

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ
ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO
PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY
INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

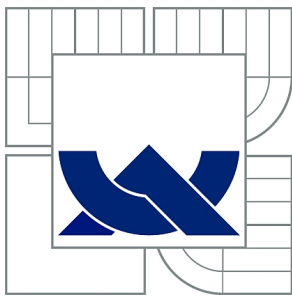
POSOUZENÍ KONTAMINACE PRACOVNÍHO OVZDUŠÍ V PODNIKU
GUMOTEX A.S. BŘECLAV
TĚKAVÝMI ORGANICKÝMI LÁTKAMI

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

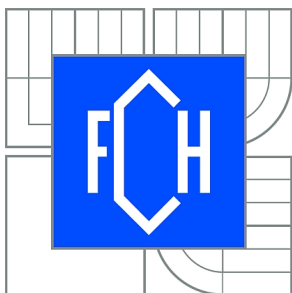
Bc. PAVLÍNA GAJDOVÁ

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF
ENVIRONMENTAL PROTECTION

POSOUZENÍ KONTAMINACE PRACOVNÍHO OVZDUŠÍ V PODNIKU GUMOTEX A.S. BŘECLAV TĚKAVÝMI ORGANICKÝMI LÁTKAMI

EVALUATION OF THE CONTAMINATION OF WORKING ENVIRONMENT IN THE GUMOTEX
BRECLAV
JOINT STOCK COMPANY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PAVLÍNA GAJDOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF ČÁSLAVSKÝ, CSc.

BRNO 2011



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

Zadání diplomové práce

Číslo diplomové práce:	FCH-DIP0467/2010	Akademický rok: 2010/2011
Ústav:	Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí	
Student(ka):	Bc. Pavlína Gajdová	
Studijní program:	Chemie a technologie ochrany životního prostředí (N2805)	
Studijní obor:	Chemie a technologie ochrany životního prostředí (2805T002)	
Vedoucí práce	doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.	
Konzultanti:		

Název diplomové práce:

Posouzení kontaminace pracovního ovzduší v podniku Gumotex a.s. Břeclav
těkavými organickými látkami

Zadání diplomové práce:

1. Vypracování literární rešerše zaměřené na problematiku pasivního vzorkování těkavých organických látek v ovzduší a jejich analýzu pomocí plynové chromatografie
2. Analýza pracovního ovzduší ve vybraných provozech podniku Gumotex Břeclav s využitím metody pasivního vzorkování
3. Přehledné zpracování a diskuse získaných experimentálních dat

Termín odevzdání diplomové práce: 13.5.2011

Diplomová práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu diplomové práce. Toto zadání je přílohou diplomové práce.

Bc. Pavlína Gajdová
Student(ka)

doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.
Vedoucí práce

doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.
Ředitel ústavu

V Brně, dne 15.1.2011

prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá posouzením kontaminace vybraného pracovního prostředí firmy Gumotex, a.s. těkavými organickými látkami s využitím pasivního vzorkování. V teoretické části je uveden popis těchto látek a jejich reakce v atmosféře, dále pak praktické využití vybraných látek a jejich účinky na lidské zdraví. Jsou zde popsány možnosti pasivního vzorkování a stanovení těchto látek. Obsahem experimentální části je vzorkování těkavých organických látek na dvou vybraných pracovištích firmy Gumotex, a.s. za použití pasivních vzorkovačů Radiello. Finálnímu stanovení plynovou chromatografií s plamenově ionizačním detektorem předcházela extrakce adsorpčních povrchů vzorkovače sirouhlíkem. Na závěr jsou porovnány získané údaje s přípustnými expozičními limity a nejvyššími přípustnými koncentracemi, které jsou definovány Státním zdravotním ústavem.

