

KVALITA VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ UČEBEN

Daniela TESAŘOVÁ, Petr ČECH

Abstrakt: *Príspevek řeší problematiku kvality vnitřního prostředí výukových učeben. Cílem práce bylo stanovit závislost kvalitativního a kvantitativního složení emisí VOC (Volatile organic compounds) emitovaných vnitřním prostředím posuzovaných učeben. Cílem práce bylo stanovit, závislost kvalitativního a kvantitativního složení emisí VOC, jež ovlivňují obytné či pobytové prostředí nacházející se v bezprostřední blízkosti prostředí pracovnímu u školních truhlářských dílen v rámci jedné budovy. Za posuzované objekty byla zvolena základní a střední odborná škola v Opavě a Mendelova univerzita v Brně. Výsledkem práce je stanovení kvalitativního a kvantitativního složení emisí VOC emitované pracovními, obytnými či pobytovými místnostmi, včetně stanovení celkového zatížení emisemi VOC tzv. TVOC (total volatile organic compounds). Vzorky ovzduší pracovních, obytných a pobytových prostor zatížené emisemi VOC byly odebírány pomocí čerpadla na odběrové desorpční trubičky. Metodika odběru vzorků byla prováděna dle normy ČSN EN ISO 16000 - 1, 5, stanovující parametry měření emisí VOC.*

Klíčová slova: *VOC, plynová chromatografie, učebna, vnitřní prostředí, TVOC*

Úvod

Nárůstem množství výrobků z různých materiálů, používaných v obývaných interiérech dochází ke zvyšování koncentrací škodlivých těkavých organických sloučenin v těchto prostorách. Tomuto nárůstu napomáhá v současné době tolik populární snižování energetické náročnosti staveb a to např. použitím dokonale těsnících oken a dveří. Díky zvýšeným koncentracím těchto VOC látek dochází k nárůstu zdravotních problémů lidí, kteří se v těchto interiérech pohybují.

Zdravé vnitřní prostředí se tudíž stává stále více důležitou otázkou. Při měření znečištění ovzduší v průměrném interiéru se zjistilo, že znečištění ovzduší v interiéru je 2-5 x koncentrovanější, někdy i 10 x, než v exteriéru a v tomto prostředí tráví většina lidí až 90 % svého času (EPA, 1998), což se projevuje tzv. Sick Building Syndrome SBS a Building Related Illness BRI nemoci souvisí s budovami. Jedním z hlavních původců SBS a BRI jsou organické těkavé látky VOCs, které jsou dlouhodobě emitovány do ovzduší interiéru stavebním materiálem, nábytkem, ale i ostatním zařízením. Vlastní VOC látky jsou také produkty metabolismu lidí, zvířat a mikroorganismů. Jejich kon-

centrace ve vnitřních prostorech může být také výrazně ovlivněna aktivitou obyvatel. Mezi organické těkavé látky, které jsou obsaženy v ovzduší interiéru, patří karcinogenní látky, zdraví škodlivé, alergizující látky, látky škodlivé pro plod.

V tomto příspěvku je pozornost zaměřena na kvalitu ovzduší v obyvatelských prostorech, jako jsou univerzitní specializované a nesespecializované učebny a školní dílny. Ze specializovaných učeben byly pro účel tohoto měření vybrány počítačová učebna, laboratoř sloužící pro výuku materiálů určených k povrchové úpravě dřeva a školní truhlářská dílna. Výsledkem je pak jejich vzájemné porovnání a porovnání s limitními hodnotami vybraných zástupců emisí VOC uváděných vyhláškou č. 6/2003 platnou v České republice.

Tabulka 1: Požadavky pro obyvatelské místnosti Limitní koncentrace VOC ve vnitřním prostředí obyvatelských místností (vyhláškou MZČR)

Organické těkavé látky	Vzorec	NPK (nejvyšší přípustné koncentrace) dlouhodobé [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]
Benzene	C_6H_6	7
Toluene	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	300
o,m,p-Xylene	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$	200
Styrene	$\text{C}_6\text{H}_5\cdot\text{CH}\cdot\text{CH}_2$	40
Ethylbenzene	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_3$	200
Formaldehyde	HCHO	60
Trichlorethylene	$\text{CCl}_2\text{:CHCl}$	150
Tetrachlorethylene	$\text{CCl}_2\cdot\text{CCl}_2$	150

S pojmem VOCs je spojen i pojem TVOC (total volatile organic compounds) používaný při měření celkové množství organických těkavých látek v atmosféře vnitřního prostoru. Hodnota TVOC udává indikaci stavu znečištění vzduchu vnitřního prostoru.

