

Měření vzduchotěsnosti výplně otvoru v bytovém domě



Jiří Novák
Katedra konstrukcí pozemních staveb
Fakulta stavební ČVUT
září 2014

Zadavatel

Kloknerův ústav ČVUT
Oddělení stavebních materiálů
Šolínova 7
Praha 6

Zpracovatel

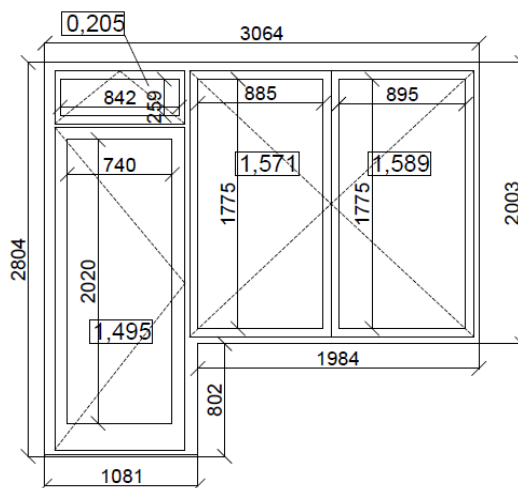
Ing. Jiří Novák Ph.D.
Katedra konstrukcí pozemních staveb
Stavební fakulta ČVUT v Praze
Thákurova 7
166 29 Praha 6
tel.: 732 888 700
email: jiri.novak.4@fsv.cvut.cz

Cíl

Měření vzduchotěsnosti funkční a připojovací spáry výplně otvoru (balkónové sestavy) v obytném domě.

Měřená výplň otvoru

Jedná se o repliku původní balkónové sestavy v bytovém domě z r 1937. Okno je dvojitě (špaletové). Rám je dřevěný. Okenní křídla mají jednoduché zasklení. Funkční spára je bez jakéhokoli těsnění. Řešení připojovací spáry nebylo zjišťováno. Okno je spojeno s balkónovými dveřmi, se kterými dohromady tvoří balkónovou sestavu. Balkónové dveře mají nadsvětlík s výklopným křídlem. Konstrukce balkónových dveří (včetně nadsvětlíku) je stejná jako konstrukce dveří (dvojitá...). Zavírací mechanismus nadsvětlíku byl v okamžiku měření poškozený, křídlo nedoléhalo zcela k rámu. Uspořádání a rozměry jsou zřejmé z obr. 1.



Obr. 1 Pohled na měřené okno a schéma s rozměry (pohled z interiéru)

Postup

Vzduchotěsnost zkoumané výplně (připojovací a funkční spáry) se měřila metodou tlakového spádu podle [1] pomocí zařízení blower door těmito dvěma způsoby:

- tzv. metodou postupného utěšňování – měřila se vzduchotěsnost celé balkónové sestavy
- pomocí plastové fólie a clony (destičky s otvorem, orifice plate) – měřila se pouze vzduchotěsnost okna (bez balkónových dveří s nadsvětlíkem)

Metoda postupného utěšňování

Postupovalo se v těchto krocích:

- 1) měření vzduchotěsnosti místnosti s výplní otvoru v běžném stavu, bez úprav
- 2) měření vzduchotěsnosti místnosti s výplní otvoru s utěsněnou funkční spárou (utěsnila se funkční spára vnitřních i venkovních křídél)
- 3) měření vzduchotěsnosti místnosti s výplní otvoru s utěsněnou funkční i připojovací spárou (připojovací spára se utěsnila zevnitř)

Rozdíl mezi průtokem vzduchu změřeným v kroku 1 a průtokem vzduchu změřeným v kroku 2 představuje průtok vzduchu samotnou funkční spárou. Rozdíl mezi průtokem vzduchu změřeným v kroku 2 a průtokem vzduchu změřeným v kroku 3 představuje průtok vzduchu samotnou připojovací spárou.

Vzduchotěsnost místnosti se v krocích 1, 2 a 3 měřila postupem podle [1] s měřicím zařízením blower door osazeným ve vstupních dveřích do pokoje. Připojovací a funkční spára se v krocích 2 a 3 utěsnila papírovou („malířskou“) lepicí páskou. Pro zvýšení přesnosti výsledku se v každém kroku realizovalo několik testů:

- krok 1 – 5 testů, označených 01 až 05
- krok 2 – 3 testy označené 07 až 09
- krok 3 – 3 testy označené 10 až 11

Test 01 byl vyloučen z dalšího hodnocení – výsledky se výrazně liší od ostatních testů realizovaných ve stejném kroku (test 01 byl realizován o několik dní dříve než ostatní testy a je např. možné, že okno, dveře nebo nadsvětlík byly zavřeny jiným způsobem). Při testu 06 byla utěsněna pouze funkční spára na vnějších okenních křídlech. Jedná se o doplňkový test, který rovněž nebyl využitý pro určení vzduchotěsnosti funkční a připojovací spáry.

