



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb

Měření vzduchotěsnosti oken in-situ ve starších budovách

In-situ measurements of windows air permeability in older buildings

Bakalářská práce

Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Jiří Novák, Ph.D.

Vladimír Vacek

Praha 2017



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Vacek</u>	Jméno: <u>Vladimír</u>	Osobní číslo: <u>423837</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra konstrukcí pozemních staveb</u>		
Studijní program: <u>(B3651) Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>(3608R008) Konstrukce pozemních staveb</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Měření vzduchotěsnosti oken in-situ ve starších budovách</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>In-situ measurements of windows air permeability in older buildings</u>	
Pokyny pro vypracování:	
<ul style="list-style-type: none">-Rešerše - vzduchotěsnost budov - způsoby měření, stavebně-energetické souvislosti-Shrnutí a analýza dostupných výsledků měření vzduchotěsnosti starších oken-Vyhodnocení měření vzduchotěsnosti oken na vybrané budově-Vlastní měření vzduchotěsnosti oken na vybrané budově-Odhad podílu oken na celkové vzduchotěsnosti oken starších budov-Odhad vlivu výměny oken na energetické vlastnosti budov - případová studie-Vyhodnocení, závěry	
Seznam doporučené literatury:	
<ul style="list-style-type: none">-Jiří Novák, Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov, Grada-Jan Tywoniak, Nízkoenergetické domy I-III, Grada-ČSN EN ISO 9972-ČSN EN ISO 13790	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Ing. Jiří Novák, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>21.2.2017</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>28.5.2017</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
<u>Podpis vedoucího práce</u>	<u>Podpis vedoucího katedry</u>

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<u>21.2.2017</u> Datum převzetí zadání	<u>Podpis studenta(ky)</u>
---	----------------------------

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a všechny použité prameny a literatura jsou uvedeny v seznamu citované literatury.

Nemám námitek proti použití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

.....

Vladimír Vacek

Poděkování

V úvodu bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce, Ing. Jiřímu Novákovi, Ph.D. za jeho konzultace, cenné připomínky, výborný přístup a především čas, který mi věnoval při vypracování této práce.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině, především rodičům, že mi umožnili studovat a dostat se až k této závěrečné práci. Mé poděkování patří také babičce a dědečkovi z Račic za umožnění vlastního měření.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá především měření vzduchotěsnosti oken in-situ. V úvodní části práce seznamuje obecně s problematikou vzduchotěsnosti. Dále se zaměřuje na metody měření vzduchotěsnosti oken in-situ. Poté následuje shrnutí a analyzování dostupných výsledků měření vzduchotěsnosti oken a vyhodnocování vlastních měření vzduchotěsnosti oken. Závěrečnou část tvoří porovnávání vlastních i dostupných výsledků měření vzduchotěsnosti oken různého typu, stáří a materiálu v závislosti na jejich ploše a délce funkční spáry. Zjišťování odhadu podílu oken na celkové vzduchotěsnosti starších budov a odhad vlivu výměny oken na energetické vlastnosti budovy. V závěru je vytvořen katalog vzduchotěsnosti zkoumaných oken.

Klíčová slova

Průvzdušnost, vzduchotěsnost, vzduchotěsnost oken, rekonstrukce, výměna oken, měření in-situ, špaletová okna, zdvojená okna, plastová okna, blower door test

Annotation

The Bachelor thesis primarily deals with the airtightness measurement of windows in-situ. In the introductory part the issue of airtightness is generally presented. The thesis also focuses on in-situ airtightness measurement. The window airtightness measurement results available are summarized and analyzed our own airtightness measurements are evaluated. The final part is statistic analysis of all gether results of airtightness measurements of windows of various types, ages and material depending on their area and the length of the functional joint. Determining the proportion of windows in the overall airtightness in older buildings and estimating replacement of windows to the energy performance of the building. In the end, the airtightness catalog of examined windows is created.

Keywords

Air permeability, airtightness, air permeability of windows, refurbishment, replacemant of windows, in-situ measurements, dual windows, double windows, plastic windows, blower door test

Obsah

1. Úvod.....	- 8 -
2. Vzduchotěsnost budov.....	- 9 -
2.1 Netěsnosti v obálce budovy.....	- 9 -
2.2 Vzduchotěsnost výplní otvorů (oken)	- 9 -
2.3 Tlakový rozdíl	- 10 -
2.4 Tlakový rozdíl vyvolaný rozdílem teplot	- 11 -
2.5 Tlakový rozdíl vyvolaný účinkem větru	- 12 -
2.6 Tlakový rozdíl vyvolaný větracím zařízením.....	- 13 -
3. Měření vzduchotěsnosti.....	- 14 -
3.1 Hodnocení vzduchotěsnosti budov.....	- 14 -
3.1.1 Referenční tlakový rozdíl.....	- 14 -
3.1.2 Intenzita výměny vzduchu	- 15 -
3.1.3 Měrný objemový tok vzduchu netěsnostmi	- 15 -
3.1.4 Vzduchová propustnost budovy	- 15 -
3.1.5 Odvozené hodnotící veličiny	- 16 -
3.1.6 Ostatní hodnotící veličiny	- 16 -
3.2 Měření vzduchotěsnosti obálky budovy	- 16 -
3.2.1 Blower door test	- 17 -
3.2.2 Měřicí zařízení Blower door	- 18 -
3.2.3 Princip a postup měření zařízením Blower door.....	- 19 -
3.2.4 Vyhodnocení a výsledky měření	- 20 -
3.3 Metody měření vzduchotěsnosti výplní otvorů (okenních otvorů)	- 21 -
3.3.1 Metoda postupného utěšňování	- 21 -
3.3.2 Měření pomocí fólie a clony	- 22 -
3.3.3 Měření před a po výměně oken.....	- 23 -
4. Stavebně-energetické souvislosti	- 24 -
5. Shrnutí a analýza dostupných výsledků měření vzduchotěsnosti starších oken	- 26 -
5.1 Vyhodnocení výsledků měření vzduchotěsnosti, panelový dům – Praha.....	- 29 -
5.2 Vyhodnocení výsledků měření vzduchotěsnosti, bytový dům – Plzeň	- 32 -
5.3 Vyhodnocení výsledků měření vzduchotěsnosti okna – Dobřichovice.....	- 35 -
6. Vlastní měření vzduchotěsnosti oken	- 38 -
6.1 Měření vzduchotěsnosti – Záhornice.....	- 41 -
6.1.1 Měření vzduchotěsnosti – Záhornice – Metoda postupného utěšňování.....	- 43 -
6.1.2 Měření vzduchotěsnosti – Záhornice – Metoda pomocí plastové fólie a clony.....	- 45 -
6.1.3 Záhornice – porovnání výsledků vzduchotěsnosti z kapitol 6.1.1 a 6.1.2.....	- 46 -

6.2 Měření vzduchotěsnosti – Račice	- 47 -
6.2.1 Měření vzduchotěsnosti – Račice – Metoda postupného utěšňování	- 49 -
6.2.2 Měření vzduchotěsnosti – Račice – Metoda pomocí plastové fólie a clony.....	- 50 -
6.2.3 Račice – porovnání výsledků vzduchotěsnosti z kapitol 6.2.1 a 6.2.2	- 51 -
7. Výsledky jednotlivých měření oken	- 54 -
7.1 Výsledky jednotlivých měření oken– metoda fólie a clony	- 55 -
7.2 Výsledky jednotlivých měření oken – metoda postupného utěšňování.....	- 60 -
7.3 Výsledky jednotlivých měření oken – metoda výměny okna	- 62 -
7.4 Výsledky jednotlivých měření oken – souhrn	- 64 -
8. Odhad vlivu výměny oken na energetické vlastnosti budovy.....	- 70 -
8.1 Vlhkostní bilance vzduchu.....	- 73 -
9. Závěr.....	- 77 -
10. Zdroje a použitá literatura	- 80 -
11. Seznam příloh.....	- 82 -

1. Úvod

Provoz budov se podílí z $\pm 40\%$ na celkové spotřebě energií v Evropské Unii. Jelikož se stavební sektor neustále rozrůstá, tak se dá předpokládat i zvyšující se spotřeba energií. V současné době je tedy trendem snižování energetické náročnosti budov, emisí skleníkových plynů a potřeby neobnovitelných zdrojů ve stavebnictví. [14]

Je tedy zřejmé, že musíme snižovat energetickou náročnost budov. To znamená snižování všech položek v energetické bilanci budovy, kde je podstatnou částí tepelná ztráta. Z toho vyplývá, že našim cílem je snížení tepelné ztráty budovy.

Jedna z možností, jak snížit tepelnou ztrátu budovy je i zlepšit vzduchotěsnost obálky budovy. Zejména v případě, kdy už jsme ostatní položky energetické bilance zredukovali na minimum. Pokud je obálka budovy netěsná, dochází k úniku vzduchu netěsnostmi z vnitřního do venkovního prostředí. Tento fakt zvyšuje tepelnou ztrátu, která se nepříznivě projeví v celkové energetické bilanci budovy.

Vzduchotěsností se zabýváme především u nových budov, kterých se ale staví málo. Hlavní uplatnění je tedy v rekonstrukcích starších budov a dá se předpokládat, že okna jsou hlavním problémem při zajišťování vzduchotěsnosti. Pokud budeme chtít zlepšovat vzduchotěsnost u starších budov (u novostaveb se dá říct, že to umíme viz. nízkoenergetické a pasivní domy) budeme se muset věnovat oknům. Tato bakalářská práce tedy zkoumá, jaký potenciál má výměna oken ve starších budovách, jak těsná či netěsná jsou starší okna, jak selepší vzduchotěsnost po výměně oken a jak se změní energetické chování budovy.

Název této bakalářské práce je tedy Měření vzduchotěsnosti oken in-situ ve starších budovách. Cíle práce jsou:

- zpracování dostupných údajů vzduchotěsnosti oken
- vyhotovení protokolů vzduchotěsnosti oken z již provedených či vlastních měření
- odhad podílu oken na celkové vzduchotěsnosti starších budov
- odhad vlivu výměny oken na energetické vlastnosti budov

V závěru bakalářská práce přinese přehled o vzduchotěsnosti starších oken z výsledků měření, které byly dosud měřeny a dohledány v České Republice.

2. Vzduchotěsnost budov [1, 2]

Vzduchotěsnost neboli průvzdušnost budov se zkoumá již několik desítek let. Důvody k tomuto výzkumu jsou zcela zřejmé, a to především kvůli snaze o snížení energetické náročnosti objektů. V posledních letech je hnacím motorem těchto výzkumů zvyšující se zájem o nízkoenergetické, pasivní a nulové domy.

Vzduchotěsnost je vlastně schopnost daného prvku (materiálu, určité konstrukce nebo obálky budovy jako celku) propouštět vzduch. Pokud chceme mít prvek co nejtěsnější, je nutné, aby propouštěl co nejmenší množství vzduchu. Prvek propouští vzduch, jestliže jsou splněny dvě základní podmínky:

- prvek obsahuje netěsnosti
- prvek je vystaven tlakovému rozdílu

2.1 Netěsnosti v obálce budovy [1, 2]

Nikdy není možné dosáhnout dokonale vzduchotěsné obálky budovy, protože vždy propouští určité množství vzduchu. Konstrukce nemají problém se vzduchotěsností v ploše, i přes to, že se ve skladbách konstrukcí používají materiály propustné pro vzduch (např. minerální tepelné izolace). Pro zajištění vzduchotěsnosti se ve skladbách konstrukcí používají vzduchotěsné vrstvy (např. omítky a parozábrany). Netěsnosti v obálce budovy jsou tedy způsobeny především netěsnými spoji mezi konstrukcemi a místy, kde je přerušena spojitost vrstev zajišťujících vzduchotěsnost (např. netěsné spoje, netěsné napojení na prostupující prvky). Netěsnosti v obálce budovy lze rozdělit na:

- „záměrné“ – otvory které jsou navrženy jako součást větracího systému, pro přívod čerstvého vzduchu
- „nechtěné“ – trhliny, otvory, spáry atd. vznikají převážně vlivem chyb při návrhu anebo nedůsledností při výstavbě objektu

Tyto nechtěné netěsnosti mohou narušit tepelně vlhkostní režim konstrukce, ale i celkové tepelné chování objektu. Netěsnosti tohoto typu je nutné systematicky odstraňovat.

2.2 Vzduchotěsnost výplní otvorů (oken) [13]

Dá se předpokládat, že celková úroveň vzduchotěsnosti objektu je do určité míry závislá na vzduchotěsnosti oken. Zejména u některých typů budov, jako například u starších zděných bytových domů či panelových bytových domů. Nezáleží však jen na

vzduchotěsnosti jednotlivých oken, ale i na způsobu osazení do obálky budovy. Při plánování rekonstrukce nebo energetické sanace starších objektů může být důležitým údajem právě vzduchotěsnost oken v zabudovaném stavu. Díky těmto údajům by se mělo dát odhadnout možné zlepšení vzduchotěsnosti celého objektu po výměně oken. Dále se může odhadnout snížení tepelných ztrát a potřeby tepla na vytápění v důsledek snížení infiltrace vzduchu novými okny.

2.3 Tlakový rozdíl [1,3]

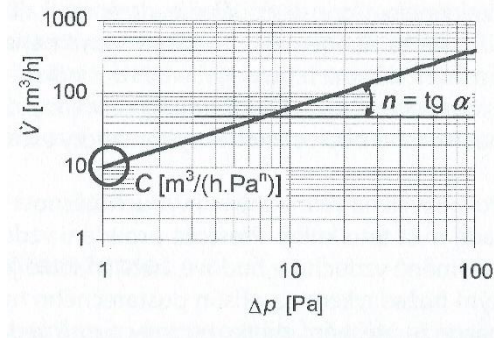
K pohybu vzduchu skrze netěsnosti v obálce budovy je zapotřebí rozdílného tlaku vzduchu mezi vnitřním a vnějším prostředím. Vyvolání tlakového rozdílu je většinou způsobeno kombinací tlakového rozdílu působení větru, rozdílu teploty mezi vnitřním a vnějším prostředím a případným tlakovým rozdílem, který vyvolá mechanický větrací systém. Závislost proudění vzduchu na tlakovém rozdílu se dá vyjádřit tzv. empirickou rovnicí proudění:

$$q = C \times (\Delta p)^n \quad (1)$$

kde	q	je objemový tok vzduchu [m^3/h]
	C	je součinitel proudění [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$]
	Δp	je tlakový rozdíl [Pa]
	n	je součinitel proudění (bezrozměrný)

Vzduchotěsnost daného prvku lze popsat parametry C a n . Tyto parametry se zjišťují experimentálním měřením. Parametr C , neboli součinitel proudění, vyjadřuje množství objemového toku vzduchu procházející netěsností při rozdílu tlaku 1 Pa a tedy informuje o velikosti netěsnosti. Charakter proudění vzduchu vyjadřuje exponent proudění n . Tento exponent se pohybuje v rozmezí 0,5 – 1,0. V předběžných výpočtech se počítá s hodnotou $n = 0,67$.

Ke grafickému znázornění závislosti objemového toku vzduchu na tlakovém rozdílu se nejčastěji využívá logaritmického měřítka. Na vodorovnou osu se vynese tlakový rozdíl Δp a na svislou osu se vynese objemový tok vzduchu q . Hodnotu součinitele proudění C je možno odečíst z grafu (obrázek 1), kdy se přímka protne se svislou osou v rozdílu tlaků $\Delta p=1$ Pa. Směrnice přímky, tedy její sklon je dán hodnotou exponentu proudění n .



Obr. č.1: Graf závislosti objemového toku vzduchu netěsnostmi v obálce budovy na tlakovém rozdílu [1]

2.4 Tlakový rozdíl vyvolaný rozdílem teplot [1]

Rozdílná hustota vnitřního a venkovního vzduchu vyvolává tzv. komínový efekt. Tato rozdílná hustota vzduchu je způsobena teplotním rozdílem mezi vnitřním a venkovním prostředím. Teplota, vlhkost vzduchu a barometrický tlak ovlivňují hustotu vzduchu, přičemž vliv vlhkosti a barometrického tlaku je většinou zanedbatelný. Při zanedbání těchto dvou veličin se tlakový rozdíl počítá pouze na základě rozdílu teplot a výšce budovy:

$$\Delta p_t = (\rho_e - \rho_i) \times g \times (h_{NR} - h) = \rho_e \times \left(\frac{\theta_e - \theta_i}{\theta_i} \right) \times g \times (h_{NR} - h) \quad (2)$$

kde Δp_t je tlakový rozdíl vyvolaný rozdílem teplot [Pa]

ρ_e je hustota venkovního vzduchu [kg/m^3]

ρ_i je hustota vnitřního vzduchu [kg/m^3]

g je gravitační konstanta [m/s^2]

h_{NR} je výška neutrální roviny [m]

h je výška místa, kde je zjišťován rozdíl tlaku [m]

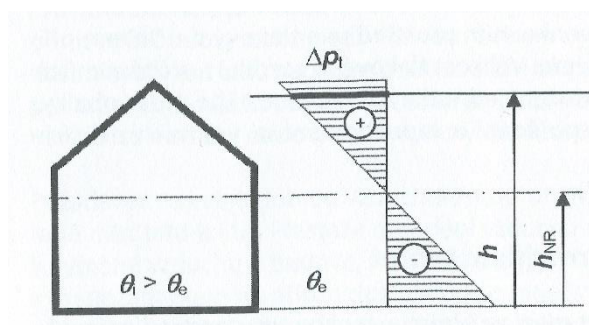
θ_e je teplota venkovního vzduchu [K]

θ_i je teplota vnitřního vzduchu [K]

Tento vztah platí za předpokladu, že zkoumaná budova funguje jako jedna tlaková zóna (veškeré místnosti v budově jsou mezi sebou vzájemně propojeny a není mezi nimi tlakový rozdíl). Dalším předpokladem je to, že teplota uvnitř budovy je neměnná s výškou budovy.

V zimním období, kdy je vnitřní vzduch teplejší než venkovní, vzniká podtlak v nižších částech budovy a ve vyšších částech přetlak. Mezi oblastí podtlaku a přetlaku leží neutrální rovina. V neutrální rovině je rozdíl tlaků nulový. Poloha neutrální roviny je závislá na

rozmístění netěsností po výšce objektu a z toho vyplývá, že nemusí být jen v polovině výšky objektu.



Obr. č.2: Ilustrační schéma ke vztahu (2), tlakový rozdíl vyvolaný rozdílem teplot [1]

2.5 Tlakový rozdíl vyvolaný účinkem větru [1]

Pro vzduch, který proudí okolo libovolného tělesa jsou typické četné změny rychlosti a směru proudění. Na povrchu obtékaného tělesa tyto změny výrazně ovlivňují tlak vzduchu. Přetlak je vyvolán na návětrné straně jednoduchých deskových těles. K podtlaku neboli sání dochází na závětrné straně. Rozložení tlaku na obálce reálné budovy při obtékání větrem je mnohem složitější. Velmi totiž záleží na tvaru budovy, orientaci budovy vůči větru, vlivu okolní zástavby a překážek, terénu a také na síle větru. Účinek tlaku větru v určitém místě na obálce budovy je definován vztahem:

$$\Delta p_v = C_p \times \rho \times \frac{v^2}{2} \quad (3)$$

kde Δp_v je rozdíl tlaku vzduchu v daném místě na obálce a tlaku vzduchu v místě s nerušeným prouděním v referenční výšce [Pa]

C_p je tlakový součinitel (bezrozměrný)

ρ je hustota vzduchu [kg/m^3]

v je rychlost větru v místě s nerušeným prouděním v referenční výšce [m/s]

V odborné literatuře (např. [1]) lze najít konkrétní hodnoty tlakového součinitele C_p pro daný směr větru a jeho úhel sklonu. Většina používaných a publikovaných hodnot tlakového součinitele C_p vychází z měření v aerodynamických tunelech. Tyto hodnoty je možné získat i za pomoci výpočtových metod CFD (Computational Fluid Dynamics) anebo měření in-situ. Hodnoty součinitelů C_p se vždy vztahují k určité referenční výšce, ta ve většině případů odpovídá výšce budovy.

Při odhadech, ale i výpočtech reálného působení tlakových účinků větru na obálku budovy se musí vždycky počítat se značnou mírou nejistoty. A to z důvodu velmi proměnlivé rychlosti a směru větru.

2.6 Tlakový rozdíl vyvolaný větracím zařízením [1]

Činnost mechanického větracího systému může vyvolávat mezi vnitřním a venkovním prostředím tlakový rozdíl. Při použití rovnotlakých větracích systémů může být tento vliv tlakového rozdílu malý a zanedbatelný. Při využití přetlakových či podtlakových větracích systémů je vliv tlakového rozdílu výraznější. Kuchyňské digestoře a určité spalovací spotřebiče (jako např. kamna, krby a kotle) mohou také vyvolat tlakový rozdíl.

Nesmíme zapomenout, že tlakové účinky větru, rozdílu teplot a větracích zařízení působí najednou v daném objektu. To znamená, že výsledný tlakový rozdíl je proměnlivý v čase a závisí na klimatických podmínkách.

3. Měření vzduchotěsnosti [1]

Jediným spolehlivým nástrojem ke zjištění průvzdušnosti obálky budovy je měření. Vznik netěsností v obálce budovy je velice obtížné odhadnout, protože tyto netěsnosti vznikají do značné míry nahodile. A to hned v projekci nebo až při fázi realizace objektu.

3.1 Hodnocení vzduchotěsnosti budov [1, 4]

Za pomoci tzv. empirické rovnice proudění (1) se dá zjistit vzduchotěsnost obálky budovy. Tato rovnice (1) definuje vztah mezi objemovým tokem vzduchu q a tlakovým rozdílem Δp .

Pro hodnocení budov různých velikostí a jejich vzájemnému porovnávání se veličiny z tzv. empirické rovnice proudění (1) vztahují k charakteristickým rozměrům budovy (např. objem vnitřního vzduchu, plocha obálky budovy a podlahová plocha).

Nejčastěji používané veličiny sloužící k hodnocení průvzdušnosti obvodového pláště budovy:

- n_{ref} intenzita výměny vzduchu [h^{-1}]
- $q_{F,ref}$ měrný objemový tok vzduchu [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]
- $q_{E,ref}$ vzduchová propustnost budovy [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]
- $A_{L,ref}$ ekvivalentní plocha netěsnosti [cm^2]
- A_n normalizovaná plocha netěsnosti (bezrozměrná)

3.1.1 Referenční tlakový rozdíl [1, 4]

Při měření průtoku vzduchu obálkou budovy se nejčastěji využívá tlakového rozdílu mezi vnitřním a venkovním prostředím 50 Pa. Národní předpisy či národní technické normy většinou definují hodnotu referenčního tlakového rozdílu. Mezi méně časté hodnoty referenčního tlakového rozdílu dále patří 4, 10, 25 a 75 Pa. Běžné podmínky vzduchotěsnosti charakterizují nízké hodnoty 4 a 10 Pa, protože v zimním období je u běžných budov za normálních klimatických podmínek tlakový rozdíl v rozmezí 0 až 15 Pa. Jelikož se vzduchotěsnost běžně měří v tlakovém rozdílu 20 až 80 Pa, tak se tyto nízké hodnoty (0-15 Pa) odvozují z naměřených dat extrapolací. Tato extrapolace může být zatížena významnou nejistotou výsledku.

3.1.2 Intenzita výměny vzduchu [1, 3, 4]

Vzduchotěsnost obvodového pláště se nejčastěji vyjadřuje veličinou intenzity výměny vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu 50 Pa a označuje se n_{50} [h^{-1}]. Intenzita výměny vzduchu za určitého referenčního tlaku vzduchu se vypočítá poměrem objemového toku vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu, ku objemu vnitřního vzduchu měřené budovy:

$$n_{ref} = \frac{q_{ref}}{V} \quad (4)$$

kde n_{ref} je intenzita výměny vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu [h^{-1}]
 q_{ref} je objemový tok vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu [m^3/h]
 V je objem vnitřního vzduchu měřené budovy [m^3]

3.1.3 Měrný objemový tok vzduchu netěsnostmi [1, 3]

Měrný objemový tok vzduchu procházející netěsnostmi je definován jako podíl procházejícího množství objemového toku vzduchu netěsnostmi, ku celkové ploše podlahy budovy:

$$q_{F,ref} = \frac{q_{ref}}{A_F} \quad (5)$$

kde $q_{F,ref}$ je měrný objemový tok vzduchu netěsnostmi [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]
 q_{ref} je objemový tok vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu [m^3/h]
 A_F je celková podlahová plocha budovy [m^2]

3.1.4 Vzduchová propustnost budovy [1, 3, 4]

V evropských zemích jako je např. Francie, Švédsko, Švýcarsko či Velká Británie se pro hodnocení vzduchotěsnosti využívá vzduchové propustnosti budovy. Každá z těchto zemí používá jiné hodnoty referenčního tlakového rozdílu. Vzduchová propustnost obálky budovy je definována jako podíl objemového toku vzduchu netěsnostmi obálky budovy, ku celkové ploše obálky budovy:

$$q_{E,ref} = \frac{q_{ref}}{A_E} \quad (6)$$

kde $q_{E,ref}$ je vzduchová propustnost budovy [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]
 q_{ref} je objemový tok vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu [m^3/h]
 A_E je celková plocha obálky budovy [m^2]

3.1.5 Odvozené hodnotící veličiny [13]

K porovnávání různých druhů oken s rozdílnou velikostí, délkou funkční a připojovací spáry je vhodné použít odvozené hodnotící veličiny, které jsou vztaženy na měrnou jednotku okna jako např. plošná vzduchová propustnost (7) nebo vzduchová propustnost spárami (8).

$$q_{A,ref} = \frac{q_{ref}}{A_W} \quad (7)$$

kde $q_{A,ref}$ je plošná vzduchová propustnost [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$]

q_{ref} je objemový tok vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu [m^3/h]

A_W je plocha okna [m^2]

$$q_{S,ref} = \frac{q_{ref}}{L_S} \quad (8)$$

kde $q_{S,ref}$ je vzduchová propustnost spárami [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m})$]

q_{ref} je objemový tok vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu [m^3/h]

L_S je celková délka zkoumané spáry (např. funkční spára) [m]

3.1.6 Ostatní hodnotící veličiny [1, 4]

Tyto hodnotící veličiny nejsou v praxi moc rozšířené. Podrobněji jsou popsány v odborné literatuře (např. [1])

Ekvivalentní plocha netěsnosti $A_{L,ref}$ [cm^2] je definována jako velikost ideálního otvoru. Tímto ideálním otvorem by při určité hodnotě referenčního tlakového rozdílu protékalo to samé množství vzduchu, jaké by protékalo obálkou budovy. Toto kritérium jako hodnocení vzduchotěsnosti se používá hlavně v Kanadě a USA.

Normalizovaná plocha netěsnosti A_n (bezrozměrná) se dá odvodit z ekvivalentní plochy netěsnosti $A_{L,ref}$. A je vztažena k podlahové ploše spolu s referenční výškou budovy.

3.2 Měření vzduchotěsnosti obálky budovy [1, 4]

V dnešní době by měla být kontrola vzduchotěsnosti obálky budovy neodmyslitelnou součástí každé výstavby. Výsledkem tohoto měření by měla být jedna z veličin uvedených v kapitole 3.1 vyjadřující vzduchotěsnost obálky budovy. Tyto veličiny jsou pouze odvozené, a nejde je přímo změřit. Je třeba znát závislost průtoku vzduchu na působícím tlakovém rozdílu u daného objektu, aby se daly určit hodnoty veličin určující

vzduchotěsnost. Tuto závislost popisuje empirická rovnice proudění (1). Při měření vzduchotěsnosti je tedy cílem určení parametrů C a n .

Aby mohl výsledek měření řádně popsat vzduchotěsné vlastnosti budovy, je nutné během měření v nejvyšší možné míře eliminovat veškeré proměnlivé vlivy (tlakové účinky větru a rozdílu teplot ve vnitřní a vnějším prostředí). Tyto vlivy by mohly zkreslovat výsledky měření a udělat je neporovnatelné.

Nejrozšířenější metodou měření vzduchotěsnosti je metoda tlakového spádu. Nejčastěji se používá metoda tlakového spádu s externím ventilátorem. Při měření vzduchotěsnosti velkých a rozsáhlých objektů se používá metoda tlakového spádu s vnitřním ventilátorem (ventilátorem větracího systému budovy). Jednou z dalších metod je metoda harmonicky proměnného tlakového rozdílu nebo metoda tlakového impulzu. Přehled všech metod zde uvedených je popsán v odborné literatuře (např. [1]).

3.2.1 Blower door test [1, 3, 4]

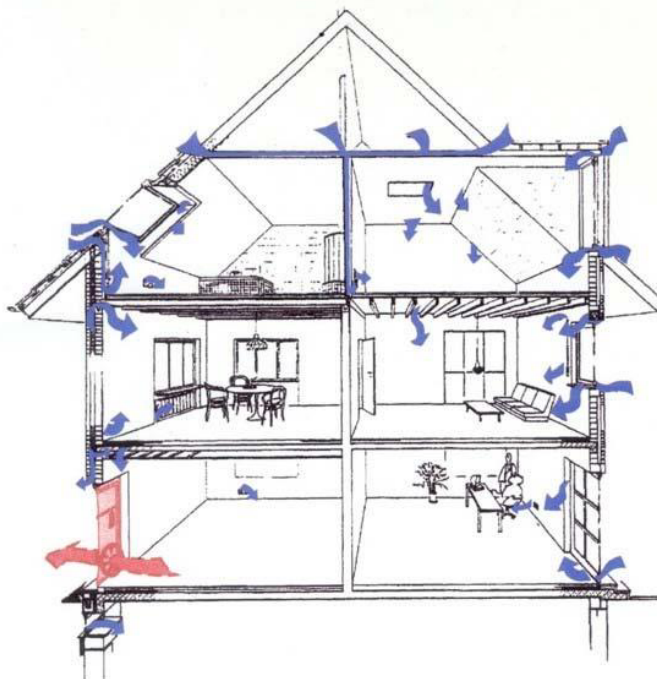
Blower door test je vlastně metoda tlakového spádu s externím ventilátorem. K tomuto testování se využívá zařízení nazývané blower door. Postup měření se v České republice řídí technickou normou ČSN EN ISO 9972 [3].

Tato metoda měření využívá opakovaného měření objemového toku vzduchu skrze netěsnosti v obálce budovy při známých kontrolovatelných tlakových rozdílech. Také klimatické vlivy vyvolávají rozdíly tlaků a je nutné, aby zvolené tlakové rozdíly eliminovaly tyto vlivy. Nejčastěji se volí tlakový rozdíl mezi cca 20 až 100 Pa.

