcsereszámától. A cikkben ismertetett táblázatok segítségével azonban ezt bárki könnyen pontosan kiszámíthatja adott lakásparaméterek mellett, vagy az itt közölt átlagos számításaink eredményét felhasználva is következtethet rá. A lakótér tényleges légcsereszáma szintén könnyen számítható a cikk alapján. Ha ez a szükséges légcsereszámnál lényegesen magasabb, a hőveszteségek mérséklése érdekében különböző nyílászáró tömítési megoldások jöhetnek szóba, melyek közül néhányat a cikk is említett.

Az esettanulmányi vizsgálat alapján megállapítható, hogy a hőveszteségek mérséklése érdekében szóba jöhető természetes filtrációt mérséklő megoldások tekintetében a legnagyobb mozgástér az L23 típusú, kis alapterületű lakások esetén van. Ahhoz, hogy a páramérleg szempontjából szükséges mértékű természetes filtráció megmaradjon zárt nyílászárók mellett, ezeknél a lakásoknál a fent említett módon tömíthetők a kétrétegű, gerébtokos nyílászárók, vagy cserélhetők a légudvari ablakok. Az L24 típusú nagy alapterületű lakásoknál is cserélhetőek az egyrétegű légudvari ablakok kétrétegűre, de itt már igen kicsi a mozgástér. Az L21 típusú, közepes méretű lakások eredeti állapotukban meglévő, illetve szükséges légcsereszáma túl közeli egymáshoz ahhoz, hogy bármilyen filtrációt csökkentő megoldás javasolható lenne. Természetesen minden lakás más és más, továbbá a lakók száma, szokásai pedig nagyban befolyásolják a páratartalom mértékét, ezért a legpontosabb eredményeket mindig az egyedi, adott lakótérre vonatkozó számítások adják.

Összességében megállapítható, hogy a történeti, palló- és gerébtokos ablakok filtrációs tulajdonságaik miatt is igen fontosak a természetes szellőzésű, hagyományos lakóépületek esetén. Modern nyílászárókra való cseréjükkel, vagy túlzott tömítésükkel a lakások tényleges légcsereszáma a páramérleg alapján számítható, fűtési idényben szükséges légcsereszám töredékére csökken, ahogy azt a fenti számítások is bizonyítják. Ezzel pedig a penészképződés kockázata nagymértékben megnövekszik. Ezért az egészséges életér biztosítása érdekében nem ajánlott az eredeti kéthéjú ablakok modern, nagy légzárású nyílászárókra való cseréje, de a hőveszteségek mérséklése érdekében különböző filtrációt csökkentő megoldások bizonyos esetekben javasolhatók.

Köszönetnyilvánítás

A cikk részben Szűts László Történelmi ablak szerkezetek hőtechnikai jellemzőinek vizsgálata című MSc diplomamunkáján alapszik. Szalay Zsuzsa munkáját a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatta.

Irodalom

- [1] Szűts László: *Történelmi ablak szerkezetek hőtechnikai jellemzőinek vizsgálata*, MSc Diplomamunka, BME Építőmérnöki Kar, 2012.
- [2] Zöld András: *Épületfizika*, BME jegyzet, 1997.
- [3] BME Lakóépülettervezési Tanszék: *Historikus városi szövet megújítása. Történeti épületállomány energetikai fejlesztése. Vezetői összefoglaló és kezelési kézikönyv*, Budapest, 2016.
- [4] 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról
- [5] MSZ 24140:2015 – *Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai* – ICS: 91.140.99
- [6] DIN 4108-3:2001-07 – *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung*
- [7] Dr. Széll Mária: *Épületek rekonstrukciós tervezése – Transzparens homlokzati szerkezetek diagnosztikája és energiahatékony, fenn tartható felújítása* – BMEEOMEMAT3 – 2011
- [8] Dr. Várfalvi János PhD: *Ablak szerkezetek légáteresztése*, BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék – Hőfizikai laboratórium – www.hofizlab.bme.hu/2012.11.02/

⁵Megjegyzés: Általánosabb, ~5.5 m-es traktusmélység esetén e lakások számítható légcsereszáma is alacsonyabb értékekre adódna