V rámci každého testu se změnil objemový tok vzduchu V [m^3/h] na několika úrovních tlakového rozdílu Δp [Pa]. Tyto dvojice naměřených hodnot je možné vynést jako body do grafu závislosti objemového toku vzduchu na tlakovém rozdílu. V grafu s logaritmickým měřítkem mají tyto body ležet na přímce. Metodou lineární regrese podle [1] se z naměřených bodů odvodily tzv. parametry rovnice proudění (výsledek testu):

- součinitel proudění C [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{Pa}^n)$] - objemový tok vzduchu při tlakovém rozdílu 1 Pa, udává „velikost netěsnosti“, na grafu závislosti objemového toku vzduchu na tlakovém rozdílu je to průsečík regresní přímky se svislou osou grafu vedenou v hodnotě 1 Pa.
- exponent proudění n [-] – udává charakter proudění (laminární nebo turbulentní), na grafu závislosti objemového toku vzduchu na tlakovém rozdílu udává sklon regresní přímky, jeho hodnota má ležet v intervalu 0.5 až 1.0

Z parametrů rovnice proudění je možné vypočítat objemový tok vzduchu zkušebním vzorkem V [m^3/h] v závislosti na tlakovém rozdílu Δp [Pa]:

$$V = C \cdot \Delta p^n \quad (1)$$

Za výsledek měření vzduchotěsnosti místnosti s výplní v určitém stavu se považovaly průměry hodnot C a n z dílčích testů realizovaných v příslušném kroku. Např. hodnoty C a n

charakterizující místnost s balkónovou sestavou v běžném stavu se vypočítaly jako průměr hodnot C z pěti dílčích testů realizovaných v kroku 1 a průměr hodnot n z pěti dílčích testů realizovaných v kroku 1. Analogicky se postupovalo při určení hodnot C a n pro místnost s balkónovou sestavou s přelepenou funkční spárkou a místnost s balkónovou sestavou s přelepenou funkční i připojovací spárkou.

Parametry rovnice proudění C a n pro funkční spárku se vypočítaly tímto postupem:

- z hodnot C a n pro místnost s balkónovou sestavou v běžném stavu (průměrné hodnoty z výsledků dílčích testů realizovaných v kroku 1) se vypočítal objemový tok vzduchu V_{krok1} pro několik úrovní tlakového rozdílu ($\Delta p = 1 \text{ Pa}$, 10 Pa a dále v kroku 10 Pa až do 100 Pa)
- z hodnot C a n pro místnost s balkónovou sestavou s přelepenou funkční spárkou (průměrné hodnoty z výsledků dílčích testů realizovaných v kroku 2) se vypočítal objemový tok vzduchu V_{krok2} pro stejné úrovně ($\Delta p = 1 \text{ Pa}$, 10 Pa a dále v kroku 10 Pa až do 100 Pa)
- pro každou ze zvolených úrovní tlakového rozdílu ($\Delta p = 1 \text{ Pa}$, 10 Pa a dále v kroku 10 Pa až do 100 Pa) se vypočítal objemový tok vzduchu funkční spárkou V_{FS} :

$$V_{\text{FS}}(\Delta p) = V_{\text{krok2}}(\Delta p) - V_{\text{krok1}} \quad (2)$$

- parametry rovnice proudění C a n pro funkční spárku se vypočítaly z dvojic hodnot Δp a V_{FS} metodou lineární regrese podle [1] jako by se jednalo o změřené hodnoty

Analogicky se postupovalo při výpočtu parametrů rovnice proudění pro připojovací spárku (využily se výsledky testů z kroku 2 a 3).

Měření pomocí fólie a clony

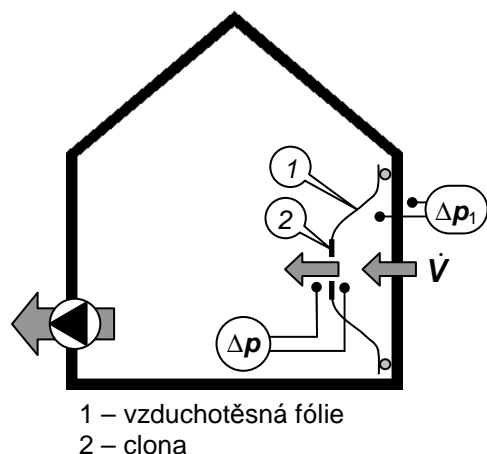
Při této metodě se měří přímo objemový tok vzduchu stavebním prvkem v zabudovaném stavu (v našem případě oknem) na různých úrovních tlakového rozdílu [2, 3, 4]. Aby bylo možné měřit objemový tok vzduchu samotným stavebním prvkem (bez průtoku vzduchu netěsnostmi v ostatních konstrukcích), vytvoří se kolem zkoušeného prvku pomocná tlaková komora z plastové fólie, do které se vlepe kalibrovaná clona (plastová destička s kruhovým otvorem) se známým výtokovým součinitelem C_D a známou plochou A (obr. 2). K vyvolání tlakového rozdílu (podtlaku) se použije zařízení blower door osazené do dveří místnosti s testovaným prvkem. Měří se tlakový rozdíl působící na testovaný prvek (Δp_1) a tlakový rozdíl působící na clonu (Δp). Objemový tok vzduchu clonou se vypočítá podle vztahu:

$$V = C_D \cdot A \cdot (2 \cdot \Delta p / \rho)^{0.5} \quad (3)$$

kde: V je objemový tok vzduchu clonou v m^3/s
 A je plocha otvoru v cloně v m^2
 C_D je výtokový součinitel otvoru v cloně
 Δp je rozdíl tlaku vzduchu před a za clonou v Pa
 ρ je hustota vzduchu v kg/m^3