Jednotlivých tlakových rozdílů je docíleno za pomoci externího ventilátoru s proměnnými otáčkami. Tento ventilátor je osazen při měření do obálky budovy. Zaznamená se odpovídající objemový tok vzduchu, který protéká ventilátorem. Předpokladem je to, že přiváděné (nebo odváděné) množství vzduchu procházející skrze ventilátor, je stejné jako množství vzduchu protékající netěsnostmi v obálce budovy. Do grafu (obr. č.1) závislosti objemového toku vzduchu na vyvolaném tlakovém rozdílu se vynesou výsledky měření. Zlogaritmováním empirické rovnice proudění (1), získá závislost objemového toku vzduchu na tlakovém rozdílu tvar přímky. Tyto hodnoty se vynesou do grafu v logaritmickém měřítku. Zlogaritmovaná empirická rovnice proudění:

$$\log(q) = \log(C) + n \times \log(\Delta p) \quad (9)$$

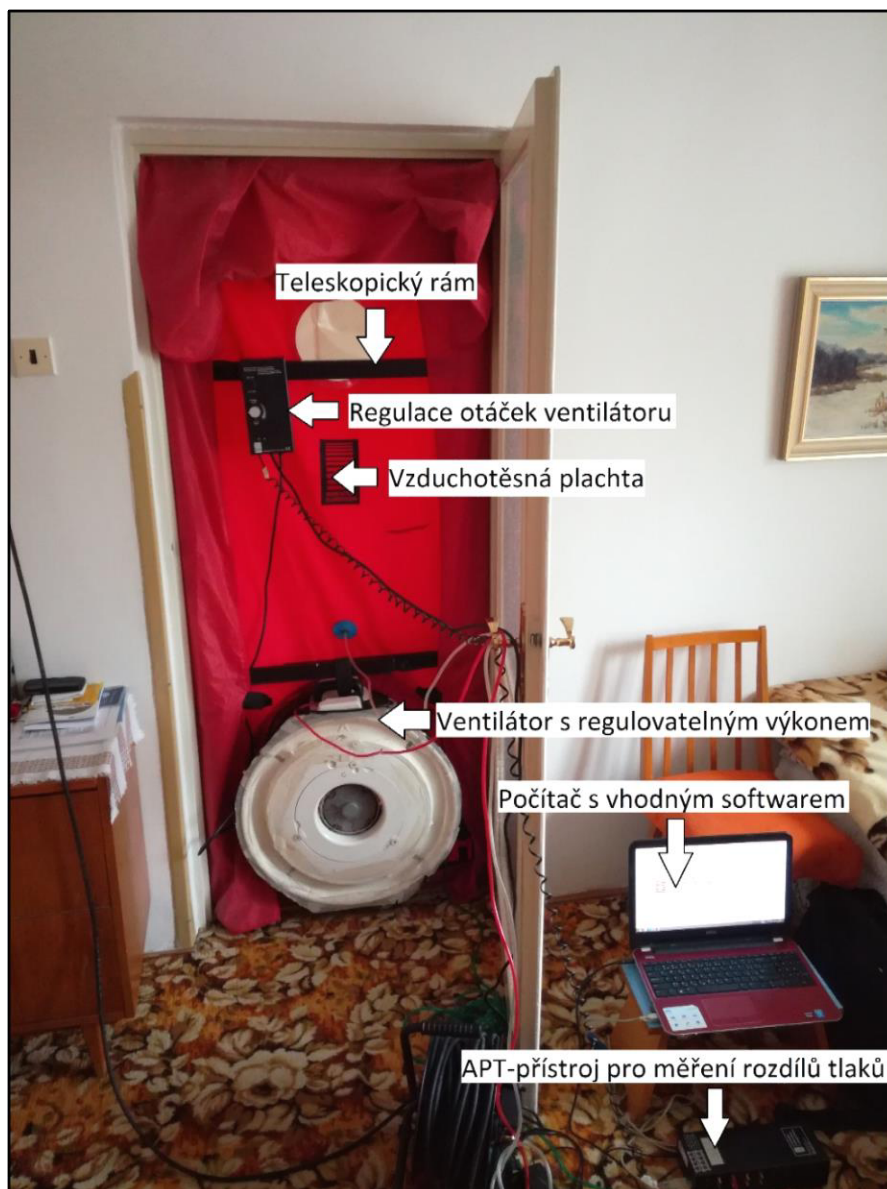
Z důvodu získání co nejvíce přesných a plnohodnotných výsledků se provádí dvě série měření. Jedno měření se provádí při přetlaku v objektu, druhé při podtlaku v objektu. Ze získaných výsledků při daném referenčním tlaku se vypočte aritmetický průměr.



Obr. č.3: Blower door test – Schéma metody tlakového spádu s externím ventilátorem (podtlak) [5]

3.2.2 Měřicí zařízení Blower door [1, 4]

Nejrozšířenější aparatura sloužící k měření vzduchotěsnosti obálky budovy se nazývá Blower door. Toto zařízení se ve většině případů skládá z teleskopického rámu (vyrobeného z lehkých slitin), vzduchotěsné plachty (vyrobené z plastem potažené textilie), ventilátoru s plynule regulovatelnými otáčkami, zařízení pro regulaci otáček ventilátoru, přístroje pro měření rozdílů tlaků a objemového toku vzduchu, tlakových hadiček a kabelového příslušenství. V rámci automatizace měření a jeho zaznamenávání je nutné připojit zařízení Blower door k přenosnému počítači, který má nainstalovaný vhodný software dodávaný výrobcem zařízení. Na obrázku č.4 jsou znázorněny jednotlivé díly zařízení Minneapolis BlowerDoor Modell 4.



Obr. č.4: Měřicí zařízení Minneapolis BlowerDoor Modell 4

3.2.3 Princip a postup měření zařízením Blower door [1, 3, 4]

Vzduchotěsná plachta se napne za pomoci osazovacího teleskopického rámu do vhodně vybraného otvoru. Za vhodný otvor se považuje takový otvor v obálce budovy (vstupní dveře, balkónové dveře, okno), který zaručí nerušené proudění vzduchu v těsné blízkosti ventilátoru. Vzduchotěsně by mělo být provedeno upevnění teleskopického rámu spolu s napnutou plachtou k rámu otvoru. Ventilátor se osadí do připraveného otvoru v plachtě. Tento otvor má elastický límec, a při správném osazení ventilátoru je i dostatečně vzduchotěsný. Za pomoci ventilátoru se v měřené budově vytváří požadovaný podtlak či přetlak. Ventilátor může měnit směr otáčení, pokud to ale jeho konstrukce nedovoluje, tak se změny směru proudu vzduchu docílí otočením ventilátoru o 180°. Na ventilátory jsou

kladeny nároky ohledně vysokého výkonu a zároveň musí umožňovat jemnou regulaci pro případ malých průtoků vzduchu. Ventilátory se tedy vyrábí s plynule měnitelnými otáčkami a jsou vybaveny vyměnitelnými kalibrovanými clonami. Clony slouží k regulaci objemového toku. Tlakový rozdíl zaznamenává citlivé čidlo.

Klimatické podmínky, přesnost přístrojů a především kvalitní práce měřícího technika nejvíce ovlivňují přesnost výsledku. V České republice udává technická norma ČSN EN ISO 9972 [3] postup přípravy objektu před měřením, postup měření a způsob zpracování výsledků.

3.2.4 Vyhodnocení a výsledky měření [1, 3, 4]

Technická norma ČSN EN ISO 9972 [3] udává podrobný postup zpracování výsledků měření. Tato technická norma udává i tři metody měření, rozdílné pouze přípravou před měřením:

- Metodu 1 – budova je při měření v provozním stavu
- Metodu 2 – měří se pouze vzduchotěsnost obálky budovy
- Metodu 3 – měření pro speciální účely

Výsledné hodnoty metody 1 tedy udávají průvzdušnost budovy v provozním stavu (průvzdušnost budovy jako celku). Měření touto metodou se provádí až po dokončení výstavby, kdy je objekt uveden do provozu. Po dobu měření se pouze uzavřou okna, dveře a větrací klapky v obalových konstrukcích. Neprovádí se utěsnění žádných otvorů. Výsledkem měření metodou 1 je protokol, sloužící jako certifikát o měření vzduchotěsnosti daného objektu.

Výsledné hodnoty metody 2, ověří vzduchotěsnost obálky budovy. V obalové konstrukci se utěsní veškeré záměrné otvory (větrací klapky, komíny, přívodní a odvodní potrubí vzduchotechniky, odtah digestoře, kanalizační potrubí), které by zkreslovaly výsledek.

Výsledné hodnoty metody 3 slouží převážně ke konkrétnímu účelu, pro který byly měřeny (např. vzduchotěsnost zabudovaných prvků).

Výsledkem měření jsou hodnoty objemového toku vzduchu zjištěné za různého referenčního tlakového rozdílu. Naměřené hodnoty se opraví na základě podmínek, které panovaly při měření. Zanesou se do grafu (obrázek č.1) závislosti objemového toku vzduchu na tlakovém rozdílu a určí se parametry rovnice proudění. Objemový tok vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu se vypočte za pomoci rovnice proudění. Z objemového

toku se získá některá z jednočíselných hodnotících veličin (viz. kapitola 3.1). Na závěr se o výsledcích měření vyhotoví protokol.

3.3 Metody měření vzduchotěsnosti výplní otvorů (okenních otvorů) [1, 3]

U měření vzduchotěsnosti zabudovaných prvků (v tomto případě se zaměřením na okenní otvory), se využívá dle ČSN EN ISO 9972 [3] různých obměn principu metody tlakového spádu. V této práci se zaměřím pouze na tři metody měření vzduchotěsnosti výplní otvorů:

- metoda postupného utěšňování
- metoda měření s pomocnou komorou (pomocí plastové fólie a clony)
- metoda výměny oken (měření vzduchotěsnosti před a po výměně oken)

3.3.1 Metoda postupného utěšňování [1, 12]

U metody postupného utěšňování se postupuje stejným způsobem jako v případě měření vzduchotěsnosti obálky budovy. Před začátkem měření se musí utěsnit veškeré netěsnosti, které nejsou součástí měřeného okna. Netěsnosti se mohou přelepit lepicí páskou, zatmelit nebo je možné celoplošné zakrytí konstrukce plastovou fólií. Po utěsnění všech těchto netěsností, se provede klasické měření. V případě vyvolání referenčního tlakového rozdílu vzduch proudí pouze netěsnostmi v měřeném okně (připojovací spára, funkční spára, zasklívací spára a ostatní netěsnosti). Výsledkem tohoto testu je popsání průvzdušnosti okna. Tento postup je velice závislý na provedení kvalitního utěsnění netěsností, které chceme z měření eliminovat. Nalezení veškerých netěsností a provedení dokonalého utěsnění je ve většině případů velice náročné či naprosto nereálné.

Z těchto důvodů je naopak výhodnější zajistit utěsnění pouze zkoumaného prvku (okna) a nepřímo stanovit jeho průvzdušnost takto:

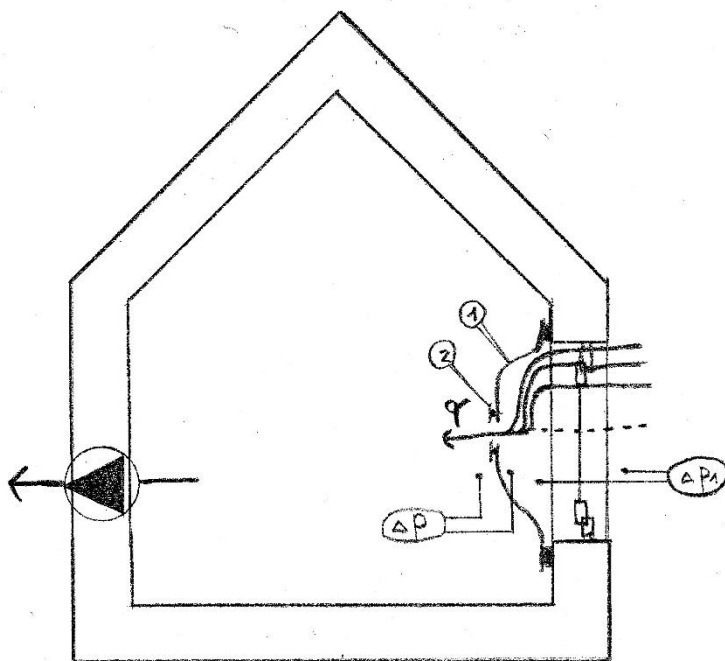
- změří se vzduchotěsnost objektu s danou výplní otvoru za běžného stavu (bez utěšňování výplně otvoru)
- změří se vzduchotěsnost objektu s utěsněnou výplní otvoru (ve většině případů postačí utěsnění připojovací spáry, funkční spáry a zasklívací spáry např. malířskou páskou)
- z rozdílu výsledků této dvojice měření se odvodí vzduchotěsnost výplně otvoru

3.3.2 Měření pomocí fólie a clony [1, 12]

Touto metodou se objemový tok vzduchu zkoumané výplně otvoru (okna) za různého referenčního tlaku měří přímo. Kolem zkoumaného prvku se vytvoří pomocná tlaková komora ze vzduchotěsné fólie. Do této fólie se vlepí kalibrovaná clona (je možno vlepit i více clon, jejich množství závisí na netěsnosti zkoumaného prvku) o známém výtokovém součiniteli C_D a známé ploše A . Za pomoci zařízení Blower door, které je osazeno například do dveří místnosti se zkoumaným oknem, je vytvořen rozdíl tlaků (podtlak). Je nutné změřit působící tlakový rozdíl na zkoumaném okně (Δp_1) a rozdíl tlaků působící na kalibrovanou clonu (Δp). Výpočet průtoku vzduchu clonou:

$$q = C_D \times A \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta p}{\rho}} \quad (10)$$

- kde: q je objemový tok clonou [m^3/s]
 C_D je výtokový součinitel otvoru v cloně (bezrozměrné)
 A je plocha otvoru v cloně [m^2]
 Δp je rozdíl tlaku vzduchu před a za clonou [Pa]
 ρ je hustota vzduchu proudící skrze clonu [kg/m^3]



Obr. č.5: Princip měření pomocí plastové fólie a clony: 1-vzduchotěsná fólie; 2-kalibrovaná clona

Obrázek inspirován [1, s. 69]

3.3.3 Měření před a po výměně oken

Principem této metody je to, že se nejprve změří vzduchotěsnost místnosti před výměnou starého okna. Tyto hodnoty odpovídají průvzdušnosti starého okna a také obálce místnosti. Druhé měření se provede po výměně staršího okna za nové. Toto nové okno se považuje téměř za vzduchotěsné, oproti oknu starému. Díky tomu hodnoty měření po výměně okna odpovídají „pouze“ průvzdušnosti obálky místnosti. Průvzdušnost starého okna tedy přibližně odpovídá rozdílu vzduchotěsnosti před a po výměně okna.

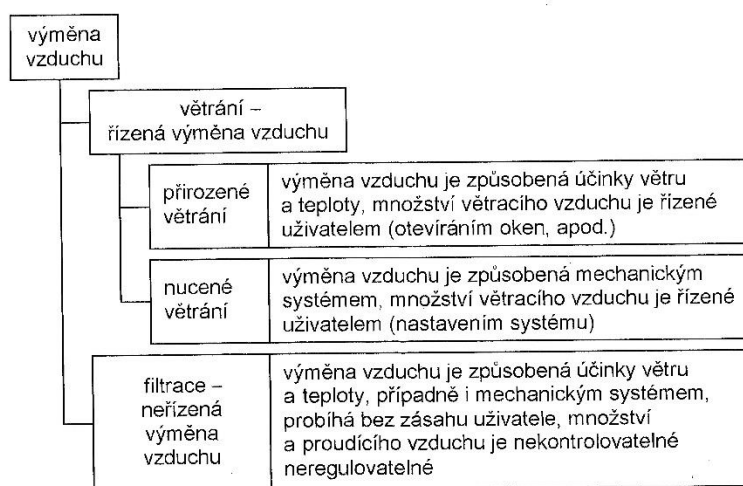
$$\Delta q_{ref,okno} = q_{ref,před\ výměnou} - q_{ref,po\ výměně} \quad (11)$$

4. Stavebně-energetické souvislosti [1, 6, 7]

Cílem větrání je zajištění dostatečné kvality vnitřního vzduchu v budově. Větrání musí zajistit:

- přívod čerstvého vzduchu a tím i dostatečné množství kyslíku potřebného k dýchání
- odvod (ředění) vlhkosti a škodlivin produkovaných v budově

Odvod škodlivin je u obytných budov největším problémem, protože objemový tok vzduchu minimálně 8 l/(s.os) zajistí udržení přípustné koncentrace CO₂ (oxidu uhličitého). Zatímco k zajištění potřebného množství kyslíku by postačil objemový tok vzduchu okolo 1 l/(s.os).

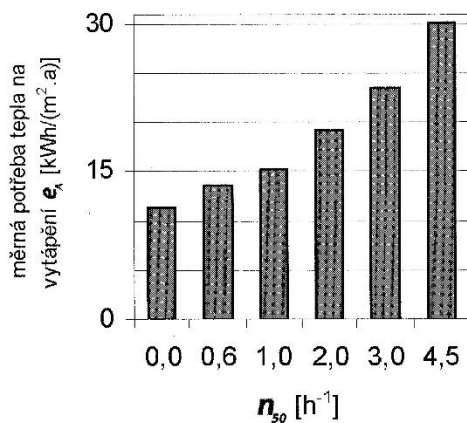


Obr. č.6: Způsoby výměny vzduchu v budově [1]

V tepelné bilanci budovy je významnou složkou tepelných ztrát právě větrání. Hygienickými požadavky by se měla řídit výměna vzduchu, ale zároveň nesmí výměna vzduchu vyvolávat nepřiměřené tepelné ztráty. Z těchto důvodů by v budově měly být systémy, které zajistí regulaci přiváděného a odváděného vzduchu. Za účelem dalšího snižování tepelných ztrát, lze větrací systém opatřit zařízeními sloužící k předehřevu přiváděného vzduchu z obnovitelných zdrojů energie. Vhodným zařízením je i zařízení pro zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu, sloužící k předehřevu přiváděného vzduchu.

Vysoké tepelné ztráty pochopitelně způsobuje i nízká úroveň vzduchotěsnosti obálky budovy. Obálkou budovy je nasáváno skrze druhotné a neplánované netěsnosti různě veliké množství vzduchu, které může způsobovat vysokou rychlost proudění vzduchu (průvan) a negativně tak narušovat kvalitu vnitřního prostředí. S tímto množstvím vzduchu

nebylo při návrhu větracího systému počítáno. Vnější vzduch procházející netěsnostmi je nutné taky ohřát, aby se dosáhlo vnitřní požadované teploty. To zapříčiňuje stoupání tepelné ztráty budovy. Během projekční přípravy budovy a její otopné soustavy se s tímto navýšením tepelných ztrát běžně nepočítá. V krajním případě může nastat i varianta, že otopná soustava bude poddimenzována.



Obr. č.7: Vliv vzduchotěsnosti obálky budovy (hodnota n_{50}) na energetickou náročnost pasivního rodinného domu [1]

5. Shrnutí a analýza dostupných výsledků měření vzduchotěsnosti starších oken

V této kapitole jsou shrnuty dostupné výsledky měření vzduchotěsnosti zabývajících se okny. Tyto výsledky jsem nejprve shromáždil. Dále v podkapitolách 5.1 až 5.3 jsem vyhodnotil výsledky měření, které provedl [11].

V rámci projektu „Vybrané vlastnosti přírodních a dalších stavebních materiálů, stavebních prvků a budov“ z roku 2011 byl zkoumán vliv výměny oken na vzduchotěsnost obálky budovy. Zkoumán byl rodinný dům z konce 70. let 20. století o třech nadzemních podlažích, kdy 1.NP je nevytápěné. Zbývá dvě nadzemní podlaží složí jako obytná. Dům je zděný z keramických dutinových bloků, stropy jsou keramické. Nad 3.NP se nachází také keramický strop. Podkroví není využíváno a střecha je šikmá sedlová. Měření vzduchotěsnosti se zaměřilo pouze na dvě obytná (vytápěná) podlaží. Před rekonstrukcí byla v domě dřevěná zdvojená okna a u schodišťového prostoru byl osvětlovací otvor ze sklobetonové výplně. Původní okna (včetně sklobetonové výplně) se vyměnili za nová jednoduchá plastová okna s 3 rovinami pružného těsnění ve funkční spáře a vzduchotěsně řešenou připojovací spárou za pomoci okenních pásek. Budova byla před měřením připravena v obou případech shodně a při měření panovaly obdobné podmínky. Před výměnou oken byl v rodinném domě objemový tok vzduchu skrze netěsnosti $q_{50} = 3381 \text{ m}^3/\text{h}$ a intenzita výměny vzduchu $n_{50} = 6,7 \text{ h}^{-1}$. Po výměně oken se snížil objemový tok vzduchu q_{50} na $1244 \text{ m}^3/\text{h}$ a intenzita výměny vzduchu n_{50} na $2,5 \text{ h}^{-1}$. Z toho vyplývá, že došlo k výraznému zlepšení vzduchotěsnosti o více než 60 %. [11, 13]

Součástí projektu „Vybrané vlastnosti přírodních a dalších stavebních materiálů, stavebních prvků a budov“ [13] bylo také měření vzduchotěsnosti oken v zabudovaném stavu (metodou fólie a clony). Výsledky těchto měření jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 – Výsledky oken v zabudovaném stavu (tabulka převzata z [13])

			okno 07	okno 08	okno 09	okno 10	okno 11
stáří okna			÷ 35 let	2011	> 55 let	> 55 let	2010
typ okna			zdvojené	jednoduché	dvojité špaletové	dvojité špaletové	jednoduché
připojovací spára - výplň			min. vlákna	PUR pěna	nezjištěna	nezjištěna	PUR pěna
připojovací spára - těsnění			není	okenní pásy	není	není	není
funkční spára - těsnění			není	3 roviny pruž. těsnění	není	není	2 roviny pruž. těsnění
šířka okna	b	[m]	1,48	1,48	0,98	1,81	1,08
výška okna	h	[m]	1,58	1,56	1,27	1,30	1,23
plocha okna	A_w	[m ²]	2,30	2,30	1,20	2,40	1,30
délka připojovací spáry	L_{PS}	[m]	6,10	6,10	4,50	6,20	4,60
délka funkční spáry	L_{FS}	[m]	5,70	7,40	10,80	18,80	5,30
délka spár - celkem	L_{TOT}	[m]	11,80	13,50	15,30	25,00	9,90
součinitel proudění	C_{env}	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]	13,0	0,5	6,0	18,9	4,4
součinitel proudění	C_L	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]	13,1	0,5	6,0	18,8	4,3
exponent proudění	n	[-]	0,53	0,66	0,56	0,62	0,50
objemový tok vzduchu	q_{50}	[m ³ /h]	105	7	54	212	30
vzduchová propustnost plochou	$q_{A,50}$	[m ³ /(h.m ²)]	45,7	3,0	44,0	90,0	23,1
vzduchová propustnost spárami	$q_{S,50}$	[m ³ /(h.m)]	8,9	0,5	3,5	8,0	3,0
součinitel plošné průvzdušnosti	C_A	[m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	5,70	0,22	4,80	7,83	3,31
součinitel spárové průvzdušnosti	C_S	[m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	1,11	0,04	0,40	0,75	0,43

V roce 2014 proběhlo měření vzduchotěsnosti jednoho bytu v panelovém domě typové soustavy OP 1.21 z přelomu 70. a 80. let 20. století v Ústí nad Labem. Byt je v posledním nadzemní podlaží a tvoří jednu vytápěnou zónu. Obvodové stěny a střecha nebyla zatím dodatečně zateplována. Při měření se postupovalo dle dříve platné ČSN EN 13829, nyní nahrazena [3]. Měření byla provedena před a po výměně oken při různých stavech přípravy před měřením (1. provozní stav, 2. utěsněna instalační šachta, ventilační otvory a světla v koupelně). Dále byla zkoumána vzduchotěsnost bytu při tlakovém rozdílu 50 Pa a při přirozeném tlakovém rozdílu 4 Pa. V celém panelovém domě byla vyměněna stará dřevěná zdvojená okna za nová těsnější plastová s tepelněizolačním dvojsklem a vzduchotěsně řešenou připojovací spárou za pomoci okenních pásek. Vzduchotěsnost bytu před výměnou oken za provozního stavu, vyjádřená intenzitou výměny vzduchu při 50 Pa (n_{50}) je 5,50 h⁻¹ a při 4 Pa (n_4) je 1,08 h⁻¹. Po výměně oken se intenzita výměny vzduchu n_{50} snížila na 1,10 h⁻¹ a n_4 na 0,22 h⁻¹. Z toho vyplývá, že došlo ke zlepšení vzduchotěsnosti v provozním stavu přibližně o 80 %. V případě utěsnění instalační šachty, ventilačních otvorů a světla v koupelně byla intenzita výměny vzduchu před výměnou oken $n_{50}= 5,10$ h⁻¹ a $n_4=1,06$ h⁻¹. Po výměně oken se snížila n_{50} na 0,36 h⁻¹ a n_4 na 0,07 h⁻¹. To znamená, že v případě utěsnění těchto netěsností se vzduchotěsnostlepší cca o 93 %. [16]

V roce 2014 bylo provedeno měření vzduchotěsnosti původního okna v bytovém domě v Praze z roku 1937. Okno je dvojitě špaletové, rám je dřevěný. Funkční spára neobsahuje těsnění. Provedení přípojovací spáry se nepodařilo zjistit. Okno se měřilo metodou fólie a clony, kdy byla zkoumána pouze funkční spára okna. Okno je součástí balkónové sestavy. Rozměr okna 2 x 2 m, délka funkční spáry 3,57 m. Výsledky měření jsou zaneseny v tabulce 2. [11, 12]

Tab. 2 – Výsledky oken v zabudovaném stavu (tabulka převzata z [12])

	součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
	celá výplň [$m^3/(h.Pa^n)$]	na $1m^2$ [$m^3/(h.m^2.Pa^n)$]	na 1 bm funkční spáry [$m^3/(h.m.Pa^n)$]	
podtlak	1,6 ±0,4	0,41 ±0,09	0,18 ±0,04	0,73 ±0,06

Měření původních zdvojených oken v panelovém domě z roku cca 1975 v Plzni proběhlo metodou výměny oken (viz. kapitola 3.3.3). Rám byl dřevěný, okenní křídla měla 2x jednoduché zasklení. Okenní křídla měla ve funkční spáře gumové těsnění. Rozměry okna 2,1 x 1,5m (šířka x výška), plocha okna 3,15 m^2 , délka přípojovací spáry 7,2 m a délka funkční spáry 10,86 m. Parametry rovnice proudění byly dopočítány (viz. příloha P5) z převzatých výsledků měření a jsou uvedeny v tabulce 3. [11]

Tab. 3 – Výsledky oken v zabudovaném stavu (tabulka a hodnoty převzaty z [11])

		součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
		celá výplň [$m^3/(h.Pa^n)$]	na $1m^2$ [$m^3/(h.m^2.Pa^n)$]	na 1 bm funkční spáry [$m^3/(h.m.Pa^n)$]	
okno v pokoji 1	podtlak	4,7	1,482	0,430	0,58
	přetlak	6,3	2,008	0,582	0,59
	průměr	5,5	1,745	0,506	0,59
okno v pokoji 2	podtlak	2,9	0,906	0,263	0,67
	přetlak	1,8	0,568	0,165	0,71
	průměr	2,3	0,737	0,214	0,69

plocha okna 3,15 m^2 ; délka funkční spára 10,86 m; délka přípojovací spára 7,20 m

5.1 Vyhodnocení výsledků měření vzduchotěsnosti, panelový dům – Praha

Vstupní hodnoty naměřil a ke zpracování poskytl [11].

Vyhodnocení výsledků měření vzduchotěsnosti bylo zkoumáno na dvou pokojích jednoho bytu panelového domu typu VVÚ ETA z roku 1987 v Praze v Augustinově ulici.



Obr. č.8: Pohled na měřené okno (vlevo) a schéma s rozměry (vpravo)

[10]

Vzduchotěsnost byla měřena v každém pokoji zvlášť a jeden pokoj měl vždy jen jedno okno (okna jsou v obou pokojích jsou totožné, viz. obrázek č.8). Měření proběhlo dvakrát v krátkém časovém odstupu. Nejprve se změřila vzduchotěsnost jednotlivých pokojů těsně před výměnou oken (s původními dřevěnými zdvojenými okny), podruhé již s nově zabudovanými okny (plastovými okny) do obvodové konstrukce. U obou měření se postupovalo dle dříve platné normy (ČSN EN 13829, nyní nahrazena [3]) za pomoci zařízení typu Blower door osazeného vždy do dveří měřeného pokoje. V každém pokoji bylo provedeno více měření, výsledky jednotlivých měření jsou uvedeny v tabulce 4 a zprůměrované hodnoty výsledku měření v tabulce 5. Pro každé jednotlivé měření byl vyhotoven samostatný zkušební protokol (příloha P3).

Tab. 4 – Výsledky jednotlivých měření

	označení místnosti	měření číslo	q_{50} [m ³ /h]			C_L [m ³ /(h.Pa ⁿ)]		n [-]	
			-	+	∅	-	+	-	+
před výměnou okna	pokoj 1	01	95 ±6,7	93 ±6,5	94 ±6,6	9,0	8,3	0,60	0,62
		02	99 ±6,9	93 ±6,5	96 ±6,7	9,3	8,3	0,60	0,62
		03	98 ±6,9	99 ±6,9	99 ±6,9	9,3	8,4	0,60	0,63
	pokoj 2	04	63 ±4,4	66 ±4,6	65 ±4,6	5,7	5,0	0,61	0,66
		05	62 ±4,3	61 ±4,3	61 ±4,3	4,6	4,3	0,66	0,67
po výměně okna	pokoj 1	06	24 ±1,9	29 ±2,3	26 ±2,1	1,2	1,7	0,76	0,73
		07	22 ±1,8	30 ±2,4	26 ±2,1	1,6	1,7	0,67	0,73
		08	22 ±1,8	29 ±2,3	26 ±2,1	1,5	2,6	0,69	0,61
	pokoj 2	09	27 ±3,8	28 ±3,6	27 ±3,5	1,7	3,0	0,70	0,58
		10	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 5 – Zprůměrované výsledky měření

	označení místnosti	q_{50} [m ³ /h]			C_L [m ³ /(h.Pa ⁿ)]		n [-]	
		-	+	∅	-	+	-	+
před výměnou okna	pokoj 1	97 ±3,9	95 ±3,8	96 ±3,9	9,2	8,3	0,60	0,62
	pokoj 2	63 ±3,1	64 ±3,1	63 ±3,1	5,2	4,7	0,64	0,67
po výměně okna	pokoj 1	23 ±1,1	29 ±1,3	26 ±1,2	1,4	2,0	0,71	0,69
	pokoj 2	27 ±3,8	28 ±3,6	27 ±3,5	1,7	3,0	0,70	0,58

Měřením vzduchotěsnosti jednotlivých místností před a po výměně oken lze na základě rozdílu objemového toku vzduchu q_{50} [m³/h] určit skutečnou změnu vzduchotěsnosti v místnosti:

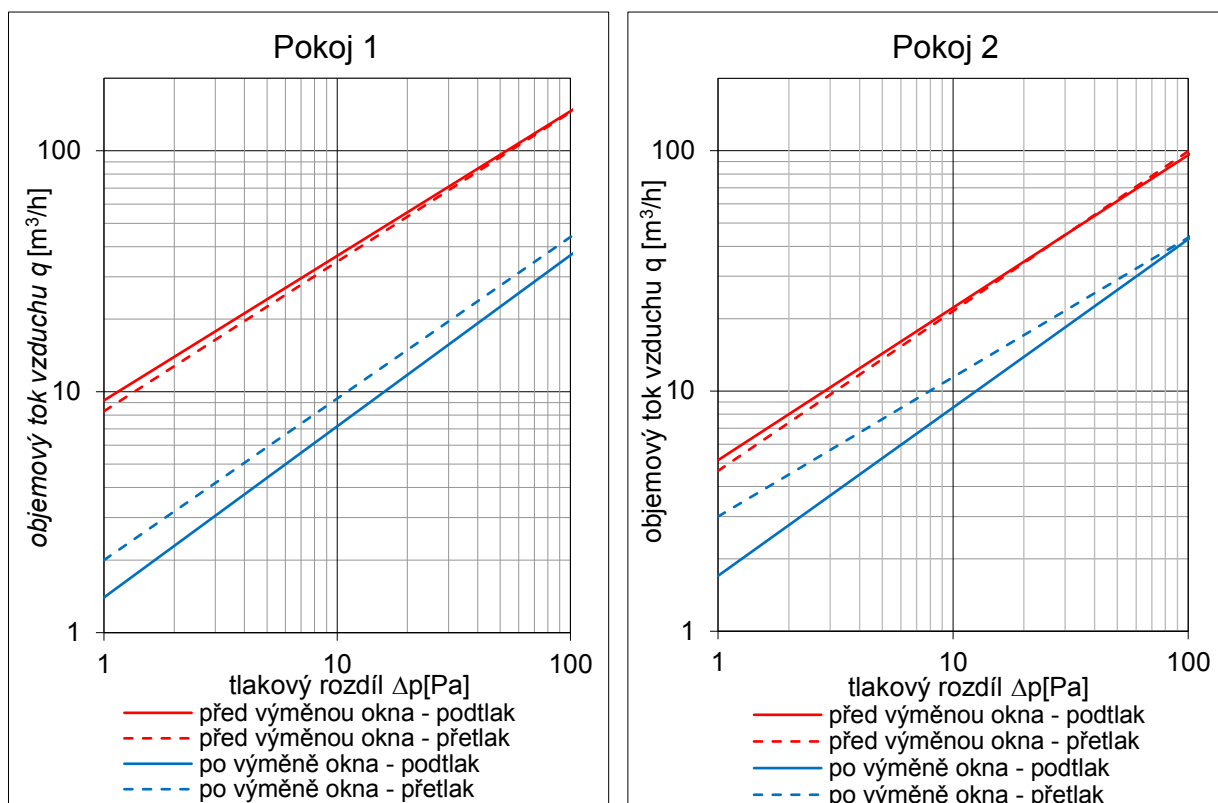
$$\Delta q_{50} = q_{50,před\ výměnou} - q_{50,po\ výměně} \quad (12)$$

Tato skutečná změna vzduchotěsnosti je zaznamenána v tabulce 6. Celková vzduchotěsnost jednotlivých místností se značně zlepšila. Objemový tok vzduchu se snížil v průměru o 65 %. Z výsledků měření je zřejmé, že starší dřevěná okna (včetně přípojovací spáry) byla netěsná. Tento fakt ukazuje, že jejich celkový podíl na vzduchotěsnosti místnosti (ale i obálky budovy) je významný. Výměna starších netěsných oken za nová těsná okna se vzduchotěsně řešenou přípojovací spárou vede k nezanedbatelnému zlepšení vzduchotěsnosti.

