

ENVIRONMENTÁLNÍ VHODNOST STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ Z POHLEDU VNÍMANÉ KVALITY VZDUCHU – POVRCHOVÉ ÚPRAVY

INGRID ŠENITKOVÁ a PETRA BEDNÁŘOVÁ

Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, Okružní 517/10, 370 01 České Budějovice
senitkova@mail.vstecb.cz, bednarova@mail.vstecb.cz

Došlo 14.4.15, přepracováno 17.6.15, přijato 16.10.15.

Klíčová slova: kvalita vnitřního ovzduší, stavební materiály, chemická analýza,

Úvod

Budovy by způsobem svého návrhu a provozu neměly negativně ovlivňovat zdraví svých uživatelů. Zdravé budovy by měly respektovat kvantitativní a kvalitativní požadavky na parametry prostředí z hlediska prostorových a časových diferencí a garantovat tak jistou environmentální bezpečnost jejich užívání. Už v prvních stádiích architektonické a konstrukční tvorby budovy se přijímají zásadní rozhodnutí, která ovlivňují výslednou zdravotní nezávadnost. Výzkumné práce stále častěji dokazují významný vliv stavebních materiálů, zařízení interiéru, ale i soustav techniky prostředí na vnímanou kvalitu a bezpečnost vnitřního prostředí budov. Množství běžně používaných stavebních materiálů na bázi odpadní dřevěné hmoty, plastů, umělých živců je stále významnějším zdrojem znečišťujících látek v budovách. Tradiční způsob výběru materiálu založený hlavně na faktorech jako je cena, funkčnost, estetika, vhodnost a trvanlivost je třeba rozšířit o posouzení environmentální vhodnosti.

Prioritní postavení nabývá chemické znečištění vnitřního prostředí budov. Znečištění vzduchu v budovách emisemi ze stavebních materiálů je charakterizované výskytem prchavých organických látek VOC (volatile organic compounds) a sníženou vnímanou kvalitou vzduchu. Prchavé organické látky jsou vhodným indikátorem oděrového znečištění v budovách. Míra jejich výskytu v interiérech budov má stoupající tendenci hlavně v souvislosti s početnějším zastoupením znečišťujících materiálů. V evropské legislativě je úroveň znečištění respektována prostřednictvím dělení na mírně znečištěné budovy a znečištěné budovy. Budovy jsou považovány za nízko znečištěné, když zabudované stavební materiály, a především materiály používané na povrchové úpravy, jsou nízko znečišťující. Nízko znečišťující materiály jsou definované jako materiály, které splňují 5 určitých požadavků:

emise sumy prchavých organických látek (TVOC) $< 0,2 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, emise formaldehydu $< 0,05 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, emise amoniaku $< 0,03 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, emise karcinogenních prvků (IARC) $< 0,005 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, materiály jsou bezoděrové (nespokojenost s oděry $< 15 \%$)¹.

Volbou stavebních materiálů a především povrchových úprav je možné významně ovlivnit celkový pocit komfortu, úroveň hygieny a environmentální bezpečnost prostředí v budovách. Výzkum v oblasti navrhování nízko emitujících a bezoděrových materiálů v zájmu environmentální bezpečnosti budov a environmentální vhodnosti materiálů z pohledu vnímané kvality vzduchu je nanejvýš aktuální a nachází uplatnění v oblasti tvorby vnitřního prostředí budov. Výzkum autorů se orientuje na studium míry výskytu, přenosu a distribuce vybraných škodlivin v budovách a jejich vazeb na architektonické konstrukce a soustavy techniky prostředí. V rámci řešení vědeckých projektů se věnuje pozornost problematice vnímané kvality vzduchu ve vazbě na stavební materiály a soustavy techniky prostředí^{2,3}. Vliv stavebních materiálů, interakčních vazeb a sorpčních procesů na znečištění prostředí se sleduje v testovací komoře a ověřuje v reálných podmínkách pro vybrané povrchové úpravy stavebních konstrukcí.

Experimentální měření

Komorové testy – stanovení koncentrace individuálních oděrových látek

Testovací komora navržena a zhotovená pro účel měření byla vyrobená z tabulkového skla tloušťky 5 mm s objemem 240 litrů o rozměrech $0,8 \times 0,6 \times 0,5 \text{ m}$. Množství přiváděného vzduchu, rychlost proudění a teplota vzduchu se sledují termoanemometrem TESTO 425. Odváděcí potrubí je řešeno tak, že umožňuje vzorkování vzduchu pro chemickou analýzu. Senzorické hodnocení se uskutečňuje prostřednictvím testovacího portu, který je umístěn na odváděcím potrubí. Rovnoměrnost znečištění v prostoru komory se zabezpečuje ventilátorem.