Měření se opakuje při různých tlakových rozdílech. Získají se dvojice hodnot ($V; \Delta p_1$), ze kterých se metodou lineární regrese podle [1] vypočítají parametry rovnice proudění C a n pro zkušební vzorek. Metoda umožňuje pouze měření při podtlaku v budově (při přetlaku v budově by došlo k přitlačení fólie na vnitřní povrch zkoušeného prvku).

Touto metodou se měřila pouze vzduchotěsnost funkční spáry okna (obr. 2). Plastová fólie byla nalepena na rám okna. Vzduchotěsnost celé balkónové sestavy se neměřila, neboť panovala obava, že komplikovaný tvar v kombinaci s poměrně velkou plochou neumožní spolehlivé nalepení fólie. Vzduchotěsnost připojovací spáry se neměřila, neboť nebylo možné spolehlivě přilepit fólii k povrchu stěny. Pro zvýšení přesnosti výsledku se realizovalo 7 dílčích testů. Za výsledek měření se považovaly hodnoty exponentu proudění C a exponentu proudění n vypočítané jako průměr z výsledků dílčích testů.



Obr. 2 Vlevo – princip metody měření, Vpravo – pohled na okno s nalepenou fólií a osazenou clonou

Výsledky

Ke každému dílčímu testu byl vystaven samostatný zkušební protokol. Podrobné výsledky dílčích testů s poznámkami jsou uvedeny v těchto protokolech.

Metoda postupného utěšňování

Přehled výsledků dílčích testů je uveden v příloze 1. V tab. 1 jsou uvedeny výsledky měření vzduchotěsnosti místnosti s balkónovou sestavou v různých stavech.

Tab. 1 Výsledky měření vzduchotěsnosti při různých stavech přípravy balkónové sestavy (výsledná hodnota je vždy průměrem výsledků dílčích testů realizovaných v daném stavu)

stav okna						
funkční spára				bez úprav	utěšněná	utěšněná
připojovací spára				bez úprav	bez úprav	utěšněná
podtlak	součinitel proudění	C_{L-}	$[m^3/(h.Pa^n)]$	71.3	55.8	51.1
v budově	exponent prousění	n_-	$[-]$	0.58	0.56	0.58
přetlak	součinitel proudění	C_{L+}	$[m^3/(h.Pa^n)]$	75.7	58.3	56.7
v budově	exponent prousění	n_+	$[-]$	0.56	0.55	0.56

S použitím hodnot z tab. 1 se vypočítaly hodnoty parametrů rovnice proudění C_L a n pro funkční a připojovací spáru. Postup tohoto výpočtu dokumentuje příloha 2. Výsledné hodnoty součinitele proudění C_L a exponentu proudění n jsou uvedeny v tab. 2. Hodnoty součinitele proudění C_L jsou uvedeny vždy pro celou výplň (balkónovou sestavu), vztažené na $1m^2$ plochy výplně a na 1 bm příslušného typu spáry (exponent proudění se nemění). Hodnoty parametrů rovnice proudění pro funkční spáru se při měření přetlakem nepodařilo stanovit, proto nejsou v tabulce uvedené. Uvedené hodnoty charakterizují balkónovou sestavu jako celek.

Tab. 2 Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční a přípojovací spáry balkónové sestavy metodou postupného utěšňování

		součinitel proudění C_L			exp. proudění n [-]
		celá výplň [m ³ /(h·Pa ⁿ)]	na 1 m ² [m ³ /(h·m ² ·Pa ⁿ)]	na 1 bm spáry [m ³ /(h·m·Pa ⁿ)]	
funkční	podtlak	15.7	2.2	0.9	0.65
spára	přetlak	17.4	2.5	1.0	0.58
přípojovací	podtlak	---	---	---	---
spára	přetlak	1.6	0.22	0.061	0.50

Měření pomocí plastové fólie a clony

Výsledky jednotlivých dílčích testů jsou shrnuty v tab. 3.

Tab. 3 Měření vzduchotěsnosti okna pomocí plastové fólie a clony – přehled výsledků dílčích testů

test		01	02	03	04	05	06	07
součinitel proudění C_L	[m ³ /(h·Pa ⁿ)]	1.10	1.27	1.87	1.04	1.86	2.25	2.11
exponent proudění n	[-]	0.80	0.78	0.70	0.83	0.70	0.65	0.63

V tab. 4 jsou uvedeny výsledné hodnoty součinitele proudění C_L a exponentu proudění n pro funkční spáru okna. Výsledné hodnoty C_L a n byly vypočítány jako průměr výsledků dílčích testů. Jejich nejistoty byly odhadnuty jako dvojnásobek směrodatné odchylky průměru (to přibližně odpovídá 95% intervalu spolehlivosti). Hodnoty součinitele proudění C_L jsou uvedeny vždy pro celou výplň (okno), vztažené na 1 m² plochy výplně a na 1 bm funkční spáry (exponent proudění se nemění).