ABSTRACT

Diploma thesis deals with the assessment of volatile organic compounds contamination of selected working environment in Gumotex, joint stock company using passive sampling. The theoretical part contains description of these compounds and their reactions in the atmosphere, practical use of these substances and their effect on human health. The possibilities of passive sampling and determination of these substances are described as well. The experimental part contains analysis of volatile organic compounds at two selected workplaces in Gumotex, joint stock company using passive samplers Radiello. Final determination by gas chromatography with flame ionization detector was preceded by adsorption surface extraction of sampler with carbon disulfide. In conclusion, obtained data are compared with the permissible exposure limits and maximum allowable concentrations, which are defined by the National Health Institute.

Klíčová slova

těkavé organické látky, pasivní vzorkování ovzduší, Radiello, aktivní vzorkování ovzduší, pracovní prostředí, plynová chromatografie

Keywords

volatile organic compound, passive air sampling, Radiello, active air sampling, working environment, gas chromatography

GAJDOVÁ, P. *Posouzení kontaminace pracovního ovzduší v podniku Gumotex, a.s. Břeclav těkavými organickými látkami*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2011. 96 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....
podpis studenta

Poděkování:

Velmi děkuji doc. Ing. Josefu Čáslavskému, CSc. za cenné rady, ochotu a připomínky při zpracování této práce. Také bych velmi ráda poděkovala zaměstnancům firmy Gumotex, a.s., a to panu Ing. Zdeňku Tučkovi a panu Petru Ščukovi za ochotu a spolupráci.

OBSAH

1. ÚVOD	7
2. TEORETICKÁ ČÁST	8
2.1 Těkavé organické látky	8
2.1.1 Zdroje těkavých organických látek.....	9
2.1.2 Fyzikální, chemické vlastnosti a reaktivita těkavých organických látek.....	10
2.1.3 Zástupci těkavých organických látek	14
2.1.3.1 Benzen	14
2.1.3.2 Toluén	15
2.1.3.3 Xylen.....	16
2.1.3.4 Ethylbenzen	17
2.1.3.5 Styren	18
2.1.3.6 Cyklohexan	19
2.1.3.7 Aceton	20
2.1.3.8 Tetrahydrofuran	21
2.1.3.9 Methylethylketon	22
2.2 Vzorkování.....	23
2.2.1 Vzorkování ovzduší v pracovním prostředí.....	23
2.2.2 Pasivní vzorkování	23
2.2.2.1 Vzorkovače rovnovážné	24
2.2.2.2 Vzorkovače integrativní.....	24
2.2.2.3 Rozdíly mezi axiální a radiální difúzí.....	25
2.2.2.4 Pasivní dozimetr Radiello	27
2.2.2.5 Mikroextrakce na pevné fázi	29
2.3 Chromatografie	31
2.3.1 Plynová chromatografie.....	31
2.3.1.1 Mobilní fáze	32
2.3.1.2 Regulační systém	33
2.3.1.3 Injektor	34
2.3.1.4 Kolony	34
2.3.1.5 Detektory	35
2.4 Stanovení těkavých organických látek.....	36
2.4.1 Vzorkování	36
2.4.1.1 Aktivní vzorkování	36

2.4.1.2	Pasivní vzorkování.....	37
2.4.2	Stanovení pomocí plynové chromatografie.....	40
2.5	Gumotex a.s.	42
2.5.1	Látky používané na pracovištích firmy Gumotex, a.s.	42
2.5.1.1	Přípustné expoziční limity	42
2.5.1.2	Nejvyšší přípustná koncentrace	43
2.5.2	Oddělení číslo 322 - oprýžovaný textil.....	43
2.5.3	Oddělení 328 - výroba člunů	44
3.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	46
3.1	Přístroje, software, pracovní pomůcky a chemikálie	46
3.1.1	Přístroje Přístroje	46
3.1.2	Pracovní pomůcky	46
3.1.3	Chemikálie.....	46
3.1.4	Software pro zpracování a prezentaci dat.....	47
3.2	Pracovní postup.....	47
3.2.1	Odběr vzorků	47
3.2.1.1	Oddělení číslo 322 - oprýžovaný textil.....	49
3.2.1.2	Oddělení 328 - výroba člunů	51
3.2.2	Princip stanovení	52
3.2.3	Extrakce	53
3.2.4	Optimalizace nastavení plynového chromatografu	53
3.2.4.1	Nastavení plynového chromatografu	53
4.	VÝSLEDKY A DISKUZE	56
4.1	Kalibrační křivky a retenční charakteristiky sledovaných těžkých organických látek	56
4.1.1	Výpočet meze detekce a meze stanovitelnosti	64
4.2	Reálné vzorky.....	66
5.	ZÁVĚR	82
6.	POUŽITÁ LITERATURA.....	84
7.	SEZNAM ZKRATEK.....	90
8.	SEZNAM PŘÍLOH	91
9.	PŘÍLOHY	92

