IMPROVIZOVANÁ OCHRANA UKRYTÍM III. VLASTNOSTI PLASTOVÉHO OKNA

IMPROVISED PROTECTION BY CONCEALMENT III. PROPERTIES OF PLASTIC WINDOW

Vlastimil SÝKORA, Čestmír HYLÁK, Ján PIVOVARNÍK
vlastimil.sykora@ioolb.izscr.cz

Došlo 22. 6. 2013, upraveno 31. 7. 2013, přijato 1. 8. 2013.
Dostupné na http://www.population-protection.eu/
attachments/046_vol5n2_sykora_hylak_pivovarnik.pdf.

Abstract

A measurement of tightness of a plastic window, sealed with duct tape and a polyethylen sheet, was performed. The following three assessment methods were used: pressure drop rate measuring, air permeability measuring, and measuring a decreased rate of sulphur hexafluoride concentration in the test chamber.

Permeability related to the length of the gap and the window area, and its effect on the sealing method were calculated from the measured results.

Measurement of the penetration of sulphur hexafluoride was performed at different pressures (wind speeds), and effect of each way sealing and input concentration were compared.

Key words

Air leakage, improvised protection by concealment, marking gas sulphur hexafluoride, plastic window.

ÚVOD

Novodobá zástavba, rekonstrukce řadových a panelových domů, popř. rekonstrukce bytů v dnešní době velmi často používá plastová okna nebo okna (hliníková, dřevěná), která jsou velmi těsná, a to jak z pohledu případného úniku tepla, tak i hluku, propustnosti vodních par či plynů.

Prostory, které jsou těmito okny osazeny, by tudíž bylo možné využít jako improvizované úkryty. Okna na bázi plastů, popř. nová okna v porovnání se starými, poškozenými, dřevěnými okny [1, 2, 3] jsou podstatně těsnější, čímž dochází k významnému snížení propustnosti plynných látek, a zároveň tím i ke zvýšení ochranných vlastností takto zřízených improvizovaných úkrytů.

Významným faktorem značně ovlivňujícím možnosti ochrany obyvatelstva v budovách je výměna vzduchu, která u standardních budov je dána především ventilací spárami, zejména u oken. Tato ventilace má rozhodující vliv na velikost koncentrace škodlivých plynných látek uvnitř budovy a úzce souvisí

nejen s počáteční koncentrací ve volném prostoru, ale i s dalšími faktory ovlivňujícími výměnu vzduchu (např. rychlost, směr a proudění větru, rozdíl teplot a tlaků vně a uvnitř, koeficient propustnosti okenních spár, objem vnitřních prostor atd.) a expoziční dobou [4, 5].

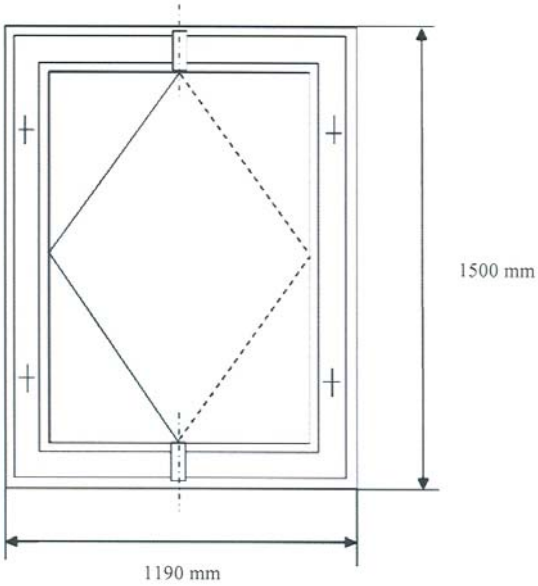
Aby tato ventilace, a tím i možnost vniku škodlivé plynné látky do vnitřního prostoru budov, byla omezena na minimum, je nezbytné případné spáry zatěsnit. Jak již bylo konstatováno dříve [1, 2, 3, 6], snadno proveditelný a poměrně levný způsob představuje oblepení spár a nežádoucích mikrootvorů pomocí lepicí pásky doplněné, pokud je to možné, o nepropustnou fólii, např. z polyethylenu [2, 7].

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Popis testovaného okna

Plastové okno [8]:

- otočné kolem svislé osy, okované kováním;
- rám a křídlo okna jsou vyrobeny z plastových okenních vlysů;
- okenní křídlo je zaskleno dvojitým sklem tloušťky 4 mm;
- okno je těsněno gumovým těsněním;
- výtokové otvory se nacházejí ve spodním rámovém profilu.



Obr. 1
Rozměry zkoušeného zdvojeného plastového okna

Označení způsobu zatěsnění spár okna

Označení způsobu zatěsnění plastového okna bylo stejné jako v případě dřevěného okna [1,2]. Jako materiál pro zatěsnění byla opět použita lepicí páska o šířce 48,5 mm.

Přístroje, zařízení a chemikálie

Pro měření byly použity tytéž přístroje, zařízení a chemikálie jako v případě měření těsnosti samotné zkušební komory i dřevěného okna [6].

VÝSLEDKY A DISKUSE

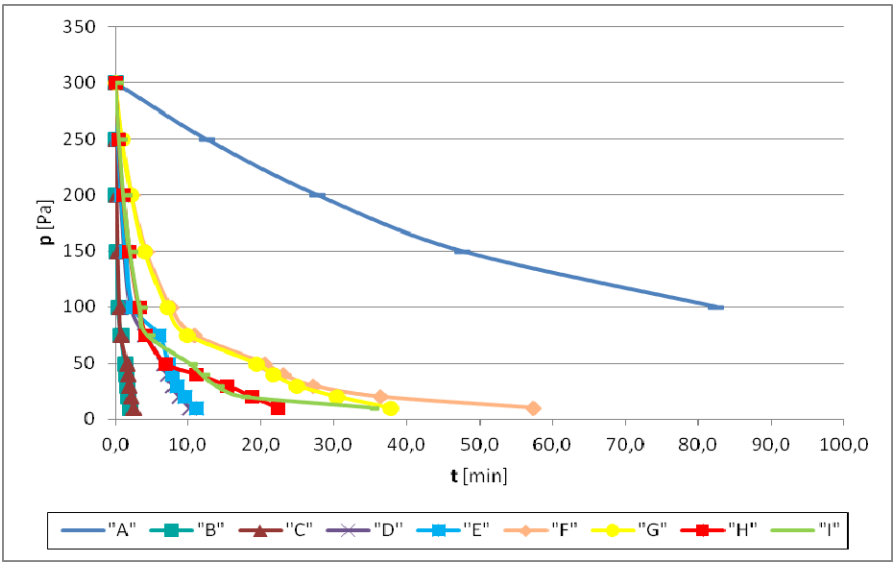
Metoda měření rychlosti poklesu tlaku

Opět jako v případě dřevěného okna bylo nejdříve provedeno měření rychlosti poklesu tlaku. Naměřené výsledky pro plastové okno uvedené v tabulce č. 1 a v grafu č. 1 poukazují na velmi dobrou shodu s výsledky naměřenými v případě dřevěného okna [1, 2] tzn., že ve všech případech, kromě měření samotné komory zatěsněné pomocí polypropylenové desky (způsob zatěsnění „A“), došlo opět k rychlému poklesu tlaku. Tento pokles byl však v porovnání s dřevěným oknem již mírnější. Ukázaly se zde, tak jako v předchozím případě, opět některé rozdíly ve způsobu oblepení okna, ale také mezi jednotlivými typy oken navzájem.

Tabulka 1
Pokles tlaku v závislosti na způsobu zatěsnění

P [Pa]	**Způsob zatěsnění okna**								
	"A"	**"B"**	**"C"**	**"D"**	**"E"**	**"F"**	**"G"**	**"H"**	**"I"**
	Rychlost poklesu tlaku [hod:min:sec]								
300	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250	0:12:33	0:00:02	0:00:05	0:00:19	0:00:21	0:00:54	0:00:56	0:00:28	0:00:30
200	0:27:40	0:00:05	0:00:11	0:00:44	0:00:49	0:02:15	0:02:12	0:01:05	0:01:08
150	0:47:35	0:00:13	0:00:20	0.01:16	0.01:26	0:04:15	0:04:02	0:01:56	0:01:58
100	1:22:23	0:00:24	0:00:34	0.02:07	0.02:25	0:07:38	0:07:05	0:03:14	0:03:20
75		0:00:48	0:00:45	0:04:01	0:06:00	0:10:50	0:09:51	0:04:12	0:04:17
50		0:01:18	0:01:37	0:06:32	0:07:15	0:20:25	0:19:20	0:06:51	0:10:09
40		0:01:26	0:01:46	0:07:08	0:07:51	0:23:03	0:21:35	0:11:08	0:11:48
30		0:01:34	0:01:56	0:07:51	0:08:23	0:27:05	0:24:52	0:15:20	0:13:45
20		0:01:45	0:02:08	0:08:45	0:09:30	0:36:18	0:30:25	0:18:42	0:17:22
10		0:02:00	0:02:26	0:10:07	0:11:08	0:57:17	0:37:44	0:22:15	0:35:00