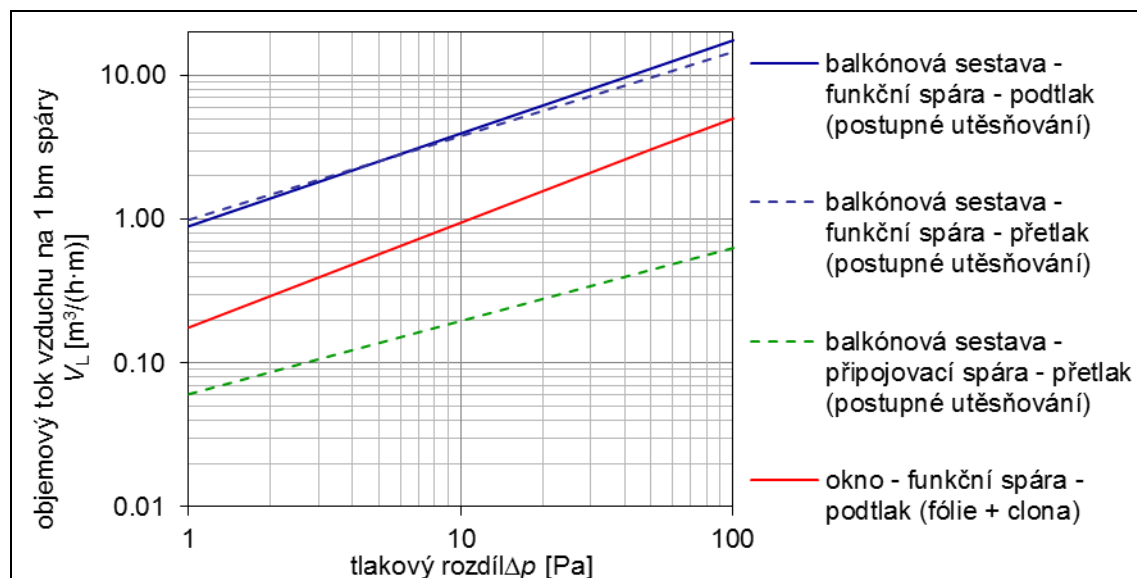
Tab. 4 Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční spáry okna pomocí plastové fólie a clony

		součinitel proudění C_L			exp. proudění n [-]
		celá výplň [m ³ /(h·Pa ⁿ)]	na 1 m ² [m ³ /(h·m ² ·Pa ⁿ)]	na 1 bm spáry [m ³ /(h·m·Pa ⁿ)]	
funkční	podtlak	1.6 ±0.4	0.41 ±0.09	0.18 ±0.04	0.73 ±0.06
spára					

Porovnání vzduchotěsnosti balkónové sestavy a okna

Výsledky měření vzduchotěsnosti balkónové sestavy a okna jsou graficky porovnány na obr. 3.

Funkční spára balkónové sestavy jako celku i samotného okna je výrazně méně těsná než přípojovací spára. Výrazný rozdíl mezi vzduchotěsností jednoho běžného metru funkční spáry balkónové sestavy a samotného okna může být důsledkem velmi netěsné funkční spáry výklopného křídla nadsvětlíku, jehož zavírací mechanismus je poškozený a neumožňuje těsné uzavření.



Obr. 3 Výsledky měření vzduchotěsnosti balkónové sestavy a okna – objemový tok vzduchu jedním běžným metrem spáry v závislosti na tlakovém rozdílu

Vyhodnocení výsledků

Přípojovací spára

Podle ČSN 73 0540-2:2011 [5] „se v obvodových konstrukcích nepřipouští netěsnosti a neutěsněné spáry, kromě funkčních spár výplní otvorů a funkčních spár lehkých obvodových plášťů. Všechna napojení konstrukcí mezi sebou musí být provedena trvale vzduchotěsně podle dosažitelného stavu techniky.“ To platí i pro přípojovací spáry výplní otvorů. Je zřejmé, že přípojovací spára zkoumané balkónové sestavy tento požadavek nesplňuje.