Tab. 6 – Změna vzduchotěsnosti objemovým tokem vzduchu q_{50}

označení místnosti	objemový tok vzduchu q_{50} [m ³ /h]			zlepšení [%]
	před výměnou	po výměně	rozdíl	
pokoj 1	96 ±3,9	26 ±1,2	70 ±4,1	73,0
pokoj 2	63 ±3,1	27 ±3,5	36 ±4,7	57,1

Grafickou formou jsou na obrázku č. 9 zaznamenány výsledky měření před a po výměně oken.



Obr. č.9: Porovnání výsledků měření vzduchotěsnosti místnosti (vlevo pokoj 1, vpravo pokoj 2), závislost objemového toku vzduchu na tlakovém rozdílu

Okna byla měřena metodou výměny oken (viz. kapitola 3.3.3). Pro vyhodnocení oken v jednotlivých pokojích jsou potřeba hodnoty parametrů rovnice C_L a n . Ty se vypočítaly na základě hodnot z tabulky 5. Tento výpočet je zaznamenán v příloze P5. Tabulka 7 uvádí výsledné hodnoty C_L a n . Výsledné hodnoty součinitele proudění C_L jsou vztaženy jak pro celou okenní výplň, tak i na 1 m^2 plochy okna a na 1 bm (běžný metr) funkční spáry. Exponent proudění n je neměnný.

Tab. 7 – Výsledky měření vzduchotěsnosti jednotlivých oken

		součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
		celá výplň [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	na 1m ² [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	na 1 bm funkční spáry [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	
okno v pokoji 1	podtlak	7,8	2,409	0,791	0,57
	přetlak	6,3	1,943	0,638	0,59
	průměr	7,1	2,176	0,714	0,58
okno v pokoji 2	podtlak	3,5	1,081	0,355	0,60
	přetlak	1,7	0,536	0,176	0,77
	průměr	2,6	0,809	0,265	0,69

plocha okna 3,23 m²; délka funkční spára 9,92 m; délka přípojovací spára 7,30 m

5.2 Vyhodnocení výsledků měření vzduchotěsnosti, bytový dům – Plzeň

Vstupní hodnoty naměřil a ke zpracování poskytl [11].

Vyhodnocení výsledků měření vzduchotěsnosti bylo zkoumáno na jednom bytu staršího bytového domu v Plzni, ulice Kollárova. Vzduchotěsnost byla měřena dvakrát.

První série měření proběhla před celkovou rekonstrukcí bytu. Při tomto měření se kromě celkové vzduchotěsnosti bytu, změřila také vzduchotěsnost jednoho stávajícího dvojitého špaletového okna, a to zvláštní úpravou metody tlakového spádu s pomocnou tlakovou komorou. U měření se postupovalo dle dříve platné normy (ČSN EN 13829, nyní nahrazena [3]) za pomoci zařízení typu Blower door osazeného do dveří na terasu.

Druhá série měření proběhla po celkové rekonstrukci bytu (cca rok po prvním měření). Během rekonstrukce proběhla výměna dvou starých dvojitých špaletových oken za nová těsnější plastová okna, výměna dvou starých dřevěných balkónových dveří na terasu za nové těsnější plastové dveře a repase čtyř dvojitých dřevěných špaletových oken. Měřila se pouze celková vzduchotěsnost bytu. Nejprve se změřila vzduchotěsnost bytu bez gumového těsnění ve funkčních spárách u vnějších křídel repasovaných oken. Poté se změřila vzduchotěsnost bytu s vlepeným gumovým těsněním ve funkčních spárách u vnějších křídel repasovaných oken. U měření se postupovalo dle platné normy [3]. Pro každé jednotlivé měření byl vyhotoven samostatný zkušební protokol (příloha P3).

Výsledky objemových toků vzduchu jednotlivých měření jsou uvedeny v tabulce 8.

Tab. 8 – Výsledky jednotlivých měření

	měření číslo	objemový tok vzduchu q_{50} [m ³ /h]		
		podtlak	přetlak	průměr
před rekonstrukcí	01	613	548	581
	02	611	549	580
	Ø 01 a 02	612	549	580
po rekonstrukci	03*	1256	1204	1230
	04**	651	674	663

* bez gumového těsnění ve funkčních spárách u vnějších křídel repasovaných oken

** s vlepeným gumovým těsněním ve funkčních spárách u vnějších křídel repasovaných oken

Tyto naměřené hodnoty obecně říkají, že před rekonstrukcí byla vzduchotěsnost zkoumaného bytu lepší než po celkové rekonstrukci, která zahrnovala i výměnu částí starých špaletových oken za nová velmi těsná plastová okna. A to i při uvažování vlepení gumového těsnění do funkční spáry repasovaných špaletových oken. Tato nesrovnalost byla zpozorována již při měření po rekonstrukci. Proto se provedla důkladná kontrola zapojení přístrojů, označení clony a její umístění na ventilátoru atd. Nenašlo se ale žádné pochybení. Proto se domnívám, že k pochybení došlo již při prvním měření. Dle mého názoru nastalo to, že na ventilátor byla umístěna clona A, do počítačového softwaru však byla zanesena jako clona B. Po změně clon se jeví výsledky měření jako věrohodnější. Tyto výsledky jsou uvedeny v tabulce 9.

Tab. 9 – Výsledky jednotlivých měření (po změně clony B za A před rekonstrukcí)

	měření číslo	q_{50} [m ³ /h]			C_L [m ³ /(h.Pa ⁿ)]		n [-]	
		-	+	Ø	-	+	-	+
před rekonstrukcí	01	2039 ±143	1823 ±128	1931 ±135	165,0	212,5	0,64	0,55
	02	2029 ±162	1827 ±146	1928 ±154	164,1	179,7	0,64	0,59
	Ø 01 a 02	2034 ±108	1825 ±97	1930 ±102	164,6	196,1	0,64	0,57
po rekonstrukci	03*	1256 ±88	1204 ±84	1230 ±86	86,3	113,0	0,68	0,60
	04**	651 ±46	674 ±47	663 ±46	55,0	57,2	0,63	0,63

* bez gumového těsnění ve funkčních spárách u vnějších křídel repasovaných oken

** s vlepeným gumovým těsněním ve funkčních spárách u vnějších křídel repasovaných oken

Měřením celkové vzduchotěsnosti bytu před a po rekonstrukci lze na základě rozdílu objemového toku vzduchu q_{50} [m³/h] určit skutečnou změnu vzduchotěsnosti bytu.

$$\Delta q_{50} = q_{50, \text{před rekonstrukcí}} - q_{50, \text{po rekonstrukci}} \quad (13)$$

Tato skutečná změna vzduchotěsnosti je zaznamenána v tabulce 10. Celková vzduchotěsnost bytu se značně zlepšila. V případě neutěsněné funkční spáry gumovým těsněním u repasovaných oken se množství objemového toku vzduchu snížilo o cca 36 %.

Tohoto zlepšení vzduchotěsnosti bylo dosaženo především výměnou dvou starých dvojíťých špaletových oken za nová velice těsná plastová okna a výměnou dvou starých dřevěných balkónových dveří na terasu za nové těsné plastové dveře. Po vlepení gumového těsnění do funkční spáry vnějších křidel repasovaných oken se vzduchotěsnost zlepšila o dalších 30 %. To znamená zlepšení celkové vzduchotěsnosti bytu téměř o 66 % oproti stavu před rekonstrukcí.

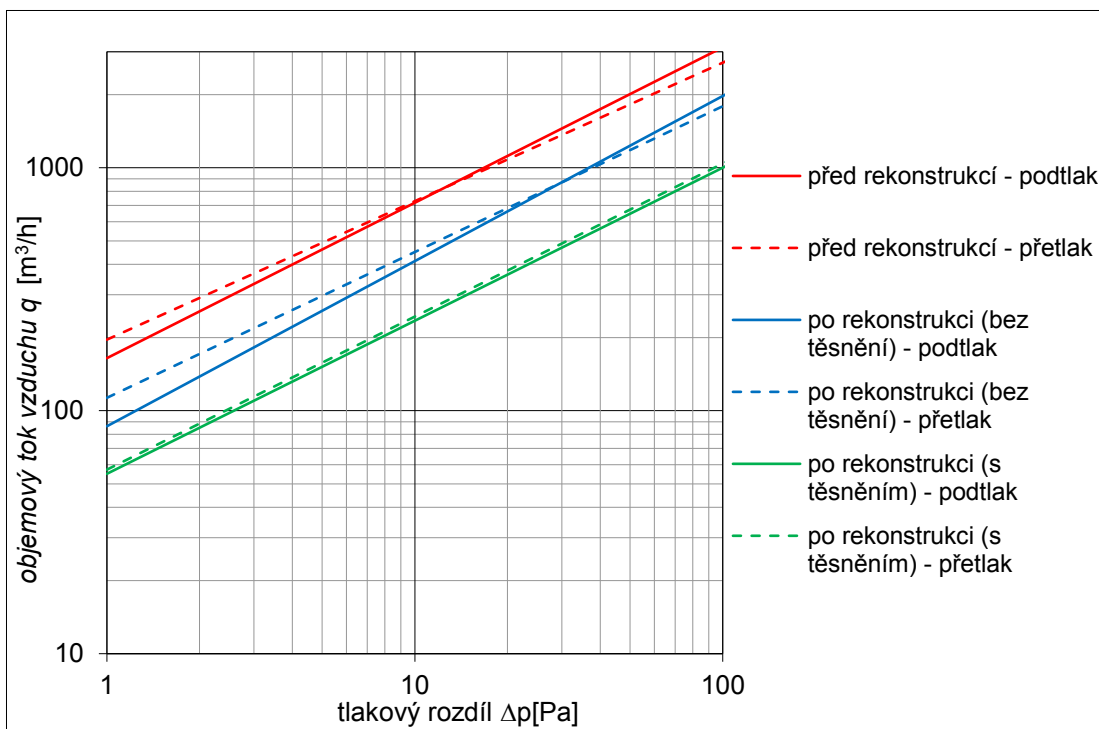
Tab. 10 – Změna vzduchotěsnosti objemovým tokem vzduchu q_{50}

	objemový tok vzduchu q_{50} [m^3/h]			zlepšení [%]
	před rekonstrukcí	po rekonstrukci	rozdíl	
*	1930 ±102	1230 ±86	700 ±133	36,3
**	1930 ±102	663 ±46	1267 ±112	65,7

* bez gumového těsnění ve funkčních spárách u vnějších křidel repasovaných oken

** s vlepeným gumovým těsněním ve funkčních spárách u vnějších křidel repasovaných oken

Na obrázku č. 10 jsou grafickou formou porovnány výsledky měření před a po rekonstrukci (bez a s gumovým těsněním ve funkčních spárách u vnějších křidel repasovaných dřevěných oken).



Obr. č.10: Porovnání výsledků měření vzduchotěsnosti bytu, závislost objemového toku vzduchu na tlakovém rozdílu

Metodou fólie a clony (viz. kapitola 3.3.2) bylo měřeno staré dřevěné špaletové okno. K testu byl vyhotoven samostatný zkušební protokol (příloha P2). Fólie byla přilepena na vnitřní líc pevného rámu okna a měřila se pouze vzduchotěsnost okna (bez připojovací spáry). Tabulka 11 uvádí pro funkční spáru okna hodnoty výsledků součinitele proudění C_L a exponentu proudění n . Výsledné hodnoty součinitele proudění C_L jsou vztaženy jak pro celou okenní výplň, tak i na 1 m^2 plochy okna a na 1 bm (běžný metr) funkční spáry. Exponent proudění n je neměnný.

Tab. 11 – Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční spáry okna

součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
celá výplň [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$]	na 1 m^2 [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}^n)$]	na 1 bm spáry [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa}^n)$]	
9,90	3,14	0,93	0,65

Orientační výsledky měření vzduchotěsnosti funkční spáry spolu s třídou těsnosti okna dle ČSN EN 12207 [9] jsou zaneseny do grafu v příloze P1 i P2 (graf orientační zatřídění podle ČSN EN 12207). Na základě tohoto zobrazení lze vizuálně porovnat výsledky měření s hranicemi tříd netěsnosti a orientačně zatřídít měřené okno. Okno se zatřídí podle plochy do třídy 0 a podle délky spáry též do třídy 0. Konečné zatřídění měřeného okna je tedy třída 0 a to znamená že daný prvek je velmi netěsný.

5.3 Vyhodnocení výsledků měření vzduchotěsnosti okna – Dobřichovice

Vstupní hodnoty naměřil a ke zpracování poskytl [11].

Zkoumáno bylo zdvojené plastové okno z roku 2008 v bytovém domě v Dobřichovicích. Rám je plastový, okenní křídla mají tepelněizolační dvojsklo. Funkční spára obsahuje 2 roviny pružného těsnění. Připojovací spára je vyplněna montážní pěnou, z vnitřní strany přetažena štukem a malbou, z vnější strany kontaktní zateplovací systém přetažený přes rám okna. Schéma a rozměry okna jsou patrné na obrázku č.11.



Obr. č.11: Pohled na měřené okno (vlevo) a schéma s rozměry (vpravo)

[10]

Okno bylo měřeno za pomoci metody pomocí fólie a clony (kapitola 3.3.2). Do plastové fólie byla vlepena clona 1,5 cm. K testu byl vyhotoven samostatný zkušební protokol (příloha P2). Plastová fólie byla přilepena na vnitřním líci obvodové stěny a měřil se tak najednou objemový průtok vzduchu skrze netěsnosti okna a připojovací spáry.



Obr. č.12: Pohled na měřené okno s nalepenou fólií a osazenou clonou 1,5 cm

[10]

Jelikož touto metodou byly měřeny netěsnosti skrze funkční a připojovací spáru dohromady, je nutné pro další porovnání s jinými okny přiřadit určitý typ spáry, v tomto případě funkční. Výsledný součinitel proudění 1 bm funkční spáry je tedy pouze orientační a zatížen nepřesností, protože zahrnuje i vliv připojovací spáry. Ve skutečnosti bude součinitel proudění C_L na 1 bm funkční spáry nižší. Tabulka 12 uvádí hodnoty výsledků součinitele proudění C_L a exponentu proudění n pro okno v zabudovaném stavu. Výsledné hodnoty součinitele proudění C_L jsou vztaženy jak pro celou okenní výplň, tak i na 1 m² plochy okna a na 1 bm funkční spáry. Exponent proudění n je neměnný.

Tab. 12 – Výsledky měření vzduchotěsnosti okna v zabudovaném stavu

součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
celá výplň [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	na 1 m ² [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	na 1 bm funkční spáry [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	
0,10	0,06	0,02	0,73

Pozn.: plocha okna 1,69 m²; délka funkční spára 5,89 m, délka přípojovací spáry 5,12 m

Orientační výsledky měření vzduchotěsnosti funkční spáry spolu s třídou těsnosti okna dle ČSN EN 12207 [9] jsou zaneseny do grafu v příloze P1 i P2 (graf orientační zařazení podle ČSN EN 12207). Na základě tohoto zobrazení lze vizuálně porovnat výsledky měření s hranicemi tříd netěsnosti a orientačně zařadit měřené okno. Okno se zařadí podle plochy do třídy 4 a podle délky spáry též do třídy 4. Konečné zařazení měřeného okna je tedy třída 4 a to znamená že daný prvek je velmi těsný. Tento výsledek je překvapivý, protože přípojovací spára není vzduchotěsně řešena. Vzduchotěsnost přípojovací spáry z vnitřní strany okna nejspíš zajišťovalo přetažení štukem přes PUR pěnu, které nebylo v době měření vypraskané. Z vnější strany okna nejspíš pomohlo k zajištění vzduchotěsnosti přípojovací spáry dotažení kontaktního zateplovacího systému spolu s omítkou až k rámu okna za pomoci APU lišty.

6. Vlastní měření vzduchotěsnosti oken

Za účelem vlastního měření vzduchotěsnosti oken, jsem si zvolil dvojici starších objektů. Vzduchotěsnost zvolené okenní výplně (připojovací a funkční spáry) se měřila metodou tlakového spádu dle ČSN EN ISO 9972 [3] za pomoci zařízení blower door ve dvou variantách:

- metodou postupného utěšňování
- pomocí plastové fólie a clony

Metoda postupného utěšňování [1, 3, 12]

Obecný princip této metody je uveden v kapitole 3.3.1.

Postupovalo se takto:

- 1) změřila se vzduchotěsnost místnosti s okenní výplní za běžného stavu (bez úprav)
- 2) změřila se vzduchotěsnost místnosti s okenní výplní s utěsněnou funkční spárou (funkční spára byla utěsněna u vnitřních křídel dvojitého špaletového okna)
- 3) změřila se vzduchotěsnost místnosti s okenní výplní s utěsněnou funkční i připojovací spárou (funkční spára byla utěsněna u vnitřních křídel dvojitého špaletového okna, připojovací spára byla utěsněna zevnitř z místnosti)

Průtok vzduchu funkční spárou se vypočte jako rozdíl průtoku vzduchu v místnosti za běžného stavu (krok 1) a průtokem vzduchu v místnosti s utěsněnou funkční spárou (krok 2). Průtok vzduchu připojovací spárou se vypočte jako rozdíl průtoku vzduchu v místnosti s utěsněnou funkční spárou (krok 2) a průtokem vzduchu v místnosti s utěsněnou funkční i připojovací spárou (krok 3).

Postup měření vzduchotěsnosti místnosti v jednotlivých krocích se řídil ČSN EN ISO 9972 [3]. Měřicí zařízení blower door bylo umístěno ve vstupních dveřích do měřené místnosti. Utěsnění funkční a připojovací spáry bylo provedeno „malířskou“ lepicí páskou. Tato těsnost byla ověřena přiložením anemometru (obrázek č.13).



Obr. č.13: Zkouška těsnosti zalepené funkční spáry (vlevo) a zalepené přípojovací spáry (vpravo)

Kroky 1, 2 a 3 byly změřeny vždy třikrát, za účelem zvýšení přesnosti výsledků.

- krok 1 – označeny 01 až 03 (např. Záhornice 01, Račice 01)
- krok 2 – označeny 04 až 06
- krok 3 – označeny 07 až 09

V každém testu byl změřen objemový tok vzduchu q [m^3/h] na vhodně zvolených úrovních tlakového rozdílu Δp [Pa]. Tyto naměřené hodnoty se vynesou jako jednotlivé body do grafu (obrázek č.1) závislosti objemového toku vzduchu q na tlakovém rozdílu Δp . Pokud je tento graf v logaritmickém měřítku, měly by tyto body ležet na přímce. Parametry rovnice proudění (součinitel proudění C a exponent proudění n) se zjistí z naměřených bodů metodou lineární regrese [3]. Objemový tok vzduchu zkušební vzorkem q [m^3/h] v závislosti na rozdílu tlaků Δp [Pa] se dá vypočítat z parametrů rovnice proudění (1).

Průměrné hodnoty součinitele proudění C a exponentu proudění n z jednotlivých testů (01 až 09) v daném kroku (1 až 3) se považují za výsledky měření vzduchotěsnosti místností s okenní výplní v určitém stavu (např.: pro místnost s oknem v běžném stavu se průměrná hodnota C vypočítá jako průměr ze tří jednotlivých měření v kroku 1 a průměrná hodnota n jako průměr ze tří jednotlivých měření v kroku 1. Stejným způsobem se postupovalo i u kroku 2 a 3).

Výpočet parametrů rovnice proudění (C a n) pro funkční spáru:

- vzaly se průměrné hodnoty C a n pro místnost s oknem bez úprav (krok 1) a vypočítal se objemový tok vzduchu q_{LA} pro určité úrovně tlakového rozdílu ($\Delta p=1$ Pa, 10 Pa, 20 Pa, 30 Pa, 40 Pa, 50 Pa, 60 Pa, 70 Pa, 80 Pa, 90 Pa a 100 Pa)
- z průměrných hodnot C a n pro místnost s oknem s utěsněnou funkční spárou (krok 2) se vypočítal objemový tok vzduchu q_{LB} pro stejné úrovně tlakového rozdílu ($\Delta p=1$ Pa, 10 Pa, 20 Pa, 30 Pa, 40 Pa, 50 Pa, 60 Pa, 70 Pa, 80 Pa, 90 Pa a 100 Pa)
- objemový tok vzduchu funkční spárou q_{FS} pro určitou úroveň tlakového rozdílu ($\Delta p=1$ Pa, 10 Pa, 20 Pa, 30 Pa, 40 Pa, 50 Pa, 60 Pa, 70 Pa, 80 Pa, 90 Pa a 100 Pa) se vypočítal:

$$q_{FS} = q_{LA} - q_{LB} \quad (14)$$

- z dvojic hodnot Δp a q_{FS} se metodou lineární regrese dle ČSN EN ISO 9972 [3] vypočítaly pro funkční spáru okna parametry rovnice proudění C a n

Výpočet parametrů rovnice proudění (C a n) pro připojovací spáru je obdobný jako pro funkční spáru. Jenom se využívá výsledku měření z kroku 2 a 3.

Zaznamenávání naměřených hodnot bylo provedeno za pomoci software TECTITE Express 3.6.

Metoda pomocí plastové fólie a clony [1, 3, 8, 12, 13]

Obecný princip této metody je uveden v kapitole 3.3.2.

Vzduchotěsnost okna se měřila v zabudovaném stavu in-situ za pomoci zvláštní úpravy metody tlakového spádu s pomocnou tlakovou komorou.

Prostor okolo okna se uzavřel vzduchotěsnou plastovou fólií, která se přilepila z vnitřní strany na pevný rám okna (pokud to rám okna nedovoloval svými rozměry, tak se fólie přilepila na vnitřní líc obvodové stěny) za pomoci „malířské“ lepící pásky. Ve fólii se vyřízl otvor, do kterého se vlepila kalibrovaná clona se známým výtokovým součinitelem C_D a známou plochou A pro měření průtoku vzduchu. Jelikož měřená okna byla v obou případech velmi netěsná, tak se muselo vlepít více kalibrovaných clon. Vzduchotěsná fólie dokáže vytvořit potřebný tlakový rozdíl jen v okolí měřeného okna, tudíž plní funkci provizorní tlakové komory. Měřicí zařízení blower door bylo osazeno stejně jako u metody postupného utěšňování ve vstupních dveřích do místnosti se zkoumaným oknem.

Ventilátorem měřicího zařízení blower door se vytvořil řízený tlakový rozdíl. Princip měření je zřetelný na obrázku č.5.

Měřil se rozdíl tlaků na zkoumaném okně Δp_1 a rozdíl tlaků působící na kalibrovanou clonu Δp . Objemový tok vzduchu q skrze kalibrovanou clonu při různých tlakových rozdílech se vypočítá dle vzorce:

$$q = C_D \times A \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta p}{\rho}} \quad (15)$$

- kde: q je objemový tok clonou [m^3/s]
 C_D je výtokový součinitel otvoru v cloně (bezrozměrné)
 A je plocha otvoru v cloně [m^2]
 Δp je rozdíl tlaku vzduchu před a za clonou [Pa]
 ρ je hustota vzduchu proudící skrze clonu [kg/m^3]

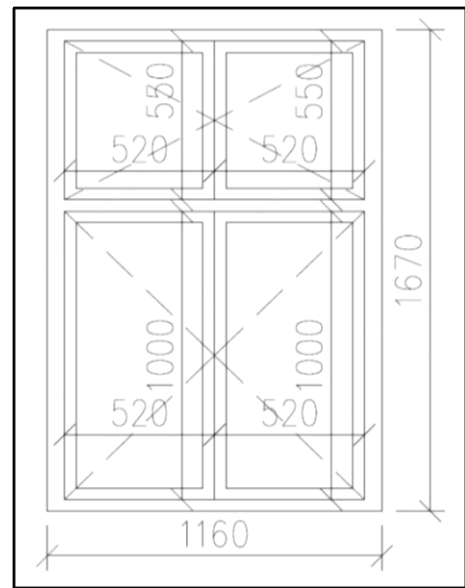
Získají se hodnoty objemového toku clonou q a tlakového rozdílu na měřeném okně Δp_1 . Z těchto hodnot se za pomoci metody lineární regrese dle [3] dopočítají parametry rovnice proudění (C a n). Metodou pomocí fólie a clony se měří jen při podtlaku v místnosti, protože při přetlaku v místnosti by se přitlačila plastová fólie na vnitřní povrch zkoumaného okna, a to by ovlivnilo přesnost měření objemového toku skrze clonu. Zaznamenávání naměřených hodnot bylo provedeno za pomoci software TECLOG3.

6.1 Měření vzduchotěsnosti – Záhornice

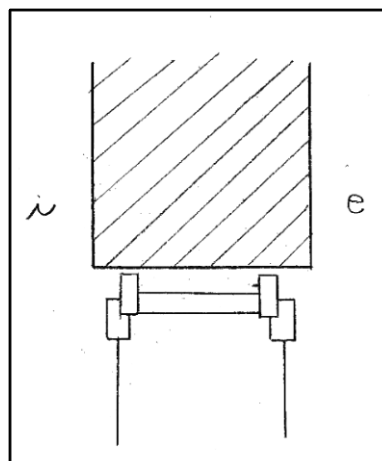
Jedná se o původní dvojité špaletové okno v rodinném domě z roku 1920. Rám je dřevěný, okenní křídla mají jednoduché zasklení. Funkční spára neobsahuje žádné těsnění. Způsob provedení přípojovací spáry nebyl zjišťován. Schéma a rozměry okna jsou patrné na obrázku č.15. V měřené místnosti se nachází dvojice totožných oken (obrázek č.14). Tento fakt je nutné zohlednit v průběhu vyhodnocování. Schéma otevírání a provedení špaletového okna je vidět na obrázku č. 16.



Obr. č.14: Pohled na dvojici měřených oken v přízemí



Obr. č.15: Pohled na měřené okno (vlevo) a schéma s rozměry (vpravo)



Obr. č.16: Schéma provedení špaletového okna

6.1.1 Měření vzduchotěsnosti – Záhornice – Metoda postupného utěšňování

Pro každý jednotlivý test byl vyhotoven samostatný zkušební protokol (příloha P3).

V průběhu měření byly vždy v každém dílčím kroku provedeny úpravy na obou oknech zároveň (např. v kroku 2 byly utěsněny funkční spáry obou oken). Přehled výsledků jednotlivých testů je uveden v tabulce 13. V tabulce 14 jsou uvedeny zprůměrované hodnoty objemového toku q při různých stavech oken. V tabulce 15 jsou vypočteny skutečné průtoky jednotlivými typy spár a vliv jejich utěsnění na celkovou vzduchotěsnost místnosti.

Tab. 13 – Přehled výsledků jednotlivých testů

stav oken	měření číslo	q_{50} [m ³ /h]			C_L [m ³ /(h.Pa ⁿ)]		n [-]	
		-	+	∅	-	+	-	+
bez úprav	01	357 ±25	363 ±25	360 ±25	24,0	25,3	0,69	0,68
	02	348 ±24	364 ±26	356 ±25	20,4	25,7	0,72	0,68
	03	363 ±25	369 ±26	366 ±26	27,4	25,6	0,66	0,68
s utěsněnou funkční spárou	04	234 ±16	214 ±15	224 ±16	14,1	11,7	0,72	0,74
	05	216 ±15	217 ±15	217 ±15	12,8	12,8	0,72	0,72
	06	218 ±15	219 ±15	219 ±15	13,2	12,4	0,72	0,73
s utěsněnou funkční a přípojovací spárou	07	186 ±13	191 ±13	188 ±13	11,4	11,9	0,71	0,71
	08	192 ±13	190 ±13	191 ±13	12,6	11,2	0,70	0,72
	09	190 ±13	191 ±13	190 ±13	12,1	11,8	0,70	0,71

Tab. 14 – Zprůměrované hodnoty objemového toku q při různých stavech oken

stav oken	objemový tok vzduchu q_{50} [m ³ /h]		
	podtlak	přetlak	průměr
bez úprav	356 ±14	365 ±15	361 ±15
s utěsněnou funkční spárou	223 ±9	217 ±9	220 ±9
s utěsněnou funkční a přípojovací spárou	189 ±8	191 ±8	190 ±8

Tab. 15 – Vypočtené hodnoty objemového toku q jednotlivými spárami

stav oken	objemový tok vzduchu q_{50} [m ³ /h]	zlepšení oproti stavu bez úprav [%]
(1) bez úprav	361 ±15	-
(2) s utěsněnou funkční spárou	220 ±9	39,1
(3) s utěsněnou funkční a přípojovací spárou	190 ±9	47,4
(1) - (2) funkční spára dvou oken	141 ±18	39,1
funkční spára jednoho okna	70,5 ±9	19,5
(2) - (3) přípojovací spára dvou oken	30 ±13	8,3
přípojovací spára jednoho okna	15 ±6	4,2

Z tabulky 15 je patrné, že celková vzduchotěsnost místnosti se po utěsnění funkční a přípojovací spáry obou oken zlepšila přibližně o 47 %. I přestože jsou stará okna velice netěsná, tak se dá říct že např. po výměně obou oken za nová okna (s velmi těsnou funkční spárou a vzduchotěsně řešenou přípojovací spárou) by se vzduchotěsnost místnosti, respektive objemový tok vzduchu q , snížil cca na polovinu.

Tabulka 16 obsahuje výsledky měření vzduchotěsnosti oken při různých stavech.

Tab. 16 – Výsledky měření vzduchotěsnosti oken při různých stavech oken (dvě okna)

stav oken	součinitel proudění C_L [m ³ /(h.Pa ⁿ)]		exponent proudění n [-]	
	podtlak	přetlak	podtlak	přetlak
bez úprav	23,9	25,5	0,69	0,68
s utěsněnou funkční spárou	13,4	12,3	0,72	0,73
s utěsněnou funkční a přípojovací spárou	12,0	11,6	0,70	0,71

Hodnoty parametrů rovnice C_L a n pro funkční a přípojovací spáry se vypočítaly na základě hodnot z tabulky 16. Tento výpočet je zaznamenán v příloze P4. Z důvodu, že jsou obě dvě okna totožná, byl objemový tok vzduchu q_{LA} a q_{LB} vydělen dvěma (chceme pouze výsledné hodnoty pro jedno okno). V tabulce 17 jsou uvedeny výsledné hodnoty C_L a n . Výsledné hodnoty součinitele proudění C_L jsou vztaženy jak pro celou okenní výplň, tak i na 1 m² plochy okna a na 1 bm (běžný metr) zvolené spáry. Exponent proudění n je neměnný.

Tab. 17 – Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční a přípojovací spáry (jedno okno)

		součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
		celá výplň [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	na 1m ² [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	na 1 bm spáry [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	
funkční spára	podtlak	5,3	2,736	0,602	0,64
	přetlak	6,6	3,407	0,749	0,71
	průměr	6,0	3,071	0,675	0,68
přípojovací spára	podtlak	0,7	0,361	0,124	0,84
	přetlak	0,4	0,206	0,071	0,92
	průměr	0,6	0,284	0,097	0,88

Pozn.: plocha okna 1,94 m²; délka funkční spára 8,81 m; délka přípojovací spára 5,66 m

6.1.2 Měření vzduchotěsnosti – Záhornice – Metoda pomocí plastové fólie a clony

Měření proběhlo celkem čtyřikrát, dvě měření na každém okně. Jelikož rozměry a technický stav oken (obrázek č. 14 a 15) je totožný, proto v obou případech byly na fólii umístěny clony E; 3,0 cm a 2,1 cm. K jednotlivým testům byl vyhotoven samostatný zkušební protokol (příloha P2).



Obr. č.17: Pohled na okna s nalepenou fólií a osazenou clonou, vlevo – okno vlevo při pohledu z interiéru, vpravo – okno vpravo při pohledu z interiéru

Fólie byla přilepena na vnitřní líc pevného rámu okna a měřila se pouze vzduchotěsnost okna (bez připojovací spáry). Tabulka 18 uvádí pro funkční spáru okna hodnoty výsledků součinitele proudění C_L a exponentu proudění n . Výsledné hodnoty součinitele proudění C_L jsou vztaženy jak pro celou okenní výplň, tak i na 1 m^2 plochy okna a na 1 bm (běžný metr) funkční spáry. Exponent proudění n je neměnný.