Testování vybraných materiálů povrchových úprav stavebních konstrukcí se uskutečnilo za podmínky konstantní specifické výměny vzduchu $q \text{ [m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}]$. Specifická výměna vzduchu je závislá na ploše zdroje znečištění v modelované místnosti a určuje emisní plochu testovaných vzorků materiálu (I):

$$\frac{n}{L} = \frac{Q}{A_{\text{ts}} \cdot x} \quad (1)$$

kde Q je přivádění množství vzduchu do komory $[\text{m}^3 \text{ h}^{-1}]$, A_{ts} plocha testovaného vzorku $[\text{m}^2]$, x počet testovaných vzorků umístěných v komoře, n výměna vzduchu v modelové místnosti $[\text{h}^{-1}]$, L faktor zátěže v modelové místnosti $[\text{m}^2 \text{ m}^{-3}]$.

Podmínky měření

Testovací měření při komorových metodách vycházejí z předpokladu zabezpečení odpovídajících okrajových podmínek ($\Theta = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v = 0,2 \pm 0,1\text{ m s}^{-1}$, $n = 0,5\text{ h}^{-1}$) v testovací komoře. Další měření bylo provedeno v referenční modelové místnosti s typologicky minimálními rozměry ($3,2 \times 2,2 \times 2,4\text{ m}$), kde se stanovil faktor zátěže pro podlahovou konstrukci $0,42\text{ m}^2\text{ m}^{-3}$ a pro stěnovou konstrukci $1,41\text{ m}^2\text{ m}^{-3}$.

Stavební materiály byly před testováním zabalené do hliníkové folie a uloženy až do doby testování v obdobných okrajových podmínkách. Chemická analýza a senzorické hodnocení byly uskutečněny po dvou dnech vystavení stavebních materiálů standardním podmínkám v testovací komoře.

Analytické metody

Pro stanovení koncentrace individuálních oděrových látek byly použity kontinuální metody plynové chromatografie (GC Varian 3 300), po extrakci do CS_2 , při použití odběru vzorku vzduchu na sorpční trubičku. VOC byly odebrány aparaturou sestávající ze vzorkovacího čerpadla Air Chek 2000, průtokoměru CCM AIR a sorpční trubice s aktivním uhlím ORBO 32A (Supelco). Vzorkování vzduchu se provádělo 24 hodin při průtoku vzduchu 500 ml min^{-1} . Za účelem interpretace výsledků chemické analýzy pro potřeby hodnocení oděrové zátěže bylo použito vyjádření prostřednictvím sumy prchavých organických látek (TVOC). TVOC byla stanovena z koncentrace identifikovaných individuálních VOC při respektování koncentrací neidentifikovatelných VOC převedených na toluen jako ekvivalent.

Vyhodnocení výsledků

Na výpočet specifického uvolňování emisí I_{TVOC} ze stavebních materiálů byl použitý vztah (2):

$$I_{\text{TVOC}} = \frac{C \cdot n \cdot V}{A} = \frac{C \cdot n}{L} \quad (2)$$

kde I_{TVOC} je specifické uvolňování emisí TVOC [$\text{mg m}^{-2}\text{ h}^{-1}$], C koncentrace škodlivin [mg m^{-3}], n intenzita výměny vzduchu [h^{-1}], V objem komory [m^3], L faktor zátěže [$\text{m}^2\text{ m}^{-3}$], A plocha vzorku.

Hodnocení vnímané kvality vzduchu

Vnímaná kvalita vzduchu byla hodnocena skupinou 20 trénovaných posuzovatelů pomocí škály intenzity oděru (0 – žádný oděr až 5 – ohromující oděr) a škály přijatelnosti vzduchu (+1: jasně přijatelná do –1: jasně nepřijatelná). Obě kritéria jsou hodnocena ve stejném čase. Vnímaná kvalita vzduchu je na základě použitých škál považována za přijatelnou, když průměrná ohodnocená intenzita oděru je menší než 2 a přijatelnost vzduchu větší než 0.