1) Ve všech případech při stejném oblepení plastového okna bylo zatěsnění s polyethylenovou (PE) fólií v porovnání s oknem bez fólie vždy účinnější (pomalejší pokles tlaku) – viz porovnávané dvojice „F“-„B“, „G“-„C“, „H“-„D“ a „I“-„E“. Také všechny způsoby zatěsnění okna s fólií (ať již to byl systém „F“, „G“, „H“ nebo „I“) byly v porovnání s jakýmkoli způsobem zatěsněného okna, ale bez této fólie, vždy těsnější (čili s porovnávanými systémy „B“, „C“, „D“ a „E“).
2) Nezatěsněné okno bez fólie („B“) bylo vždy méně těsné než okno zatěsněné pouze pomocí lepicí pásky („C“, „D“ a „E“), což se projevilo prodloužením doby potřebné k dosažení požadovaného tlaku 10 Pa. Tyto výsledky odpovídají již dříve změřenému dřevěnému oknu [1, 2]. Jestliže však okno kromě oblepení bylo zatěsněno z vnější strany pomocí PE fólie („F“), naměřené výsledky již s předchozím měřením nekorespondují a ani s měřením získaným v případě dřevěného okna. Naopak při tomto způsobu zatěsnění bylo dosaženo nejnižší rychlosti poklesu tlaku ve zkušební komoře. Je pravděpodobné, že u tohoto typu okna, které je samo o sobě dostatečně těsné, oblepení okna nehraje již tak významnou roli a fólie ovlivňuje zatěsnění jiným způsobem, než v případě dřevěného okna.
3) Těsnější bylo také okno oblepené z obou stran v porovnání s oknem oblepeným buď z vnější, nebo z vnitřní strany („E“ s „C“ a „D“ či „I“ s „G“ a „H“).
4) Výrazný rozdíl se zde projevil také v tom, která strana okna byla zatěsněna, jestli vnější nebo vnitřní – „C“ či „D“ nebo „G“ či „H“, přičemž v prvním případě vnější oblepení bylo účinnější, ve druhém však naopak. Mechanismy rozdílného chování však zatím nejsou známy.
5) Značný rozdíl v době potřebné k dosažení limitního tlaku 10 Pa byl naměřen jak u systémů bez fólie („B“ a „C“ v porovnání s „D“ a „E“), tak i s fólií („F“ a „H“ v porovnání s „G“ a „I“). Tyto rozdíly souvisí s dokonalejším utěsněním okna, kdy nedochází v tak velké míře ke vzniku kanálků, jimiž by mohl do vnitřního prostoru proudit vzduch (tlačený vzduch při vnějším zatěsnění těsnící pásku zatlačuje do spár, naopak při vnitřním zatěsnění je těsnící páska ze spár vytlačována, což se projevuje větší netěsností systému). V případech, kdy je okno doplněno fólií, však tento mechanismus neplatí, přesto i zde je vliv fólie nezanedbatelný.
6) Ani v případě nejlepšího způsobu zatěsnění okna nebylo dosaženo těsnosti srovnatelné se samotnou zkušební komorou osazenou PP deskou.



Graf 1
Pokles tlaku ve zkušební komoře v závislosti na čase pro všechny způsoby zatěsnění okna

Metoda měření množství vzduchu potřebného k udržení příslušného tlaku – měření průvzdušnosti

Stejným způsobem jako v případě dřevěného okna bylo provedeno i měření spočívající v plynulém dodávání vzduchu (větší množství dodávaného vzduchu odpovídá větší ploše přítomných netěsností, což vede k vyšším hodnotám průvzdušnosti) do zkušební komory, a to tak, aby byl v komoře za daných podmínek dosažen konstantní tlak (vytvořena rovnováha mezi dodávaným vzduchem a vzduchem proudícím z komory díky netěsnostem směrem ven). Z dodávaného, resp. odcházejícího množství vzduchu, byla opět vypočtena průvzdušnost zatěsněného plastového okna, a to jak průvzdušnost vztažená na délku spáry, tak i na plochu okna.

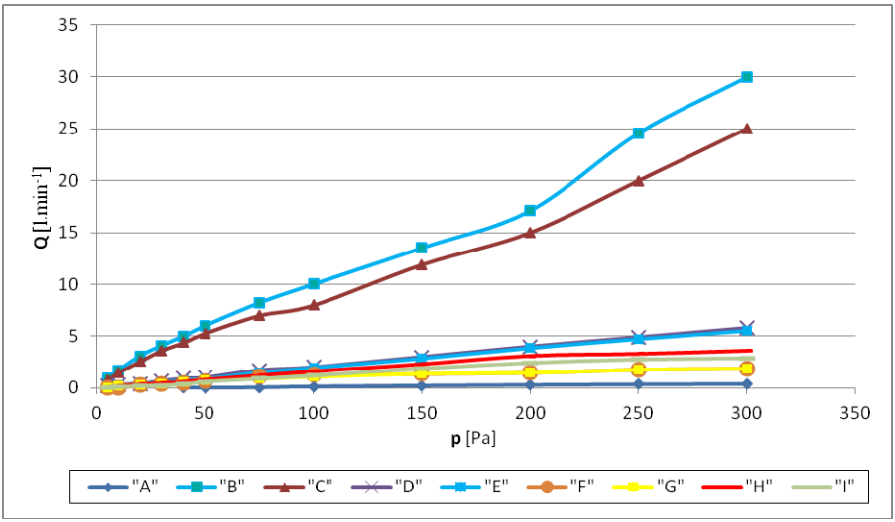
Souhrnné výsledky pro všechny způsoby zatěsnění okna jsou uvedeny v tabulce č. 2 a v grafech č. 2 (množství dodávaného vzduchu v závislosti na požadovaném tlaku), č. 3 a č. 4 (průvzdušnost vztažená na celkovou plochu okna), č. 5 a č. 6 (průvzdušnost vztažená na délku spáry okna). Z jednotlivých výsledků (tabulka č. 2 a graf č. 2) vyplynuly následující závěry:

1) Zkušební komora opatřená PP deskou vykázala minimální průvzdušnost (max. těsnost), a to až do požadovaného tlaku 40 Pa (prakticky neměřitelné), tj. do rychlosti větru okolo 29 km.h^{-1}.

2) Nezatěsněné okno a okno zatěsněné z vnitřní strany, tj. ze strany místnosti, vyžadovalo při měření s jednotlivými tlaky poměrně vysoké množství dodávaného vzduchu, přičemž nejvyšší dodávané množství bylo v případě nezatěsněného okna („B“).
3) Množství dodávaného vzduchu se naopak výrazně projevilo při oblepení okna z vnější strany („D“). Pro dosažení max. tlaku 300 Pa bylo zapotřebí přibližně 4 x menšího množství vzduchu než v případě vnitřního oblepení (tento systém byl výrazně těsnější). Tento značný rozdíl souvisí s dokonalejším utěsněním okna, neboť již v tak velké míře nedochází ke vzniku kanálků, jimiž by mohl do prostoru proudit vzduch.
4) Oboustranné zatěsnění okna („E“) na tento způsob měření nemělo již tak výrazný vliv.
5) Poněkud odlišné výsledky byly naměřeny u okna dodatečně zalepeného PE fólií. Porovnáním stejným způsobem zatěsněných oken – „B“-„F“, „C“-„G“, „D“-„H“ a „E“-„I“ (vnější zatěsnění – vnější zatěsnění+fólie) se ukázalo, že množství dodávaného vzduchu pro udržení konstantního tlaku je v případě, kdy okno bylo navíc zatěsněno pomocí fólie, výrazně nižší, a tím i vypočtená průvzdušnost a naopak je vyšší těsnost daného systému. Rozdíly mezi jednotlivými způsoby zatěsnění při použití PE fólie nejsou však až tak významné (1,9-3,6 $l.min^{-1}$).
6) Vliv fólie se zejména projevil u okna nezatěsněného („F“) a u okna zatěsněného z vnitřní strany („G“). U těchto dvou systémů bylo k udržení příslušného tlaku potřeba nejmenšího množství dodávaného vzduchu, čili tyto systémy vykázaly nejvyšší těsnost. U vnějšího zatěsnění („H“), kdy je vlivem proudícího vzduchu (tlaku) izolační páska, resp. fólie, vtlačována do spár a tedy by mělo docházet ke zlepšení těsnosti systému, není použití fólie až tak významné, přesto i zde její použití v porovnání se systémem bez fólie („D“) vede do určité míry ke zlepšení těsnosti daného systému.
7) Nejlepší těsnosti (nejmenší průvzdušnosti), tak jak bylo očekáváno, bylo dosaženo u okna zatěsněného z obou stran a navíc zaizolovaného z vnější strany fólií („I“), a to až do tlaku 75 Pa. Při tlacích nad 100 Pa (rychlosti větru 79 $km.h^{-1}$) byly u systémů „F“ a „G“ naopak naměřeny nepatrně nižší hodnoty, než tomu bylo v případě zatěsnění „I“. Rozdíl mezi nejlépe zatěsněným systémem („F“ a „G“) a systémem obsahujícím PP desku („A“) pro tlak 300 Pa byl pouze 1,5 $l.min^{-1}$, což představuje přibližně 5násobně vyšší množství dodávaného vzduchu. Při nižších tlacích, pravděpodobně i vlivem menší přesnosti při dodávání vzduchu, jsou tyto rozdíly s klesajícím tlakem postupně vyšší.
8) Ve všech případech pak platí, že s rostoucím tlakem je požadováno vyšší množství dodávaného vzduchu, což vede k růstu průvzdušnosti daného systému zatěsnění.
9) Rozdíl mezi nejlepším způsobem zatěsnění okna („I“) a komorou zatěsněnou PP deskou („A“) v množství dodávaného vzduchu je při tlaku 100 Pa (rychlosti větru 45 $km.h^{-1}$) přibližně 89 %.