1. ÚVOD

Těkavé organické látky jsou převážně antropogenního původu a je mezi ně řazena široká skupina látek, a to alifatické i aromatické uhlovodíky, halogenové sloučeniny a aldehydy. Jsou hořlavé a při pokojových teplotách se uvolňují do prostředí, patří tedy mezi významnou skupinu polutantů ovzduší. Používají se při různých výrobcích, jako například při výrobě polymerů, kyselin, léčiv a kosmetických přípravků. Často se využívají jako rozpouštědla a ředidla barev, lepidel, čistících prostředků, zemědělských prostředků a také syntetických vonných látek [1–4].

Díky jejich rozmanitosti nelze zobecnit jejich dopad na zdraví. Při nízkých koncentracích je jejich účinek pouze smyslový. Krátká expozice vysoké koncentrace par těchto látek může způsobit bolesti hlavy, podráždění kůže, nevolnost, únavu a závratě. Při delší nebo opakované expozici pak může dojít k podráždění očí, dýchacích cest a také mohou působit na nervový systém. Některé VOCs, jako benzen, jsou karcinogenní. VOCs reakcemi s ozónem mohou tvořit podstatně toxičtější látky [1, 5].

Pro vzorkování těkavých organických látek je výhodné použít pasivní vzorkování, které je v posledních několika letech stále oblíbenější technikou vzorkování. Je vhodné pro monitoring nejen v pracovním prostředí vzhledem k době vzorkování, která se pohybuje v rozmezí několika dnů až týdnů. Získané údaje pak odrážejí průměrnou koncentraci sledovaných látek během celého období expozice. Oproti aktivnímu vzorkování je tato technika jednodušší a zejména při vzorkování ovzduší také levnější. Díky tomu, že k vzorkování není potřeba energie, lze tuto techniku využít i v odlehlých oblastech.