Funkční spára

V současné době neexistují žádné požadavky na vzduchotěsnost výplní otvorů, kromě lehkých obvodových plášťů. Určitou představu o kvalitě jiných výplní otvorů než LOP z hlediska vzduchotěsnosti (např. oken, dveří, balkónových sestav apod.) může poskytnout:

- porovnání s požadavky na vzduchotěsnost výplní otvorů podle ČSN 73 0540-2:2007 [6], které platily do roku 2011
- zařazení výplně do třídy těsnosti podle ČSN EN 12207 [7]

Porovnání s požadavky ČSN 73 0540-2:2007

Do poslední revize normy ČSN 73 0540-2 (rok 2011) se vzduchotěsnost výplní otvorů hodnotila pomocí součinitele spárové průvzdušnosti i_{LV} [$\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}\cdot\text{Pa}^{0.67})$]. Hodnota součinitele spárové průvzdušnosti udává objemový tok vzduchu výplní otvoru vztažený na jeden běžný metr funkční spáry při tlakovém rozdílu 1 Pa. Změřené hodnoty součinitele proudění C_L můžeme tedy považovat za odhad hodnoty i_{LV} pro zkoumanou výplň.

Podle normy [6] měla být hodnota i_{LV} zjištěná laboratorním měřením podle [8,9] menší než limitní normová hodnota $i_{LV,N}$ stanovená v závislosti na typu výplně, výškové poloze výplně otvoru v budově a způsobu větrání v budově. Pro náš případ by platila hodnota:

$$i_{LV,N} = 0,87 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}\cdot\text{Pa}^{0.67}) = 0,31 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}\cdot\text{Pa}^{0.67}) \quad (4)$$

V tab. 5 jsou porovnány naměřené hodnoty C_L vztažené na 1 bm funkční spáry s limitní hodnotou $i_{LV,N}$. Balkónová sestava jako celek tuto limitní hodnotu nesplňuje, samotné okno ano.

Nesplnění této limitní hodnoty naznačuje, že balkónová sestava jako celek je skutečně velmi netěsná. Limitní hodnoty podle [6] byly definovány pro starší výplně otvorů a jejich splnění (v případě samotného okna) nemusí zajistit splnění současných požadavků na kvalitu vnitřního prostředí a energetickou náročnost budov. Toto hodnocení je ovšem pouze orientační, protože hodnota C_L , která se porovnávala s limitní hodnotou $i_{LV,N}$, nebyla změřena předepsaným způsobem.

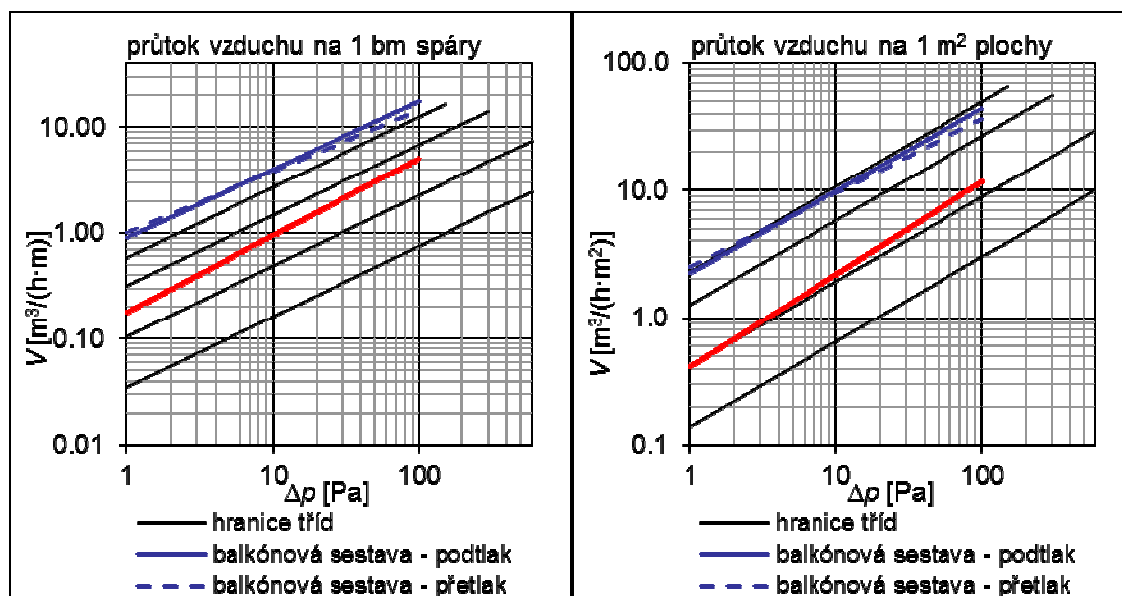
Tab. 5 Porovnání výsledků měření vzduchotěsnosti balkónové sestavy a okna s limitní hodnotou součinitele spárové průvzdušnosti podle [6]

		součinitel proudění na 1 bm spáry	součinitel spárové průvzdušnosti
		C_L	$i_{LV,N}$
		$[m^3/(h \cdot m \cdot Pa^n)]$	$[m^3/(h \cdot m \cdot Pa^{0.67})]$
balkónová sestava	podtlak	0.9	0.31
	přetlak	1.0	0.31
okno	podtlak	0.18	0.31