Tabulka 2
Vliv způsobu zatěsnění okna na množství dodávaného vzduchu pro udržení konstantního tlaku uvnitř komory – průvzdušnost okna

P [Pa]	**Způsob zatěsnění okna**								
	„A“	**„B“**	**„C“**	**„D“**	**„E“**	**„F“**	**„G“**	**„H“**	**„I“**
	Dodávaný vzduch *[l.min^{-1}]*								
5		0,9	0,8	0,18	0,135	0,0	0,0	0,00	0,000
10		1,7	1,5	0,30	0,270	< 0,0001	0,2,	0,17	0,085
20		3,1	2,6	0,40	0,450	0,3	0,3	0,35	0,190
30		4,1	3,7	0,70	0,550	0,4	0,4	0,45	0,250
40	0,0001	5,0	4,4	0,90	0,800	0,5	0,6	0,60	0,350
50	0,0011	6,0	5,3	1,00	0,900	0,7	0,8	0,80	0,600
75	0,0390	8,2	7,0	1,70	1,500	1,1	0,9	1,20	0,900
100	0,1340	10,0	8,0	2,00	1,950	1,3	1,1	1,60	1,200
150	0,2200	13,5	11,9	3,00	2,850	1,4	1,4	2,30	1,900
200	0,2950	17,1	15,0	4,00	3,850	1,5	1,5	3,10	2,450
250	0,3500	24,6	20,0	4,90	4,700	1,8	1,8	3,30	2,800
300	0,4000	30,0	25,0	5,80	5,500	1,9	1,9	3,60	2,900



Graf 2
Množství dodávaného vzduchu pro udržení konstantního tlaku ve zkušební komoře pro všechny způsoby zatěsnění okna

Na základě těchto výsledků byly vypočteny hodnoty průvzdušnosti jednotlivých způsobů zatěsnění okna v závislosti na měřeném tlaku (rychlosti větru) vztažené buď na celkovou plochu okna (graf č. 3 a č. 4) nebo na celkovou délku spáry okna (graf č. 5 a č. 6).

Průvzdušnost byla vypočtena dle následujících vztahů:

$$Ppk = Qvzduchu \times 60 / (1000 \times 1{,}785) \qquad Pdsk = Qvzduchu \times 60 / (1000 \times 5{,}380)$$

kde:

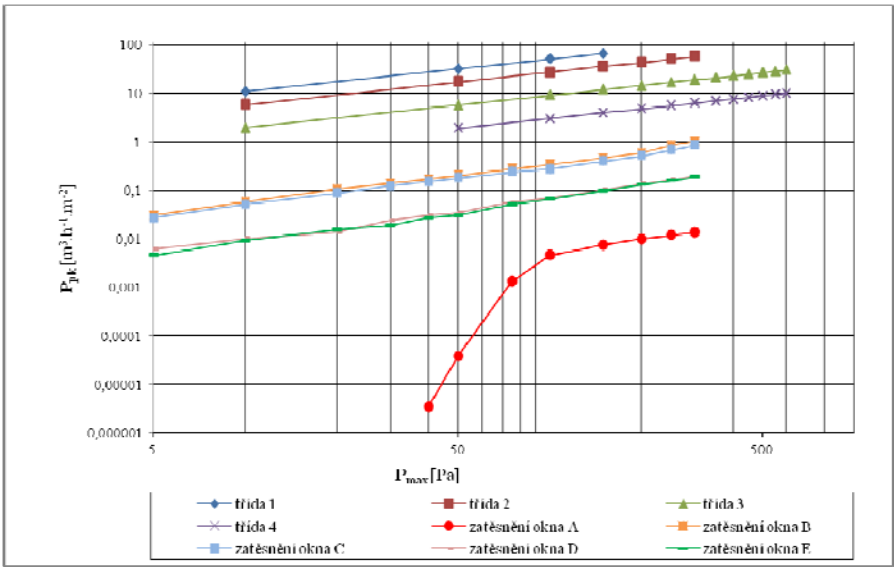
$Q_{vzduchu}$ množství dodávaného vzduchu (viz Tabulka č. 2) [$l.min^{-1}$],
P_{pk} průvzdušnost vztažená na celkovou plochu komory [$m^3.h^{-1}.m^{-2}$],
P_{dsk} průvzdušnost vztažená na délku spáry komory [$m^3.h^{-1}.m^{-1}$],
1,785 plocha plastového okna – skleněná výplň [m^2],
5,380 celková délka spáry plastového okna [m].

V grafech č. 3 a č. 4 (průvzdušnost vztažená na celkovou plochu okna) a č. 5 a č. 6 (průvzdušnost vztažená na délku spáry okna) je provedeno grafické porovnání naměřených hodnot s hodnotami průvzdušnosti vyplývající dle klasifikační normy ČSN EN 12207, kde zatřídění je charakterizováno 4 třídami, přičemž třída 4 je považována za třídu s nejmenší průvzdušností, z čehož vyplývá, že se jedná o velmi těsné okno [10].

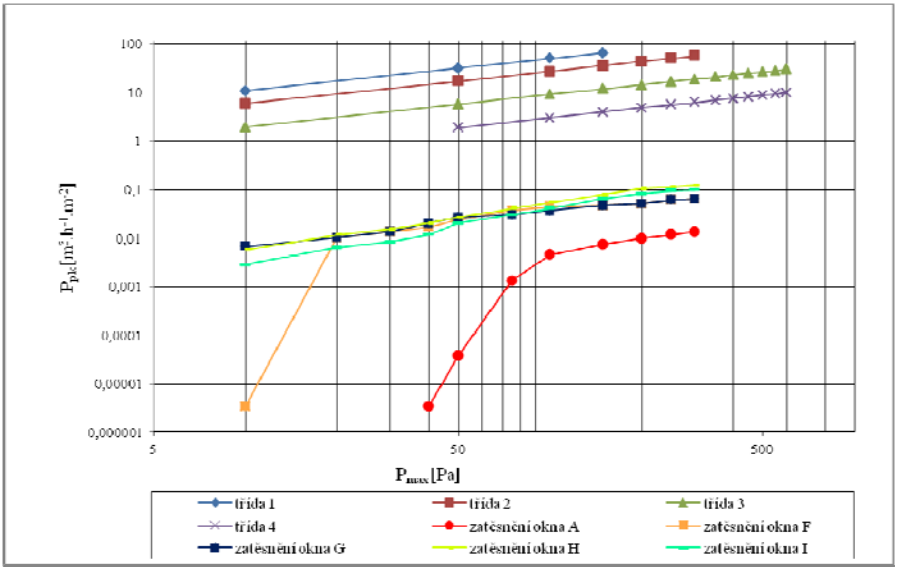
Z dlouhodobého průzkumu v současné době vyráběných dřevěných a plastových oken ve vztahu k těsnosti a průvzdušnosti lze konstatovat, že nejčastěji dosahovanou třídou je u těchto typů oken třída 4 (přibližně 95 %) a třída 3 (přibližně 5 %).

Naměřené hodnoty průvzdušnosti pro jednotlivé způsoby zatěsnění okna ve všech případech dosahují lepších výsledků, než odpovídá nejvyšší třídě průvzdušnosti 4. Obdobně i naměřené hodnoty průvzdušnosti v případě jakýmkoli způsobem zatěsněného okna oblepením pomocí izolační pásky (nižší hodnoty P_{pk} i P_{dsk}) v porovnání s oknem neoblepeným („B“ x „C“, „D“, „E“) jsou nižší (zejména u okna bez fólie – grafy č. 3 a č. 4), čili předpokládaná třída průvzdušnosti by byla vyšší, než udává výše zmiňovaná norma.