Tab. 18 – Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční spáry okna

měření číslo		součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
		celá výplň [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$]	na 1 m^2 [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}^n)$]	na 1 bm spáry [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa}^n)$]	
vlevo	01	6,4	3,28	0,72	0,48
	02	6,2	3,22	0,71	0,55
	Ø 01 a 02	6,3	3,25	0,72	0,52
vpravo	03	8,2	4,23	0,90	0,56
	04	9,0	4,65	1,02	0,51
	Ø 03 a 04	8,6	4,44	0,96	0,54

Pozn.: plocha okna $1,94 \text{ m}^2$; délka funkční spáry $8,81 \text{ m}$, umístění okna dle pohledu z interiéru

Při měření okna vlevo (01 a 02) došlo k chybě v měření. V průběhu měření 01 a 02 došlo k odlepení fólie od rámu okna již při nižších hodnotách tlakového rozdílu na prvku (cca 45 až 50 Pa). Tohoto faktu jsem si všiml až při vyhodnocování naměřených výsledků. Tento

problém způsobil, že nebylo možné použít naměřené hodnoty větších tlakových rozdílů ve výpočtech (od tlakových rozdílů 45 až 50 Pa výše byly naměřené body zanedbány). Pro vyšší tlakové rozdíly se tedy hodnoty objemových toků musely extrapolovat a jsou zatíženy větší nejistotou.

Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční spáry (okna vpravo) spolu s třídou těsnosti okna dle ČSN EN 12207 [9] jsou zaneseny do grafu v přílohách P1 i P2 (graf orientační zařídění podle ČSN EN 12207). Na základě tohoto zobrazení lze vizuálně porovnat výsledky měření s hranicemi tříd netěsnosti a orientačně zařídít zkoumané okno. Okno se zařídí jak dle plochy, tak i podle délky spáry do třídy 0. Konečné zařídění měřeného okna je tedy třída 0 a to znamená že daný prvek je velmi netěsný.

6.1.3 Záhornice – porovnání výsledků vzduchotěsnosti z kapitol 6.1.1 a 6.1.2

Porovnání hodnot objemového toku vzduchu z metody postupného utěšňování (viz. kapitola 6.1.1) s hodnotou objemového toku vzduchu metodou plastové fólie a clony (viz. kapitola 6.1.2) se dají zjistit případné chyby v měření nebo ve výpočtech. Za pomoci empirické rovnice proudění (1) se dá vypočítat objemový tok vzduchu skrze funkční spáru okna vlevo i vpravo při tlakovém rozdílu 50 Pa z hodnot tabulky 18 (metoda fólie a clony). Tyto dvě hodnoty objemového toku se sečtou a hodnota se porovná s hodnotou objemového toku vzduchu funkční spárou dvou oken z tabulky 15 (metoda postupného utěšňování).

$$\text{Postupné utěšňování: } q_{50,tab15,2okna} = 141,0 \text{ m}^3/\text{h} \quad (16)$$

$$\text{Fólie a clona: } q_{50,tab18,vlevo} = C \times (\Delta p)^n = 6,3 \times (50)^{0,52} = 48,2 \text{ m}^3/\text{h} \quad (17)$$

$$q_{50,tab18,vpravo} = C \times (\Delta p)^n = 8,6 \times (50)^{0,54} = 71,1 \text{ m}^3/\text{h} \quad (18)$$

$$q_{50,tab14} = \sum q_{50,tab18,vlevo} + q_{50,tab18,vpravo} = 48,2 + 71,1 = 119,3 \text{ m}^3/\text{h} \quad (19)$$

$$\text{Porovnání dvou metod: } q_{50,tab15,2okna} \neq q_{50,tab18} \quad (20)$$

$$141,0 \text{ m}^3/\text{h} \neq 119,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Hodnoty objemových toků skrze funkční spáru okna jsou při tlakovém rozdílu 50 Pa rozdílné. Tento rozdíl je způsoben chybou při měření a následnou extrapolací hodnot vyšších tlakových rozdílů (viz. kapitola 6.1.2) u okna vlevo metodou fólie a clony. Dá se říci, že objemový tok vzduchu skrze funkční spáru okna vlevo by měl být cca 70 m³/h, chybou měření je ale nižší přibližně o 22 m³/h. S oknem vlevo se tedy nebude dále pracovat.

Pokud se k porovnání využije pouze hodnot objemového toku vzduchu skrze funkční spáru jednoho okna (okno vpravo), pak jsou výsledky dvou porovnávaných metod téměř totožné.

$$\text{Postupné utěšňování:} \quad q_{50,tab15,1okno} = 70,5 \text{ m}^3/h \quad (21)$$

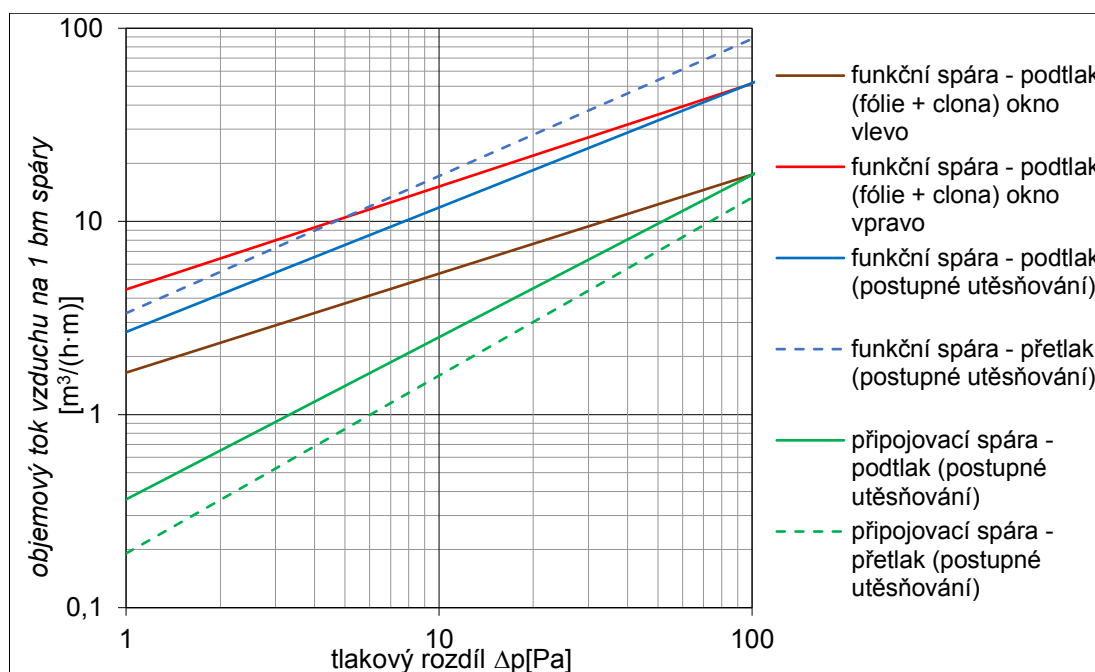
$$\text{Fólie a clona:} \quad q_{50,tab18,vpravo} = C \times (\Delta p)^n = 8,6 \times (50)^{0,54} = 71,1 \text{ m}^3/h \quad (22)$$

$$\text{Porovnání dvou metod:} \quad q_{50,tab15,1okno} \approx q_{50,tab18} \quad (23)$$

$$70,5 \text{ m}^3/h \approx 71,1 \text{ m}^3/h$$

Dá se tedy předpokládat, že během měření a výpočtů (u okna vpravo) nedošlo k žádné chybě, protože obě metody dávají stejný výsledek.

Na obrázku č. 18 jsou graficky porovnány výsledky měření vzduchotěsnosti (pro okno vpravo při pohledu z interiéru). Z grafického znázornění je patrné, že funkční spára zkoumaného okna je mnohem méně těsná oproti přípojovací spáře.



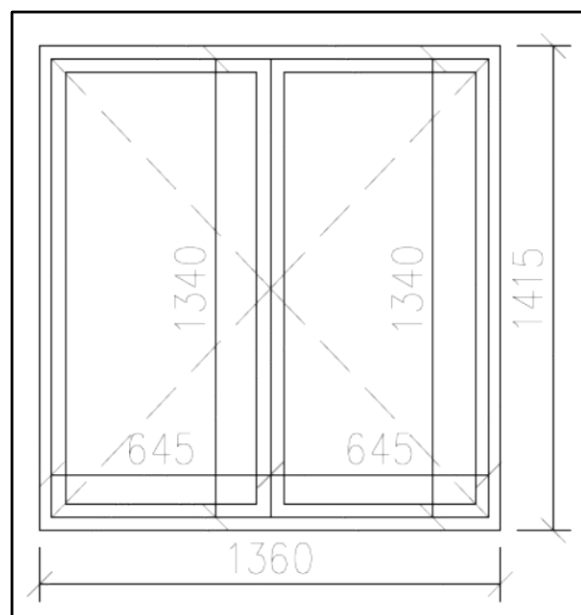
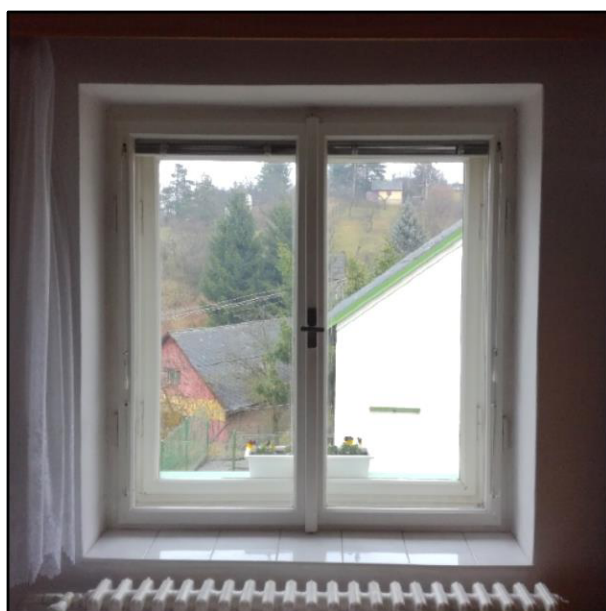
Obr. č.18: Grafické porovnání výsledků měření vzduchotěsnosti okna – objemový tok vzduchu běžným metrem spáry v závislosti na tlakovém rozdílu

6.2 Měření vzduchotěsnosti – Račice

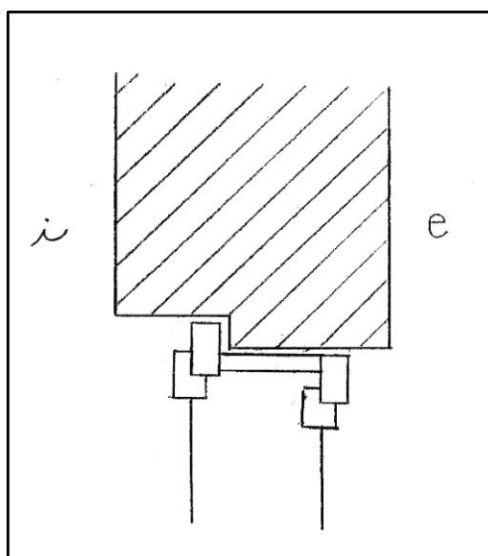
Měření bylo provedeno v rodinném domě a zkoumáno bylo dvojité špaletové okno z roku 1948. Rám je dřevěný, okenní křídla mají jednoduché zasklení. Funkční spára neobsahuje žádné těsnění. Způsob provedení přípojovací spáry nebyl zjišťován. Schéma a rozměry okna jsou patrné na obrázku č.20. Schéma otevírání a provedení špaletového okna je patrné z obrázku č. 21.



Obr. č.19: Pohled na měřené okno (uprostřed obrázku)



Obr. č.20: Pohled na měřené okno (vlevo) a schéma s rozměry (vpravo)



Obr. č.21: Schéma provedení špaletového okna

6.2.1 Měření vzduchotěsnosti – Račice – Metoda postupného utěšňování

Pro každý jednotlivý test byl vyhotoven samostatný zkušební protokol (příloha P3).

Přehled výsledků jednotlivých testů je uveden v tabulce 19. Tabulka 20 uvádí zprůměrované hodnoty objemového toku q při různých stavech oken. V tabulce 21 jsou vypočteny skutečné průtoky jednotlivými typy spár a vliv jejich utěsnění na celkovou vzduchotěsnost místnosti.

Tab. 19 – Přehled výsledků jednotlivých testů

stav okna	měření číslo	q_{50} [m ³ /h]			C_L [m ³ /(h.Pa ⁿ)]		n [-]	
		-	+	∅	-	+	-	+
bez úprav	01	263 ±18	266 ±19	265 ±19	24,0	23,2	0,61	0,62
	02	259 ±18	265 ±19	262 ±18	22,7	22,6	0,62	0,63
	03	262 ±18	264 ±19	263 ±18	23,2	22,3	0,62	0,63
s utěsněnou funkční spárou	04	166 ±12	173 ±12	170 ±12	13,2	14,0	0,65	0,64
	05	169 ±12	173 ±12	171 ±12	15,3	14,4	0,61	0,64
	06	172 ±12	173 ±12	173 ±12	15,0	14,6	0,62	0,63
s utěsněnou funkční a přípojovací spárou	07	165 ±12	170 ±12	167 ±12	14,6	14,0	0,62	0,64
	08	166 ±12	170 ±12	168 ±12	14,1	14,1	0,63	0,64
	09	166 ±12	169 ±12	168 ±12	13,9	14,4	0,63	0,63

Tab. 20 – Zprůměrované hodnoty objemového toku q při různých stavech oken

stav oken	objemový tok vzduchu q_{50} [m ³ /h]		
	podtlak	přetlak	průměr
bez úprav	261 ±10	265 ±11	263 ±11
s utěsněnou funkční spárou	169 ±7	173 ±7	171 ±7
s utěsněnou funkční a přípojovací spárou	166 ±7	170 ±7	168 ±7

Tab. 21 – Vypočtené hodnoty objemového toku q jednotlivými spárami

stav oken	objemový tok vzduchu q_{50} [m ³ /h]	zlepšení oproti stavu bez úprav [%]
(1) bez úprav	263 ±11	-
(2) s utěsněnou funkční spárou	171 ±7	35,0
(3) s utěsněnou funkční a přípojovací spárou	168 ±7	36,1
(1) - (2) funkční spára	92 ±13	35,0
(2) - (3) přípojovací spára	3 ±10	1,1

Z tabulky 21 je zřejmé, že celková vzduchotěsnost místnosti se po utěsnění funkční a přípojovací spáry okna zlepšil přibližně o 36 %. Je zajímavé, že samotnou přípojovací

spárou protéká jen asi 1 % celkového objemového toku vzduchu, a to i přesto, že není vzduchotěsně řešena. Tento výsledek je ovšem zatížen značnou nejistotou. I přestože jsou stará okna netěsná, tak se dá říct že např. po výměně okna za nové (s velmi těsnou funkční spárou a vzduchotěsně řešenou připojovací spárou) by se vzduchotěsnost místnosti, respektive objemový tok vzduchu q , snížil cca o třetinu. Z toho faktu vyplývá, že konstrukce tvořící obálku budovy tohoto staršího objektu je i po utěsnění oken stále netěsná.

V tabulce 22 jsou uvedeny výsledky měření vzduchotěsnosti oken při různých stavech.

Tab. 22 – Výsledky měření vzduchotěsnosti okna při různých stavech

stav oken	součinitel proudění C_L [m ³ /(h.Pa ⁿ)]		exponent proudění n [-]	
	podtlak	přetlak	podtlak	přetlak
bez úprav	23,3	22,7	0,62	0,63
s utěsněnou funkční spárou	14,5	14,3	0,63	0,64
s utěsněnou funkční a připojovací spárou	14,2	14,2	0,63	0,64

Hodnoty parametrů rovnice C_L a n pro funkční a připojovací spáry se vypočítaly na základě hodnot z tabulky 22. Tento výpočet je zaznamenán v příloze P4. Tabulka 23 uvádí výsledné hodnoty C_L a n . Výsledné hodnoty součinitele proudění C_L jsou vztaženy jak pro celou okenní výplň, tak i na 1 m² plochy okna a na 1 bm (běžný metr) zvolené spáry. Exponent proudění n je neměnný.

Tab. 23 – Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční a připojovací spáry

		součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
		celá výplň [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	na 1m ² [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	na 1 bm spáry [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	
funkční spára	podtlak	8,8	4,574	1,333	0,60
	přetlak	8,4	4,366	1,273	0,61
	průměr	8,6	4,470	1,303	0,61
připojovací spára	podtlak	0,3	0,156	0,054	0,63
	přetlak	0,1	0,052	0,018	0,64
	průměr	0,2	0,104	0,036	0,64

Pozn.: plocha okna 1,92 m²; délka funkční spára 6,60 m; délka připojovací spára 5,55 m

6.2.2 Měření vzduchotěsnosti – Račice – Metoda pomocí plastové fólie a clony

Na plastové fólii byly umístěny clony D a 1,5 cm. Měření proběhlo celkem dvakrát. K jednotlivým testům byl vyhotoven samostatný zkušební protokol (příloha P2). Na

obrázku číslo 22 jsou vidět čtyři clony umístěné na fólii. Použily se pouze clony označené D a 1,5 cm, zbylé dvě clony byly utěsněny (přelepeny papírovou lepicí páskou).



Obr. č.22: Pohled na okno s nalepenou fólií a osazenou clonou

Fólie byla přilepena na vnitřní líc obvodové stěny (měřil se tak najednou průtok vzduchu skrze netěsnosti okna a přípojovací spáru). Tabulka 24 uvádí hodnoty výsledků součinitele proudění C_L a exponentu proudění n pro spáry okna (funkční a přípojovací). Výsledné hodnoty součinitele proudění C_L jsou vztaženy jak pro celou okenní výplň, tak i na 1 m^2 plochy okna a na 1 bm funkční spáry (protože funkční spárou protéká převládající množství vzduchu viz. tabulka 21). Hodnota součinitele proudění vztažená na 1 bm funkční spáry je tedy pouze orientační a nepřesná. Ve skutečnosti totiž vzduch protéká funkční i přípojovací spárou dohromady a součinitel proudění na 1 bm funkční spáry by byl zanedbatelně nižší. Exponent proudění n je neměnný.

Tab. 24 – Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční spáry okna

měření číslo	součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
	celá výplň $[\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)]$	na 1 m^2 $[\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}^n)]$	na 1 bm funkční spáry $[\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa}^n)]$	
01	8,4	4,35	1,27	0,56
02	8,1	4,22	1,23	0,57
Ø 01 a 02	8,25	4,29	1,25	0,57

Pozn.: plocha okna $1,92 \text{ m}^2$; délka funkční spáry $6,60 \text{ m}$; délka přípojovací spáry $5,55 \text{ m}$

6.2.3 Račice – porovnání výsledků vzduchotěsnosti z kapitol 6.2.1 a 6.2.2

Porovnání hodnot objemového toku vzduchu z metody postupného utěšňování (viz. kapitola 6.2.1) s hodnotou objemového toku vzduchu metodou plastové fólie a clony (viz. kapitola 6.2.2) se dají zjistit případné chyby v měření nebo ve výpočtech. Za pomoci

empirické rovnice proudění (1) se dá vypočítat objemový tok vzduchu skrze okno v zabudovaném stavu při tlakovém rozdílu 100 Pa z hodnot tabulky 23 (metoda postupného utěšňování) jako součet hodnot pro funkční a přípojovací spáru. Dále se vypočítá objemový tok vzduchu při tlakovém rozdílu 100 Pa z hodnot tabulky 24 (metoda fólie a clony). Tyto dvě výsledné hodnoty objemového toku skrze okno v zabudovaném stavu se porovnají.

Postupné utěšňování:

$$q_{100,tab23,FS} = C \times (\Delta p)^n = 8,6 \times (100)^{0,61} = 139,5 \text{ m}^3/h \quad (24)$$

$$q_{100,tab23,PS} = C \times (\Delta p)^n = 0,2 \times (100)^{0,64} = 3,4 \text{ m}^3/h \quad (25)$$

$$q_{100,tab23} = \sum q_{100,tab23,FS} + q_{100,tab23,PS} = 139,5 + 3,4 = 142,9 \text{ m}^3/h \quad (26)$$

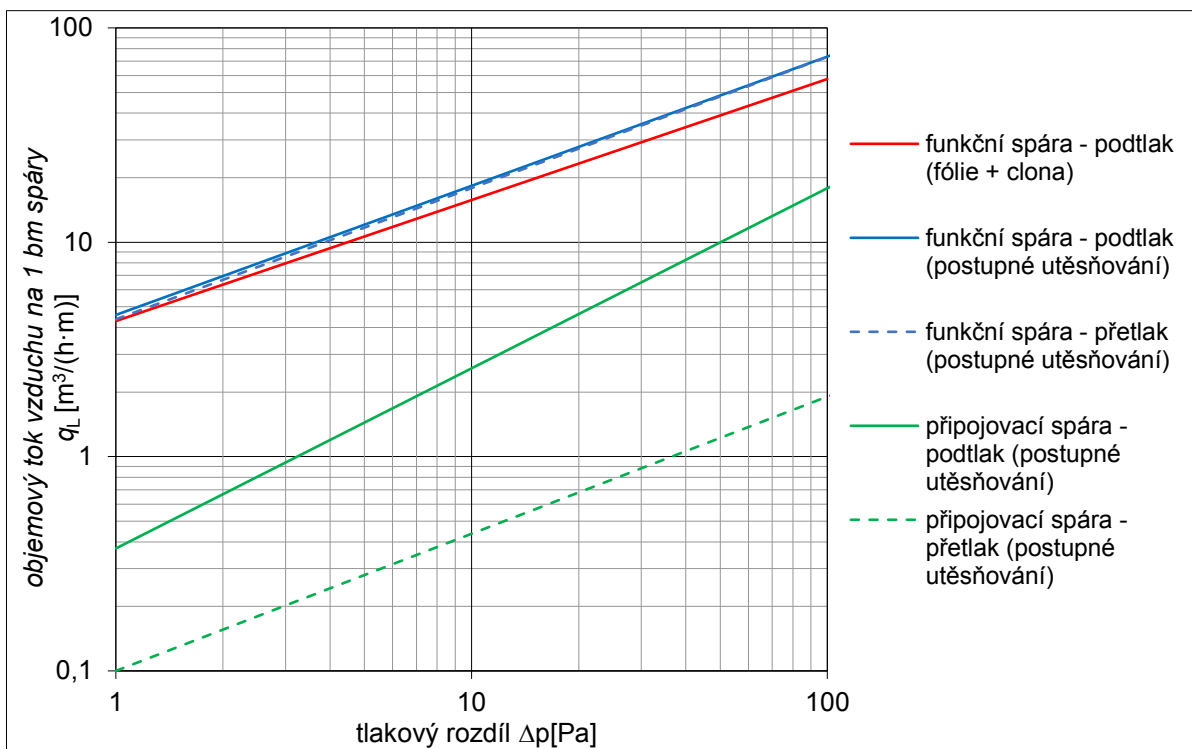
Fólie a clona: $q_{100,tab24} = C \times (\Delta p)^n = 8,25 \times (100)^{0,57} = 115,9 \text{ m}^3/h \quad (27)$

Porovnání dvou metod: $q_{100,tab23} \approx q_{100,tab24} \quad (28)$

$$142,9 \text{ m}^3/h \approx 115,9 \text{ m}^3/h$$

Je nutné si povšimnout faktu, že objemový tok $q_{50,tab23}$ je větší než objemový tok vzduchu $q_{50,tab24}$. Je tedy možné, že v průběhu měření došlo k mírným nepřesnostem. Jako nejpravděpodobnější se jeví fakt, že v průběhu měření metodou postupného utěšňování došlo např. k lokálnímu odlepení malířské pásky od rámu okna a vznikla netěsnost kudy mohl volně proudit vzduch. Výsledky měření obou metod jsou jinak téměř shodné a dá se předpokládat, že nedošlo k nějakým větším chybám při měření.

Na obrázku č. 23 jsou graficky porovnány výsledky měření vzduchotěsnosti okna. Z grafického znázornění je patrné, že funkční spára zkoumaného okna je mnohem méně těsná oproti přípojovací spáře. Přípojovací spárou protéká malé množství vzduchu, a to i přestože není vzduchotěsně řešena. Přípojovací spára má různé chování při podtlaku a přetlaku. Při podtlaku v místnosti proudí skrze přípojovací spáru více vzduchu nežli při přetlaku. Tento fakt je nejspíš způsoben nejistotou měření, protože přípojovací spárou proudí jen malé množství vzduchu (viz. tabulka 21).



Obr. č.23: Grafické porovnání výsledků měření vzduchotěsnosti okna – objemový tok vzduchu běžným metrem spáry v závislosti na tlakovém rozdílu

7. Výsledky jednotlivých měření oken

V tabulce 25 je uveden soupis zkoumaných oken a zároveň i jejich popis.

Tab. 25 – Popis zkoumaných oken z kapitoly 5. a 6.

		název měření	metoda měření	stáří	typ okna	rám	zasklení	poznámky
vlastní vyhodnocení	okno 01	Záhornice*	postupné utěšňování + fólie a clona	1920	dvojitě špaletové otevíravé	dvojitý dřevěný + dřevěná špaleta	2x jednoduché	metodou fólie a clony byla měřena pouze funkční spára okna
	okno 02	Račice	postupné utěšňování + fólie a clona	1948	dvojitě špaletové otevíravé	dvojitý dřevěný + dřevěná špaleta	2x jednoduché	metodou fólie a clony se měřila funkční a přípojovací spára dohromady
	okno 03	Plzeň	fólie a clona	> 55 let	dvojitě špaletové otevíravé	dvojitý dřevěný + dřevěná špaleta	2x jednoduché	metodou fólie a clony byla měřena pouze funkční spára okna
	okno 04	Dobřichovice	fólie a clona	2008	jednoduché otevíravé	jednoduchý plastový	tepelně izolační dvojsklo	metodou fólie a clony se měřila funkční a přípojovací spára dohromady
	okno 05	Praha	výměna okna	1987	zdvojené sestava otočné a otevíravé	zdvojený dřevěný	2x jednoduché	zanedbán vzduchový tok skrze nové těsnější okno
	okno 06	Augustinova						
převzaté výsledky	okno 07	-	fólie a clona	÷ 35 let	zdvojené otočné, svislá osa	zdvojený dřevěný	2x jednoduché	metodou fólie a clony se měřila funkční a přípojovací spára dohromady
	okno 08	-	fólie a clona	2011	jednoduché otevíravé + sklopné	jednoduchý plastový	tepelně izolační trojsklo	metodou fólie a clony se měřila funkční a přípojovací spára dohromady
	okno 09	-	fólie a clona	> 55 let	dvojitě špaletové otevíravé	dvojitý dřevěný + dřevěná špaleta	2x jednoduché	metodou fólie a clony se měřila funkční a přípojovací spára dohromady
	okno 10	-	fólie a clona	>55 let	dvojitě špaletové otevíravé	dvojitý dřevěný + dřevěná špaleta	2x jednoduché	metodou fólie a clony se měřila funkční a přípojovací spára dohromady
	okno 11	-	fólie a clona	2010	jednoduché otevíravé + sklopné	jednoduchý plastový	tepelně izolační dvojsklo	metodou fólie a clony se měřila funkční a přípojovací spára dohromady
	okno 12	Praha 2	fólie a clona	1937	dvojitě špaletové otevíravé	dvojitý dřevěný + dřevěná špaleta	2x jednoduché	metodou fólie a clony byla měřena pouze funkční spára okna
	okno 13	Plzeň 2	výměna okna	cca	zdvojené otevíravé	zdvojený dřevěný	2x jednoduché	zanedbán vzduchový tok skrze nové těsnější okno
	okno 14			1975				

*okno vpravo při pohledu z interiéru

V kapitole 7.1 až 7.3 jsou shrnuty výsledky měření, které jsem v rámci této práce vyhodnocoval (tzn. okna 01 až 06). V kapitole 7.4 jsou shrnuty veškeré dostupné výsledky z měření vzduchotěsnosti oken 01 až 14.

7.1 Výsledky jednotlivých měření oken – metoda fólie a clony

Okna s měřenou funkční spárou

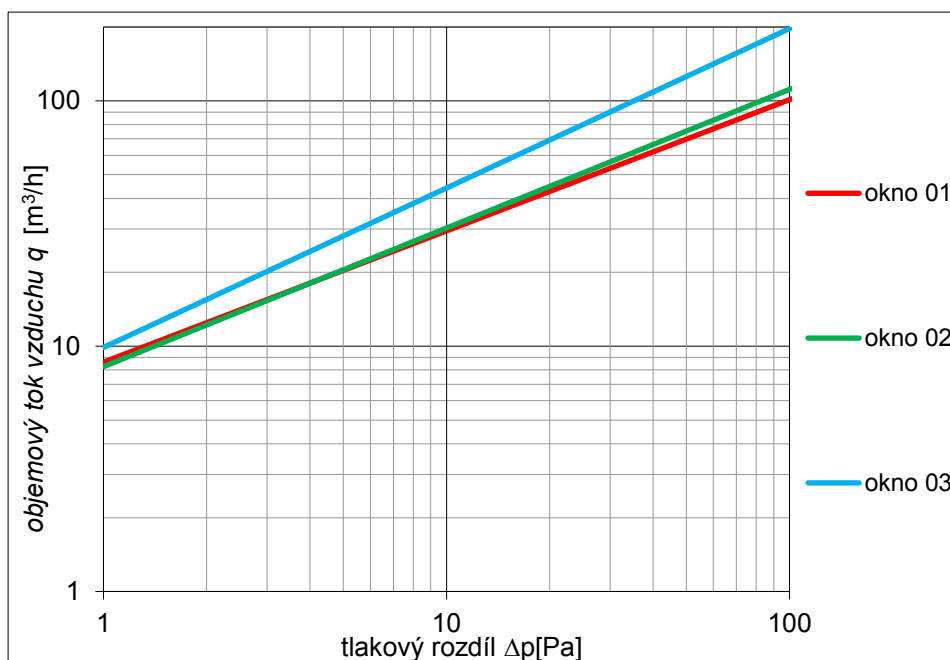
Výsledky měření pomocí metody fólie a clony jsou zaneseny v tabulce 26, kde se nachází i základní popis zkoumaných oken. V této tabulce jsou uvedena okna, u kterých byla fólie nalepená na pevném rámu okna, tzn. že se měřila pouze funkční spára okna. Kvůli nedostatku prostoru potřebnému k nalepení fólie na pevný rám okna, byla u okna 02 fólie nalepena na vnitřní líc obvodové stěny. Tudíž se měřené hodnoty vztahují k funkční a připojovací spáře. Dle kap. 6.2.1 prochází připojovací spárou objemový tok vzduchu $q_{50} = 3 \text{ m}^3/\text{h}$, což tvoří cca 1 % celkového objemového toku procházející skrze zkoumané okno. Množství vzduchu procházející připojovací spárou je tak malé, že mohu porovnávat okno 02 s ostatními okny.