Zatřídění podle ČSN EN 12207

Výrobky uváděné na trh se mají zatřídít do jedné ze tříd těsnosti podle ČSN EN 12207 [7]. Tato norma definuje 5 tříd těsnosti (0, 1, až 4 – třída 4 představuje nejlepší úroveň vzduchotěsnosti). Při zatřídění se vychází z výsledků laboratorního měření vzduchotěsnosti výplně metodou tlakového spádu podle [9]. Aby byla výplň zařazena do určité třídy, musí být všechny naměřené hodnoty objemového toku vzduchu výplně menší než hraniční hodnoty pro danou třídu. Hodnotí se výsledky měření vztažené na 1 bm funkční spáry (hodnocení podle délky spáry) a výsledky vztažené na 1 m² plochy okna (hodnocení podle celkové plochy). Z výsledků zatřídění podle délky spáry a podle celkové plochy se určí konečné zatřídění zkušební vzorku. Norma [7] definuje zvláštní postupy pro případy, kdy výsledkem zatřídění podle délky spáry a podle celkové plochy je pokaždé jiná třída těsnosti.

V grafu na obr. 4 jsou společně vyneseny výsledky měření vzduchotěsnosti funkční spáry a třídy těsnosti podle [7]. Při tomto způsobu zobrazení je možné zatřídít měřenou výplň otvoru na základě vizuálního porovnání výsledku měření s hranicemi tříd těsnosti. Výsledky zatřídění jsou shrnuty v tab. 6.



Obr. 4 Porovnání výsledků měření vzduchotěsnosti funkční spáry balkónové sestavy a okna s hranicemi tříd těsnosti podle ČSN EN 12207 [7]

Tab. 6 Orientační zatřídění balkónové sestavy jako celku a samotného okna podle ČSN EN 12207 [7]

výplň otvoru	balkónová sestava	okno
zatřídění podle plochy	třída 0	třída 2
zatřídění podle délky spáry	třída 0	třída 2
konečné zatřídění zkušební vzorku	třída 0	třída 2

Balkónovou sestavu by bylo možné zařadit do třídy 0 a okno do třídy 2. V obou případech se jedná o neuspokojivý výsledek. Třída 2 charakterizuje netěsné výrobky, třída 0 dokonce velmi netěsné. Současné výplně otvorů určené pro bytové stavby obvykle splňují limity třídy 4. Toto zatřídění je pouze orientační, neboť vzduchotěsnost hodnocených výplní nebyla změřena předepsaným způsobem.

Literatura

- [1] ČSN EN ISO 13829 Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method, ČNI, Praha, září 2001
- [2] Walther, W. : Messung kleiner Volumenströme mit Hilfe von Lochblenden, Seminar: Blower Door spezial, červen 2006
- [3] BlowerDoor GmbH: Minneapolis Blower Door – Window and Door Measurement System – Air Permeability Test (manuál), BlowerDoor GmbH, Springe, říjen 2010
- [4] Novák, J.: Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov, Grada, Praha, 2006
- [5] ČSN 730540-2:2011 Tepelná ochrana budov – Část 2, Požadavky, ÚNMZ, Praha, říjen 2011
- [6] ČSN 730540-2:2007 Tepelná ochrana budov – Část 2, Požadavky, ČNI, Praha, duben 2007
- [7] ČSN EN 12207 Okna a dveře – Průvzdušnost – Klasifikace, ČNI, Praha, březen 2001
- [8] ČSN EN 12114 Tepelné chování budov - Stanovení průvzdušnosti stavebních dílců a prvků - Laboratorní zkušební metoda, ČNI, Praha, srpen 2001
- [9] ČSN EN 1026 Okna a dveře – Průvzdušnost – Zkušební metoda, ČNI, Praha, srpen 2001

Příloha 1 – Metoda postupného utěšňování - přehled výsledků díličích testů

označení testu	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
stav okna												
funkční spára- vnitřní křídlo	bez úprav	bez úprav	bez úprav	bez úprav	bez úprav	bez úprav	utěsněná	utěsněná	utěsněná	utěsněná	utěsněná	utěsněná
funkční spára- vnější křídlo	bez úprav	bez úprav	bez úprav	bez úprav	bez úprav	utěsněná	utěsněná	utěsněná	utěsněná	utěsněná	utěsněná	utěsněná
přípojovací spára	bez úprav	bez úprav	bez úprav	bez úprav	bez úprav	bez úprav	bez úprav	bez úprav	bez úprav	utěsněná	utěsněná	utěsněná
průtok vzduchu - podtlak V_{50-} [m ³ /h]	730	698	703	698	694	509	504	500	501	485	491	485
průtok vzduchu - přetlak V_{50+} [m ³ /h]	720	679	676	682	680	505	507	507	513	497	491	496
průtok vzduchu - průměr $V_{50-/+}$ [m ³ /h]	725	689	690	690	687	507	506	504	507	491	491	491
souč. proudění - podtlak C_{L-} [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	75.3	73.0	74.9	68.3	69.1	53.7	59.3	53.3	54.7	47.6	56.1	49.6
souč. proudění - přetlak C_{L+} [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	82.2	80.0	75.9	70.8	76.1	58.9	56.7	56.7	61.4	52.9	51.4	65.9
exp. proudění - podtlak n_- [-]	0.58	0.58	0.57	0.59	0.59	0.57	0.55	0.57	0.57	0.59	0.55	0.58
exp. proudění - přetlak n_+ [-]	0.55	0.55	0.56	0.58	0.56	0.55	0.56	0.56	0.54	0.57	0.58	0.52