Termín TVOC (total volatile organic compounds) se používá při měření složení vzduchu vnitřního prostředí a při stanovení celkového množství organických látek v ovzduší. Hodnotu TVOC stanovíme pomocí plynového chromatografu, kde se na chromatogramu jednotlivé plochy píků všech organických těkavých látek emitovaných mezi hexanem a hexadekanem sčítají a následně se součet ploch píků kalibruje na hodnotu ekvivalentu toluenu.

Tabulka 2: Požadavky na hodnoty TVOC ve vnitřním prostředí interiéru budov (Jokl, 2002)

Toxická těkavá organická látka	NPK průměrné [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]		NPK optimální [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]		Poznámka
	krátkodobé	dlouhodobé	krátkodobé	dlouhodobé	
Formaldehyde	120	60	60	60	
TVOC	600	300	300	300	Jednotlivé VOC nesmí překročit daný vlastní limit daný vyhláškou 6/2003

Cíl výzkumu

Příspěvek se zabývá problematikou emisí organických těkavých látek uvolňovaných z pobytového či pracovního prostředí. Cílem práce bylo stanovit závislost kvalitativního a kvantitativního složení emisí VOC, jež ovlivňuje pracovní prostředí pobytové, nacházející se v bezprostřední blízkosti prostředí pracovnímu, ve školních truhlářských dílnách v rámci jedné budovy.

Příspěvek řeší problematiku emisí VOC emitovaných vnitřním prostředím školních budov. Měření kvality ovzduší, z hlediska emisního zatížení organickými těkavými látkami byla realizována v době, kdy ve školních truhlářských dílnách probíhala výuka, přičemž ve stejné době bylo prováděno měření vnitřního prostředí výukových učeben, umístěných v témže objektu. Naměřené hodnoty emisí VOC ve výukových učebnách byly porovnávány s naměřenými hodnotami školních truhlářských dílen.

Materiály, zařízení a metodiky

Posuzované místnosti

- klasické výukové učebny
 - ▶ Mendelova univerzita v Brně
 - ▶ ZŠ v Opavě
 - ▶ SOŠ v Opavě
- specializované učebny
 - ▶ Mendelova univerzita v Brně (počítačová učebna)
- školní specializovaná laboratoř
 - ▶ Mendelova univerzita v Brně (laboratoř určená k testování nátěrových hmot a lepidel)
- školní truhlářské dílny
 - ▶ Mendelova univerzita v Brně
 - ▶ SOŠ v Opavě

Použité zařízení

- plynový chromatograf Agilent GC 6890 N s MS (hmotnostní spektrometr) detektor 5973 s cryofokusací, termální desorpce a kapilární spekter NIS 05, typ kapilární kolony HP – 5 (AGILENT USA);
- tepelná desorpce **Scientific Instrument Services, model TD4;**
- odběrové čerpadlo vzduchu Gilian – LFS 113 SENSIDINE s průtokem vzduchu 6 l.h⁻¹. and 12 l.h⁻¹; čerpadlo bylo kalibrováno v ČMI;
- odběrová kovová desorpční trubička, vnitřní průměr 4 mm, inner diameter 4 mm, naplněná 100 mg sorbentu Tenax TA (Scientific Instrument Services company) určená pro detekování emisí VOC emitovaných ze zkušebních vzorků metodou zkušební komory.