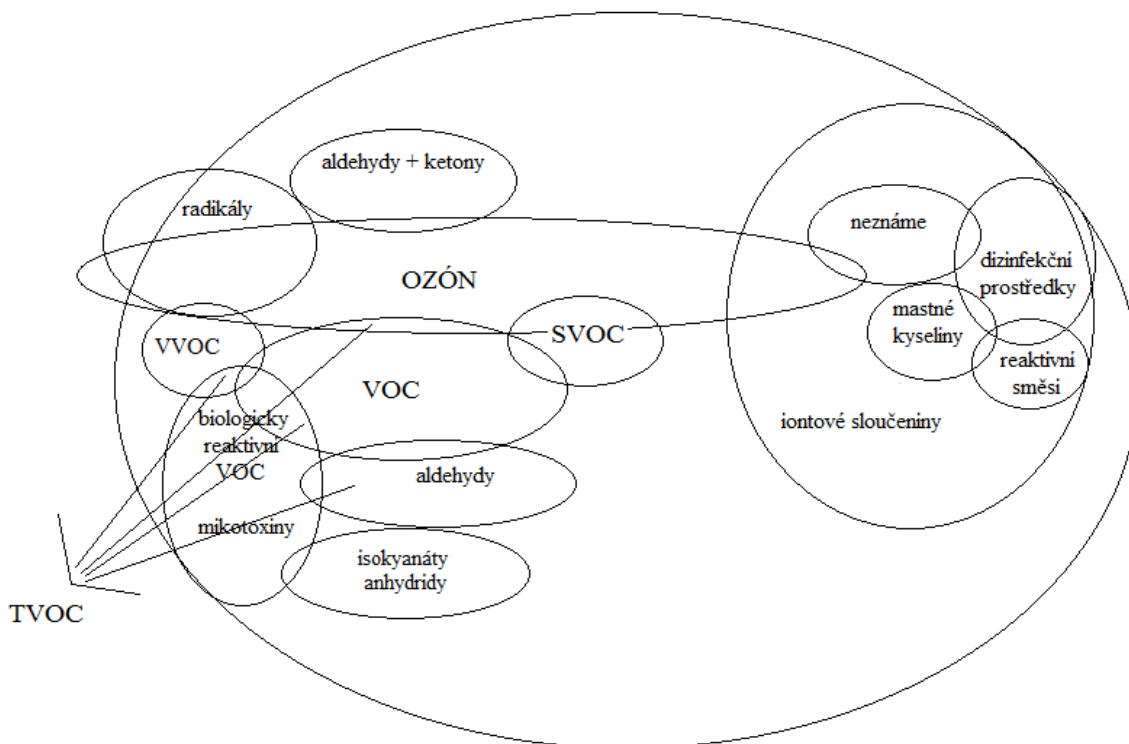
Těkavé organické látky se také ve velké míře používají v akciové společnosti Gumotex sídlící v Břeclavi. Jsou zde používány především jako rozpouštědla. Z většiny technologií, ve kterých se používají, jsou páry rozpouštědel odsávány ventilátory do rekuperačního zařízení. V tomto zařízení se zpětně získá až 92 % rozpouštědel, které se vracejí zpět do výroby.

Společnost vystupuje na trhu již 61 let. Má dlouholetou tradici ve výrobě povrchově upravených pogumovaných materiálů a také výrobě polyuretanových pěn, které vyrábí od 70. let minulého století. Tato společnost je certifikována podle norem ISO 9001, dále podle norem ISO/TS 16949. Má rovněž zaveden a uplatňován systém environmentálního řízení podle norem ISO 14001 [6].

Na pracovištích jsou koncentrace chemických škodlivin v pracovním ovzduší posuzovány podle zákona č.258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví v platném znění nařízení vlády číslo 361/2007 Sb., kterým jsou stanoveny podmínky ochrany zdraví při práci, příloha číslo 2, část A: Seznam chemických látek a jejich přípustné expoziční limity (PEL) a nejvyšší přípustné koncentrace (NPK-P).

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Těkavé organické látky



Obr. 1: Látky vyskytující se v ovzduší [7].

VVOC - velmi těkává organická látka, VOC - těkává organická látka, SVOC - semi volatilní organická látka, TVOC - celkové organické látky.

Těkavé organické látky patří mezi významnou skupinu znečišťujících látek ovzduší. Nacházejí se v oblastech velkých měst a průmyslu v nižších vrstvách atmosféry.

Tato významná skupina polutantů je označována nejen termínem těkávé organické látky (VOCs), ale také jako uhlovodíky (HCs), reaktivní organické plyny (ROGs), nemetanické těkávé organické sloučeniny (NM VOCs) a další [2].

Pro VOCs není zcela jednotná definice a jsou tedy definovány několika způsoby.

Zákon č. 86/2002 Sb. (o ochraně ovzduší) definuje VOC jako „jakoukoli organickou sloučeninu nebo směs organických sloučenin, s výjimkou methanu, jejíž počáteční bod varu je menší nebo roven 250 °C, při normálním atmosférickém tlaku 101,3 kPa“ [8].

Dle směrnice 1999/13/ES je VOC „jakákoli organická sloučenina, která má při teplotě 293,15 K tlak par 0,01 kPa nebo vyšší, nebo která za konkrétních podmínek použití vykazuje odpovídající těkavost. Pro účely této směrnice se za těkavou organickou sloučeninu považuje i frakce kreosotu, která překračuje uvedenou hodnotu tlaku par při teplotě 293,15 K“ [9–11].