Vybrané hodnocené stavební materiály povrchových úprav stavebních konstrukcí

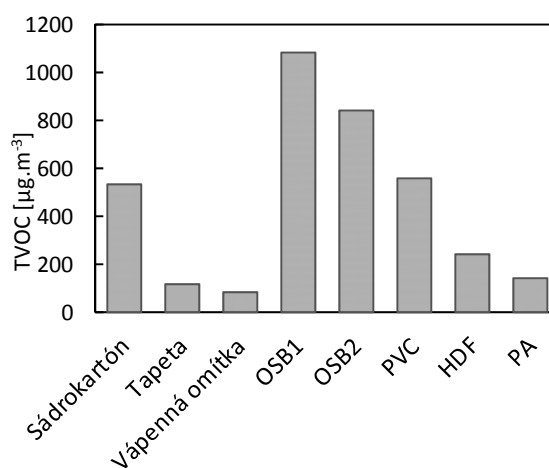
- sádrokarton,
- papírová tapeta,
- vápenná omítka,
- OSB1,
- OSB2,
- PVC krytina,
- dřevovláknité desky HDF podlahová krytina,
- PA textilní krytina.

Výsledky experimentálního měření

Environmentální vhodnost stavebních materiálů

Chemická analýza hodnocených materiálů prokázala zvýšený výskyt několika prchavých organických látek (ethylacetát, methylacetát, ethanol, aceton, benzen a toluen). Stanovené koncentrace znečišťujících látek pro jednotlivé stavební materiály jsou uvedeny v tab. I. Ze znečišťujících látek, pro které jsou vyhláškou stanovené nejvyšší přípustné hodnoty, byly detegované pouze toluen a xyleny, které nepřekročily nejvyšší přípustnou koncentraci⁴. Dále benzeny, jejichž vysoko karcinogenní látky dosahovaly u všech hodnocených materiálů vysoké hodnoty (nejvyšší přípustná koncentrace v ČR $7\text{ }\mu\text{g m}^{-3}$ a WHO $10\text{ }\mu\text{g m}^{-3}$).

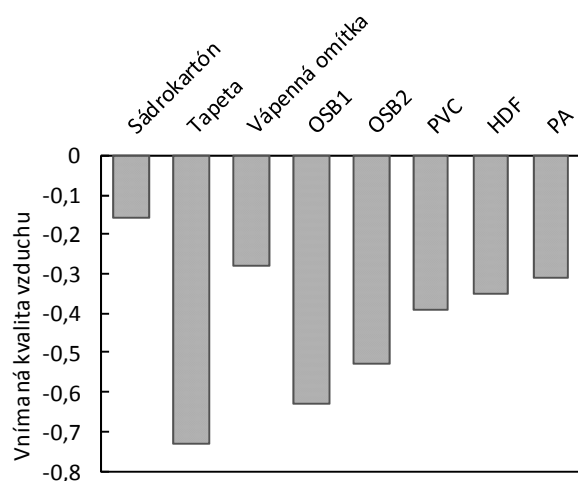
Celkové hodnocení emisí sledovaných materiálů prostřednictvím TVOC [$\mu\text{g m}^{-3}$] potvrdilo u většiny materiálů překročení hranice komfortu $200\text{ }\mu\text{g m}^{-3}$ (obr. 1). Největší koncentrace byla zaznamenána v případě OSB1 desek ($1075\text{ }\mu\text{g m}^{-3}$). Hranice komfortu nebyla překročena v případech tapety a omítky ($121,2\text{ }\mu\text{g m}^{-3}$) a textilní krytiny ($142,2\text{ }\mu\text{g m}^{-3}$).