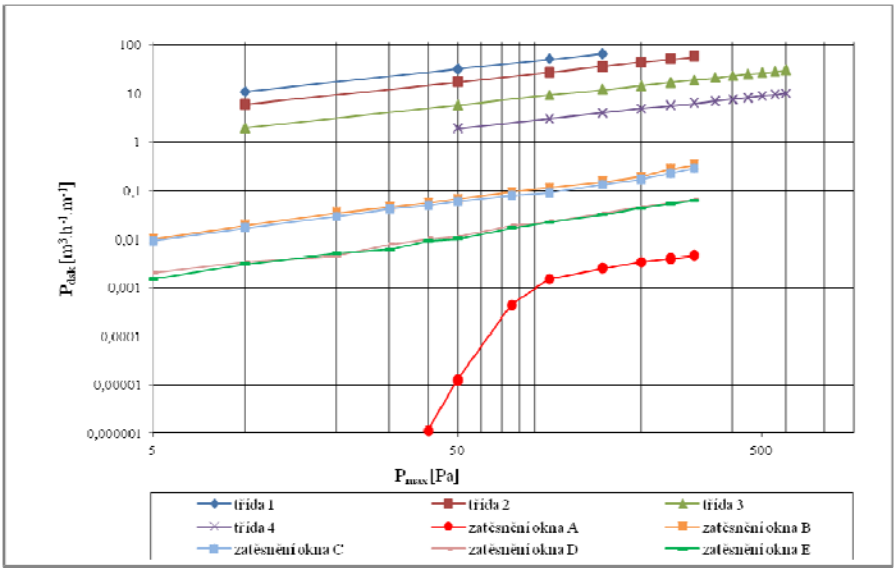
Ostatní závěry, které z těchto výsledků vyplynuly, jsou totožné se závěry, které byly konstatovány v předchozím textu již dříve.



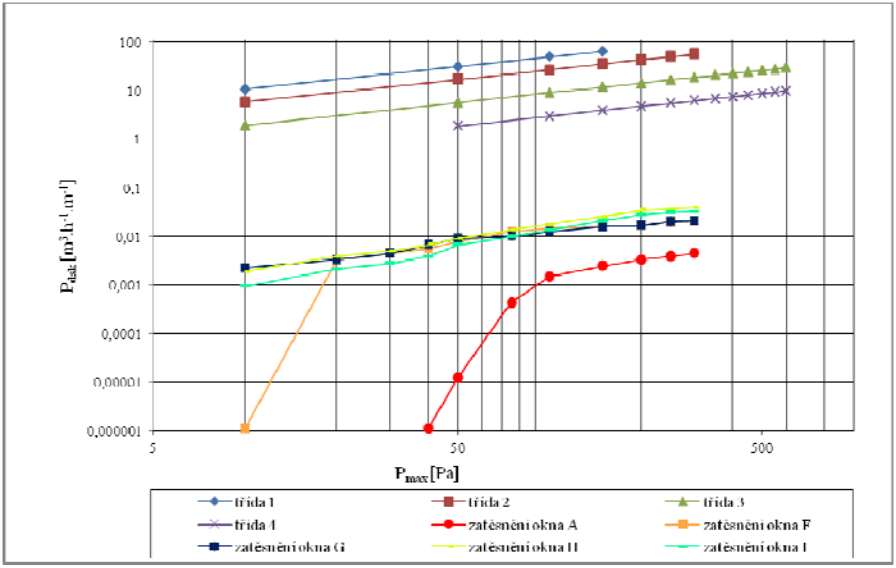
Graf 3
Průvzdušnost okna vztažená na plochu – úprava „A“, „B“, „C“, „D“, „E“



Graf 4
Průvzdušnost okna vztažená na plochu – úprava „A“, „F“, „G“, „H“, „I“



Graf 5
Průvzdušnost okna vztažená na délku spáry – úprava „A“, „B“, „C“, „D“, „E“



Graf 6
Průvzdušnost okna vztažená na délku spáry – úprava „A“, „F“, „G“, „H“, „I“

Měření průniku hexafluoridu sírového SF_6 ve zkušební komoře v závislosti na vstupním tlaku

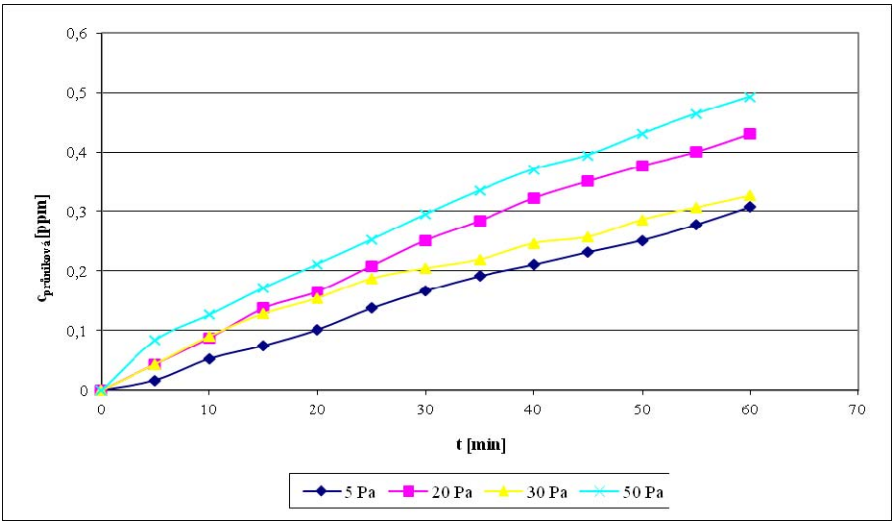
Posledním způsobem hodnocení těsnosti oblepeného okna bylo měření rychlosti průniku (difuze) hexafluoridu sírového (SF_6) z prostoru před vnější stranou okna.

V následujících grafech č. 7-15 jsou prezentovány výsledky difuze jednotlivých způsobů zatěsnění okna při různých tlacích (rychlostech větru). Difuze byla sledována v rozmezí 0-60 minut. Z naměřených výsledků vyplynuly následující závěry:

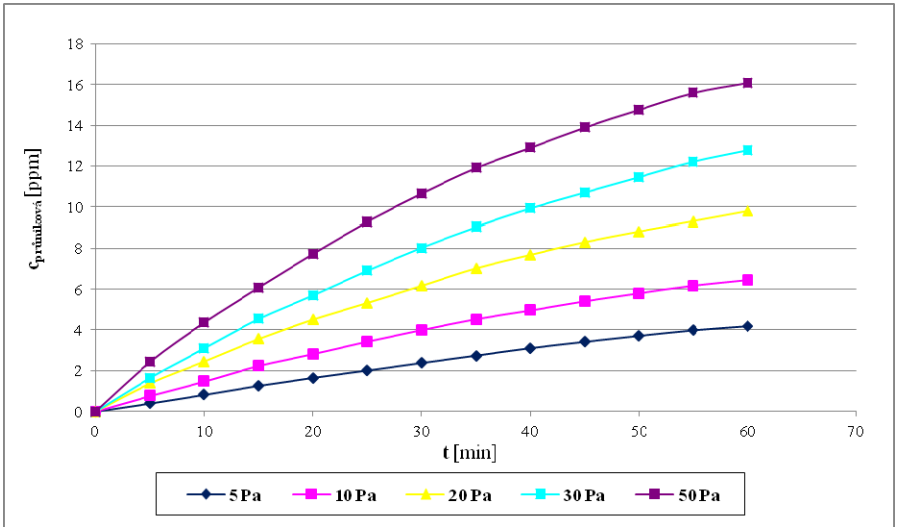
1) Hodnoty difuze dané koncentrací hexafluoridu síry v případě komory opatřené PP deskou („A“ – výsledky převzaty z technické průběžné zprávy [2] „Měření těsnosti dřevěného okna bez úprav a po zatěsnění“, Lázně Bohdaneč 2008) s rostoucím tlakem, tak jak bylo očekáváno, se pravidelně nezvyšovaly, naopak při tlaku 20 Pa v rozmezí mezi 15. – 60. minutou byly naměřeny vyšší hodnoty než při tlaku 30 Pa (graf č. 7). Tento rozdíl je obtížně vysvětlitelný, pravděpodobně při tak nízkých tlacích a při poměrně značném zatěsnění dochází k ovlivnění výsledků nedokonalou homogenizací odebíraného vzduchu, nebo na tyto hodnoty může mít vliv teplota v prostoru odběru vzorku. Průběh teploty však nebyl zaznamenáván. Při vyšších tlacích, kdy je průnik již značný, mohou tyto faktory ovlivňovat naměřené výsledky již podstatně méně.
2) U systémů, které byly zatěsněny bez fólie („B“, „C“, „D“, „E“ – grafy č. 8-11), s rostoucím tlakem a dobou experimentu docházelo ke zvyšování průnikové koncentrace (tj. koncentrace testovacího plynu SF_6 v prostoru za oknem v měřenou dobu), a to tím více, čím okno bylo méně zatěsněno („B“ → „C“ → „D“ → „E“). Hodnoty průniku nezatěsněného okna („B“) a okna zatěsněného pouze z vnitřní strany („C“) byly podobné, dosahovaly přibližně 4 násobku hodnot průniku naměřeného v případě okna zatěsněného z vnější strany a okna oboustranně zatěsněného.
3) U systémů zatěsněných s fólií („F“, „G“, „H“, „I“ – grafy č. 12-15), s rostoucím tlakem a dobou experimentu docházelo ke zvyšování průnikové koncentrace, ale pouze od tlaku 20 Pa. Anomálie, jaké byly naměřeny v případě komory doplněné pouze PP deskou, byly naměřeny i zde, avšak již při nižších tlacích 5 a 10 Pa. Ve všech případech, kdy bylo provedeno zatěsnění pomocí fólie, došlo k naměření alespoň jedné hodnoty vyšší při tlaku 5 Pa, než při tlaku 10 Pa. Tyto rozdíly jsou opět přičítány nedokonalé homogenizaci a obtížně zjistitelné přesné teplotě v místě odběru vzorku. Stejně jako v předchozím případě i zde s dokonalejším zatěsněním okna („F“ → „G“ → „H“ → „I“) byly naměřeny nižší hodnoty průnikové koncentrace. Rozdíly však nebyly tak významné, pohybovaly se v rozmezí 1,5 ppm (v předchozím případě to bylo okolo 13,5 ppm).
4) Nejvyšší dosažený průnik byl naměřen u nezatěsněného okna („B“ – graf č. 8). Nižší hodnoty pak byly naměřeny u okna zatěsněného z vnitřní strany