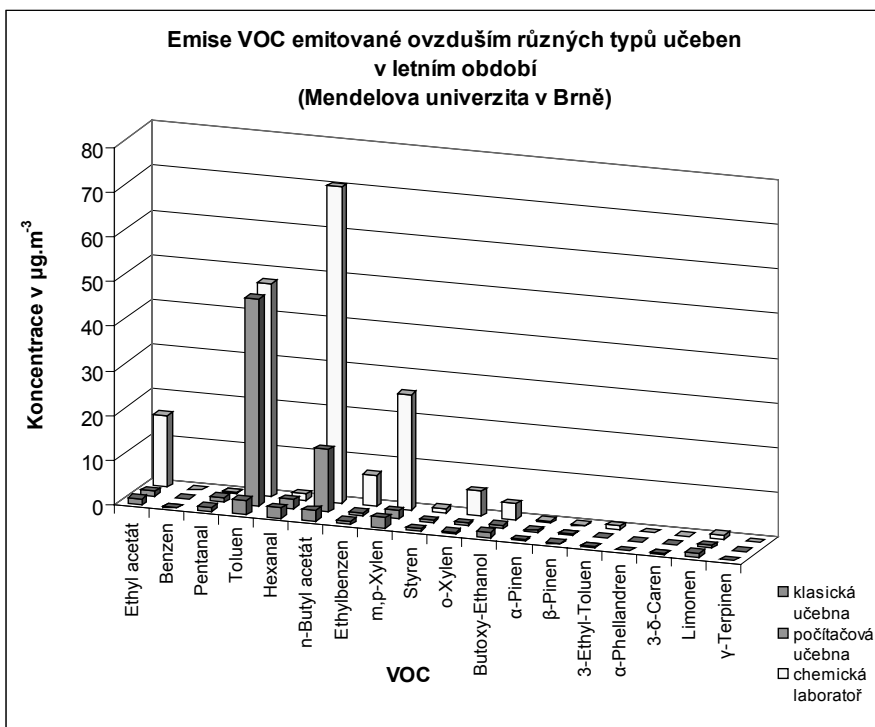
Metodiky stanovení emisí VOC byly prováděny podle těchto norem a vyhlášek:

ISO 16000: 2004 Vnitřní ovzduší

ISO 16000-1: 2004	Obecná hlediska odběru vzorků
ISO 16000-5: 2005	Postup odběru vzorků těkavých organických látek (VOC)
ISO 16000-11: 2004	Stanovení emisí těkavých organických látek ze stavebních materiálů a nábytku - Odběr, uchování a úprava vzorků
Vyhláška 6/2003	Vyhláška, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb
Metodický návod	pro měření a stanovení chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů kvality vnitřního prostředí podle vyhlášky č. 6/2003 Sb.

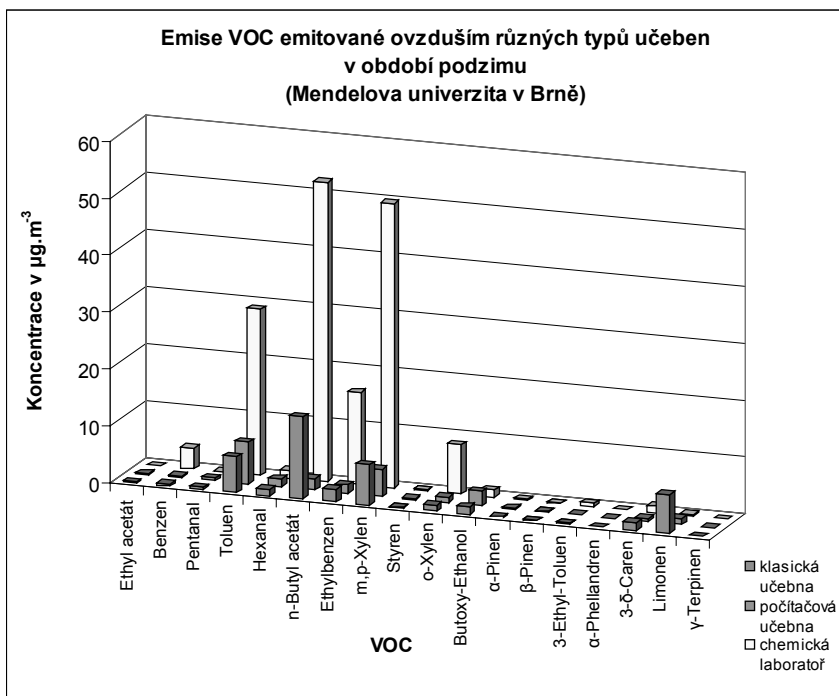
Výsledky měření

- a) Porovnání různých typů učeben z hlediska emisního zatížení VOC látkami (Mendelova univerzita v Brně) v závislosti na ročním období (léto a podzim)