Podle UN ECE jsou VOCs „všechny organické sloučeniny antropogenního původu, jiné než methan, které jsou schopné vytvářet fotochemické oxidanty reakcí s NO_x v přítomnosti

slunečního záření.“ Methan není řazen mezi VOCs, protože je přírodní. Také má odlišné chemické vlastnosti a nízkou fotochemickou oxidační aktivitu [2].

United States Environmental Protection Agency US EPA definuje VOCs jako látky, které obsahují uhlík a podílejí se na atmosférických fotochemických reakcích (tab. 1), neřadí však mezi ně, oxid uhelnatý, oxid uhličitý, kyselinu uhličitou, karbony a uhličitany kovů a uhličitany amonný [12].

Tabulka 1: VOCs podle definice EPA [2].

Skupina organických látek	Maximální počet atomů uhlíků
Aklany	10–11
Alkeny	10–11
Aromáty	10
Alkoholy	5–6
Aldehydy	7–8
Ketony	8
Monokarboxylové kyseliny	4–5
Estery	8–9
Ethery	9
Aminy	9
Heterocyklické N-sloučeniny	10–11

Podle všech výše uvedených definic patří do VOCs široká škála organických sloučenin jako nasycené, nenasycené a aromatické uhlovodíky, také sloučeniny obsahující kyslík, dusík, síru a halogeny. Mezi VOCs není řazen methan, který se nepodílí na reakcích atmosféře [11].

2.1.1 Zdroje těkavých organických látek

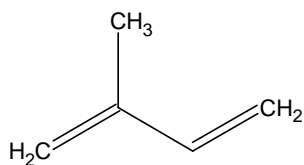
VOCs jsou všudypřítomné kontaminanty životního prostředí, které se vyskytují v plynné i kapalně fázi a mimo atmosféru jimi tedy mohou být znečištěny i vody a půda. Vstupy do ovzduší mohou být biogenní i antropogenní cestou, přičemž antropogenní zdroje se významnějším mírou podílejí na znečištění životního prostředí [3, 13].

Mezi antropogenní zdroje patří emise z chemického průmyslu, ve kterém jsou ve velké míře používány jako organická rozpouštědla například při výrobě laků, ředidel, nátěrových hmot, barev, adheziv a maziv.

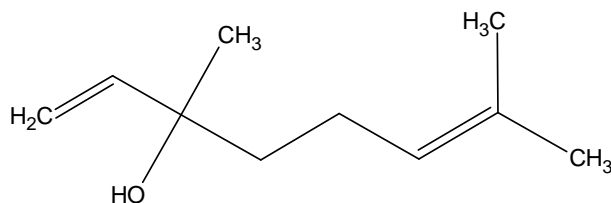
VOCs jsou také uvolňovány při zpracování ropy, během skladování a manipulace s ropnými surovinami a produkty, tedy například při evaporaci benzínových par. Uvolňování ovlivňuje teplota, kdy při vyšší teplotě dochází k zvýšenému úniku. Mezi další zdroje patří spalování biogenních a fosilních paliv, rafinace minerálních olejů, cigaretový kouř a materiály z vnitřního zařízení budov (nátěrové hmoty, koberce, podlahové krytiny) a doprava.

Nezanedbatelná je i produkce z domácností, kde jsou VOCs používány jako čisticí a dezinfekční prostředky, rozpouštědla, odmašťovadla, barvy, lepidla a jiné spotřební produkty. VOCs jsou z přípravků uvolňovány především nevhodným skladováním. Dalším zdrojem mohou být mořidla a nátěrové hmoty použité při úpravě interiéru. Z dřevotřískových desek se může uvolňovat formaldehyd, a to zejména z nového nábytku [1–4, 13].