(„C“ – graf č. 9), z vnější strany („D“ – graf č. 10), oboustranně zatěsněného okna („E“ – graf č. 11) a poté teprve následovaly hodnoty u oken, kde již k zmíněnému zatěsnění lepicí páskou přibylo zalepení okna z vnější strany PE fólií. Pokles hodnot průvzdušnosti pokračoval v pořadí („F“ → „G“ → „H“ → „I“), přičemž oboustranně zatěsněné okno bez fólie („E“ – graf č. 11) vykázalo poněkud nižší hodnotu průniku než okno zatěsněné pouze fólií („F“ – graf č. 12), a to o cca 0,05 ppm.

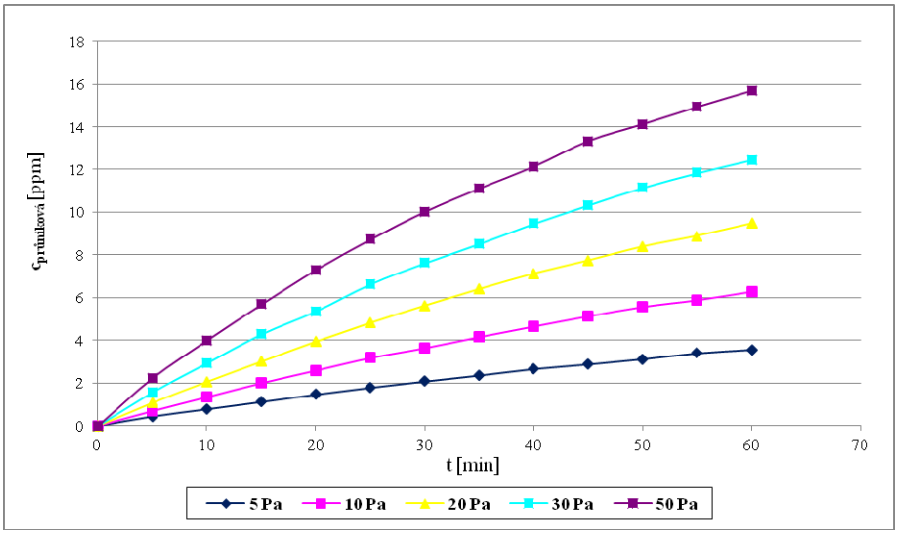
5) Při srovnání naměřených hodnot při stejném způsobu zatěsnění okna, tj. „F“-„B“, „G“-„C“, „H“-„D“ a „I“-„E“, bylo nižší průnikové koncentrace vždy dosaženo u systémů doplněných fólií.
6) Nižší průnikové koncentrace bylo také dosaženo u okna oblepeného z obou stran než u okna oblepeného pouze z jedné strany („E“ proti „C“ a „D“ či „I“ proti „G“ a „H“).
7) Výrazný rozdíl se projevil také v tom, která strana okna byla zalepena, jestli vnější nebo vnitřní. Vyšší hodnoty průnikové koncentrace, zejména u systému, kde nebyla použita fólie, byly naměřeny pro okno oblepené z vnitřní strany. Opět se ukázalo, že zatěsnění vnější strany okna (pokud je to možné) má podstatně větší význam než zatěsnění vnitřní strany, tj. z prostoru místnosti.
8) Přesto ani zde v nejlepším případě („I“ – graf č. 15) nebylo možné dosáhnout stavu, který by odpovídal případu, kdy okno bylo nahrazeno PP deskou („A“ – graf č. 7). Rozdíl v porovnání s dřevěným oknem je však již velmi malý, činí necelých 5 % (v porovnání s 85 % u dřevěného okna).



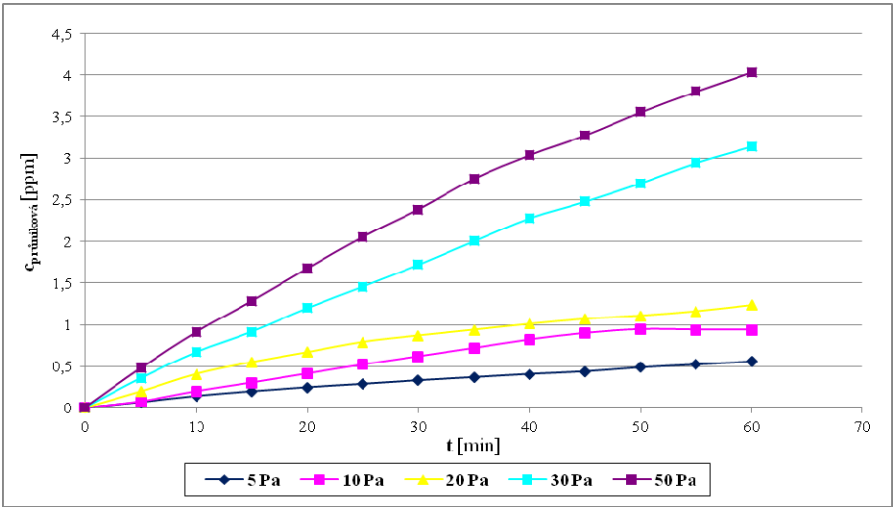
Graf 7
Rychlost průniku při různých tlacích (rychlostech větru), úprava „A“



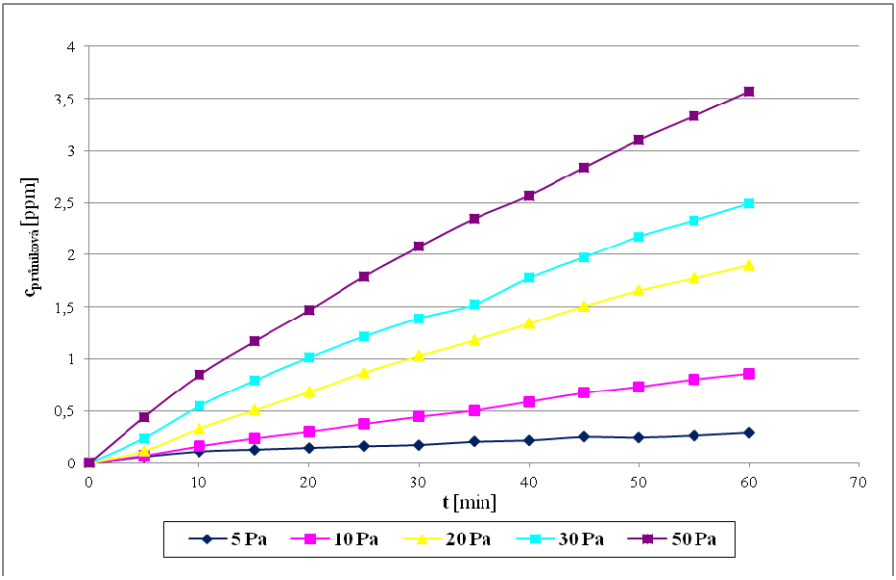
Graf 8
Rychlost průniku při různých tlacích (rychlostech větru), úprava „B“