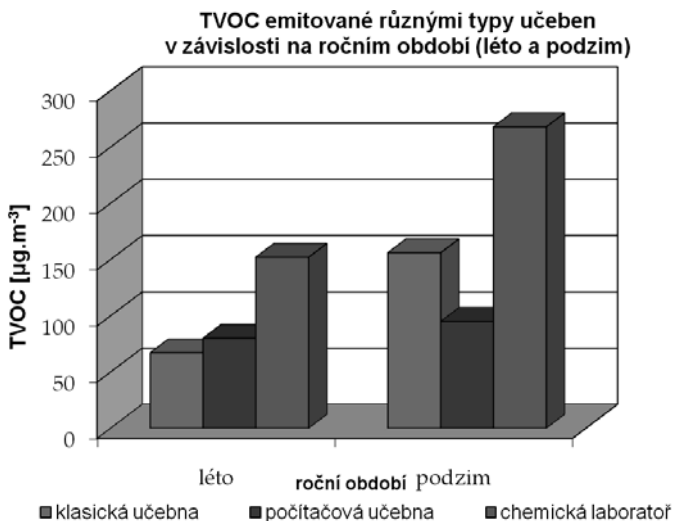
Obrázek 1: Emise VOC emitované ovzduším různých typů učeben v letním období – (Mendelova univerzita v Brně)

Obrázek 1 ukazuje emise VOC emitované ovzduším různých typů učeben v letním období, lokalita – Brno. Měřením bylo zjištěno malé množství látek, jako je benzen, pentanal, hexanal, styren, α a β -Pinen, 3-ethyl toluen, α -phellandren, 3- δ -Caren nebo γ -Terpinen. Ovzduší učebny bylo kontaminováno velkým množstvím VOC látek. Tento jev můžeme pozorovat zejména uprostřed obrázku 1. Vnitřní prostředí učebny emitovalo přes $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ toluenu a n-butyl acetátu a více než $20 \mu\text{g.m}^{-3}$ Σ m,p-xylenů, přičemž tyto koncentrace organických těkavých látek byly naměřeny u počítačové učebny a u specializované laboratoře. Nejvyšší emise VOC byly zjištěny u specializované laboratoře.



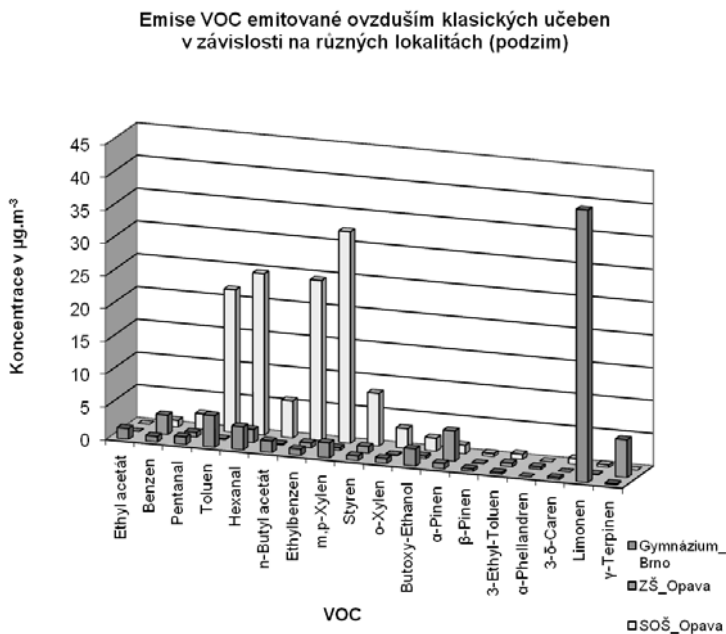
Obrázek 2: Emise VOC emitované ovzduším různých typů učeben v období podzimu – (Mendelova univerzita v Brně)