Tab. 26 – Výsledky měřených oken

		okno 01	okno 02	okno 03
stáří okna		1920	1948	> 55 let
typ okna		dvojité špaletové	dvojité špaletové	dvojité špaletové
připojovací spára - výplň		nezjištěna	nezjištěna	nezjištěna
připojovací spára - těsnění		není	není	není
funkční spára - těsnění		není	není	není
šířka okna	b [m]	1,16	1,36	2,10
výška okna	h [m]	1,67	1,42	1,50
plocha okna	A_w [m ²]	1,94	1,92	3,15
délka připojovací spáry	L_{PS} [m]	5,66	5,55	7,20
délka funkční spáry	L_{FS} [m]	8,81	6,60	10,60
délka spár - celkem	L_{TOT} [m]	14,47	12,15	17,80
součinitel proudění	C_{env} [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	8,4	8,1	9,8
součinitel proudění	C_L [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	8,6	8,2	9,9
exponent proudění	n [-]	0,54	0,57	0,65
objemový tok vzduchu	q_{50} [m ³ /h]	73	75	125
vzduchová propustnost plochou	$q_{A,50}$ [m ³ /(h.m ²)]	37,4	39,1	39,5
vzduchová propustnost funkční spárou	$q_{FS,50}$ [m ³ /(h.m)]	8,2	11,4	11,7
součinitel plošné průvzdušnosti	C_A [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	4,44	4,30	3,14
součinitel spárové průvzdušnosti	C_S [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	0,98	1,25	0,93

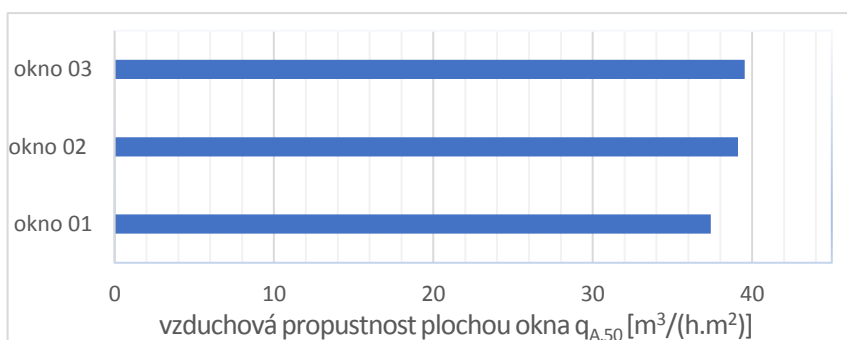
Pozn.: uvedené rozměry byly měřeny při pohledu z interiéru

Na obrázku č.24 je grafické porovnání objemového toku vzduchu měřenými okny v závislosti na tlakovém rozdílu. Výpočet proveden z hodnot součinitele proudění C_L a exponentu proudění n .

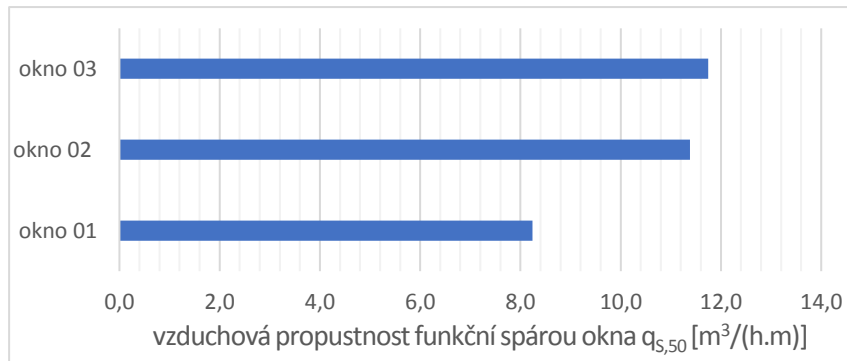


Obr. č.24: Grafické porovnání výsledků měření vzduchotěsnosti oken – objemový tok vzduchu okny v závislosti na tlakovém rozdílu (podtlak)

Hodnoty objemového toku vzduchu proudící skrze zkoumaná okna se navzájem liší. Průvzdušnost zkoumaných oken, které mají různou velikost, délku funkční a připojovací spáry je vhodné porovnávat pomocí odvozených hodnotících veličin vztažených na měrnou jednotku. V tomto případě jde o plochu A_W a délku funkční spáry L_{FS} . Na obrázku č.25 je porovnána vzduchová propustnost okna $q_{A,50}$ a na obrázku č.26 je porovnána vzduchová propustnost spárami $q_{S,50}$.



Obr. č.25: Porovnání vzduchotěsnosti oken za pomoci plochy



Obr. č.26: Porovnání vzduchotěsnosti oken za pomoci délky funkční spáry

Je zajímavé, že mladší okno 02, které je udržováno v dobrém technickém stavu má horší hodnoty vzduchotěsnosti oproti oknu 01, které je neudržované. Tato skutečnost byla způsobena vlivem objemových změn (zvětšení objemu) rámu neudržovaného okna, kdy si vlastně okno dotěsnilo funkční spáru a je tedy těsnější.

U obdobných typů starších špaletových oken se dá předpokládat určitý rozptyl reálně dosahované vzduchotěsnosti. Tento rozptyl je většinou důsledkem odlišné šířky funkční spáry zapříčiněný deformacemi rámu a špalet z rostlého dřeva, vlivem stárnutí, objemových změn a také údržbou okna.

Okna s měřenou funkční a přípojovací spárou (v zabudovaném stavu)

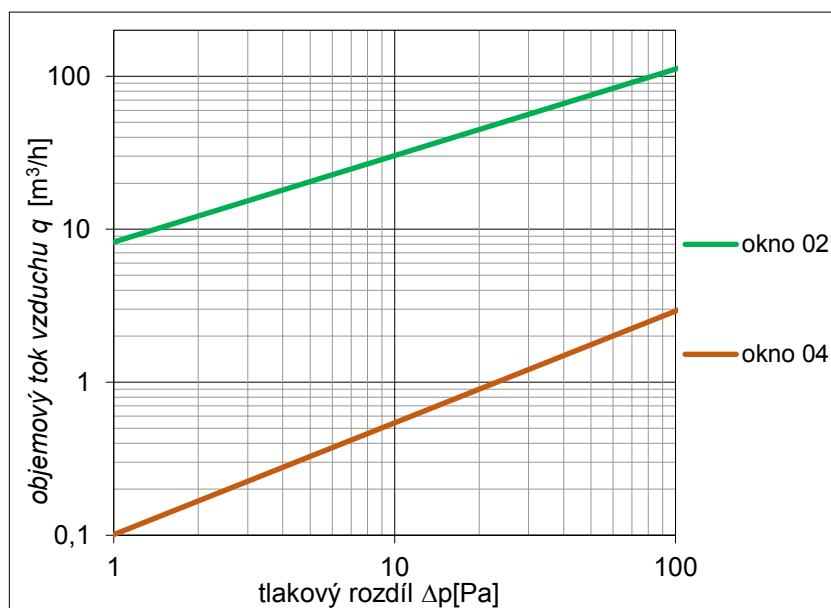
Přehled výsledků měření zkoumaných oken spolu se základním popisem je zanesen v tabulce 27. V této tabulce jsou uvedena okna, u kterých byla fólie nalepená na vnitřním líci obvodové stěny, tzn. že se měřil objemový tok vzduchu v zabudovaném stavu (funkční a přípojovací spára dohromady).

Tab. 27 – Výsledky měřených oken

		okno 02	okno 04
stáří okna		1948	2010
typ okna		dvojité špaletové	jednoduché
připojovací spára - výplň		nezjištěna	PUR pěna
připojovací spára - těsnění		není	není
funkční spára - těsnění		není	2 roviny pruž. těsnění
šířka okna	b [m]	1,36	1,15
výška okna	h [m]	1,42	1,41
plocha okna	A_w [m ²]	1,92	1,62
délka připojovací spáry	L_{PS} [m]	5,55	5,12
délka funkční spáry	L_{FS} [m]	6,60	5,88
délka spár - celkem	L_{TOT} [m]	12,15	11,00
součinitel proudění	C_{env} [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	8,1	0,1
součinitel proudění	C_L [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	8,2	0,1
exponent proudění	n [-]	0,57	0,73
objemový tok vzduchu	q_{50} [m ³ /h]	75	2
vzduchová propustnost plochou	$q_{A,50}$ [m ³ /(h.m ²)]	39,1	1,1
vzduchová propustnost funkční spárou	$q_{FS,50}$ [m ³ /(h.m)]	11,4	0,3
součinitel plošné průvzdušnosti	C_A [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	4,30	0,06
součinitel spárové průvzdušnosti	C_S [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	1,25	0,02

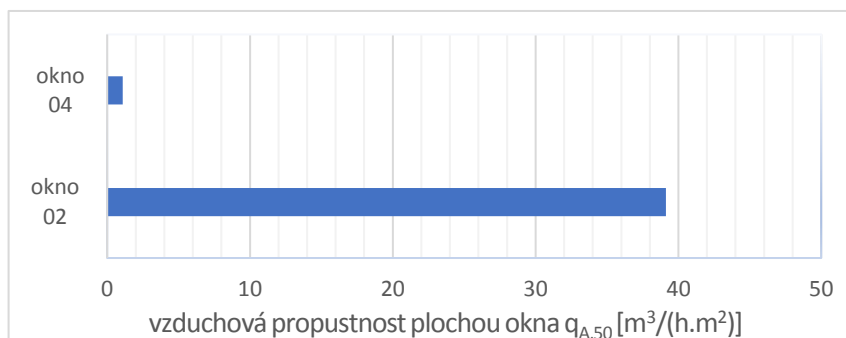
Pozn.: uvedené rozměry byly měřeny při pohledu z interiéru

Na obrázku č.27 je vidět grafické porovnání objemového toku vzduchu měřenými okny v závislosti na tlakovém rozdílu. Výpočet proveden z hodnot součinitele proudění C_L a exponentu proudění n .

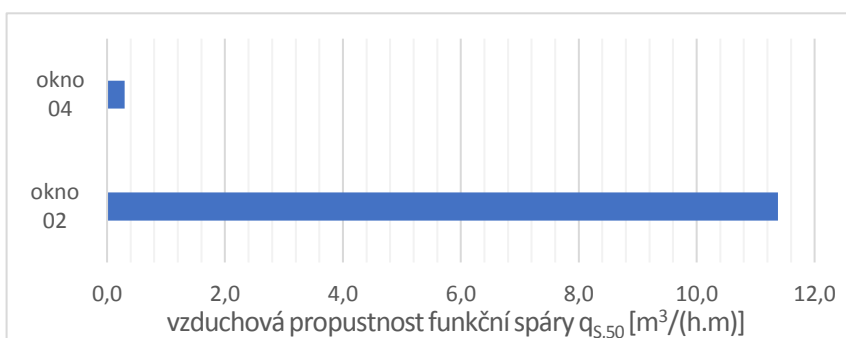


Obr. č.27: Grafické porovnání výsledků měření vzduchotěsnosti oken – objemový tok vzduchu okny v závislosti na tlakovém rozdílu (podtlak)

Hodnoty objemového toku vzduchu proudící skrze zkoumaná okna se navzájem velmi liší. Průvzdušnost různých typů oken s různými rozměry je vhodné porovnávat pomocí odvozených hodnotících veličin vztažených na měrnou jednotku. V tomto případě jde o plochu A_w a délku funkční spáry L_{FS} . Na obrázku č.28 je porovnána vzduchová propustnost okna $q_{A,50}$ a na obrázku č.29 je porovnána vzduchová propustnost spárami $q_{S,50}$.



Obr. č.28: Porovnání vzduchotěsnosti oken za pomoci plochy



Obr. č.29: Porovnání vzduchotěsnosti oken za pomoci funkční spáry

Plastové okno současné konstrukce i bez vzduchotěsně řešené připojovací spáry vykazuje dle předpokladů řádově větší těsnost oproti starému typu dvojitého špaletového okna v zabudovaném stavu. Největší vliv na vzduchotěsnost plastového okna mají dvě roviny pružného těsnění umístěného ve funkční spáře.

7.2 Výsledky jednotlivých měření oken – metoda postupného utěšňování

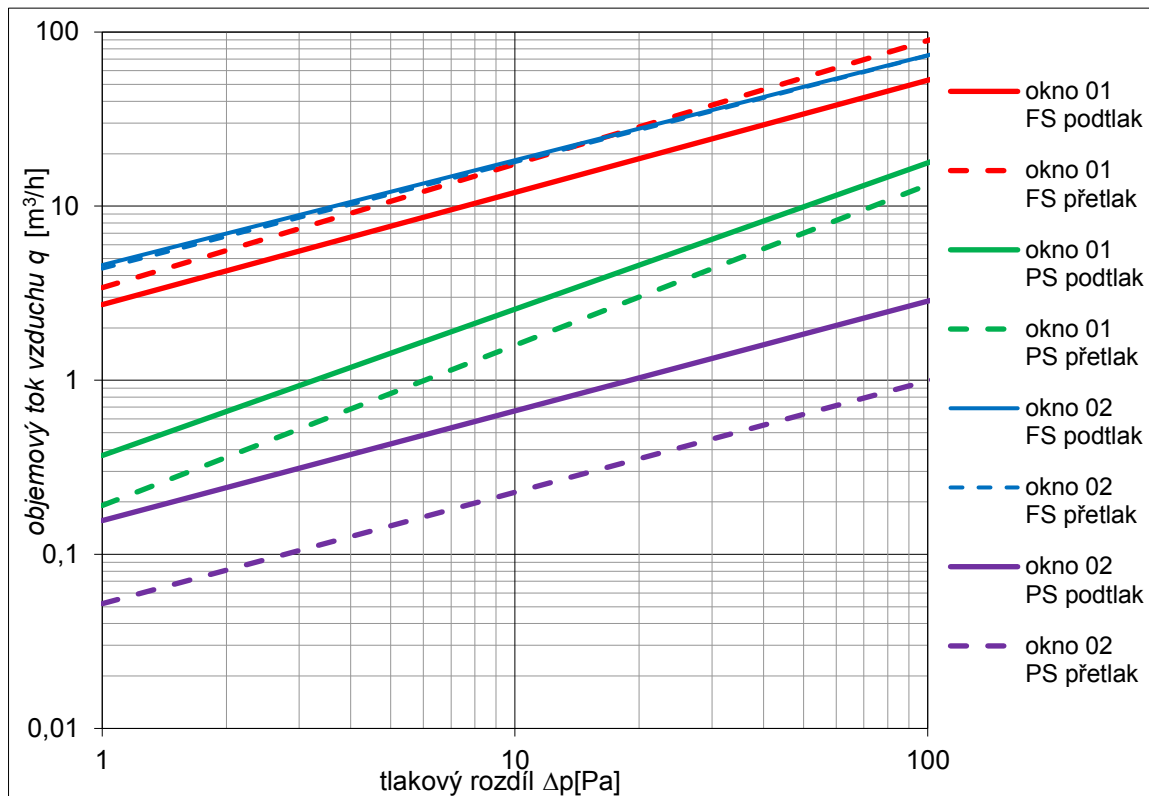
Výsledky měření metodou postupného utěšňování jsou zaneseny v tabulce 28 spolu se základním popisem zkoumaných oken.

Tab. 28 – Výsledky měřených oken

		okno 01		okno 02	
		FS	PS	FS	PS
stáří okna		1920		1948	
typ okna		dvojité špaletové		dvojité špaletové	
připojovací spára - výplň		nezjištěna		nezjištěna	
připojovací spára - těsnění		není		není	
funkční spára - těsnění		není		není	
šířka okna	b [m]	1,16		1,36	
výška okna	h [m]	1,67		1,42	
plocha okna	A _w [m ²]	1,94		1,92	
délka spáry	L _s [m]	8,81	5,66	6,60	5,55
délka spár - celkem	L _{TOT} [m]	14,47		12,15	
součinitel proudění - podtlak	C _{L-} [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	5,3	0,7	8,8	0,3
součinitel proudění - přetlak	C _{L+} [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	6,6	0,4	8,4	0,1
exponent proudění - podtlak	n ⁻ [-]	0,64	0,84	0,60	0,63
exponent proudění - přetlak	n ⁺ [-]	0,71	0,92	0,61	0,64
objemový tok vzduchu - podtlak	q ₅₀₋ [m ³ /h]	65,7	19,3	93,0	3,5
objemový tok vzduchu - přetlak	q ₅₀₊ [m ³ /h]	106,3	13,7	92,1	1,2
objemový tok vzduchu - průměr	q _{50∅} [m ³ /h]	86,0	16,5	92,5	2,4
vzduchová propustnost spárou - podtlak	q _{S,50-} [m ³ /(h.m)]	7,5	3,4	14,1	0,6
vzduchová propustnost spárou - přetlak	q _{S,50+} [m ³ /(h.m)]	12,1	2,4	13,9	0,2
vzduchová propustnost spárou - průměr	q _{S,50∅} [m ³ /(h.m)]	9,8	2,9	14,0	0,4
součinitel spárové průvzdušnosti	C _S [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	0,67	0,10	1,30	0,04

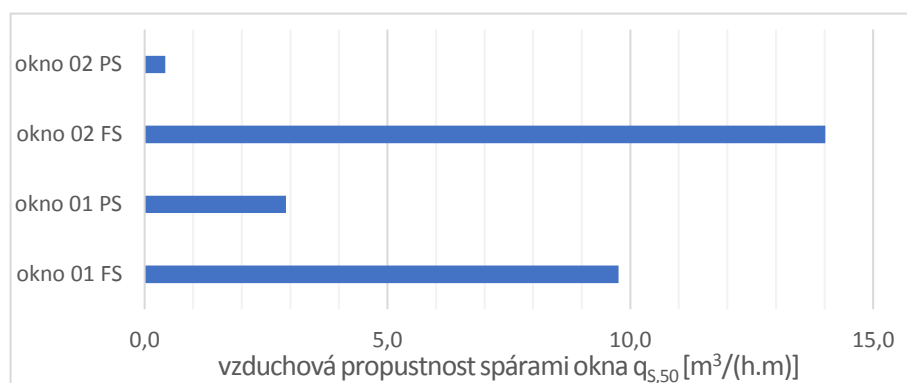
Pozn.: PS = připojovací spára, FS = funkční spára

Grafické porovnání objemového toku vzduchu funkční a připojovací spárou různých oken je vidět na obrázku č.30. Výpočet proveden z hodnot součinitele proudění C_L a exponentu proudění n.



Obr. č.30: Grafické porovnání výsledků měření vzduchotěsnosti jednotlivých typů spár – objemový tok vzduchu okny v závislosti na tlakovém rozdílu

Hodnota objemového toku vzduchu proudící skrze funkční spáry zkoumaných oken je téměř totožná u obou oken. Hodnoty objemového toku skrze připojovací spáry jsou o řád nižší než u funkční spáry. Připojovací spáry mají v obou případech různý charakter proudění jak při podtlaku, tak při přetlaku. Průvzdušnost různých typů spár u různých oken je vhodné porovnávat pomocí veličiny vztahované na nějakou měrnou jednotku. V tomto případě na délku zvolené spáry. Na obrázku č.31 je porovnána vzduchová propustnost spárami $q_{S,50}$.



Obr. č.31: Porovnání vzduchotěsnosti oken za pomoci délky jednotlivých spár

Opět jako v kapitole 7.1 u stejných oken jen jinou zkušební metodou je překvapivé, že funkční spára okna 02 je méně těsná než u okna 01. U přípojovací spáry je to naopak. Přípojovací spára okna 01 je méně těsná než u okna 02.

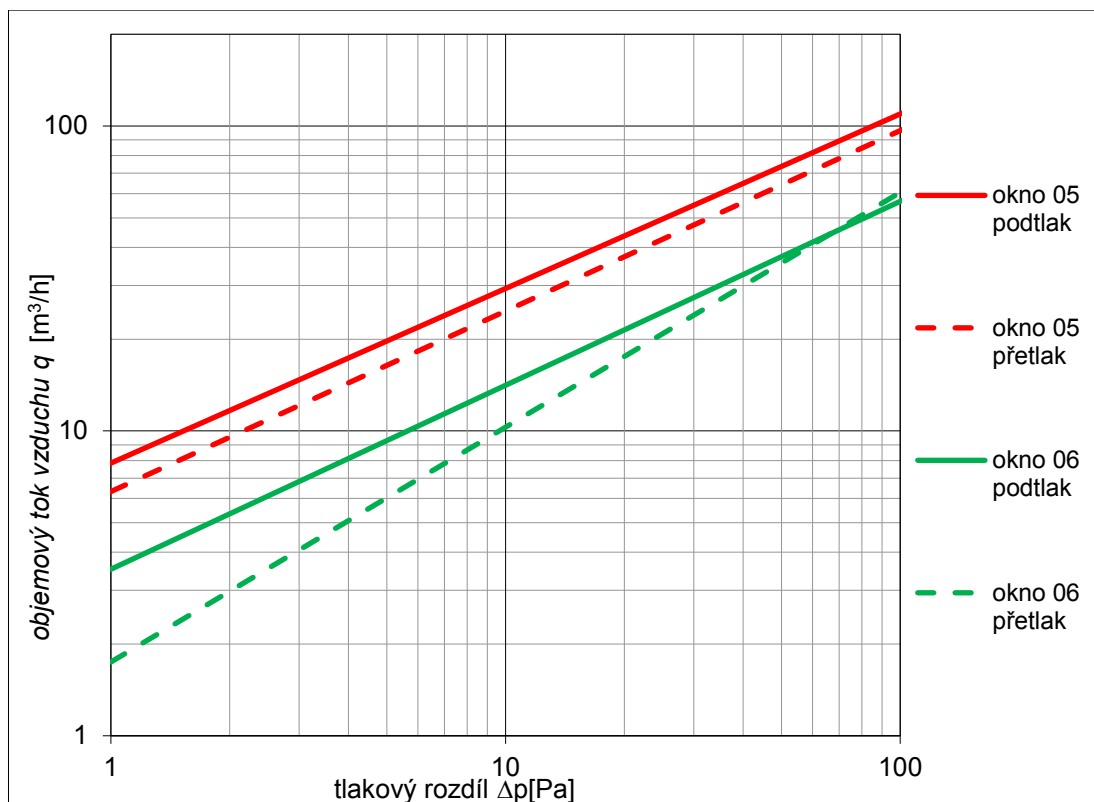
7.3 Výsledky jednotlivých měření oken – metoda výměny okna

Výsledky měření metodou postupného utěšňování jsou zaneseny v tabulce 29 spolu se základním popisem zkoumaných oken.

Tab. 29 – Výsledky měření oken

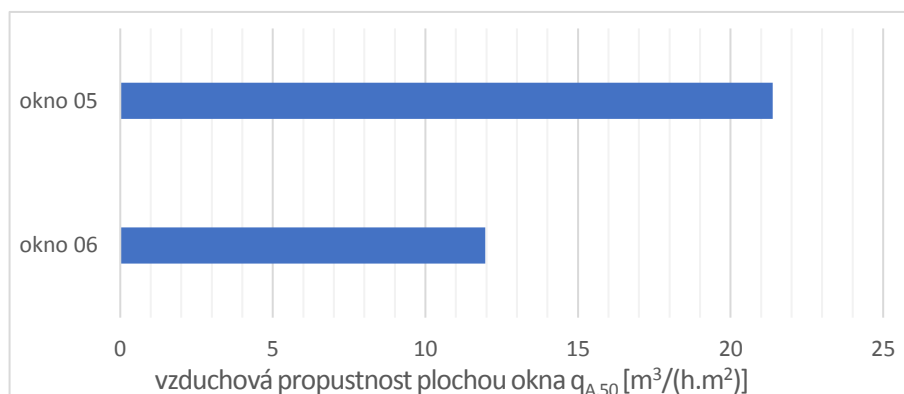
		okno 05	okno 06
stáří okna		1987	1988
typ okna		zdvojené	zdvojené
přípojovací spára - výplň		nezjištěna	nezjištěna
přípojovací spára - těsnění		není	není
funkční spára - těsnění		1 rovina pruž. těsnění	1 rovina pruž. těsnění
šířka okna	b [m]	2,10	2,10
výška okna	h [m]	1,55	1,55
plocha okna	A_w [m ²]	3,23	3,23
délka přípojovací spáry	L_{PS} [m]	7,30	7,30
délka funkční spáry	L_{FS} [m]	9,92	9,92
délka spár - celkem	L_{TOT} [m]	17,22	17,22
součinitel proudění	C_L [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	7,1	2,6
exponent proudění	n [-]	0,58	0,69
objemový tok vzduchu	q_{50} [m ³ /h]	69	39
vzduchová propustnost plochou	$q_{A,50}$ [m ³ /(h.m ²)]	21,4	12,0
vzduchová propustnost funkční spárou	$q_{FS,50}$ [m ³ /(h.m)]	7,0	3,9
součinitel plošné průvzdušnosti	C_A [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	2,20	0,80
součinitel spárové průvzdušnosti	C_S [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	0,72	0,26

Na obrázku č.32 je vidět grafické porovnání objemového toku vzduchu měřenými okny v závislosti na tlakovém rozdílu. Výpočet proveden z hodnot součinitele proudění C_L a exponentu proudění n.

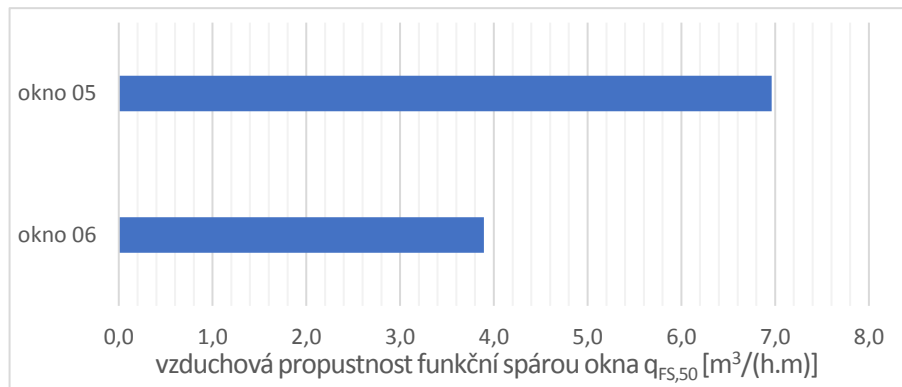


Obr. č.32: Grafické porovnání výsledků měření vzduchotěsnosti oken – objemový tok vzduchu okny v závislosti na tlakovém rozdílu

Hodnoty objemového toku vzduchu proudící skrze zkoumaná okna se navzájem liší, a to i přesto, že jsou totožná (jenom je každé okno v jiné místnosti). Průvzdušnost je i v tomto případě vhodné porovnávat pomocí odvozených hodnotících veličin vztažených na měrnou jednotku. V tomto případě jde o plochu A_w a délky funkční spáry L_{FS} . Na obrázku č.33 je porovnávána vzduchová propustnost okna $q_{A,50}$ a na obrázku č.34 je porovnávána vzduchová propustnost spárami $q_{S,50}$.



Obr. č.33: Porovnání vzduchotěsnosti oken za pomoci plochy



Obr. č.34: Porovnání vzduchotěsnosti oken za pomoci délky spár

I když se jedná o okna totožné konstrukce, stejného stáří, rozměrů atd. je nutné počítat s tím, že okna mohou mít různou průvzdušnost. V případě je okno 05 přibližně o polovinu těsnější než okno 06.

7.4 Výsledky jednotlivých měření oken – souhrn

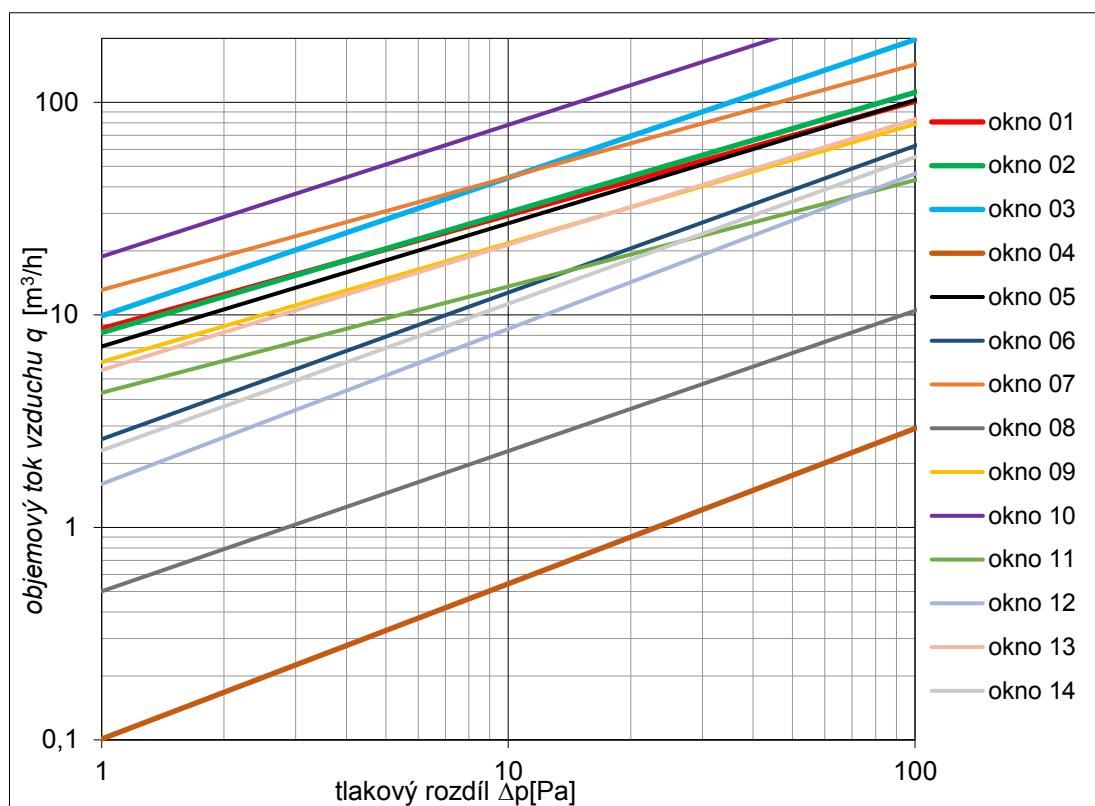
Přehled dostupných výsledků měření (vlastních i převzatých) vzduchotěsnosti oken s jejich základním popisem je uveden v tabulce 30. Veškerá zkoumaná okna jsou podrobněji popsána tabulce 25.

Okna 01 až 06 jsem vyhodnocoval v rámci této závěrečné práce a okna 07 až 14 jsem převzal z [11, 12, 13].

Tab. 30 - Výsledky měření vzduchotěsnosti oken (rozměry platí při pohledu z interiéru)

	okno 01	okno 02	okno 03	okno 04	okno 05	okno 06	okno 07	okno 08	okno 09	okno 10	okno 11	okno 12	okno 13	okno 14
stáří okna	1920	1948	> 55 let	2008	1987	1987	÷ 35 let	2011	> 55 let	> 55 let	2010	1937	cca 1975	cca 1975
typ okna	dvojité špaletové	dvojité špaletové	dvojité špaletové	jednoduché	zdvojené	zdvojené	zdvojené	jednoduché	dvojité špaletové	dvojité špaletové	jednoduché	dvojité špaletové	zdvojené	zdvojené
přípojovací spára - výplň	nezjištěna	nezjištěna	nezjištěna	PUR pěna	nezjištěna	nezjištěna	min. vlákna	PUR pěna	nezjištěna	nezjištěna	PUR pěna	nezjištěna	nezjištěna	nezjištěna
přípojovací spára - těsnění	není	není	není	není	není	není	není	okenní pásky	není	není	není	není	není	není
funkční spára - těsnění	není	není	není	2 roviny pruž. těsnění	1 rovina pruž. těsnění	1 rovina pruž. těsnění	není	3 roviny pruž. těsnění	není	není	2 roviny pruž. těsnění	není	1 rovina pruž. těsnění	1 rovina pruž. těsnění
šířka okna	b [m]	1,16	1,36	2,10	1,15	2,10	2,10	1,48	1,48	0,98	1,81	1,08	2,00	2,10
výška okna	h [m]	1,67	1,42	1,50	1,41	1,55	1,55	1,58	1,56	1,27	1,30	1,23	2,00	1,50
plocha okna	A _w [m ²]	1,94	1,92	3,15	1,62	3,23	3,23	2,30	2,30	1,20	2,40	1,30	4,00	3,15
délka přípojovací spáry	L _{PS} [m]	5,66	5,55	7,20	5,12	7,30	7,30	6,10	6,10	4,50	6,20	4,60	-	7,20
délka funkční spáry	L _{FS} [m]	8,81	6,60	10,60	5,88	9,92	9,92	5,70	7,40	10,80	18,80	5,30	3,57	10,86
délka spár - celkem	L _{TOT} [m]	14,47	12,15	17,80	11,00	17,22	17,22	11,80	13,50	15,30	25,00	9,90	-	18,06
součinitel proudění	C _{env} [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	8,4	8,1	9,8	0,1	-	-	13,0	0,5	6,0	18,9	4,4	-	-
součinitel proudění	C _L [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	8,6	8,2	9,9	0,1	7,1	2,6	13,1	0,5	6,0	18,8	4,3	1,6	5,5
exponent proudění	n [-]	0,54	0,57	0,65	0,73	0,58	0,69	0,53	0,66	0,56	0,62	0,50	0,73	0,59
objemový tok vzduchu	q ₅₀ [m ³ /h]	73	75	125	2	69	39	105	7	54	212	30	28	55
vzduchová propustnost plochou	q _{A,50} [m ³ /(h.m ²)]	37,4	39,1	39,5	1,1	21,4	12,0	45,7	3,0	44,0	90,0	23,1	7,0	17,6
vzduchová propustnost FS	q _{FS,50} [m ³ /(h.m)]	8,2	11,4	11,7	0,3	7,0	3,9	18,4	0,9	5,0	11,3	5,7	7,8	5,1
součinitel plošné průvzdušnosti	C _A [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	4,44	4,30	3,14	0,06	2,20	0,80	5,70	0,22	4,80	7,83	3,31	0,40	1,75
součinitel spárové průvzdušnosti	C _S [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	0,98	1,25	0,93	0,02	0,72	0,26	2,30	0,07	0,56	1,00	0,81	0,45	0,51

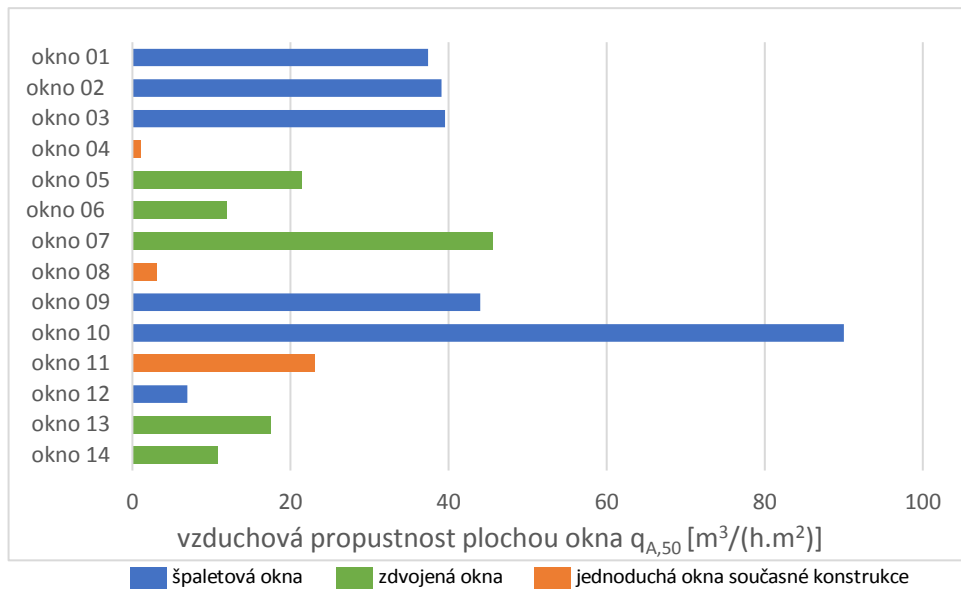
Porovnání objemového toku vzduchu měřenými okny v závislosti na tlakovém rozdílu je vidět na obrázku č.35. Výpočet proveden z hodnot součinitele proudění C_L a exponentu proudění n .