Biogenními zdroji jsou rostliny produkující bohaté spektrum uhlovodíků, jako jsou izoprenoidy, terpeny, hemiterpeny a kyslíkaté sloučeniny. Podstatná část uhlovodíků obsahuje izopren (obr. 2), monoterpeny (skupiny $C_{10}H_{16}$), seskviterpeny ($C_{15}H_{24}$) a skupinu oxidovaných VOCs, tedy například methanol, linalool (obr. 3), 2-methyl-3-buten-2-ol, 6-methyl-5-hepten-2-on. Emitované množství za rok je přibližně $1,2 \cdot 10^{15}$ g C [2].



Obr. 2: Izopren.



Obr. 3: Linalool.

Rostliny, které jsou řazeny mezi nejvýznamnější producenty, jsou *Quercus ilex*, *Pinus alborea* a *Myrtus communis*. *Quercus ilex* (dub cesmínovitý) patří do čeledi bukovité. Tento strom se vyskytuje v celém Středozeří a dorůstá až do výšky 27 m, produkuje monoterpeny [2, 14]. *Pinus alborea* patří mezi borovice, které se u nás nevyskytují. Produkuje značné množství linaloolu a některé druhy terpenů [2]. *Myrtus communis* (myrta obecná) patří do rostlinné čeledi Myrtaceae a má asi 3000 druhů. Tento keř dosahuje výšky až 5 m. Jejím původním domovem jsou středozeříské oblasti a u nás se vyskytuje pouze jako pokojová rostlina [2, 15]. Produkuje velké množství izoprenů [2].

Vzhledem k široké skupině látek řazených mezi VOCs (alifatické i aromatické uhlovodíky, halogenované sloučeniny, aldehydy a ketony) je jejich dopad na zdraví problematické zobecnit. Při nižších koncentracích, v jakých se nacházejí například ve vnitřním prostředí, je jejich účinek pouze smyslový. Krátká expozice vysoké koncentraci par těchto látek může způsobit dočasně závrať. Při delší nebo opakované expozici pak může dojít k podráždění očí, dýchacích cest a také mohou působit na nervový systém [1]. Některé VOCs, jako benzen a formaldehyd, byly Mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny zařazeny mezi humánní karcinogeny. VOCs reakcemi s ozónem mohou tvořit podstatně toxičtější látky [1, 16].

2.1.2 Fyzikální, chemické vlastnosti a reaktivita těkavých organických látek

VOCs zahrnují širokou škálu nízkomolekulárních organických látek s tenzí par rovnou nebo větší než 0,13 kPa při teplotě 20 °C a teplotou varu za atmosférického tlakunižší než 150 °C, mající rozmanitou reaktivitu.

Hlavní skupinu VOCs tvoří uhlovodíky, které jsou významnými polutanty ovzduší. Hrají důležitou roli v fyzikálně-chemických procesech v troposféře a přispívají k tvorbě ozonu a dalších fotochemických oxidantů [17].