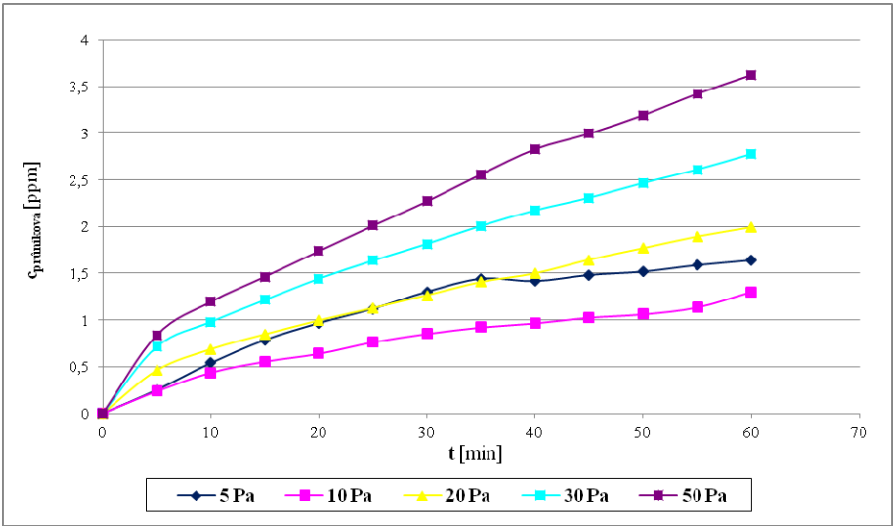
Graf 9
Rychlost průniku při různých tlacích (rychlostech větru), úprava „C“



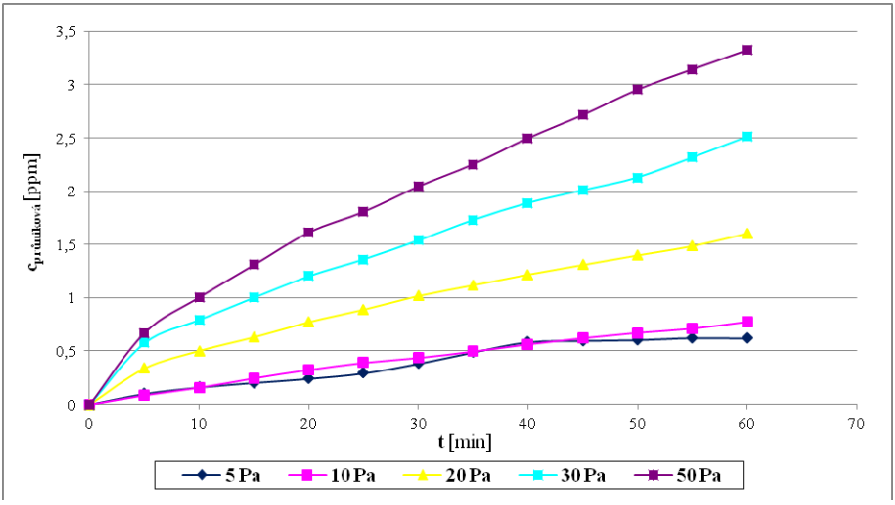
Graf 10
Rychlost průniku při různých tlacích (rychlostech větru), úprava „D“



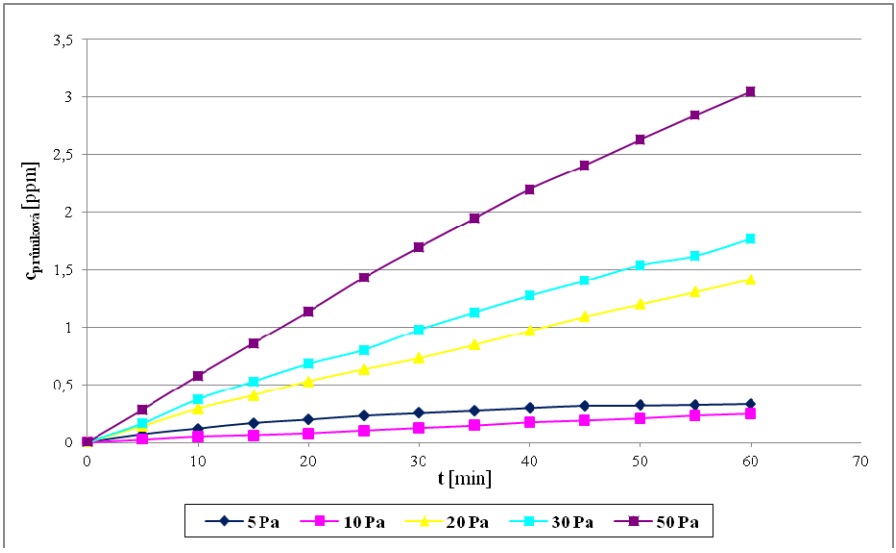
Graf 11
Rychlost průniku při různých tlacích (rychlostech větru), úprava „E“



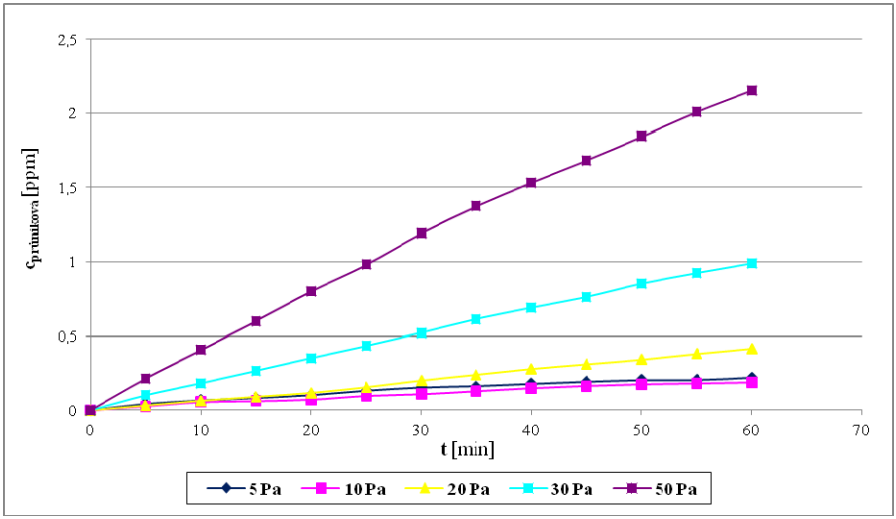
Graf 12
Rychlost průniku při různých tlacích (rychlostech větru), úprava „F“



Graf 13
Rychlost průniku při různých tlacích (rychlostech větru), úprava „G“



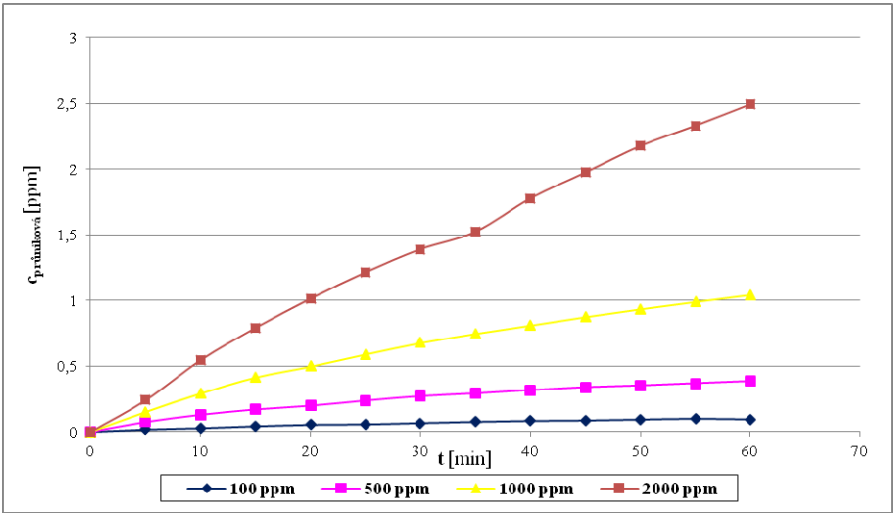
Graf 14
Rychlost průniku při různých tlacích (rychlostech větru), úprava „H“



Graf 15
Rychlost průniku při různých tlacích (rychlostech větru), úprava „I“

Měření průniku hexafluoridu sírového SF_6 v závislosti na vstupní koncentraci při daném tlaku

Tato měření byla provedena pouze pro dva způsoby zatěsnění okna („E“ – bez fólie, graf č. 16 a „I“ – s fólií, graf č. 17). Pro experiment byl zvolen tlak 30 Pa. Cílem bylo posoudit, jak rychle se pronikající škodlivá plynná látka může dostat do improvizovaného úkrytu a v jaké výši.