Obrázek 2 zobrazuje emise VOC emitované ovzduším různých typů učeben v letním období, lokalita – Brno. Toto měření vykazovalo nízké hodnoty koncentrací u ethyl acetátu, benzenu, pentanalu, hexanalu, styrenu, butony ethanolu, α a β -Pinen, 3-ethyl toluen, α -phellandrenu a 2-ethyl toluenu, 3- δ -Carenu, limonenu nebo γ -Terpinenu. Posuzované ovzduší interiéru specializované laboratoře emitovalo větší množství toluenu o koncentraci přesahující $29 \mu\text{g.m}^{-3}$, n-butyl acetátu a sumy m,p-Xylenů ($>50 \mu\text{g.m}^{-3}$). Naměřené hodnoty u ethyl benzenu, a ethylbenzenu nepřevyšovaly koncentraci $20 \mu\text{g.m}^{-3}$. Z výsledků měření je patrné, že nejvyšší koncentrace sledovaných zástupců organických těkavých látek byly naměřeny u specializované laboratoře.



Obrázek 3: TVOC emitované ovzduším různých typů učeben v období v závislosti na ročním období (léto a podzim) – Mendelova univerzita v Brně

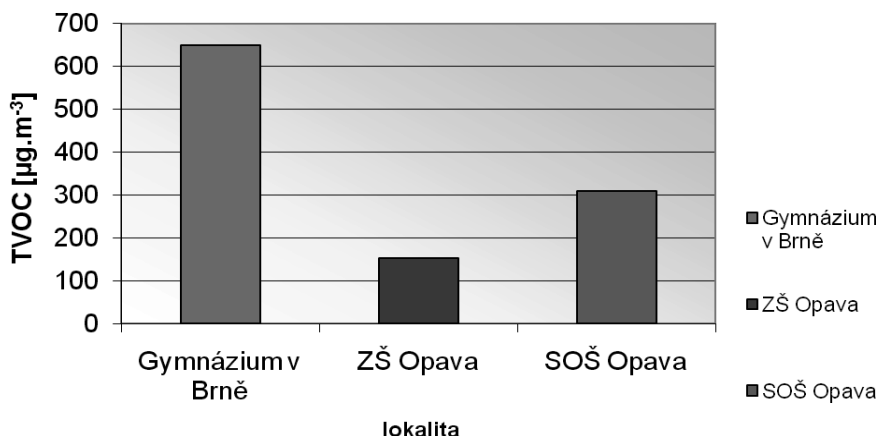
b) Porovnání emisí VOC emitované klasickými učebnami v závislosti na lokalitě



Obrázek 4: Emise VOC emitované ovzduším klasických učeben v závislosti na lokalitách (podzim)

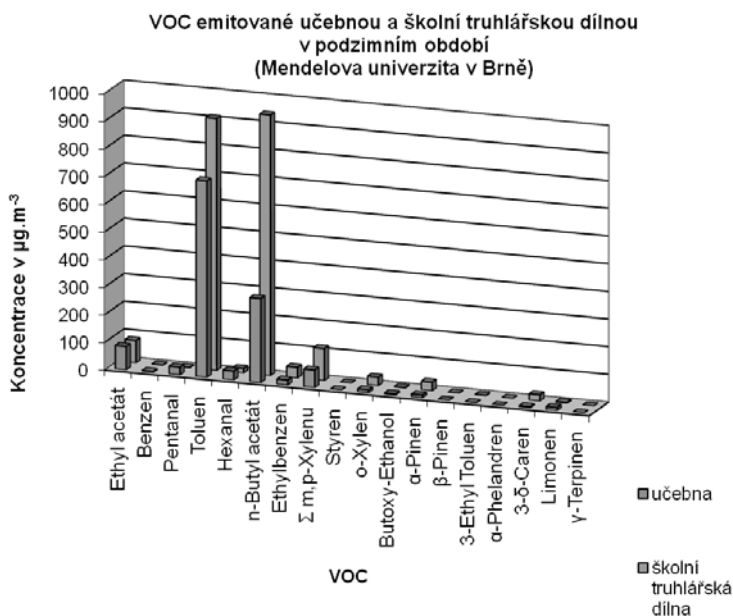
Obrázek 4 zobrazuje kvantitativní a kvalitativní složení emisí VOC v ovzduší klasických výukových učeben, které jsou umístěné ve dvou lokalitách (Brno a Opava). Měření kvality ovzduší výukových učeben se provádělo v podzimním období. Měření vykazovalo malé množství benzenu, pentanal, hexanal, styrenu, butoxy-ethanolu, α -pinenu, β -pinenu, 3-ethyl toluenu, α -phelandrenu, 3- δ -carenu nebo γ -terpinenu, a to ve všech třech posuzovaných učebnách. Nejvíce emise emitovala výuková učebna v SOŠ Opava, a to především toluen, hexanal a ethylbenzen v množství převyšující $20\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a xyleny ($>30\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Nejvyšší hodnota byla naměřena u limonenu v učebně na gymnáziu v Brně ($>40\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), což se odůvodňujeme používáním kosmetických přípravků.