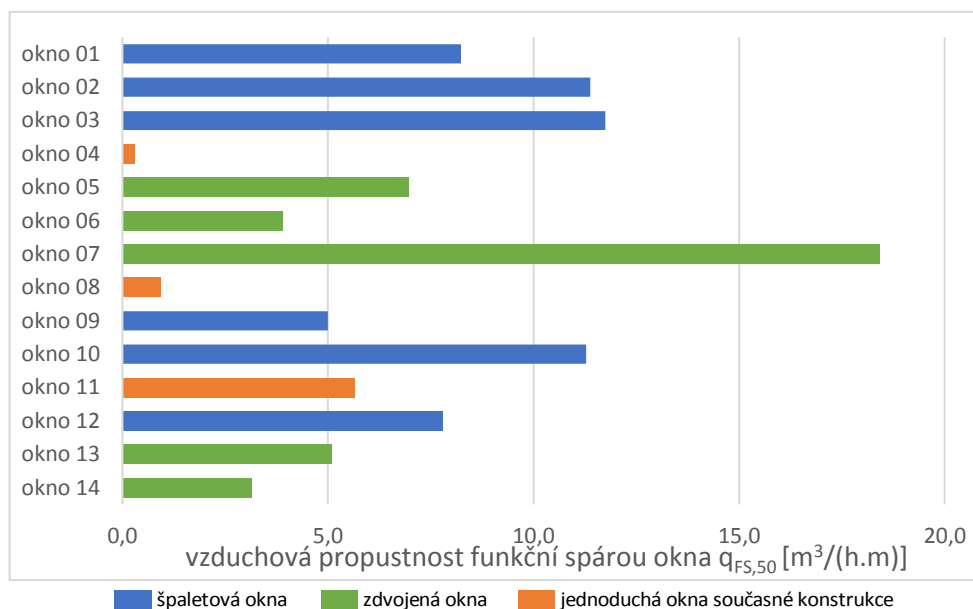
Obr. č.35: Grafické porovnání výsledků měření vzduchotěsnosti oken – objemový tok vzduchu okny v závislosti na tlakovém rozdílu (podtlak)

Hodnoty objemového toku vzduchu proudící skrze zkoumaná okna se navzájem velmi liší. Zkoumaná okna mají ovšem různou velikost a délku spár, proto je vhodné porovnávat vzduchotěsnost oken za pomoci odvozených hodnotících veličin vztažených na měrnou jednotku (plocha A_w a délka funkční spáry L_{FS}).

Na obrázku č.36 je porovnána vzduchová propustnost okna $q_{A,50}$ a na obrázku č.37 je porovnána vzduchová propustnost funkční spárou $q_{FS,50}$. Je nutné připomenout, že průvzdušnost funkční spáry byla měřena pouze u oken 01, 03 a 12. Ostatní okna byla měřena v zabudovaném stavu, tzn. že byl měřen vzduchový tok skrze funkční a přípojovací spáru dohromady. Ve skutečnosti by byl vzduchový tok u těchto oken (s měřenou funkční a přípojovací spárou dohromady) skrze funkční spáru nepatrně nižší.



Obr. č.36: Porovnání vzduchotěsnosti oken za pomoci plochy



Obr. č.37: Porovnání vzduchotěsnosti oken za pomoci délky spár

U okna 11 nebyla v době měření provedena vnitřní omítka. V průběhu testu byl tedy měřen objemový tok vzduchu proudící skrze netěsnosti v konstrukci okna a netěsnosti v přípojovací spáře, ale také spárami v neomítnutém zdivu. Nelze tedy ve výsledku měření odvodit údaje o průvzdušnosti okna. [13]

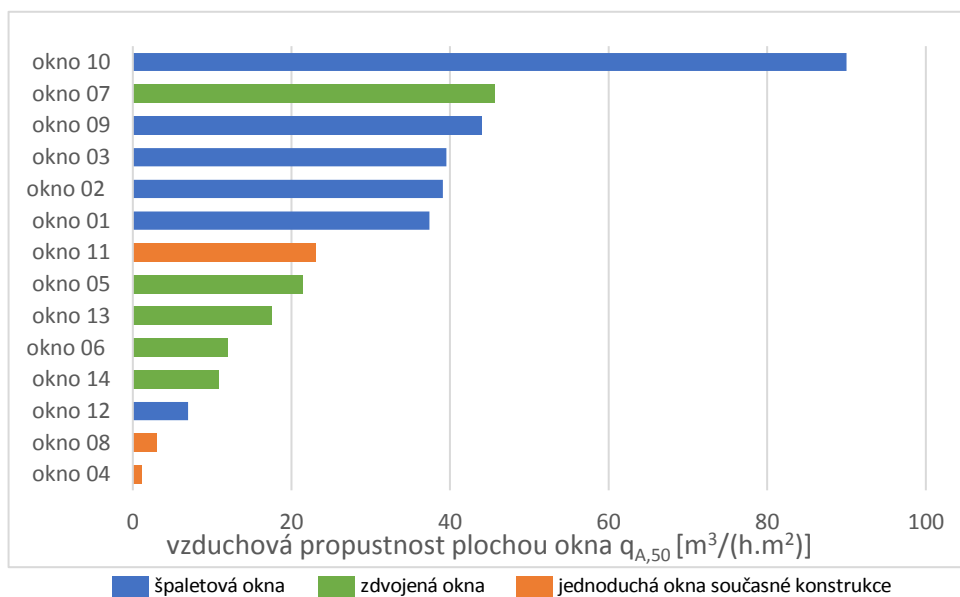
Mladší okna současné konstrukce (okna 04, 08) jsou v obou případech hodnocení těsnější než starší typy oken. Je překvapivé, že okno 04 je v obou případech těsnější než okno 08 a to i přesto, že má „jen“ 2 roviny pružného těsnění oproti 3 rovinám pružného těsnění. A hlavně okno 04 nemá vzduchotěsně řešenou přípojovací spáru na rozdíl od okna 08. Dále je zajímavé, že okno 11 dosahuje lepší úrovně vzduchotěsnosti oproti některým starším

typům oken (převážně dřevěným špaletovým) i přesto, že proudění spárami ve zdivu má významný vliv [13].

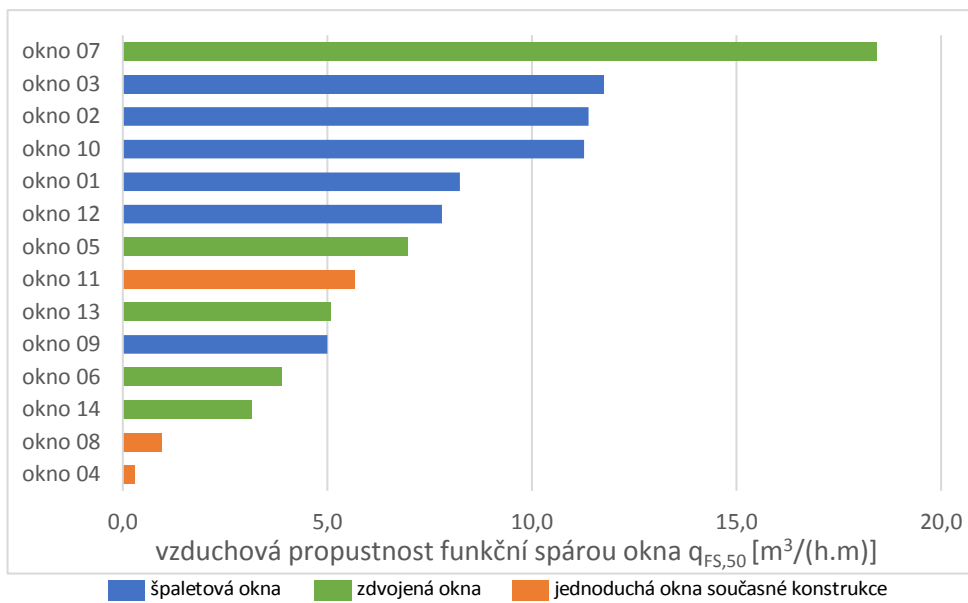
Překvapivý je i velký rozdíl mezi podobnými typy dvojitého špaletového okna. U obdobných typů starších špaletových oken lze tedy předpokládat velký rozptyl reálně dosahované vzduchotěsnosti. Příčinou tohoto rozptylu je většinou odlišná šířka funkční spáry, která souvisí s deformacemi rámu a špalet z rostlého dřeva, vlivem stárnutí a objemových změn dřeva. Značný vliv na vzduchotěsnost oken má také jejich údržba.

Zkoumaná zdvojená okna mají vzduchovou propustnost plochou cca mezi 10 až 22 $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ a vzduchovou propustnost funkční spárou cca mezi 4 až 7 $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m})$. Jenom okno 07 má výrazně vyšší propustnost vzduchu plochou i funkční spárou.

Pokud by se zde zkoumaná okna seřazena dle těsnosti (obrázky 38 a 39), tak nejtěsnější jsou dle předpokladů plastová okna současné konstrukce, a naopak výrazně méně těsná jsou dvojitá špaletová okna staří více jak 55 let. Mezi těmito dvěma okny se nachází zdvojená dřevěná okna starší 35 let.



Obr. č.38: Porovnání vzduchotěsnosti oken za pomoci plochy, seřazených dle těsnosti



Obr. č.39: Porovnání vzduchotěsnosti oken za pomoci délky spár, seřazených dle těsnosti

8. Odhad vlivu výměny oken na energetické vlastnosti budovy

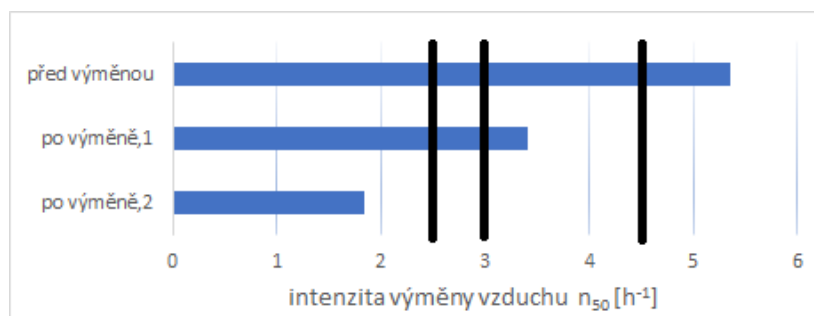
Odhad vlivu výměny oken na energetické vlastnosti budovy bude proveden na bytu v Plzni z kapitoly 5.2. V bytě bylo realizováno měření vzduchotěsnosti před a po rekonstrukci. Měření před rekonstrukcí bude mít dolní index před. Měření po rekonstrukci bylo provedeno nadvakrát a bude označeno dolním indexem po. Poprvé se změnila vzduchotěsnost po výměně dvou starých dvojitých špaletových oken za nová těsnější plastová okna, výměně dvou starých dřevěných balkónových dveří na terasu za nové těsnější plastové dveře a repase čtyř dvojitých dřevěných špaletových oken (označeno dolním indexem po,1). Druhé měření proběhlo po vlepení gumového těsnění do funkční spáry vnějších křídel repasovaných špaletových oken (označeno dolním indexem po,2). V tabulce 31 jsou zaznamenány hodnoty vzduchotěsnosti (objemový tok vzduchu a intenzita výměny vzduchu) při různých tlakových rozdílech.

Tab. 31 – Hodnoty vzduchotěsnosti při různých tlakových rozdílech

	objemový tok vzduchu [m ³ /h]					intenzita výměny vzduchu [h ⁻¹]				
	q ₅₀	q ₈	q ₆	q ₄	q ₂	n ₅₀	n ₈	n ₆	n ₄	n ₂
před	1930	634	533	417	274	5,36	1,76	1,48	1,16	0,76
po,1	1230	377	314	242	155	3,42	1,05	0,87	0,67	0,43
po,2	663	208	173	134	87	1,84	0,58	0,48	0,37	0,24

Pozn.: vnitřní objem bytu V=360 m³

Hodnoty intenzity výměny vzduchu n_{50} se dají využít ke kontrole splnění doporučené hodnoty $n_{50,N} = 4,5$ [h⁻¹] dle ČSN 730540-2 [15] pro přirozené větrání v budově. Takto lze jednoduše orientačně ověřit, zda se pouze výměnou oken docílilo požadované úrovně vzduchotěsnosti.



Obr. č.40: Kontrola splnění doporučené hodnoty $n_{50,N}$ dle ČSN 730540-2 [15]

Doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu $n_{50,N} = 4,5$ [h⁻¹] pro úroveň I je dosažena bez problému pouhou výměnou dvou starých dvojitých špaletových oken za nová těsnější plastová okna, výměně dvou starých dřevěných balkónových dveří na terasu za nové těsnější plastové dveře a repasí čtyř dvojitých dřevěných špaletových oken. Po vlepení

gumového těsnění do funkční spáry vnějších křídel repasovaných špaletových oken bylo dosaženo i doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu $n_{50,N} = 3,0$ [h⁻¹] značící úroveň II.

V případě „po výměně,2“ bylo dosaženo i hodnoty $n_{50} = 2,5$ [h⁻¹], která značí maximální průvzdušnost obálky budovy dle programu Nová zelená úsporám, pokud by se žádalo o dotaci na instalaci systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla. [21]

Podle ČSN EN ISO 13789 [17] lze z hodnot objemového toku vzduchu vypočítat měrnou tepelnou ztrátu větráním či infiltrací dle vztahu:

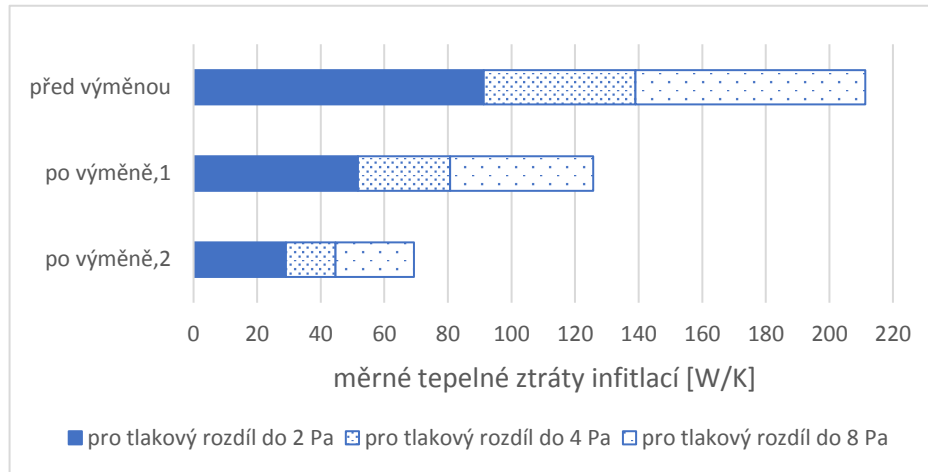
$$H_V = \rho \times c \times q \quad (29)$$

- kde H_V je měrná tepelná ztráta větráním (infiltrací) [W/K]
 ρ je hustota vzduchu [kg/m³]
 c je měrná tepelná kapacita vzduchu [Wh/(kg.K)]
 q je vzduchový tok mezi vnitřním a vnějším prostředím [m³/h]

Měrná tepelná ztráta infiltrací se vypočítá pro hodnoty objemového toku vzduchu q z tabulky 31 pro hodnoty tlakového rozdílu 2, 4, 6 a 8 Pa. Přičemž hodnota 4 Pa se považuje za přirozený tlakový rozdíl (tato hodnota je považována za obvyklý tlakový rozdíl dle [16]). Hodnota tepelná kapacity vzduchu $\rho \times c$ se má dle ČSN EN ISO 13789 [17] uvažovat 1200 J/(m³.K), neboli 0,33 Wh/(m³.K).

Tab. 32 – Výsledky měrné tepelné ztráty infiltrací za různých tlakových rozdílů

	měrné tepelné ztráty infiltrací [W/K] za různých tlakových rozdílů			
	8 Pa	6 Pa	4 Pa	2 Pa
před	211,3	177,7	139,0	91,3
po,1	125,7	104,7	80,7	51,7
po,2	69,3	57,7	44,7	29,0



Obr. č.41: Měrné tepelné ztráty infilrací netěsnostmi v obálce před a po výměně oken

ČSN 73 0540-2 [15] udává pro obytné budovy intenzitu větrání mezi hodnotami $n_N = 0,3$ [h^{-1}] až $n_N = 0,6$ [h^{-1}], která je přepočítána z minimálních dávek potřebného čerstvého vzduchu. V tomto případě budu počítat s intenzitou větrání $n_N = 0,5$ [h^{-1}]. Vnitřní objem bytu je 360 m^3 . Objemový tok vzduchu větráním se spočítá dle vztahu:

$$q_V = n_N \times V \quad (30)$$

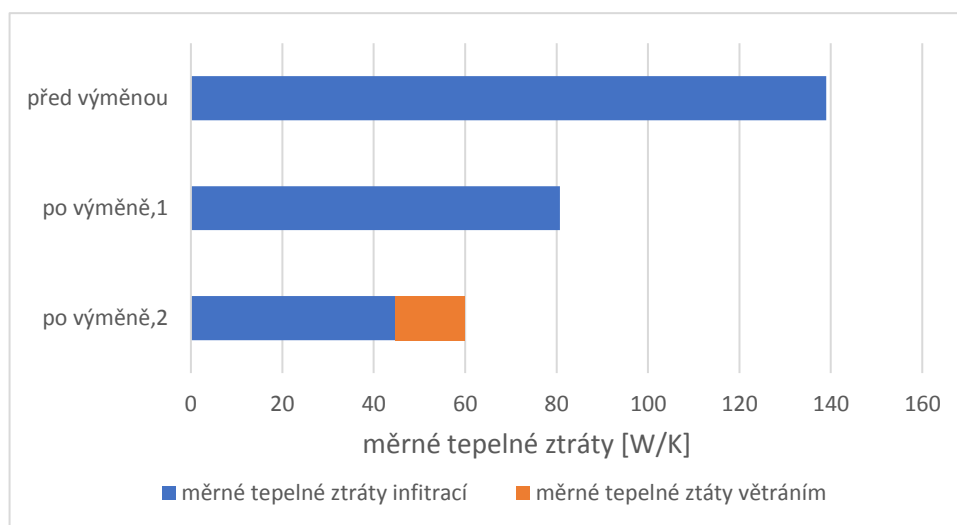
kde q_V je objemový tok vzduchu způsobený větráním [m^3/h]
 n_N je intenzita větrání [h^{-1}]
 V je vnitřní objem bytu [m^3]

$$q_V = n_N \times V = 0,5 \times 360 = 180 \text{ m}^3/\text{h} \quad (31)$$

Měrná tepelná ztráta způsobená větráním se spočte dle vzorce (29):

$$H_V = \rho \times c \times q_V = 0,33 \times 180 = 60 \text{ W/K} \quad (32)$$

Na obrázku č.42 jsou vyznačeny měrné tepelné ztráty infiltrací skrze netěsnosti při přirozeném tlakovém rozdílu 4 Pa spolu s měrnou tepelnou ztrátou způsobenou minimální intenzitou větrání.



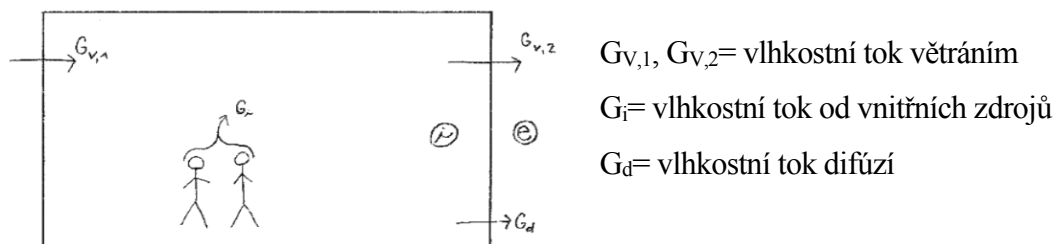
Obr. č.42: Měrné tepelné ztráty infiltrací a větráním (před a po výměně oken)

V případě „před výměnou“ a „po výměně,1“ není potřeba z hlediska minimální potřebné dávky čerstvého vzduchu nutné větrat, při přirozeném tlakovém rozdílu 4 Pa to zajistí infiltrace vzduchu skrze netěsnosti. V případě „po výměně,2“, tedy v podobě, v jaké se byt nyní nachází je nutné z důvodu minimální potřebné dávky čerstvého vzduchu zajistit navíc minimální intenzitu větrání $n_N = 0,13 [h^{-1}]$.

8.1 Vlhkostní bilance vzduchu

Snížení intenzity výměny vzduchu způsobené výměnou oken má negativní dopad na odvod vodních par z objektu, které by při dostatečné výměně vzduchu odešly větráním, ale takto odchází ven z objektu za pomoci difúze skrze obalové konstrukce. Pro názornost je uveden zjednodušený příklad vlhkostní bilance vzduchu.

Schéma problému:



Obr. č.43: Schéma problému – vlhkostní toky

Předpoklady výpočtu: -5 osob v bytě (provádějící lehké činnosti)

-1 osoba průměrně vyprodukuje 40 g/h vodní páry [20, 22],

tzn. $5 \times 40 = 200$ g/h

-průměrná domácnost s 5 osobami má 19 květin s průměrnou produkcí vodní páry 380 g/den, tzn. 15,8 g/h (přepočítáno z průměrné domácnosti s 4 osobami, 15 květinami s produkcí vodní páry 300 g/den dle [20])

-průměrná denní produkce vodních par v kuchyni je 100 g/h [22]

-1 osoba se sprchuje cca 15 minut a za tuto dobu se vyprodukuje 650 g vodní páry [20, 22], tzn. $5 \times 650 = 3250$ g/den

-průměrná produkce vodní páry z výše uvedených zdrojů je $200 + 15,8 + 100 + (3250/24) = 451$ g/h

-výměna vzduchu probíhá pouze infiltrací netěsnostmi (za předpokladu přirozeného tlakového rozdílu 4 Pa) a v případě „po výměně,2“ i větráním

-difúzní tok skrze obalové konstrukce se zanedbává

Bilanční rovnice: $G_{V,1} + G_i = G_{V,2} + G_d$ (33)

$$v_e \times q + G_i = v_i \times q + 0 \quad (34)$$

$$v_i = \frac{v_e \times q + G_i}{q} = v_e + \frac{G_i}{q} \quad (35)$$

kde v_i je koncentrace vodní páry v interiéru [kg/m^3]

v_e je koncentrace vodní páry v exteriéru [kg/m^3]

q je vzduchový tok mezi vnitřním a vnějším prostředím [m^3/h]

G_i je vlhkostní tok od vnitřních zdrojů [kg/h]

Vnitřní výpočtová teplota se zvolila $\theta_i = 20^\circ\text{C}$. Dle ČSN 38 3350 [17] se určila venkovní výpočtová teplota v Plzni $\theta_e = -12^\circ\text{C}$. Dále se bude uvažovat s venkovní teplotou $\theta_e = -5^\circ\text{C}$ a $\theta_e = 0^\circ\text{C}$. V ČSN EN ISO 13788 [19] se našla hodnota objemové vlhkosti pro exteriér $v_{e,-12^\circ\text{C}} = 0,00180 \text{ kg}/\text{m}^3$, $v_{e,-5^\circ\text{C}} = 0,00324 \text{ kg}/\text{m}^3$, $v_{e,0^\circ\text{C}} = 0,00484 \text{ kg}/\text{m}^3$ a pro interiéru $v_i = 0,01725 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Výpočet:

$$\varphi_e = \frac{93 \times \theta_e - 3153,5}{\theta_e - 39,17} \quad (36)$$

$$\varphi_e = \frac{v_e}{v_{e,sat}} \rightarrow v_e = \varphi_e \times v_{e,sat} \quad (37)$$

V tabulce 33 jsou uvedeny hodnoty relativní vlhkosti a koncentrace vodní páry v exteriéru při teplotách 0°C, -5°C a -12°C.

Tab. 33 – Hodnoty relativní vlhkosti a koncentrace vodní páry v exteriéru

	φ_e [%]	v_e [kg/m ³]
$\theta_e = -12^\circ\text{C}$	83,4	0,00150
$\theta_e = -5^\circ\text{C}$	81,9	0,00265
$\theta_e = 0^\circ\text{C}$	80,5	0,00390

Výpočet:

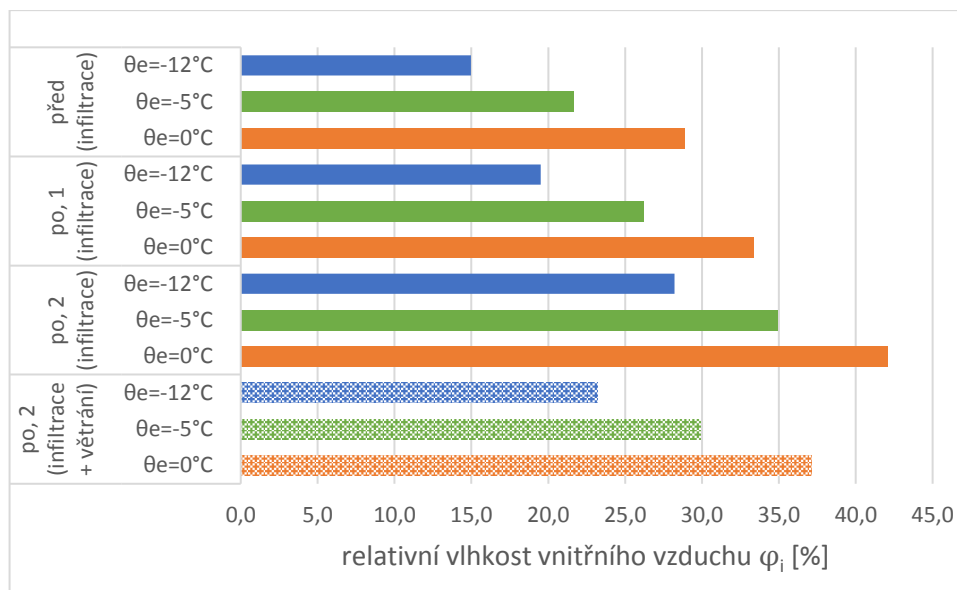
$$v_i = v_e + \frac{G_i}{q} \quad (38)$$

$$\varphi_i = \frac{v_i}{v_{i,sat}} \quad (39)$$

V tabulce 34 je zaznamenáno zvýšení koncentrace vodní páry a relativní vlhkosti ve vnitřním prostředí před a po výměně oken při různých teplotách v exteriéru. V případě „před výměnou“ a „po výměně,1“ se počítá pouze s infiltrací. V případě „po výměně,2“ se uvažuje jak s infiltrací, tak i s infiltrací + minimální intenzita větrání.

Tab. 34 – Výsledky vlhkostní bilance vzduchu

			q [m ³ /h]	v_i [kg/m ³]	φ_i [-]	φ_i [%]
pouze infiltrace	před	$\theta_e = -12^\circ\text{C}$	417	0,00258	0,150	15,0
		$\theta_e = -5^\circ\text{C}$		0,00374	0,217	21,7
		$\theta_e = 0^\circ\text{C}$		0,00498	0,289	28,9
	po, 1	$\theta_e = -12^\circ\text{C}$	242	0,00337	0,195	19,5
		$\theta_e = -5^\circ\text{C}$		0,00452	0,262	26,2
		$\theta_e = 0^\circ\text{C}$		0,00576	0,334	33,4
	po, 2	$\theta_e = -12^\circ\text{C}$	134	0,00487	0,282	28,2
		$\theta_e = -5^\circ\text{C}$		0,00602	0,349	34,9
		$\theta_e = 0^\circ\text{C}$		0,00726	0,421	42,1
infiltrace + větrání	po, 2	$\theta_e = -12^\circ\text{C}$	134 + 46 = 180	0,00401	0,232	23,2
		$\theta_e = -5^\circ\text{C}$		0,00516	0,299	29,9
		$\theta_e = 0^\circ\text{C}$		0,00640	0,371	37,1



Obr. č.44: Graf zvýšení relativní vlhkosti vnitřního vzduchu před a po výměně oken při různých teplotách v exteriéru

Výměnou starých dřevěných oken a balkónových dveří za nová těsnější plastová okna a dveře spolu s repasí dřevěných špaletových oken se zlepší vzduchotěsnost bytu (díky nižšímu objemovému toku vzduchu skrze netěsnosti v obalové konstrukci) za přirozeného tlakového rozdílu 4 Pa o 175 m³/h. Při zvolených předpokladech (viz. kapitola 8.1, předpoklady výpočtu) a výpočtové exteriérové teplotě $\theta_e = -12^\circ\text{C}$ se ve vnitřním prostředí bytu zvýší relativní vlhkost o cca 4,5 %. Když se do funkční spáry vnějších křídel repasovaných oken vlepilo navíc gumové těsnění, tak oproti stavu před rekonstrukcí došlo ke zlepšení vzduchotěsnosti za přirozeného tlakového rozdílu 4 Pa o 283 m³/h (ale 46 m³/h čerstvého vzduchu musí být ještě dodáno větráním) a relativní vlhkost se zvýšila při daných předpokladech (viz. kapitola 8.1, předpoklady výpočtu) a $\theta_e = -12^\circ\text{C}$ o cca 12,9 %. Pokud se v bytě ale nevětrá a dochází k výměně vnitřního vzduchu pouze infiltrací, tak dochází při teplotě venkovního vzduchu $\theta_e = -12^\circ\text{C}$ ke zvýšení relativní vlhkosti vnitřního vzduchu až na 42,1 %. Obrázek č.44 dále udává zvýšení relativní vlhkosti v interiéru bytu při venkovní teplotě $\theta_e = -5^\circ\text{C}$ a $\theta_e = 0^\circ\text{C}$

9. Závěr

Práce se zabývala měřením vzduchotěsnosti oken in-situ. Výsledky těchto měření mají praktický význam a je nutné je znát. Mohou posloužit například jako vstupní hodnoty do energetických výpočtů a říci nám, jaká bude vzduchotěsnost, pokud vyměníme starší okna za nová.