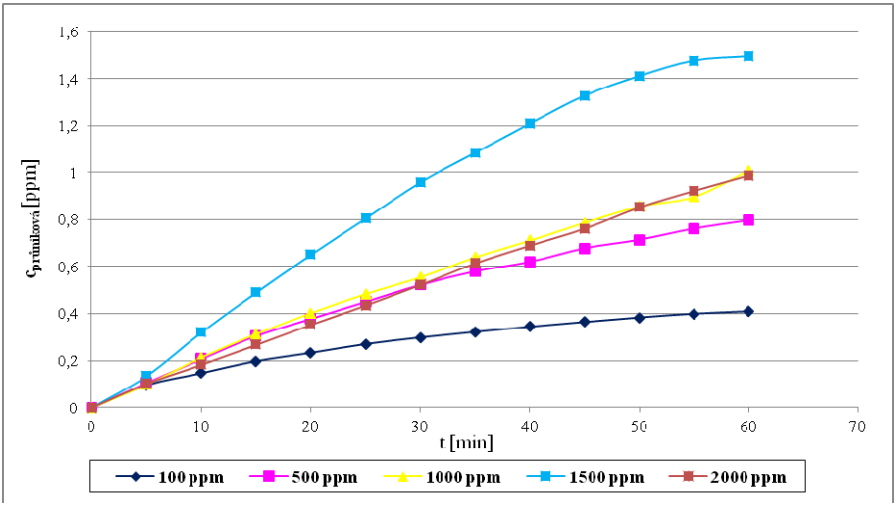


Graf 16
Vliv vstupní koncentrace SF_6 na průnik při konstantním tlaku (rychlosti větru) pro okno zatěsněné dle varianty „E“

1) V případě okna bez fólie s rostoucí vstupní koncentrací rostla i průniková koncentrace.
2) V případě okna s fólií (varianta „I“) toto platilo až do vstupní koncentrace 1500 ppm. Poté, při koncentraci 2000 ppm, byl zaznamenán mírný pokles odpovídající přibližně hodnotám naměřeným při koncentraci 1000 ppm. Příčinu tohoto poklesu je poměrně obtížně vysvětlit, neboť ani při hodnocení dřevěného okna [2] nebyl při daném tlaku s rostoucí vstupní koncentrací takovýto pokles zaznamenán. Patrně to souvisí se změnami teploty uvnitř zkušební komory.
3) Další rozdíl byl nalezen při porovnání varianty bez fólie a s fólií. Bylo očekáváno, tak jako v případě dřevěného okna [2], že při „lepším způsobu zatěsnění“ (varianta „I“) budou naměřené hodnoty průnikové koncentrace nižší. Toto však platilo pouze při nejvyšší vstupní koncentraci 2000 ppm, kdy u varianty „I“ byla naměřena průniková koncentrace přibližně 1 ppm, kdežto

u varianty „E“ 2,5 ppm. V ostatních případech tomu bylo právě naopak. Pravděpodobně se na těchto malých rozdílech v naměřených hodnotách do určité míry projevují nepatrné změny v podmínkách měřících, zejména teplota a vlhkost vzduchu.

4) Přesto v porovnání s dřevěným oknem byly naměřeny nižší hodnoty, což souvisí s kvalitou testovaného okna, které bylo nové a které nemělo viditelné spáry při jeho zavření.



Graf 17
Vliv vstupní koncentrace SF_6 na průnik při konstantním tlaku (rychlosti větru) pro okno zatěsněné dle varianty „I“

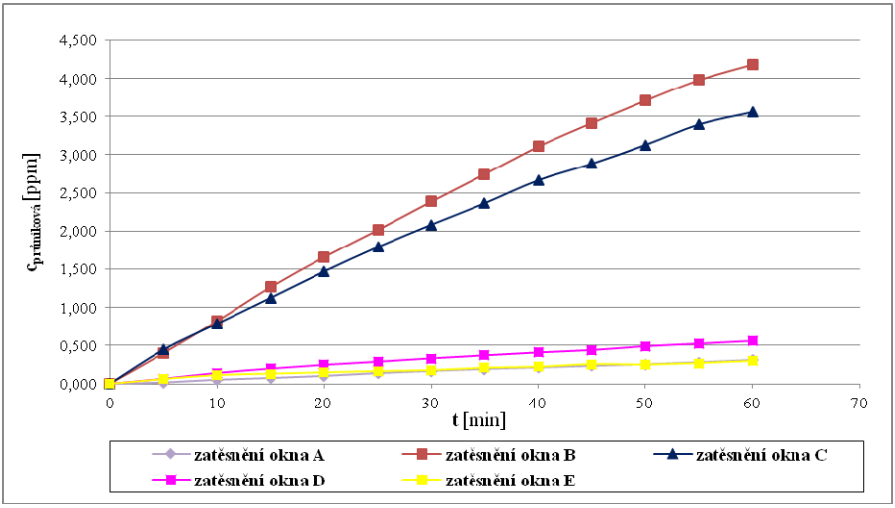
Vliv způsobu zatěsnění okna na průnik SF_6 při daném tlaku

V následujících grafech č. 18-21 jsou prezentovány výsledky, jak a do jaké míry zatěsnění plastového okna při daném tlaku ovlivňuje rychlost průniku (difuze) SF_6 do volného prostoru.

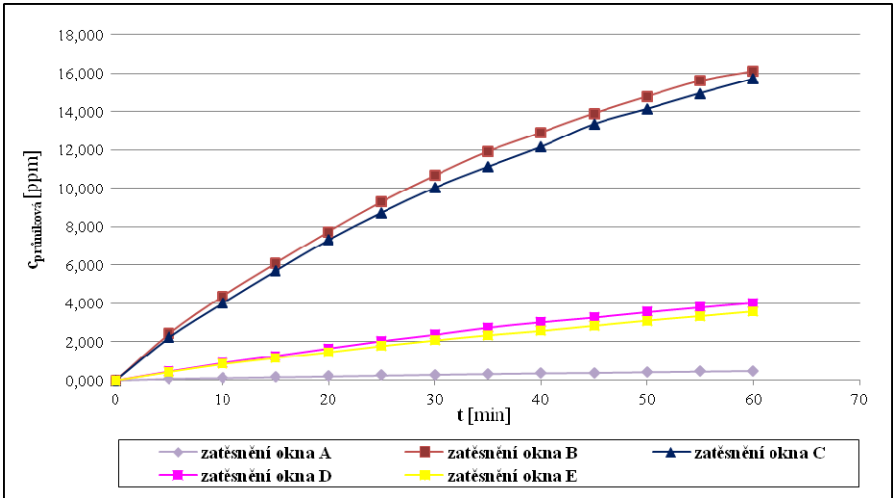
Z naměřených a prezentovaných výsledků lze učinit následující závěry:

1) Jednoznačně lze říci, že nejvyšších hodnot průnikové koncentrace bylo dosaženo v případě nezalepeného okna („B“ – grafy č. 18 a č. 19), a to ve všech případech (ať již bez fólie, tak i s fólií).
2) Podobné, ale o něco nižší, byly naměřeny hodnoty průnikové koncentrace u okna oblepeného z vnitřní strany („C“ – viz opět grafy č. 18 a č. 19), (opět to platí pro okna bez fólie i s fólií). Oba způsoby oblepení („B“ i „C“) však poskytly naměřené hodnoty, které byly výrazně vyšší než u okna oblepeného pouze z vnější nebo z obou stran, popř. u okna doplněného fólií (ve všech 4 provedení oblepení).