Příloha 2 – Výpočet parametrů rovnice proudění funkční a přípojovací spáry balkónové sestavy z výsledků měření metodou postupného utěšňování

Funkční spára – podtlak

Vstupní údaje

měření			A	B
souč. proudění	C_L	$[m^3/(h.Pa^n)]$	71.3	55.8
exp. proudění	n	$[-]$	0.58	0.56

měření A: balkónová sestava v běžném stavu (bez úprav)

měření B: utěsněná funkční spára

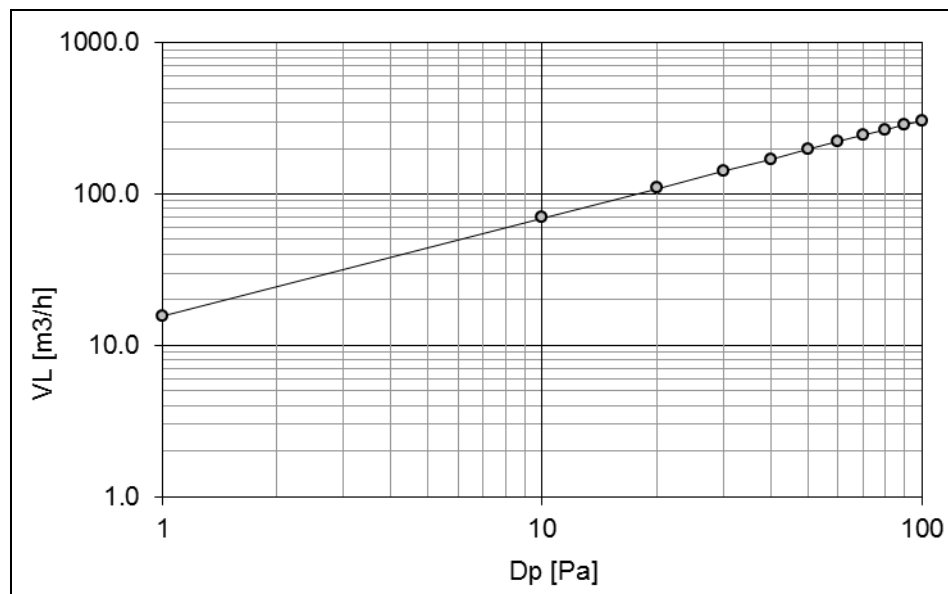
Objemový tok vzduchu spárou

tlak.rozdíl Δp	[Pa]	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
měření A	$V_{L,A}$	$[m^3/h]$	71	273	410	519	614	699	777	851	919	985	1047
měření B	$V_{L,B}$	$[m^3/h]$	56	203	300	377	443	502	556	607	654	699	741
funkční sp.	$V_{L,A} - V_{L,B}$	$[m^3/h]$	16	70	109	142	171	197	221	244	265	286	306

Parametry rovnice proudění vypočítané lineární regresí

souč. proudění	C_L	$[m^3/(h.Pa^n)]$	15.7
exp. proudění	n	$[-]$	0.65

Grafický výsledek



Funkční spára – přetlak**Vstupní údaje**

měření			A	B
souč. proudění	C_L	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]	75.7	58.3
exp. proudění	n	[-]	0.56	0.55

měření A: balkónová sestava v běžném stavu (bez úprav)