Metody měření vzduchotěsnosti oken in-situ (metoda postupného utěšňování a metoda fólie a clony), které se použily za účelem vlastního měření se z praktického hlediska osvědčily. Kromě zařízení blower door a kalibrovaných clon totiž není nutné žádné speciální vybavení. Postačí jen malířská lepicí páska a plastová fólie, která poslouží k vytvoření provizorní tlakové komory. U metody postupného utěšňování je hlavním nebezpečím odstraňování lepicí pásky, která utěšňovala spáry, poškození malby na stěně či laku na starších oknech. U metody fólie a clony jsou časté problémy s přilepením plastové fólie na vnitřní líc stěny v okolí okna. Může dojít k odtržení fólie od stěny a poškození malby. Především v místech, kde se stará malba v průběhu životnosti budovy při výmalbě neodstraňovala (např. obtížně dostupná místa pod okny za radiátory). U metody postupného utěšňování se může stát, že rozdíl mezi výsledky testů před utěšněním a po utěšnění je příliš malý, menší než jeho nejistota, a to je zásadní problém této metody. Nevýhodou metody postupného utěšňování oproti fólii a cloně je také její časová náročnost měření (musí se změřit okno v neutěšněném stavu, s utěšněnou funkční spárou a s utěšněnou funkční a připojovací spárou). Metoda fólie a clony je tedy rychlejší. Nevýhoda metody fólie a clony je ta, že umožňuje pouze měření podtlakem. Dále pokud se měří okno v zabudovaném stavu, tak se nedá určit kolik vzduchu proudí pouze skrze funkční spáru a kolik skrze připojovací spáru. Pokud se k měření vzduchotěsnosti okna využije těchto dvou metod a zajistí se pečlivá příprava (např. utěšnění spár okna u metody postupného utěšňování), tak jsou ve výsledném porovnání hodnoty výsledků měření téměř totožné.

V rámci této práce bylo analyzováno celkem 14 oken a 2 z nich jsem měřil. Výsledky měření ostatních oken jsem převzal. Zkoumaná okna se dají rozdělit do třech kategorií a to na okna špaletová (ta jsou nejstarší), okna zdvojená a nakonec okna plastová, která jsou nejnovější.

Výsledky měření vzduchotěsnosti oken nám ukazují, jaký je rozdíl ve vzduchotěsnosti různých typů oken a také to, že tento rozdíl může být velmi významný. Nejtěsnější jsou okna současné konstrukce, která mají alespoň dvě roviny pružného těsnění ve funkční

spáře. Největší množství vzduchu totiž proudí skrze neutěsněnou funkční spáru okna. Méně těsná jsou už zdvojená dřevěná okna starší 30 let. A výrazně méně těsná jsou dřevěná špaletová okna starší 55 let. Z výsledků vlastního měření metodou postupného utěšňování špaletových oken je zřejmé, že přípojovací spára je oproti zbytku okna jen malým zdrojem netěsností.

Typická vzduchová propustnost plochou u špaletových oken je $q_{A,50} = 35 \div 45 \text{ [m}^3\text{/(h.m}^2\text{)]}$. Pro zdvojená okna je typická vzduchová propustnost $q_{A,50} = 10 \div 22 \text{ [m}^3\text{/(h.m}^2\text{)]}$. U zkoumaných plastových oken současné konstrukce je vzduchová propustnost $q_{A,50} = 1 \div 3 \text{ [m}^3\text{/(h.m}^2\text{)]}$.

V rámci případové studie byl řešen odhad vlivu výměny oken na energetické vlastnosti bytu. Měrné tepelné ztráty infiltrací byly před výměnou oken okolo 140 W/K. Po výměně části starých dřevěných špaletových oken za nová plastová okna současné konstrukce se tyto ztráty snížily na cca 80 W/K. A když se do funkční spáry zbylých dřevěných špaletových oken vlepilo gumové těsnění, tak se měrná tepelná ztráta infiltrací snížila dokonce na 45 W/K. Toto opatření rovněž zapříčinilo nutnost větrání z hlediska přísunu minimálního množství čerstvého vzduchu a ztráty větráním by zvýšily tyto měrné tepelné ztráty o dalších 15 W/K.

Pokud jsou v bytě stará netěsná okna, dochází k velikým tepelným ztrátám způsobeným infiltrací, ale nedochází k hygienickým problémům s vnitřním vzduchem kromě toho, že vnitřní vzduch může mít příliš nízkou relativní vlhkost (zejména při nízké teplotě venkovního vzduchu). Podle případové studie bytu s původními netěsnými okny a při teplotě venkovního vzduchu $-12 \text{ }^\circ\text{C}$ je relativní vlhkost vnitřního vzduchu 15 %. Pokud je teplota venkovního vzduchu $0 \text{ }^\circ\text{C}$, tak relativní vlhkost vnitřního vzduchu dosahuje 29 %. Když se stará okna dostatečně utěsní nebo vymění za nová těsnější, tak se snižují tepelné ztráty způsobené infiltrací, ale zhoršuje se kvalita vnitřního vzduchu (zvyšuje se vlhkost, ale i koncentrace CO_2 , oděrů atd.). V případové studii se ukazuje, že po výměně a dotěsnění starších oken se při $\theta_e = -12 \text{ }^\circ\text{C}$ zvýší relativní vlhkost v bytě na 28 %. Při $\theta_e = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ se relativní vlhkost zvýší až na 42 %. Se zvyšující se relativní vlhkostí vnitřního vzduchu roste také riziko růstu plísní nebo dokonce i možnost kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu oken, stěn či stropů. Z toho vyplývá nutnost spolehlivě zajistit minimální intenzitu výměny vzduchu jiným způsobem než infiltrací. Pokud je zřejmé, že se nepodaří zajistit minimální intenzitu výměny vzduchu přirozeně (např. větráním okny), je možné navrhnout

větrací systém. V případové studii se uvažovalo docílení minimální výměny vzduchu větráním okny. Toto větrání zajistilo při $\theta_e = -12$ °C snížení relativní vlhkosti v bytě na 23 %. V případě $\theta_e = 0$ °C se relativní vlhkost v bytě snížila na 37 %.

Z porovnání výsledků měření vzduchotěsnosti před a po výměně oken ve starších budovách s masivní konstrukcí je patrné, že stará okna jsou významnou netěsností. Ostatní netěsnosti, jako jsou netěsnosti skrze obalové konstrukce a vnitřní netěsnosti mezi byty (ty nejsou energeticky podstatné) tvoří malý podíl na výsledné vzduchotěsnosti. Dá se tedy konstatovat, že výměna starých netěsných oken za nová těsnější je cesta k efektivnímu zlepšení vzduchotěsnosti budovy. Je potřeba ale dávat pozor na možné zhoršení kvality vnitřního vzduchu, spojené s utěsněním budovy (omezením infiltrace).

V závěru této práce byl vyhotoven katalog (příloha P1) průvzdušnosti zkoumaných oken, který může posloužit například energetickým specialistům při návrhu energetické sanace objektu.

10. Zdroje a použitá literatura

- [1] NOVÁK, Jiří. *Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 9788024719535.
- [2] *Asociaceblowerdoor.cz* [online]. [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: <http://www.asociaceblowerdoor.cz/vyznam-mereni-vzduchotesnosti-1-29.html>
- [3] ČSN EN ISO 9972: *Tepelné chování budov - Stanovení průvzdušnosti budov - Tlaková metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [4] KRAUS, Michal. *Determinační faktory vzduchotěsnosti energeticky efektivních budov* [online]. Ostrava, 2014 [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://krausmichal.cz/wp-content/uploads/2015/03/Determinacni-faktory-vzduchotesnosti-energeticky-efektivnich-budov-2.pdf>. Doktorská disertační práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební. Vedoucí práce prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.
- [5] Měření Blower-Door test. In: *Finnhaus* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.finnhaus.cz/vzduchotesne-staveni-blower-door-test.php>
- [6] NOVÁK, Jiří. *Průvzdušnost obvodových plášťů budov*. Praha, 2006. Disertační práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce Doc. Ing. Jan Tywoniak, CSc.
- [7] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy: principy a příklady*. Praha: Grada, 2005. Stavitel. ISBN 80-247-1101-X.
- [8] *BlowerDoor GmbH: Minneapolis Blower Door: Window and Door Measurement System - Air Permeability Test (manuál)*. BlowerDoor, 2010.
- [9] ČSN EN 12207: *Okna a dveře - Průvzdušnost - Klasifikace*. Praha: Český normalizační institut, 2001
- [10] NOVÁK, Jiří. Archiv fotografií. ČVUT v Praze – Fakulta Stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb
- [11] NOVÁK, Jiří. Archiv měření. ČVUT v Praze – Fakulta Stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb
- [12] NOVÁK, Jiří. *Měření vzduchotěsnosti výplně otvoru v bytovém domě: Studie zpracovaná pro Kloknerův ústav ČVUT*. září 2014.
- [13] NOVÁK, Jiří. *PROJEKT: „VYBRANÉ VLASTNOSTI PŘÍRODNÍCH A DALŠÍCH STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ, STAVEBNÍCH PRVKŮ A BUDOV“ - ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA: kapitola 7: VZDUCHOTĚSNOST STAVEB*. Praha, říjen 2011.
- [14] EVROPSKÁ UNIE. *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov (přepracování)*. Úřední věstník Evropské unie, 2010.

- [15] ČSN 730540-2: *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [16] ZWIENER, Viktor a VYMĚTALÍK, Vladimír. *Vliv výměny oken v panelovém domě na sledované parametry vnitřního prostředí v souvislosti s výměnou vzduchu v obytném prostoru* [online]. ATELIER DEK, 2014 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/vliv-vymeny-oken-v-panelovem-dome-625>
- [17] ČSN EN ISO 13789: *Tepelné chování budov - Měrná ztráta prostupem tepla - Výpočtová metoda*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [18] ČSN 38 3350: *Zásobování teplem, všeobecné zásady*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1991.
- [19] ČSN EN ISO 13788: *Tepelně-vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků - Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce - Výpočtové metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [20] RUBINOVÁ, Olga, RUBINA Aleš a STAŇKOVÁ Kateřina. *Co očekáváme od větrání koupelny?* In: *vetrani.tzb-info.cz* [online]. 2010 [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/6697-co-ocekavame-od-vetrani-koupelny>
- [21] *Novazelenausporam.cz* [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/podminky-oblasti-podpory-c-3-vyzva/>
- [22] *Orientační hodnoty vývinu vodní páry v bytě podle údajů Gertise a Erhorna (1985)*. *Vetrani.tzb-info.cz* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/34-orientacni-hodnoty-vyvinu-vodni-pary-v-byte-podle-udaju-gertise-a-erhorna-1985>

11. Seznam příloh

- Příloha P1 – katalog oken (tištěná)
- Příloha P2 – protokoly o měření vzduchotěsnosti oken metodou fólie a clony (elektronicky na CD)
- Příloha P3 – protokoly o měření vzduchotěsnosti (elektronicky na CD)
- Příloha P4 – výpočet parametrů rovnice proudění funkční a přípojovací spáry z výsledků měření metodou postupného utěšňování (elektronicky na CD)
- Příloha P5 – výpočet parametrů rovnice proudění starého okna z výsledků měření metodou výměny okna (elektronicky na CD)

Příloha P1 – katalog oken

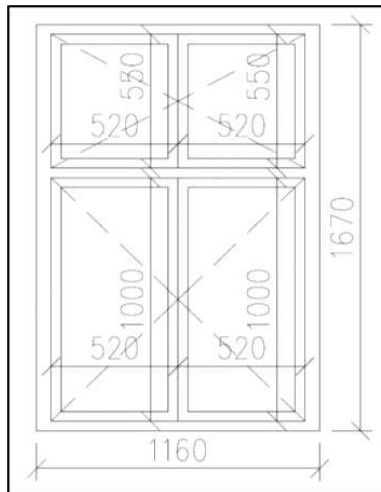
OKNO 01

Základní informace:

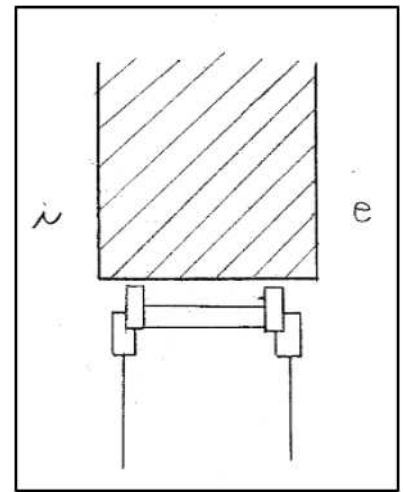
popis	původní dvojité špaletové okno otevíravé v rodinném domě v obci Záhornice
rok výroby	1920
rám	dvojitý dřevěný + dřevěná špaleta
zasklení	2x jednoduché
těsnění funkční spáry	není
těsnění přípojovací spáry	není
výplň přípojovací spáry	nebyla zjištěna
plocha okna	1,94 m ²
délka funkční spáry	8,81 m
délka přípojovací spáry	5,66 m



Obr.1: Pohled na okno



Obr.2: Schéma a rozměry okna



Obr.3: Schéma provedení

Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční spáry metodou fólie a clony (podtlak):

součinitel proudění C_L			exponent 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)]	
8,6	4,44	0,96	0,54

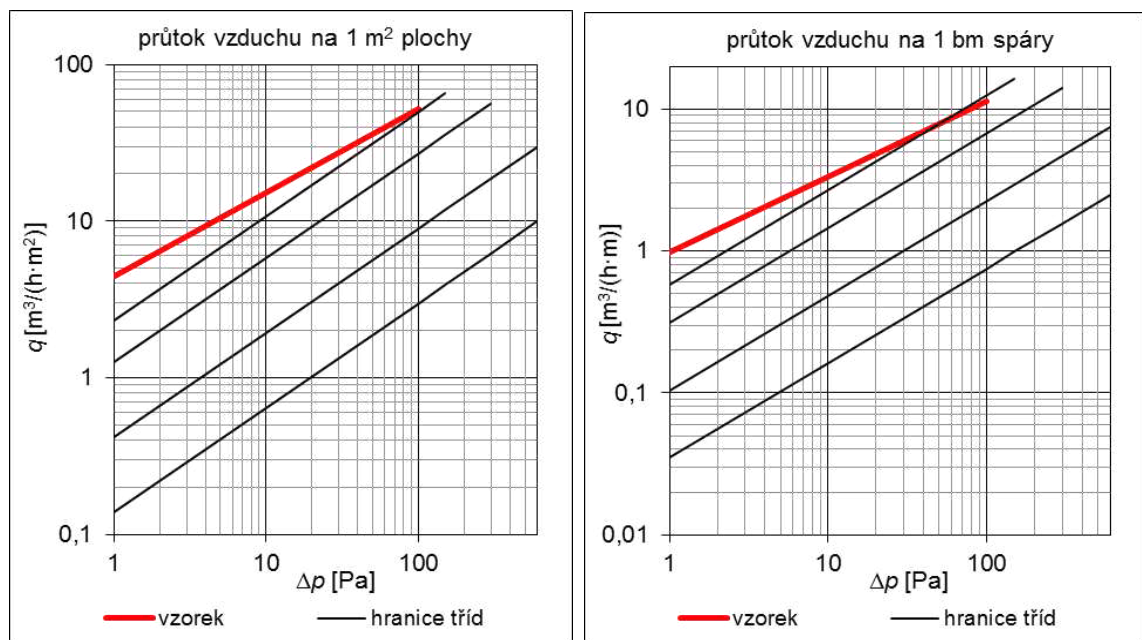
Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční a přípojovací spáry metodou postupného utěšňování:

		součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
		celá výplň [$m^3/(h \cdot Pa^n)$]	na $1m^2$ [$m^3/(h \cdot m^2 \cdot Pa^n)$]	na 1 bm spáry [$m^3/(h \cdot m \cdot Pa^n)$]	
funkční spára	podtlak	5,3	2,736	0,602	0,64
	přetlak	6,6	3,407	0,749	0,71
	průměr	6,0	3,071	0,675	0,68
přípojovací spára	podtlak	0,7	0,361	0,124	0,84
	přetlak	0,4	0,206	0,071	0,92
	průměr	0,6	0,284	0,097	0,88

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna metodou výměny okna:

- nejsou k dispozici

Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9], měřeno metodou fólie a clony:



Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9]:

- zatřídění podle plochy: třída 0
- zatřídění podle délky spáry: třída 0
- konečné zatřídění okna: třída 0

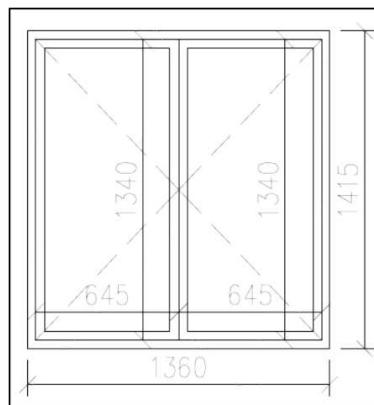
OKNO 02

Základní informace:

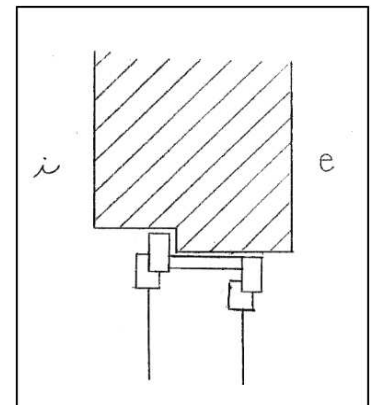
popis	původní dvojité špaletové okno v rodinném domě v obci Račice nad Berounkou
rok výroby	1948
rám	dvojitý dřevěný + dřevěná špaleta
zasklení	2x jednoduché
těsnění funkční spáry	není
těsnění připojovací spáry	není
výplň připojovací spáry	nebyla zjištěna
plocha okna	1,92 m ²
délka funkční spáry	6,60 m
délka připojovací spáry	5,55 m



Obr.1: Pohled na okno



Obr.2: Schéma a rozměry okna



Obr.3: Schéma provedení

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna v zabudovaném stavu metodou fólie a clony (podtlak):

součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
celá výplň [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	na 1 m ² [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	na 1 bm funkční spáry [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	
8,25	4,29	1,25	0,57

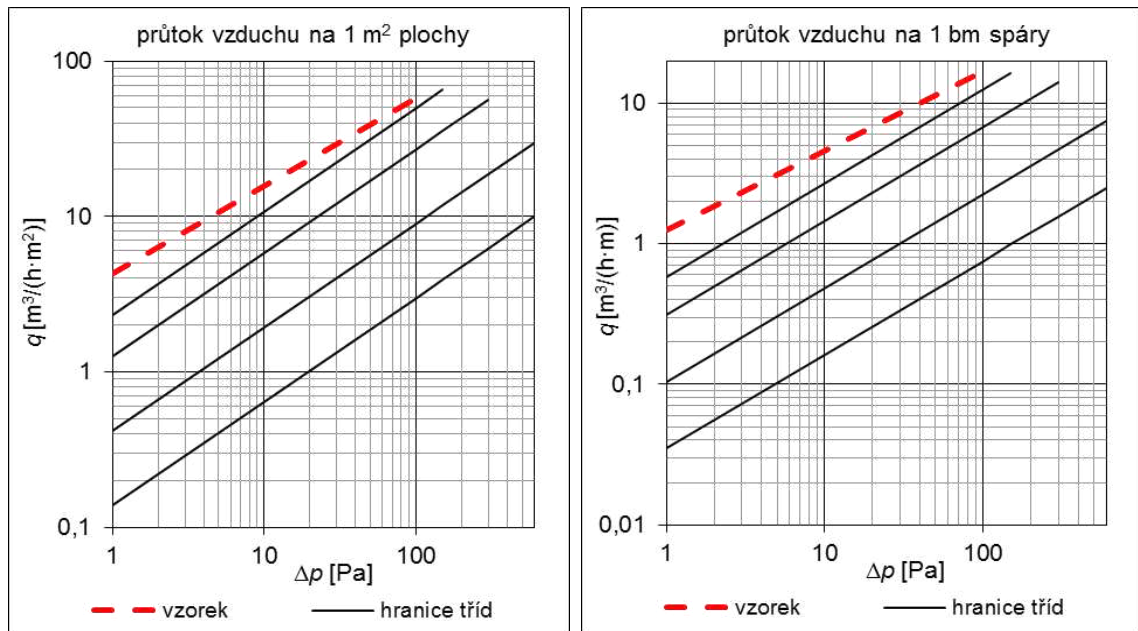
Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční a přípojovací spáry metodou postupného utěšňování:

		součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
		celá výplň [$m^3/(h \cdot Pa^n)$]	na $1m^2$ [$m^3/(h \cdot m^2 \cdot Pa^n)$]	na 1 bm spáry [$m^3/(h \cdot m \cdot Pa^n)$]	
funkční spára	podtlak	8,8	4,574	1,333	0,60
	přetlak	8,4	4,366	1,273	0,61
	průměr	8,6	4,470	1,303	0,61
přípojovací spára	podtlak	0,3	0,156	0,054	0,63
	přetlak	0,1	0,052	0,018	0,64
	průměr	0,2	0,104	0,036	0,64

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna metodou výměny okna:

- nejsou k dispozici

Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9], měřeno metodou fólie a clony a vztaheno k funkční spáře okna:



Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9]:

- zatřídění podle plochy: třída 0
- zatřídění podle délky spáry: třída 0
- konečné zatřídění okna: třída 0

Toto zatřídění není přesné, protože nebyla měřena pouze funkční spára okna ale i přípojovací spára.

OKNO 03

Základní informace:

popis	původní dvojitě špaletové okno v bytovém domě v Plzni
rok výroby	> 55 let
rám	dvojitý dřevěný + dřevěná špaleta
zasklení	2x jednoduché
těsnění funkční spáry	není
těsnění přípojovací spáry	není
výplň přípojovací spáry	nebyla zjištěna
plocha okna	3,15 m ²
délka funkční spáry	10,60 m
délka přípojovací spáry	17,80 m

Výsledky měření funkční spáry okna metodou fólie a clony (podtlak):

součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
celá výplň [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	na 1 m ² [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	na 1 bm funkční spáry [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	
9,90	3,14	0,93	0,65

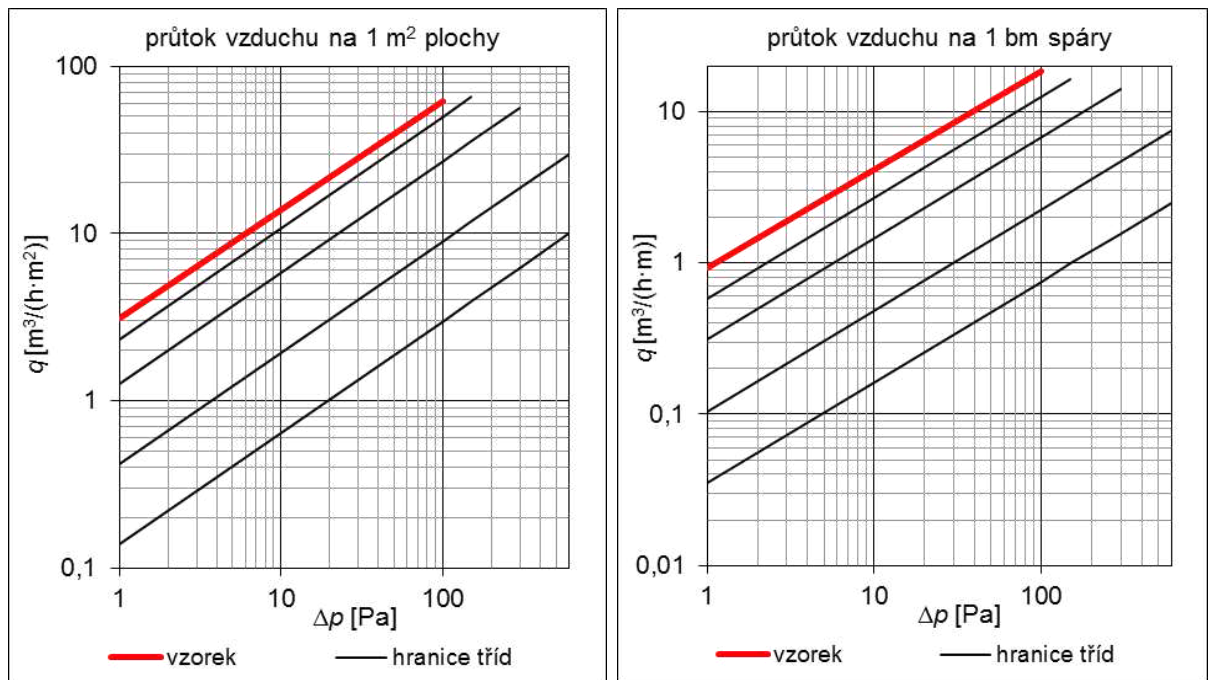
Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční a přípojovací spáry metodou postupného utěšňování:

- nejsou k dispozici

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna metodou výměny okna:

- nejsou k dispozici

Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9], měřeno metodou fólie a clony a vztaheno k funkční spáře okna:



Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9]:

- zatřídění podle plochy: třída 0
- zatřídění podle délky spáry: třída 0
- konečné zatřídění okna: třída 0

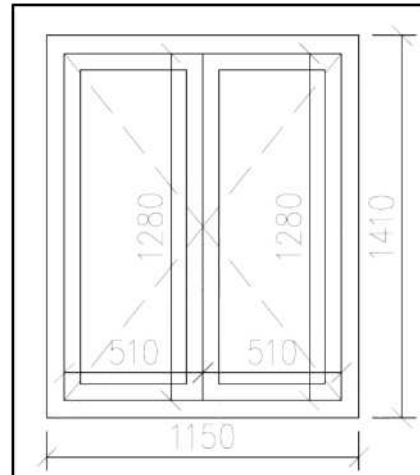
OKNO 04

Základní informace:

popis	jednoduché plastové okno v bytovém domě v obci Dobřichovice
rok výroby	2008
rám	jednoduchý plastový
zasklení	tepelněizolační dvojsklo
těsnění funkční spáry	dvě roviny pružného těsnění
těsnění připojovací spáry	není
výplň připojovací spáry	PUR pěna
plocha okna	1,62 m ²
délka funkční spáry	5,88 m
délka připojovací spáry	5,12 m



Obr.1: Pohled na okno [10]



Obr.2: Schéma a rozměry okna

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna v zabudovaném stavu metodou fólie a clony (podtlak):

součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
celá výplň [$m^3/(h.Pa^n)$]	na 1 m^2 [$m^3/(h.m^2.Pa^n)$]	na 1 bm funkční spáry [$m^3/(h.m.Pa^n)$]	
0,10	0,06	0,02	0,73

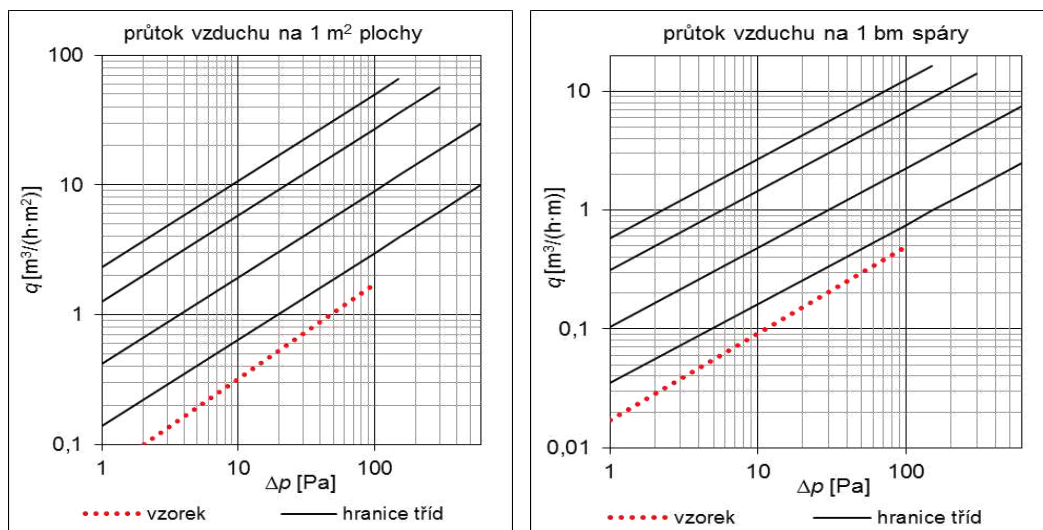
Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční a přípojovací spáry metodou postupného utěšňování:

- nejsou k dispozici

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna metodou výměny okna:

- nejsou k dispozici

Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9], měřeno metodou fólie a clony a vztaženo k funkční spáře okna:



Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9]:

- zatřídění podle plochy: třída 4
- zatřídění podle délky spáry: třída 4
- konečné zatřídění okna: třída 4

Toto zatřídění není přesné, protože nebyla měřena pouze funkční spára okna ale i přípojovací spára.

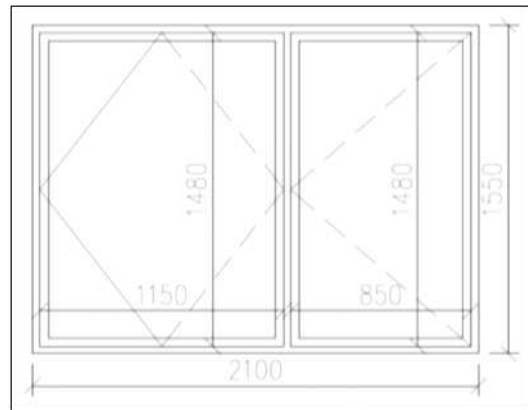
OKNO 05

Základní informace:

popis	typické okno bytových a panelových domů
rok výroby	1987
rám	zdvojený dřevěný
zasklení	2x jednoduché
těsnění funkční spáry	1 rovina pružného těsnění
těsnění přípojovací spáry	není
výplň přípojovací spáry	nezjištěna
plocha okna	3,23 m ²
délka funkční spáry	9,92 m
délka přípojovací spáry	7,30 m



Obr.1: Pohled na okno [10]



Obr.2: Schéma a rozměry okna

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna v zabudovaném stavu metodou fólie a clony (podtlak):

- nejsou k dispozici

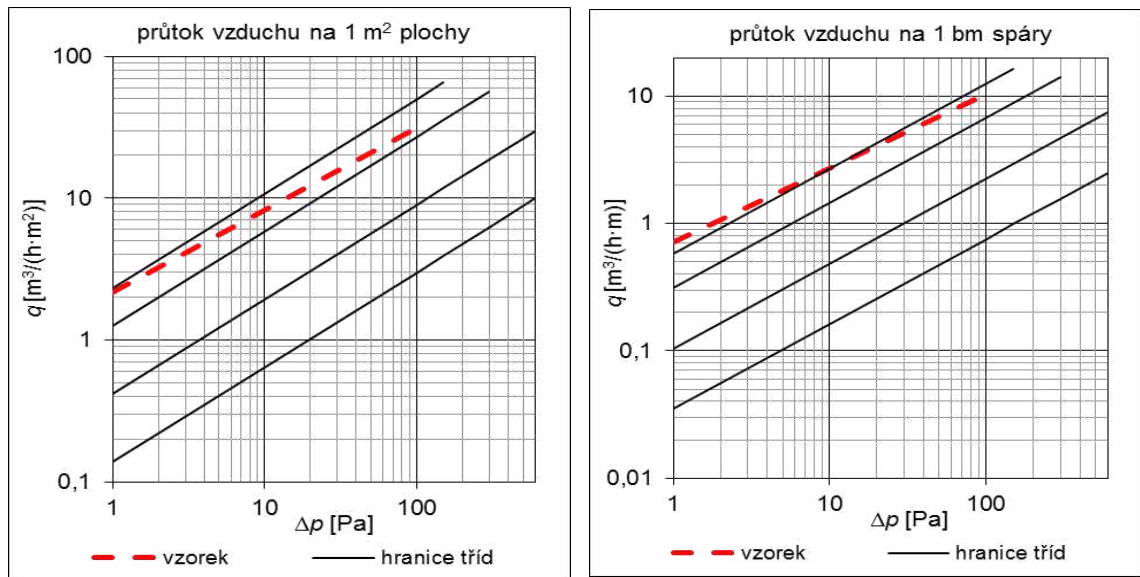
Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční a přípojovací spáry metodou postupného utěšňování:

- nejsou k dispozici

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna metodou výměny okna:

	součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
	celá výplň [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	na 1m ² [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	na 1 bm funkční spáry [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	
podtlak	7,8	2,409	0,791	0,57
přetlak	6,3	1,943	0,638	0,59
průměr	7,1	2,176	0,714	0,58

Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9], měřeno metodou výměny oken, vztaženo k funkční spáře okna:



Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9]:

- zatřídění podle plochy: třída 1
- zatřídění podle délky spáry: třída 0
- konečné zatřídění okna: třída 1

Toto zatřídění není přesné, protože nebyla měřena pouze funkční spára okna ale i přípojovací spára. Dále byl zanedbán tok vzduchu skrze nové okno.