Obr. 1. Povrchové úpravy stavebních konstrukcí a TVOC

Tabulka I
Povrchové úpravy stavebních konstrukcí a identifikované VOC

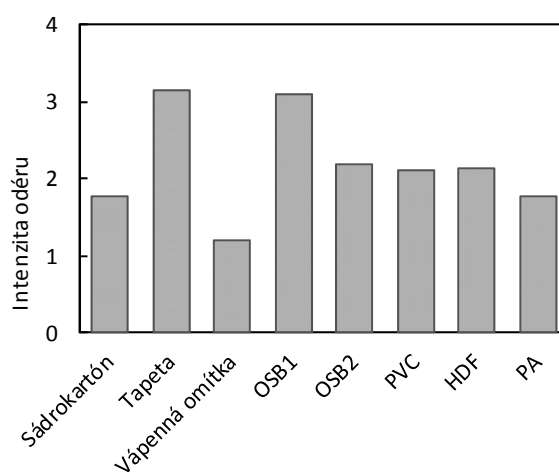
Znečišťující látka [$\mu\text{g m}^{-3}$]	Materiál							
	sádrokarton	tapeta	omítka	OSB1	OSB2	PVC	HDF	PA
1-Butanol	–	–	–	–	–	7,292	6,424	4,861
1-Butylacetát	4,34	–	–	2,083	2,013	19,097	5,903	2,778
Aceton	111,111	34,444	29,864	134,375	110,81	20,833	16,667	6,597
Benzen	8,533	9,917	8,353	30,903	21,64	10,582	13,035	7,873
Ethanol	17,882	54,444	16,433	17,014	13,646	33,854	13,368	60,417
Ethylacetát	44,792	15,556	31,656	18,229	14,343	150,35	14,063	9,722
Isobutylalkohol	1,042	2,5	1,912	5,035	4,210	2,951	2,951	1,736
<i>m</i> -Xylen	–	–	–	1,96	1,8	2,012	3,618	–
Methylacetát	3,646	6,944	4,844	–	–	9,722	11,458	6,597
<i>o</i> -Xylen	–	–	–	–	–	–	3,307	–
Tetrachloretylen	–	2,578	–	–	–	–	–	–
Toluen	4,167	5	4,343	4,34	4,3	39,063	19,097	3,299
Amylalkohol	–	–	–	–	–	–	1,389	–



Obr. 2. Povrchové úpravy stavebních konstrukcí a vnímaná přijatelnost vzduchu

V souladu s požadavkem pro emise TVOC nízko emitujících materiálů ($< 0,2 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) bylo stanoveno specifické uvolňování emisí I_{TVOC} pro vybrané stavební materiály (tab. II). Testované povrchové úpravy až na textilní krytinu, tapetu, sádrokarton a omítku nesplnily požadavek pro nízko emitující materiály a zařazují se tím do kategorie znečišťujících materiálů.

Vliv povrchových úprav stavebních konstrukcí na vnímanou kvalitu vzduchu se v souladu s mezinárodními



Obr. 3. Povrchové úpravy stavebních konstrukcí a intenzita oděru

metodikami posuzoval pomocí známých senzoričkových metod. Výsledky senzoričkové hodnocení vnímané kvality vzduchu pomocí škály intenzity oděru vnímané přijatelnosti vzduchu jsou uvedeny na obr. 2 a 3.

Prah vnímání zjištěných prchavých organických látek nebyl překročen, navzdory tomu byla zaznamenána senzoričková odezva a je možné předpokládat, že oděrové látky budou obtěžovat uživatele budov jako směsi. Ze sledovaných povrchových úprav splnily současné požadavky na

Tabulka II
Specifické uvolňování emisí TVOC

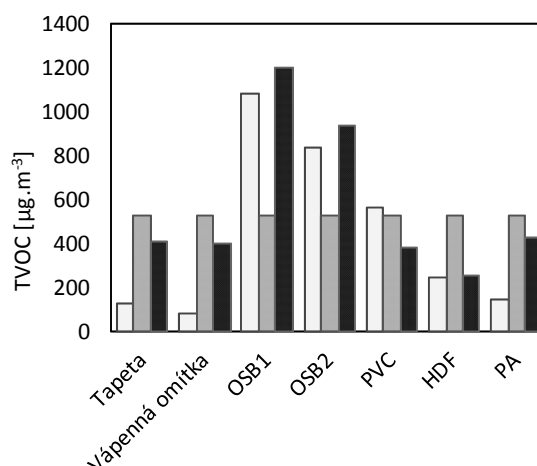
Materiál	I_{TVOC} [$\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$]
Sádrokartón	0,188
Tapeta	0,043
Vápenná omítka	0,038
OSB1	1,12
OSB2	0,87
PVC	0,57
Dřevovláknité desky HDF	0,24
PA textilní krytina	0,141

minimální intenzitu oděru textilní krytina, sádrokarton, vápenná omítka a žádný na vnímanou přijatelnost vzduchu. Nejvyšší míra nespokojenosti byla zaznamenána v případě OSB1 desek.

Interakce jednotlivých povrchových úprav stavebních konstrukcí

Chemická analýza hodnocených kombinací materiálů prokázala zvýšený výskyt některých prchavých organických látek (ethylacetát, methylacetát, ethanol, aceton, benzen a toluen). Stanovené koncentrace znečišťujících látek pro jednotlivé stavební materiály jsou uvedeny v tab. III. Ze znečišťujících látek, pro které jsou vyhláškou stanovené nejvyšší přípustné hodnoty, byly detegované pouze toluen a *m*-xylen, které nepřekročily nejvyšší přípustnou koncentraci⁴.