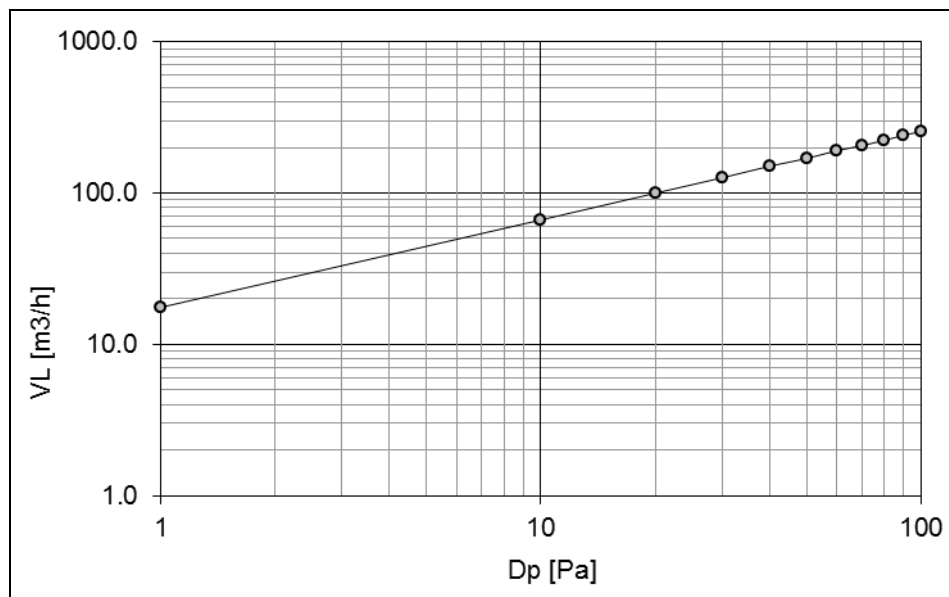
měření B: utěsněná funkční spára

Objemový tok vzduchu spárou

tlak.rozdíl Δp	[Pa]	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
měření A	$V_{L,A}$	[m ³ /h]	76	276	407	511	600	680	753	821	885	946	1003
měření B	$V_{L,B}$	[m ³ /h]	58	209	307	384	450	509	564	614	661	705	748
funkční sp.	$V_{L,A} - V_{L,B}$	[m ³ /h]	17	67	100	127	150	171	190	208	224	240	256

Parametry rovnice proudění vypočítané lineární regrese

souč. proudění	C_L	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]	17.4
exp. proudění	n	[-]	0.58

Grafický výsledek

Připojovací spára – podtlak**Vstupní údaje**

měření			A	B
souč. proudění	C_L	$[m^3/(h.Pa^n)]$	55.8	51.1
exp. proudění	n	$[-]$	0.56	0.58

měření A: balkónová sestava v běžném stavu (bez úprav)

měření B: utěsněná funkční spára

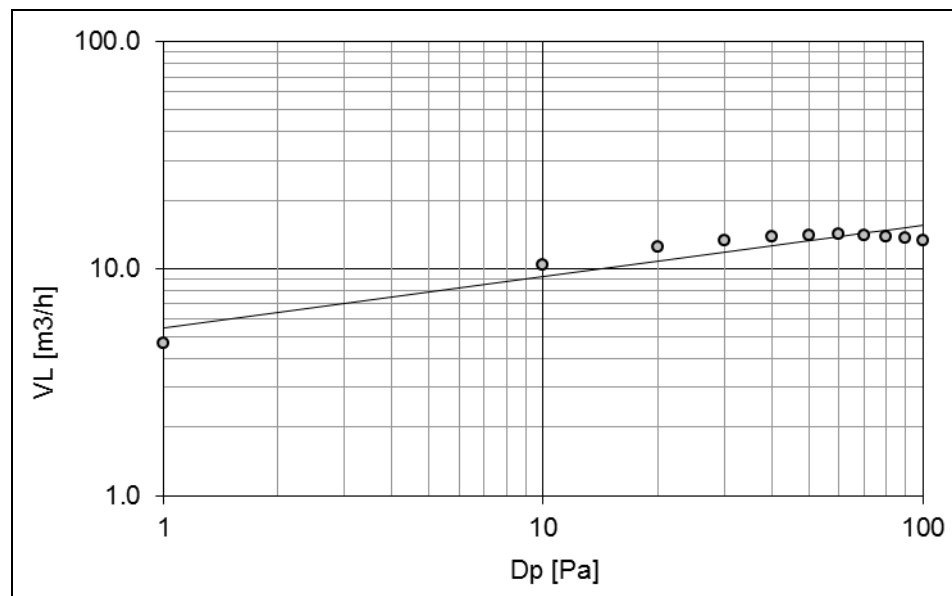
Objemový tok vzduchu spárou

tlak.rozdíl Δp	[Pa]	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
měření A $V_{L,A}$	$[m^3/h]$	56	203	300	377	443	502	556	607	654	699	741
měření B $V_{L,B}$	$[m^3/h]$	51	193	288	364	429	488	542	593	640	685	728
připoj. sp. $V_{L,A} - V_{L,B}$	$[m^3/h]$	5	10	12	13	14	14	14	14	14	14	13

Parametry rovnice proudění vypočítané lineární regresí

souč. proudění	C_L	$[m^3/(h.Pa^n)]$	5.5
exp. proudění	n	$[-]$	0.23

Hodnota exponentu proudění leží mimo fyzikálně platný rozsah. Výsledky měření jsou neplatné.

Grafický výsledek

Připojovací spára – přetlak

Vstupní údaje

měření			A	B
souč. proudění	C_L	$[m^3/(h.Pa^n)]$	58.3	56.7
exp. proudění	n	$[-]$	0.55	0.56

měření A: balkónová sestava v běžném stavu (bez úprav)

měření B: utěsněná funkční spára

Objemový tok vzduchu spárou

tlak.rozdíl Δp	[Pa]	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
měření A	$V_{L,A}$	$[m^3/h]$	58	209	307	384	450	509	564	614	661	705	748
měření B	$V_{L,B}$	$[m^3/h]$	57	204	299	375	440	498	551	600	647	690	732
připoj. sp.	$V_{L,A} - V_{L,B}$	$[m^3/h]$	2	5	7	9	10	11	12	13	14	15	16

Parametry rovnice proudění vypočítané lineární regresi

souč. proudění	C_L	$[m^3/(h.Pa^n)]$	1.6
exp. proudění	n	$[-]$	0.50

Grafický výsledek