TVOC emitované ovzduším klasických učeben v závislosti na lokalitě (podzim)



Obrázek 5: TVOC emitované ovzduším klasických učeben v závislosti na lokalitě

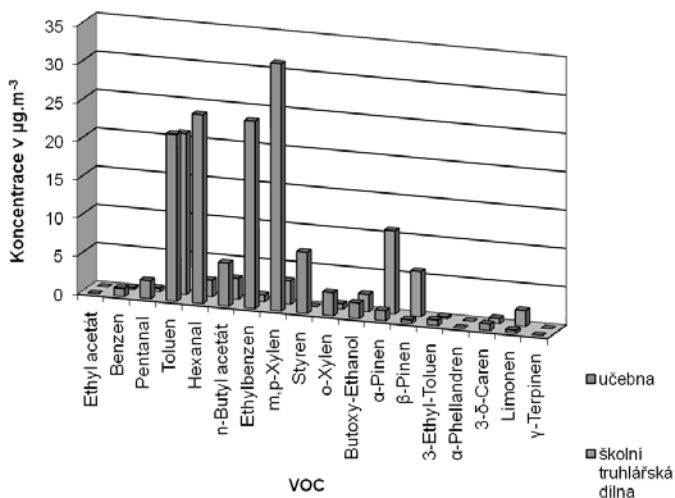
- c) Porovnání emisí VOC emitované klasickou výukovou učebnou a školní truhlářskou dílnou, která je situována v témže objektu.



Obrázek 6: Emise VOC emitované klasickou učebnou a školní truhlářskou dílnou v podzimním období (Mendelova univerzita v Brně)

Obrázek 6 zobrazuje porovnání emisního zatížení výukové učebny a školní truhlářské dílny, které jsou umístěné v témže objektu (Mendelova univerzita v Brně), přičemž měření bylo prováděno na podzim. Z provedeného měření je zřejmé, že školní truhlářská dílna má na kvalitu vnitřního prostředí výukové učebny značný vliv. Tato skutečnost je patrná především u látek jako ethyl acetát, toluen a butyl acetát, které jsou ve značném množství emitované truhlářskou dílnou. Výuková učebna emitovala více než $700 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ toluenu, což je hodnota převyšující více než 2krát hygienický limit ($300 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), u butyl acetátu byla rovněž naměřena hodnota převyšující $300 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (hyg. limit u této látky není stanoven).

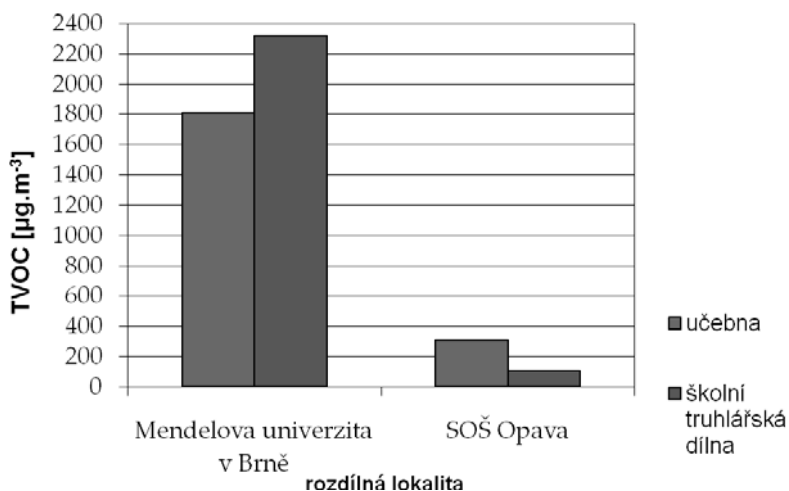
VOC emitované učebnou a školní truhlářskou dílnou
v podzimním období
(SOŠ Opava)