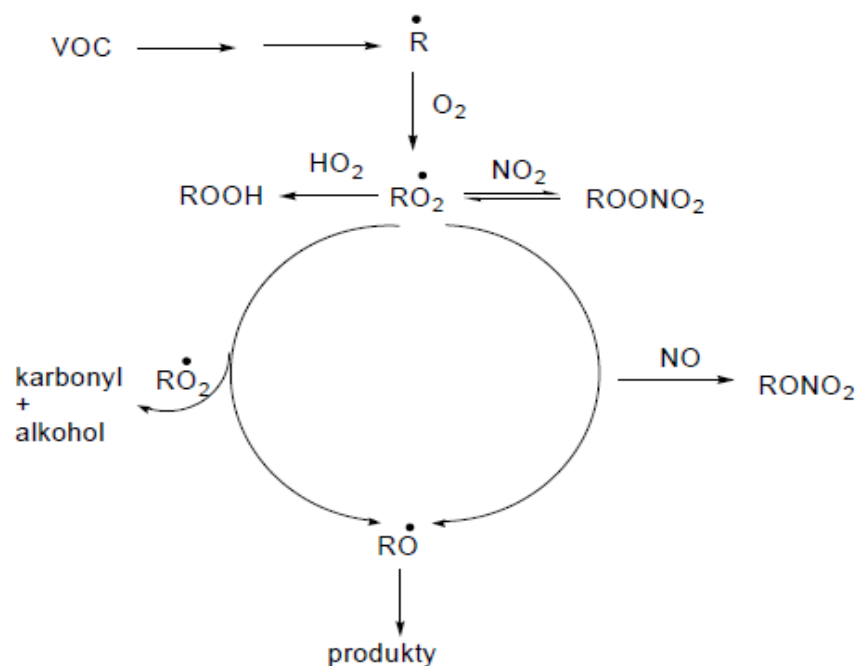
Rozdíly v reaktivitě těchto látek vyplývají z rozmanitosti struktur. Do této skupiny jsou zahrnuty látky s lineární alifatickou strukturou s jednoduchými a násobnými vazbami, cykly, případně obsahující aromatická jádra a také látky s několika odlišnými funkčními skupinami. Společným znakem jsou atmosférické reakce s NO_x , které probíhají snadněji s NO než s NO_2 . Jejich reaktivita je pak posuzována podle reakcí s $\bullet OH$ radikálem. Látky s nižší reaktivitou setrvávají v atmosféře déle a díky tomu se dostávají do větších vzdáleností od místa jejich vstupu do atmosféry (tab. 2) [2].

Tabulka 2: Relativní reaktivita s CO a •OH radikálem [2].

Třída reaktivity	Rozsah reaktivity	Přibližný poločas života v atmosféře	Sloučeniny podle rostoucí reaktivity
I	< 10	> 10 dnů	methan
II	10–100	24 h.–10 dnů	CO, ethan
III	100–1000	2,4 h.–24 h.	benzen, propan, n-butan, methylethylenketon, 2-methylpentan, toluen, n-propylbenzen, izopropylbenzen, ethen, n-hexan, 3-methylpentan, ethylbenzen
IV	1000–10000	15 min.– 24 h.	p-xylen, p-ethyltoluen, o-ethyltoluen, o-xylen, methylisobutylketon, m-ethyltoluen, m-xylen; 1,2,3-trimethylbenzen, cis-2-buten, α-pinen; 1,3-butadien
V	> 10000	< 15 min.	2-methyl-2-buten; 2,4-dimethylbuten, d-limonen

Reakcemi VOCs s •OH, •NO₃ a O₃ v atmosféře vznikají nebezpečné chemické látky jako například formaldehyd, karboxylové sloučeniny, peroxiradikály a sekundární polutanty jako deriváty terpenů a organické aerosoly. Reakce s •OH zvyšují koncentrace methanu. Důsledkem těchto reakcí je porušení chemické rovnováhy v ovzduší a vznik přízemního ozonu a oxidantů.

Troposférický ozon a NO_x jsou produkty reakcí VOCs v troposféře, které lze považovat za všeobecné. Reakční cyklus i odbourávání VOCs jsou téměř pro všechny látky stejné. Alkylové nebo substituované alkyldradikály jsou produkty reakcí VOCs s •OH nebo •NO₃. Reakcemi alkenů a VOCs obsahujících vazbu >C=C< vznikají peroxiradikály RO₂• [7].

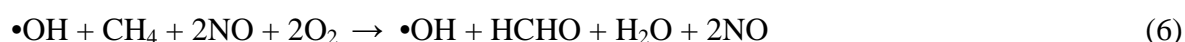


Obr. 4: Základní reakce probíhající v troposféře [7].

Pro snižování koncentrací •OH v troposféře jsou nejvýznamnější reakce s methanem nebo s CO. Příklad degradace VOCs za přítomnosti methanu:



Souhrnná rovnice:



Vznik ozonu v fotolýzou NO₂:



kde O (³P) je základní stav kyslíku, O (¹D) je atomární kyslík vznikající fotodisociací ozonu, který je ve vyšším energetickém stavu, než je stav základní. Vyloučení předpokladu, že tato reakce probíhá pouze ve stratosféře, zároveň objasňuje vznik •OH.