Studium efektu sorpce bylo uskutečněné pro obdobné kombinace povrchových úprav stěnových a podlahových konstrukcí prostřednictvím zjišťování míry snížení koncentrace sumy prchavých organických látek. Efekt sorpce byl jednoznačně prokázán při kombinaci sádrokartonu

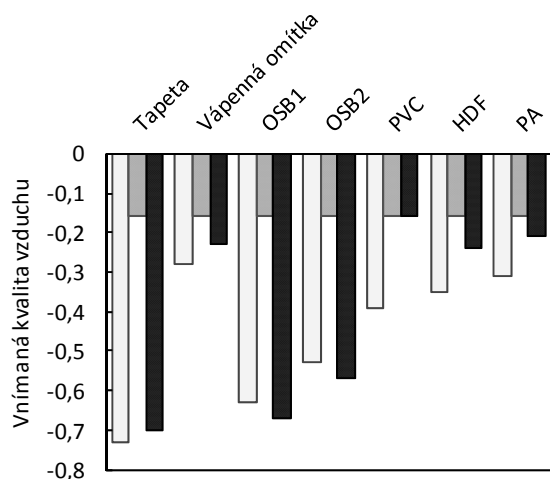


Obr. 4. Efekt sorpce na interakce sledovaných materiálů – sádrokartón/individuální materiál (chemická analýza); □ individuální materiál, ■ sádrokartón, ■ kombinace

s HDF krytinou, PVC krytinou a PA textilní krytinou. Při kombinaci sádrokartonu s OSB deskou efekt sorpce prokázaný nebyl (obr. 4).

Vliv kombinací materiálů na vnímanou kvalitu vzduchu se obdobně jako u individuálních materiálů sledoval popsáními senzoričnými metodami. Výsledky hodnocení vnímané kvality vzduchu pomocí škály intenzity oděru a vnímané přijatelnosti vzduchu jsou uvedeny na obr. 5 a 6. Obdobně jako u samostatně hodnocených materiálů, tak ani u jejich kombinací práh vnímání zjištěných prchavých organických látek nebyl překročen. Žádné ze sledovaných povrchových úprav nespĺnily současně požadavky na minimální intenzitu oděru a vnímanou přijatelnost vzduchu. Efekt sorpce na vnímanou kvalitu vzduchu byl studován pro obdobné kombinace materiálů jako studium efektu sorpce na chemické znečištění vzduchu prchavými

Znečišťující látka [$\mu\text{g m}^{-3}$]	Povrchová úprava – stěnová konstrukce / podlahová konstrukce				
	Sádrokarton +				
	OSB1	OSB2	PVC	HDF	PA
1-Butylacetát	7,2	7,2	2,778	4,444	
Aceton	8,15	8,15	125,5	273,889	356,713
Benzen	28	21	9,461	7,889	9,537
Ethanol	25	24	33,33	31,111	35,88
Ethylacetát	65	51	18,75	11,389	14,12
Isobutylalkohol	2,3	–	–	–	1,389
<i>m</i> -Xylen	–	–	–	–	–
Methylacetát	–	–	–	–	–
Toluen	19	10	3,472	4,444	4,167
Amylalkohol	1,7	0,9	0,694	0,833	0,694



Obr. 5. Efekt sorpce na interakce sledovaných materiálů – sádrokartón/individuální materiál (senzorické hodnocení, škála přijatelnosti vzduchu); □ individuální materiál, ■ sádrokartón, ■ kombinace

organickými látkami. Efekt sorpce byl jednoznačně prokázán při kombinaci sádrokartonu s HDF a PVC. U kombinací sádrokartonu s OSB a textilní polyamidovou krytinou efekt sorpce na vnímanou kvalitu vzduchu nebyl prokázán v obou sledovaných ukazatelích (obr. 5).