Obrázek 7: Emise VOC emitované klasickou učebnou a školní truhlářskou dílnou v podzimním období (SOŠ Opava)

Obrázek 7 zobrazuje porovnání emisního zatížení výukové učebny a školní truhlářské dílny, které jsou umístěné v témže objektu (SOŠ Opava), přičemž měření bylo prováděno na podzim. Z dosažených výsledků je patrné, že školní truhlářská dílna nemá výrazný vliv na kvalitu vnitřního prostředí výukové učebny. Některé sloučeniny emituje výuková učebna ve větším množství než truhlářská dílna (pentanal, hexanal, etylbenzen, xyleny, styren). Naměřené hodnoty uvedených sloučenin nepřekračují hodnotu 36 µg.m⁻³, což je hodnota hluboko pod hygienickým limitem.

**TVOC emitované učebnou a školní truhlářskou dílnou
v závislosti na lokalitě
(Mendelova univerzita v Brně, SOŠ Opava)**



Obrázek 8: TVOC emitované ovzduším klasické učebny a školní truhlářské dílny v závislosti na lokalitě

Závěr

Na základě vyhodnocení dosažených výsledků lze konstatovat, že výrazný vliv na kvalitu vnitřního prostředí učeben má:

- účel učebny (klasická výuková, počítačová, školní dílna, chemická laboratoř)
- intenzita větrání místnosti (roční období);
- práce v místnosti (laboratoř sloužící pro výuku materiálů určených k povrchové úpravě dřeva);
- situování místnosti (blízkost dílny s dokončováním nábytkových dílců apod..).

Naměřené hodnoty emisí VOC nepřekračují povolené hygienické limity u sledovaných učeben dle vyhlášky MZČR 6/2003, kromě výukové učebny sousedící s truhlářskou dílnou (Mendelova univerzita v Brně). Zde došlo k překročení hygienického limitu u toluenu.

Literatura

- BRUNECKÝ, P.; TESAŘOVÁ, D.: *Emise VOC z nábytkových dílců*. Brno: Ing. Zdeněk Novotný, CSc., 2005 68 s. ISBN 80-7355-040-7.
- BAGDA, E.:1996. *Emissionen aus Beschichtungsstoggen*, 1996 ISBN 3-8169-1274-5. standard MZČR č.6/2003
- BOTZENHART, K.; MULLER, H.; STRUBELT, O. *Innenraum-Luftverunreinigungen*. 2001 ISBN 3-8169-2006-3

ISO 16 000-6 Indoor air VOC part 6 Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA® sorbent, thermal desorption and gas chromatography MS/FID, ISO 2004 s.9-10, ISO 16000-6:2004 (E).

JOKL, M. *Zdravé obytné a pracovní prostředí*, Praha: AVČR, 2002 76 s. ISBN 80-200-0928.

THE QUALITY OF INDOOR AIR IN CLASSROOM

Abstract: This contribution investigates the problematic of volatile organic compounds emitted into the indoor air. The main goal of research was to compare quality of indoor air the various kind of classroom. The measurements were done continuously during two year seasons (summer and autumn) and three locations (Mendel University in Brno, grammar school in Brno, secondary school in Opava). The results were evaluated quantitatively and qualitatively. Quantitative difference of entire emitted organic compounds showed the measured values of TVOC. The testing was focused also on the contain of the VOC emitted blends e.g. benzene, toluene, ethyl benzene, xylene and terpene (limonene). Measured amounts of VOC were compared with results of indoor air quality in classrooms without any workshops in the same building. All reached results were compared with limits mandated in the standard of Ministry of Health of the Czech Republic.

Key words: VOC, gas chromatography, classroom, indoor air, TVOC