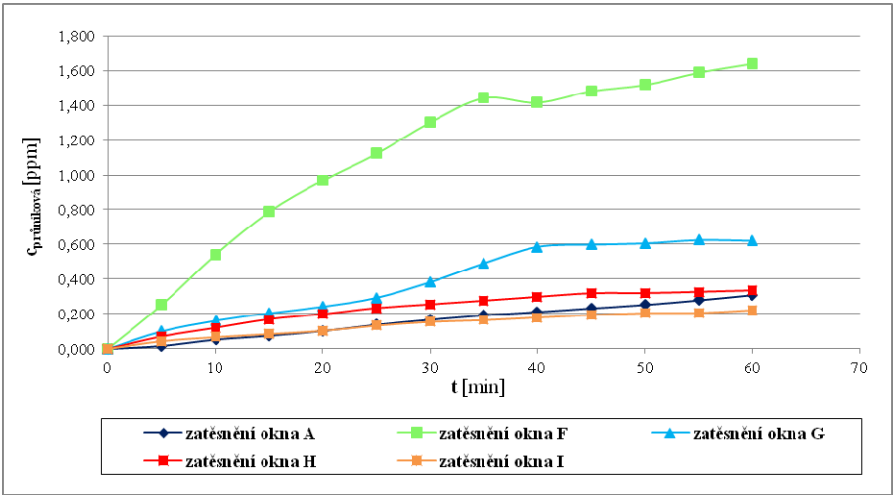
3) S rostoucí kvalitou zatěsnění okna (bez zatěsnění < vnitřní < vnější < vnitřní+vnější < PP deska jako srovnávací systém) klesaly hodnoty průnikové koncentrace. Toto 100% platilo v případě, kdy nebyla použita fólie. U zatěsnění okna doplněného z vnější strany fólií, nejvyšší hodnoty průnikové koncentrace byly při všech tlacích naměřeny u okna oblepeného pouze fólií („F“), poté následovalo okno zatěsněné z vnitřní strany („G“) a následně okno zatěsněné z vnější strany („H“) – grafy č. 20 a č. 21. Pouze u okna zatěsněného z obou stran do tlaku 20 Pa („I“ – graf č. 20) byly naměřeny hodnoty průnikové koncentrace nižší než u komory osazené PP deskou jako srovnávacího systému. Ukázalo se, jestliže to není chyba měření, že takto zatěsněné okno představuje systém, který je prakticky nepropustný.
4) Při tlaku 50 Pa se z pohledu množství proniklé látky jako nejlépe zatěsněné okno jeví okno oblepené z obou stran doplněné fólií („I“). Poté následují další systémy doplněné fólií, a to oblepení z vnější („H“) a z vnitřní strany („G“). Okno pouze s fólií („F“) je však nepatrně horší než oboustranně zatěsněné okno bez fólie. Je zajímavé, že samostatná fólie při takto vysokém tlaku (50 Pa ≅ rychlost větru 32,4 $km.h^{-1}$) je prakticky účinnější než jakýmkoli způsobem oblepené okno bez fólie (čili hodnoty průniku v případě „F“ jsou nižší než „D“, „C“ i „B“). Při tlaku 50 Pa je pořadí z pohledu dosažení co nejnižší průnikové koncentrace následující: „I“ < „H“ < „E“ < „G“ < „F“ < „D“ < „C“ < „B“ a při 5 Pa „I“ < „E“ < „H“ < „D“ < „G“ < „F“ < „C“ < „B“. Z toho vyplývá, že vždy dva systémy s velmi dobrým („I“ a „H“) a velmi špatným zatěsněním („B“ a „C“) nejsou co do pořadí tolik ovlivněny zkušebním tlakem (rychlostí větru) jako ostatní. Naopak s rostoucím tlakem se v pomyslném pořadí posouvají systémy s horším zatěsněním a s fólií („F“, „G“) výše a systémy s lepším zatěsněním, ale bez fólie („D“, „E“) níže, přičemž jsou tyto změny v pořadí větší u lépe zatěsněných systémů („E“, „G“) než u hůře („D“, „F“) – u systémů bez a s fólií.
5) Ve všech případech také s rostoucím tlakem rostla průniková koncentrace, a to jak u oken zatěsněných fólií, tak i bez ní.
6) Při nízkých tlacích (pod 10 Pa, což odpovídá rychlosti větru do 4,5 $km.h^{-1}$, – grafy č. 18 a č. 20) vnější zatěsnění okna s fólií je již tak dokonalé, že se naměřené hodnoty blíží těsnosti systému s PP deskou. Při vyšších tlacích (rychlostech větru) již ale dochází k určitým rozdílům.



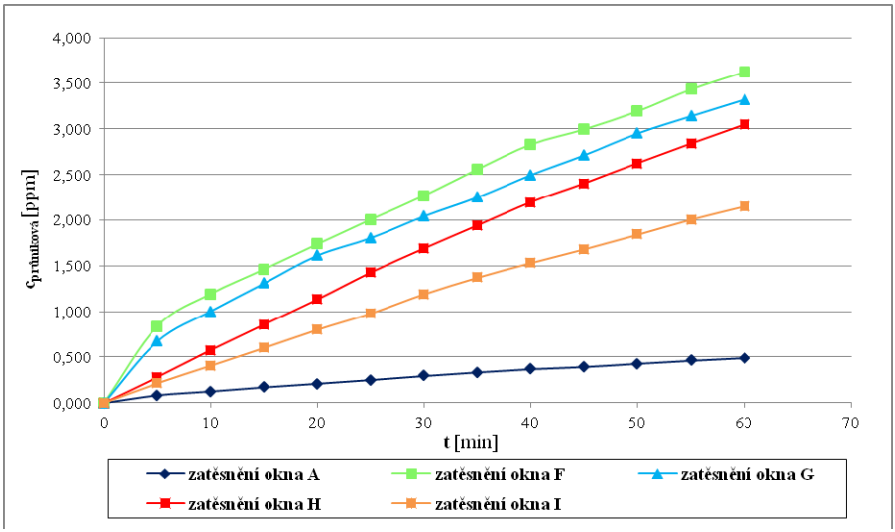
Graf 18
Závislost průnikové koncentrace na čase pro různým způsobem zatěsněná okna při tlaku 5 Pa



Graf 19
Závislost průnikové koncentrace na čase pro různým způsobem zatěsněná okna při tlaku 50 Pa



Graf 20
Závislost průnikové koncentrace na čase pro různým způsobem zatěsněná okna (s fólií) při tlaku 5 Pa



Graf 21
Závislost průnikové koncentrace na čase pro různým způsobem zatěsněná okna (s fólií) při tlaku 50 Pa

ZÁVĚR

V návaznosti na předchozí měření dřevěného okna v roce 2008 bylo v roce 2009 provedeno kompletní hodnocení nového plastového zdvojeného okna, opět podle příslušné metodiky, a to všemi 3 možnými způsoby, tj. na základě měření poklesu tlaku, měření průvzdušnosti a průniku hexafluoridu sírového.

Byly získány obdobné výsledky jako v případě dřevěného okna, tj. že jak způsob zatěsnění okna, tak i použitá fólie do značné míry ovlivňují naměřené hodnoty, a tím i požadované vlastnosti. Opět se potvrdila nezastupitelná role vhodného zatěsnění na průnik škodliviny skrz okno. Nalezené rozdíly také ukazují, jak je v jednotlivých případech oblepení účinné a do jaké míry můžou takto improvizovaně zatěsněné prostory chránit obyvatelstvo.

Résumé

Following the previous measurement of wooden windows in 2008, a complete evaluation of a new plastic double-glazed window was carried out in 2009, according to the relevant methodology, using all three possible ways, i.e. on the basis of a pressure drop measurement, measurement of air permeability, and penetration of sulphur hexafluoride.

Similar results have been obtained as in the case of a wooden window, i.e. both the method of sealing of the window, and the used foil, to a large extent affect the measured values, and hence the required properties. The irreplaceable role of appropriate sealing with regards to the penetration of the pollutant through the window has been once again confirmed. The found differences also show how the taping is effective in individual cases, and to what extent can such improvised sealing space be able to protect civilian population.

Literatura

[1] SÝKORA, Vlastimil, Čestmír HYLÁK a Ján PIVOVARNÍK. *Měření těsnosti dřevěného okna bez úprav a po zatěsnění*. Technická průběžná zpráva. Lázně Bohdaneč: MV – GŘ HZS ČR Institut ochrany obyvatelstva, 2008.

[2] SÝKORA, Vlastimil a Čestmír HYLÁK. Improvizovaná ochrana ukrytím. II. Vlastnosti dřevěného okna – měření průvzdušnosti. *The Science for Population Protection*. 2013, roč. 5, č. 1, s. 93-113. ISSN 1803-568X. Dostupné z: http://www.population-protection.eu/attachments/045_vol5n1_sykora_hylak.pdf

[3] SÝKORA, Vlastimil, Čestmír HYLÁK a Ján PIVOVARNÍK. Nové možnosti v improvizované ochraně ukrytím. In: *X. ročník mezinárodní konference Ochrana obyvatelstva – DEKONTAM 2011*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Fakulta bezpečnostního inženýrství, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, s. 124-128. ISBN 978-80-7385-096-8.

[4] FOLWARCZNY, Libor. Reálné možnosti ochrany obyvatelstva při úniku nebezpečných látek způsobených chemickým terorismem. In: *Sborník přednášek z konference Ochrana obyvatel 2004*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Fakulta bezpečnostního inženýrství, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2004, s. 18-26. ISBN 80-86634-28-0.

[5] FOLWARCZNY, Libor. Reálné možnosti ochrany obyvatelstva. In: *Krizový management: sborník: Vítkovice v Krkonoších květen 2004*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004, s. 20-24. ISBN 80-7194-685-0.

[6] SÝKORA, Vlastimil, Čestmír HYLÁK a Ján PIVOVARNÍK. Improvizovaná ochrana ukrytím. I. Úvod do problematiky. *The Science for Population Protection*. 2012, roč. 4, č. 3, s. 67-79. ISSN 1803-568X. Dostupné z: http://www.population-protection.eu/attachments/043_vol4n3_sykora_hylak_pivovarnik.pdf

[7] PIVOVARNÍK, Ján, Čestmír HYLÁK a Vlastimil SÝKORA. *Metodika optimálního způsobu dotěsňování oken, dveří a dalších stavebních otvorů v improvizovaných úkrytech*. Lázně Bohdaneč: MV – GŘ HZS ČR Institut ochrany obyvatelstva, 2010.

[8] SÝKORA, Vlastimil, Čestmír HYLÁK a Ján PIVOVARNÍK. *Měření těsnosti plastového okna bez úprav a po zatěsnění*. Technická průběžná zpráva. Lázně Bohdaneč: MV – GŘ HZS ČR Institut ochrany obyvatelstva, 2009.

[9] Provozní řád Experimentálního polygonu Boreček, pracoviště se zkušební komorou. Lázně Bohdaneč 2002.

[10] ZAPLETAL, M. Technická zpráva č. 01/2005 o speciálních konstrukčních úpravách dřevěného okna zdvojeného, otočného kolem svislé osy, za účelem snížení filtrace. Zlín 2005.