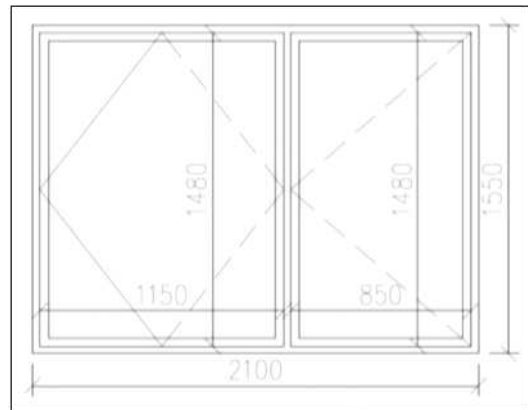
OKNO 06

Základní informace:

popis	typické okno bytových a panelových domů
rok výroby	1987
rám	zdvojený dřevěný
zasklení	2x jednoduché
těsnění funkční spáry	1 rovina pružného těsnění
těsnění přípojovací spáry	není
výplň přípojovací spáry	nezjištěna
plocha okna	3,23 m ²
délka funkční spáry	9,92 m
délka přípojovací spáry	7,30 m



Obr.1: Pohled na okno [10]



Obr.2: Schéma a rozměry okna

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna v zabudovaném stavu metodou fólie a clony (podtlak):

- nejsou k dispozici

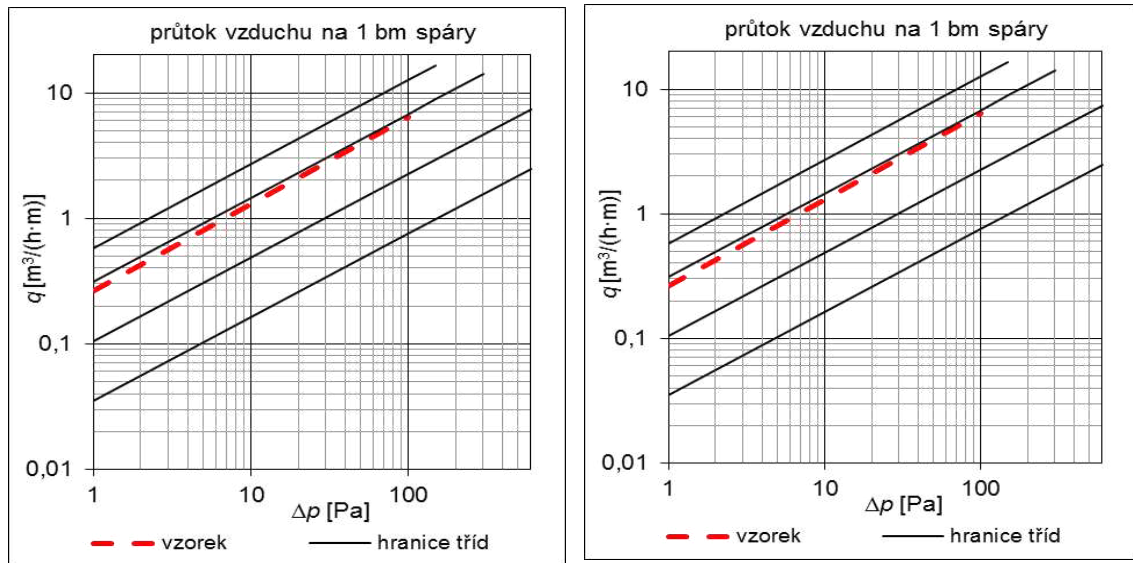
Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční a přípojovací spáry metodou postupného utěšňování:

- nejsou k dispozici

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna metodou výměny okna:

	součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
	celá výplň [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	na 1m ² [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	na 1 bm funkční spáry [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	
podtlak	3,5	1,081	0,355	0,60
přetlak	1,7	0,536	0,176	0,77
průměr	2,6	0,809	0,265	0,69

Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9], měřeno metodou výměny oken, vztaženo k funkční spáře okna:



Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9]:

- zatřídění podle plochy: třída 2
- zatřídění podle délky spáry: třída 2
- konečné zatřídění okna: třída 2

Toto zatřídění není přesné, protože nebyla měřena pouze funkční spára okna ale i připojovací spára. Dále byl zanedbán tok vzduchu skrze nové okno.

OKNO 07

Základní informace:

popis	typické okno bytových a panelových domů
rok výroby	2. polovina 20. století
rám	zdvojený dřevěný
zasklení	2x jednoduché
těsnění funkční spáry	není
těsnění přípojovací spáry	není
výplň přípojovací spáry	minerální vlákna
plocha okna	2,30 m ²
délka funkční spáry	5,70 m
délka přípojovací spáry	6,10 m

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna v zabudovaném stavu metodou fólie a clony (podtlak):

součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
celá výplň [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	na 1 m ² [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	na 1 bm funkční spáry [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	
13,1	5,70	2,30	0,53

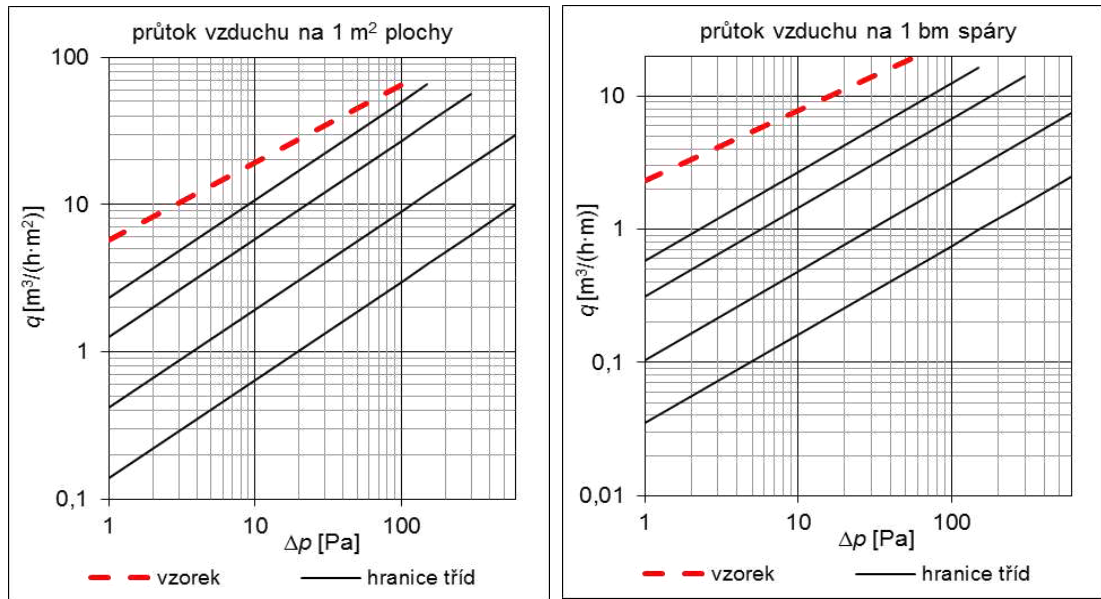
Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční a přípojovací spáry metodou postupného utěšňování:

- nejsou k dispozici

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna metodou výměny okna:

- nejsou k dispozici

Orientační zařídění okna podle ČSN EN 12207 [9], měřeno metodou fólie a clony a vztaženo k funkční spáře okna:



Orientační zařídění okna podle ČSN EN 12207 [9]:

- zařídění podle plochy: třída 0
- zařídění podle délky spáry: třída 0
- konečné zařídění okna: třída 0

Toto zařídění není přesné, protože nebyla měřena pouze funkční spára okna ale i přípojovací spára.

OKNO 08

Základní informace:

popis	okno v současné výstavbě
rok výroby	2011
rám	jednoduchý plastový
zasklení	tepelně izolační trojsklo
těsnění funkční spáry	3 roviny pružného těsnění
těsnění přípojovací spáry	okenní pásy
výplň přípojovací spáry	PUR pěna
plocha okna	2,30 m ²
délka funkční spáry	7,40 m
délka přípojovací spáry	6,10 m

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna v zabudovaném stavu metodou fólie a clony (podtlak):

součinitel proudění C _L			exponent proudění n [-]
celá výplň [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	na 1 m ² [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	na 1 bm funkční spáry [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	
0,50	0,22	0,068	0,66

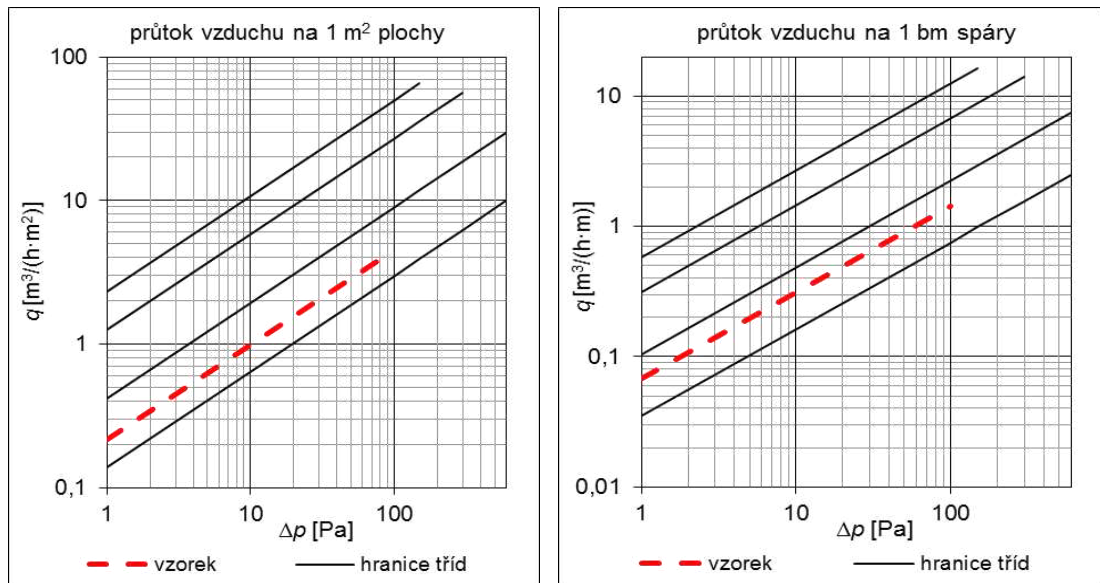
Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční a přípojovací spáry metodou postupného utěšňování:

- nejsou k dispozici

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna metodou výměny okna:

- nejsou k dispozici

Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9], měřeno metodou fólie a clony a vztaženo k funkční spáře okna:



Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9]:

- zatřídění podle plochy: třída 3
- zatřídění podle délky spáry: třída 3
- konečné zatřídění okna: třída 3

Toto zatřídění není přesné, protože nebyla měřena pouze funkční spára okna ale i přípojovací spára.

OKNO 09

Základní informace:

popis	typické okno městských činžovních domů
rok výroby	1. polovina 20. století
rám	dvojitý dřevěný + dřevěná špaleta
zasklení	2x jednoduché
těsnění funkční spáry	není
těsnění přípojovací spáry	není
výplň přípojovací spáry	nezjištěna
plocha okna	1,20 m ²
délka funkční spáry	10,80 m
délka přípojovací spáry	4,50 m

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna v zabudovaném stavu metodou fólie a clony (podtlak):

součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
celá výplň [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	na 1 m ² [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	na 1 bm funkční spáry [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	
6,00	5,00	0,556	0,56

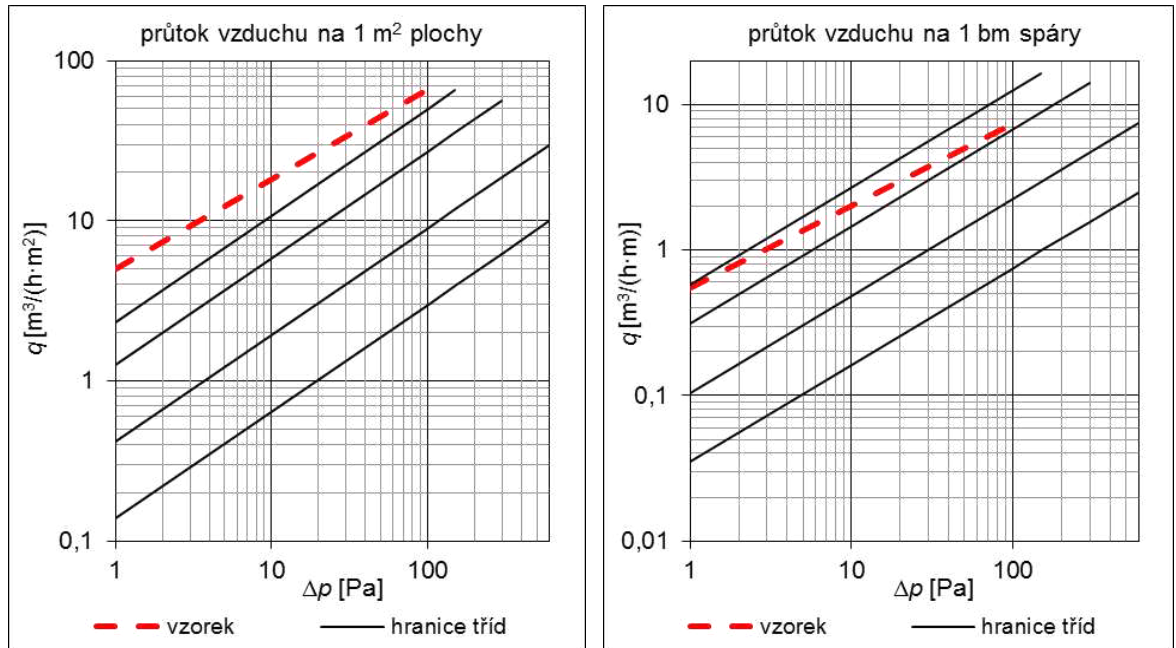
Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční a přípojovací spáry metodou postupného utěšňování:

- nejsou k dispozici

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna metodou výměny okna:

- nejsou k dispozici

Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9], měřeno metodou fólie a clony a vztaženo k funkční spáře okna:



Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9]:

- zatřídění podle plochy: třída 0
- zatřídění podle délky spáry: třída 1
- konečné zatřídění okna: třída 1

Toto zatřídění není přesné, protože nebyla měřena pouze funkční spára okna ale i přípojovací spára.

OKNO 10

Základní informace:

popis	typické okno městských činžovních domů
rok výroby	1. polovina 20. století
rám	dvojitý dřevěný + dřevěná špaleta
zasklení	2x jednoduché
těsnění funkční spáry	není
těsnění přípojovací spáry	není
výplň přípojovací spáry	nezjištěna
plocha okna	2,40 m ²
délka funkční spáry	18,80 m
délka přípojovací spáry	6,20 m

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna v zabudovaném stavu metodou fólie a clony (podtlak):

součinitel proudění C _L			exponent proudění n [-]
celá výplň [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	na 1 m ² [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	na 1 bm funkční spáry [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	
18,80	7,83	1,0	0,62

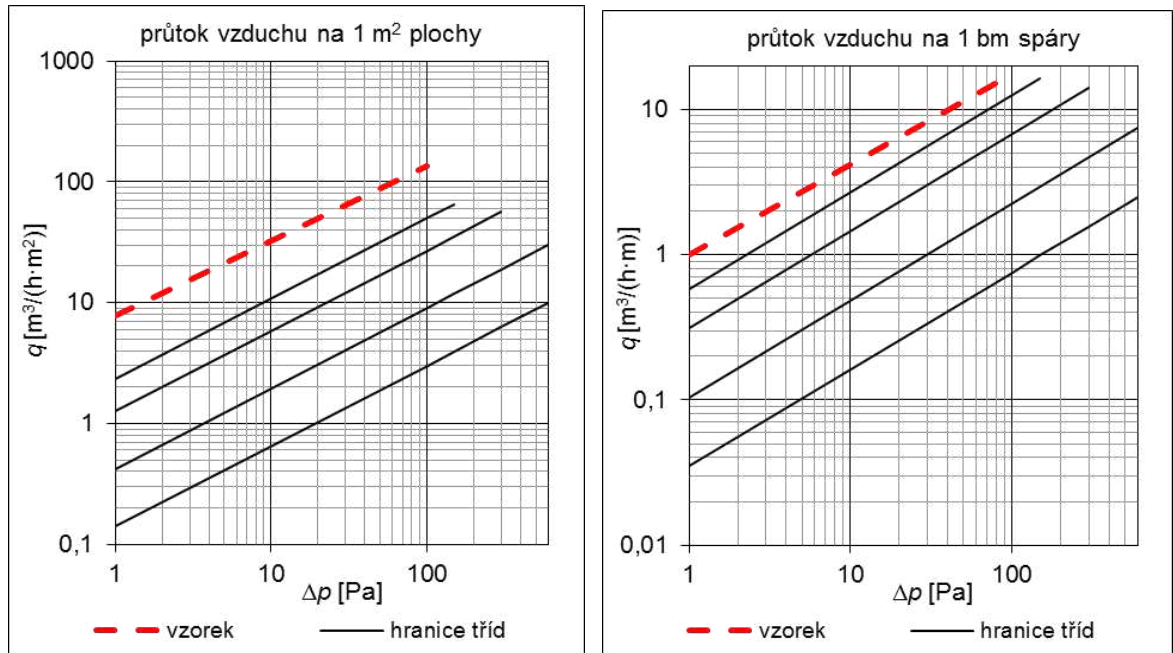
Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční a přípojovací spáry metodou postupného utěšňování:

- nejsou k dispozici

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna metodou výměny okna:

- nejsou k dispozici

Orientační zařídění okna podle ČSN EN 12207 [9], měřeno metodou fólie a clony a vztaženo k funkční spáře okna:



Orientační zařídění okna podle ČSN EN 12207 [9]:

- zařídění podle plochy: třída 0
- zařídění podle délky spáry: třída 0
- konečné zařídění okna: třída 0

Toto zařídění není přesné, protože nebyla měřena pouze funkční spára okna ale i přípojovací spára.

OKNO 11

Základní informace:

popis	okno v současné výstavbě
rok výroby	2010
rám	jednoduchý plastový
zasklení	tepelně izolační dvojsklo
těsnění funkční spáry	2 roviny pružného těsnění
těsnění připojovací spáry	není
výplň připojovací spáry	PUR pěna
plocha okna	1,30 m ²
délka funkční spáry	5,30 m
délka připojovací spáry	4,60 m

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna v zabudovaném stavu metodou fólie a clony (podtlak):

součinitel proudění C _L			exponent proudění n [-]
celá výplň [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	na 1 m ² [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	na 1 bm funkční spáry [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	
4,3	3,31	0,81	0,50

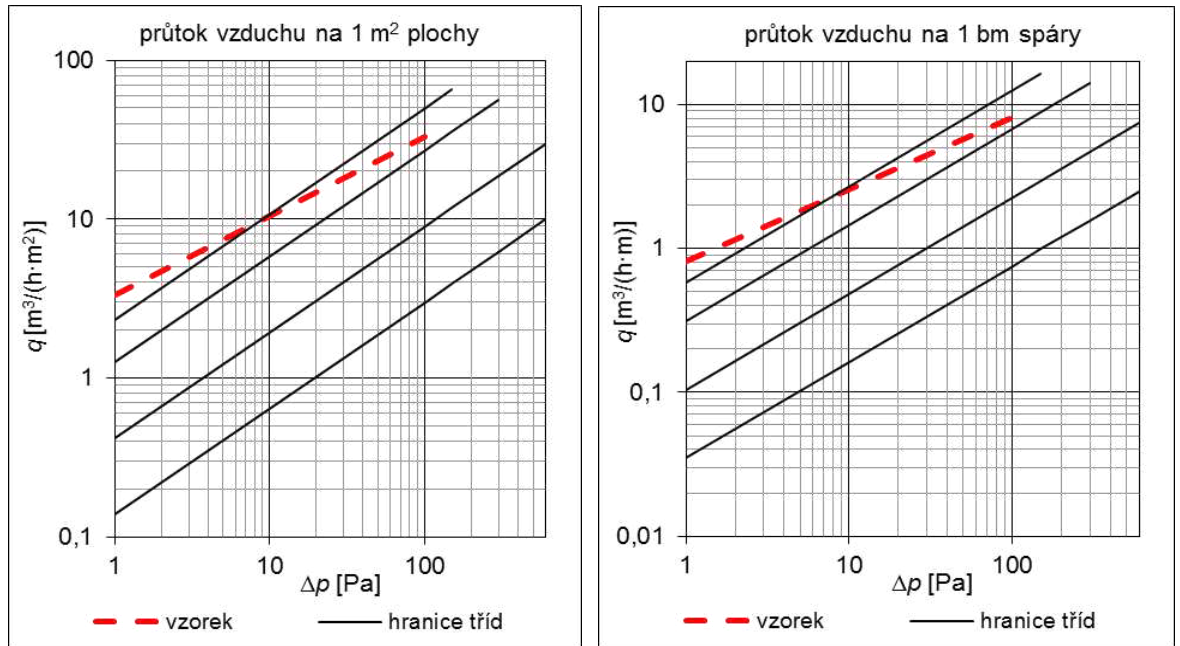
Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční a připojovací spáry metodou postupného utěšňování:

- nejsou k dispozici

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna metodou výměny okna:

- nejsou k dispozici

Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9], měřeno metodou fólie a clony a vztaženo k funkční spáře okna:



Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9]:

- zatřídění podle plochy: třída 0
- zatřídění podle délky spáry: třída 0
- konečné zatřídění okna: třída 0

Toto zatřídění není přesné, protože nebyla měřena pouze funkční spára okna ale i přípojovací spára.

OKNO 12

Základní informace:

popis	typické okno městských činžovních domů
rok výroby	1937
rám	dvojitý dřevěný + dřevěná špaleta
zasklení	2x jednoduchý
těsnění funkční spáry	není
těsnění přípojovací spáry	není
výplň přípojovací spáry	nezjištěna
plocha okna	4,00 m ²
délka funkční spáry	3,57 m
délka přípojovací spáry	- m (okno je součástí balkónové sestavy)

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna v zabudovaném stavu metodou fólie a clony (podtlak):

součinitel proudění C _L			exponent proudění n [-]
celá výplň [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	na 1 m ² [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	na 1 bm funkční spáry [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	
1,6	0,41	0,18	0,73

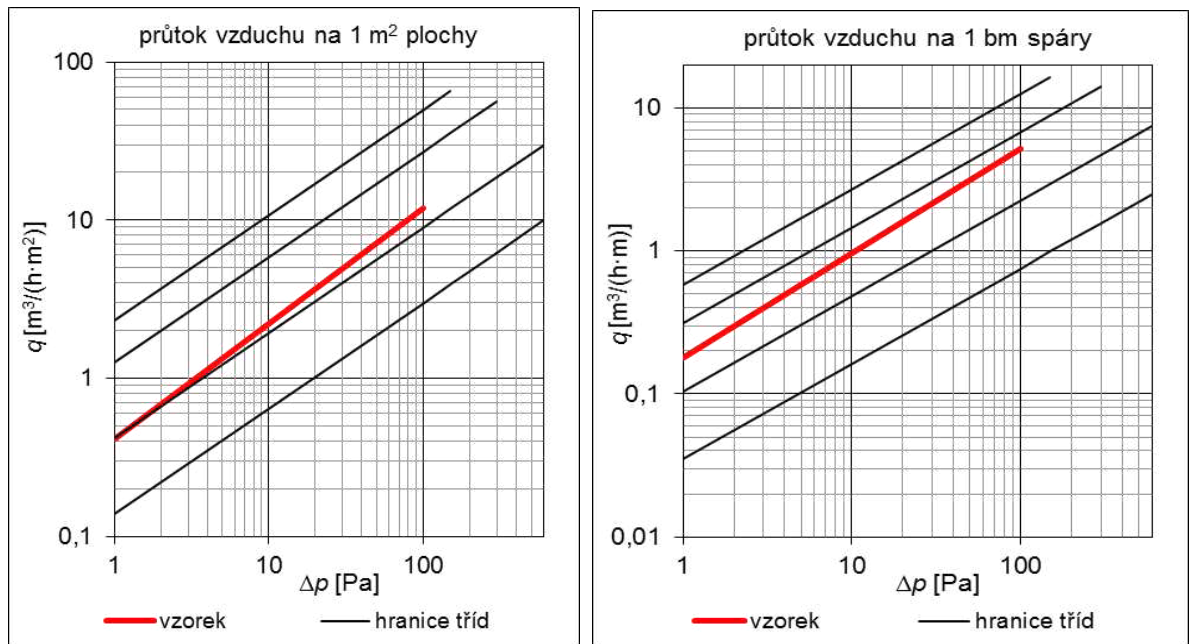
Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční a přípojovací spáry metodou postupného utěšňování:

- nejsou k dispozici

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna metodou výměny okna:

- nejsou k dispozici

Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9], měřeno metodou fólie a clony:



Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9]:

- zatřídění podle plochy: třída 2
- zatřídění podle délky spáry: třída 2
- konečné zatřídění okna: třída 2

OKNO 13

Základní informace:

popis	typické okno bytových a panelových domů
rok výroby	cca 1975
rám	zdvojený dřevěný
zasklení	2x jednoduché
těsnění funkční spáry	1 rovina pružného těsnění
těsnění přípojovací spáry	není
výplň přípojovací spáry	nezjištěna
plocha okna	3,15 m ²
délka funkční spáry	10,86 m
délka přípojovací spáry	7,20 m

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna v zabudovaném stavu metodou fólie a clony (podtlak):

- nejsou k dispozici

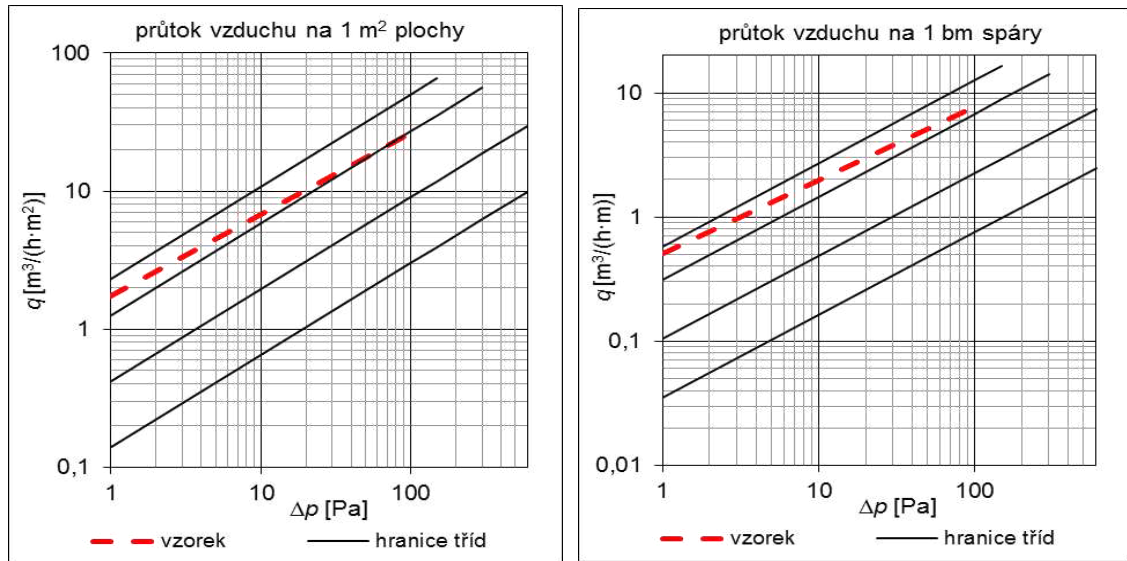
Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční a přípojovací spáry metodou postupného utěšňování:

- nejsou k dispozici

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna metodou výměny okna:

	součinitel proudění C_L			exponent proudění n [-]
	celá výplň [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	na 1m ² [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	na 1 bm funkční spáry [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	
podtlak	4,7	1,482	0,430	0,58
přetlak	6,3	2,008	0,582	0,59
průměr	5,5	1,745	0,506	0,59

Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9], měřeno metodou výměny oken, vztaženo k funkční spáře okna:



Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9]:

- zatřídění podle plochy: třída 1
- zatřídění podle délky spáry: třída 1
- konečné zatřídění okna: třída 1

Toto zatřídění není přesné, protože nebyla měřena pouze funkční spára okna ale i přípojovací spára. Dále byl zanedbán tok vzduchu skrze nové okno.

OKNO 14

Základní informace:

popis	typické okno bytových a panelových domů
rok výroby	cca 1975
rám	zdvojený dřevěný
zasklení	2x jednoduché
těsnění funkční spáry	1 rovina pružného těsnění
těsnění přípojovací spáry	není
výplň přípojovací spáry	nezjištěna
plocha okna	3,15 m ²
délka funkční spáry	10,86 m
délka přípojovací spáry	7,20 m

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna v zabudovaném stavu metodou fólie a clony (podtlak):

- nejsou k dispozici

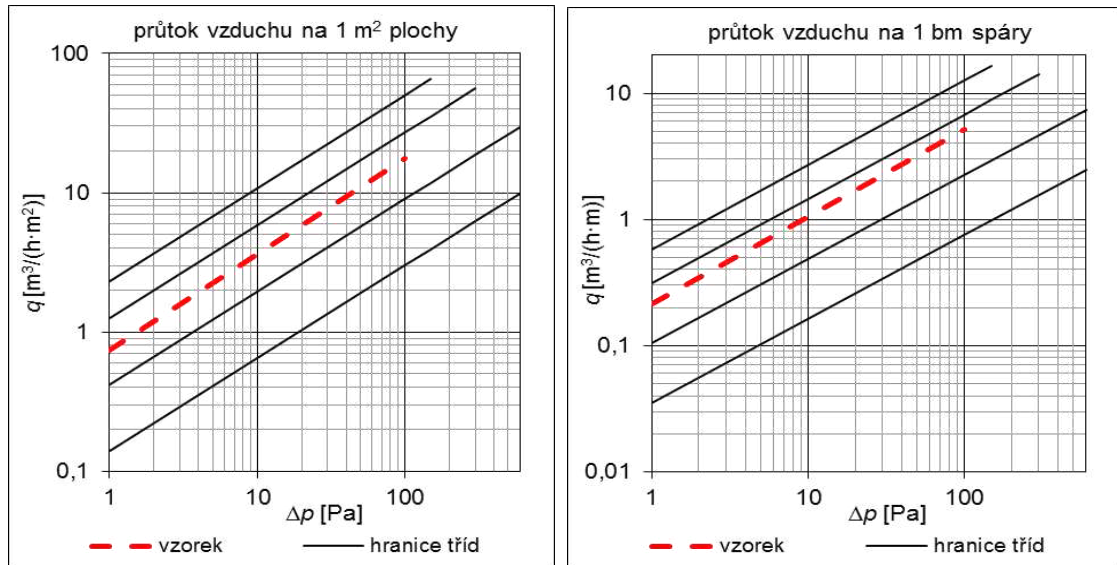
Výsledky měření vzduchotěsnosti funkční a přípojovací spáry metodou postupného utěšňování:

- nejsou k dispozici

Výsledky měření vzduchotěsnosti okna metodou výměny okna:

X	součinitel proudění C _L			exponent proudění n [-]
	celá výplň [m ³ /(h.Pa ⁿ)]	na 1m ² [m ³ /(h.m ² .Pa ⁿ)]	na 1 bm funkční spáry [m ³ /(h.m.Pa ⁿ)]	
podtlak	2,9	0,906	0,263	0,67
přetlak	1,8	0,568	0,165	0,71
průměr	2,3	0,737	0,214	0,69

Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9], měřeno metodou výměny oken, vztaženo k funkční spáře okna:



Orientační zatřídění okna podle ČSN EN 12207 [9]:

- zatřídění podle plochy: třída 2
- zatřídění podle délky spáry: třída 2
- konečné zatřídění okna: třída 2

Toto zatřídění není přesné, protože nebyla měřena pouze funkční spára okna ale i připojovací spára. Dále byl zanedbán tok vzduchu skrze nové okno.