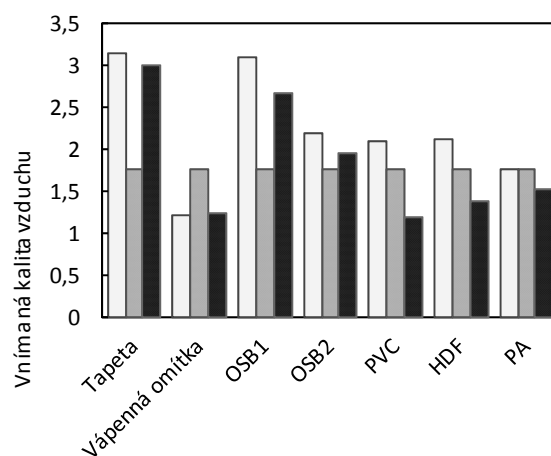
Výraznější efekt sorpce na vnímanou kvalitu vzduchu byl sledován pro sádrokarton v kombinacích se sledovanými materiály určenými na povrchové úpravy podlahových konstrukcí. Sledovaný efekt sorpce však nebyl dostatečný na to, aby při daných okrajových podmínkách byla současně dosažena obě dvě kritéria – minimální přijatelnost vnímané kvality vzduchu a maximální intenzita oděru.

Opětovně se prokázaly problémové výsledky kombinací OSB desek s jinými materiály pro účel využití efektu sorpce na snížení koncentrace chemického znečištění vzduchu a na zlepšení vnímané kvality vzduchu, což si vyžaduje další výzkumné a experimentální práce.

Závěr

Navrhování nízkoemitujících stavebních materiálů se jeví jako nejvhodnější způsob udržení co nejnižší úrovně chemického znečištění vzduchu a oděrové zátěže prostředí v budovách. Trend zabezpečení kvality vnitřního prostředí a respektování znečištění budov prostřednictvím kontroly emisí vybraných chemických látek je v současnosti podpořen i evropskou legislativou v oblasti vnitřního prostředí budov.

Prezentované výsledky chemické analýzy a senzorickeho hodnocení za standardních testovacích podmínek potvrdily, že běžně používané povrchové úpravy konstrukcí (HDF, OSB a PVC) spadají do kategorie znečišťujících



Obr. 6. Efekt sorpce na interakce sledovaných materiálů – sádrokartón/individuální materiál (senzorické hodnocení, škála intenzity oděru); □ individuální materiál, ■ sádrokartón, ■ kombinace

(ne nízkoemitujících) materiálů. U většiny testovaných kombinací byl zaznamenán pozitivní vliv sorpce na koncentraci prchavých organických látek a vnímanou kvalitu vzduchu. Efekt sorpce však nebyl dostatečný na to, aby při daných okrajových podmínkách byla pro experimentálně posuzované kombinace materiálů splněna všechna sledovaná kritéria kvality vzduchu (TVOC, intenzita oděru, přijatelnost vzduchu).

Účelné a cílené kombinace materiálů se jeví jako vhodný nástroj na zlepšení vnímané kvality a snížení chemického znečištění prostředí. Celkové hodnocení environmentální bezpečnosti prostředí v budovách si vyžaduje širší a komplexnější pojetí teorie stresu a strainu ve vazbě na uživatele budov.

LITERATURA

1. EN 15251:2007 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics © 2007 CEN.
2. Šenitková I., Bučáková, M.: *Proc of the 10th International conference on indoor air quality and Climate: Indoor Air 2005*. str. 2019. Beijing 2005.
3. Šenitková I., Bučáková, M.: *Selected Scientific Papers*, str. 153. Technical University of Kosice, Faculty of Civil Engineering, vol. 1, Kosice 2005.
4. *Vyhláška č. 6/2003 Sb. kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.*

I. Šenitková and P. Bednářová (*The Institute of Technology and Business in České Budějovice, České Budějovice*): **Environmental Suitability of Building Materials and Perceived Air Quality – Interior Surfaces**

The indoor air pollution with respect to indoor surface materials is characterized by volatile organic compound occurrence and perceived indoor air quality. The volatile organic compound concentrations represent an adequate indicator for indoor odors. The level of their occurrence increases with increasing amounts of non-low polluting indoor materials used. Authors' research deals with the occurrence, transfer and distribution of indoor pollutants in buildings and their relation to the HVAC systems. The effect of the interactions of selected surface materials and that of the sorption was followed in a test chamber and

compared with real conditions. The chemical analysis and sensory assessments proved that commonly used interior surface materials belong to the non-low polluting materials. For most materials, the possibility of using the sorption ability of their surfaces was confirmed. The results demonstrate that the sorption ability differs for various materials and also for various combinations of the same materials. However, the sorption effect appeared to be insufficient for the indoor material combinations under study because the indoor air quality criteria were not met. The knowledge of the sorption effect can be utilized during the interior design stage already. Sustainable and aimed material combination design is considered to be a suitable tool to improve the perceived indoor air quality and to decrease the chemical pollution.