Vzniklý ozon reaguje s NO₂:



Pokud se však v ovzduší vyskytují VOCs (tab. 3), jsou produktem degradační reakce VOCs s •OH přechodné radikály HO₂• a RO₂•, které dále reagují s NO za vzniku NO₂, jež následně podléhá fotolýze za vzniku O₃.

Doby života produktů (tab. 4) procesů, při kterých dochází k úbytku VOCs, jsou závislé na rychlostní konstantě reakcí •OH, •NO₃ a ozonu v ovzduší.



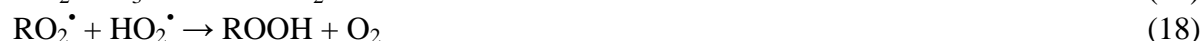
Vznik troposférického ozonu způsobují reakce O₃ s •OH a HO₂•.



Z výše uvedených reakcí vyplývá, že fotochemický úbytek ozonu je závislý na koncentraci NO, přičemž koncentrace NO je závislá na rychlosti reakce HO₂• a RO₂• s NO.

Vyjádření výše popsaných procesů [7]:





Tabulka 3: Klasifikace VOCs podle jejich fotochemického potenciálu tvorby ozonu (POPC) [2].

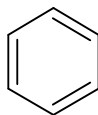
Uhlovodíky		POPC
1. Nejvýznamnější:	ethen, propen, xyleny, izoprenoidy	> 100
2. Středně významné dle reaktivity:	alkany > C6, ostatní alkeny, aldehydy s výjimkou formaldehydu a benzaldehydu	55– 99
3. Méně významné dle reaktivity:	alkany C3–C5, formaldehyd, ethanol, většina ketonů a esterů	25–49
4. Málo významné:	methan, ethan, acetylen, benzen, benzaldehyd, aceton, methanol	< 25

Tabulka 4: Vypočtené doby života vybraných VOCs v důsledku reakcí s $\bullet\text{OH}$, $\bullet\text{NO}_3$, ozonem a fotolýzy v troposféře [2].

VOCs	Doba života v důsledku reakce s			
	$\bullet\text{OH}$	$\bullet\text{NO}_3$	$\bullet\text{O}_3$	hv
n-Butan	5,7 dne	2,8 roku	> 4500 let	
2-Methylbutan	3,7 dne	290 dní	> 4500 let	
n-Oktan	1,7 dne	250 dní	> 4500 let	
Ethan	1,7 dne	250 dní	10 dní	
Propen	6,6 hod.	4,9 dne	1,6 dne	
Izoprén	1,7 hod.	0,8 hod.	1,3 dne	
Kimonen	1 hod.	3 min.	2 hod.	
Benzen	12 dní	> 4 roky	> 4,5 roku	
Toluen	2,4 dne	1,9 roku	> 4,5 roku	
m-Xylen	7,4 hod.	200 dní	> 4,5 roku	
Formaldehyd	1,5 dne	80 dní	> 4,5 roku	6 hod.
Acetaldehyd	11 hod.	17 dní	> 4,5 roku	6 dní
Aceton	66 dní	-	> 4,5 roku	60 dnů
2-Butanon	13 dní	-	> 4,5 roku	
Methanol	15 dní	> 77 dní	-	
Ethanol	4,4 dne	> 50 dní	-	
Methyl-1-butyl Eter	4,9 dne	-	-	
Ethyl-1-butyl Ether	1,6 dne	-	-	
Methylglyoxal	10 hod.	-	> 4,5 roku	2 hod.

2.1.3 Zástupci těkavých organických látek

2.1.3.1 Benzen



Obr. 5: Benzen.

Tabulka 5: Fyzikální a chemické vlastnosti benzenu [12, 18].

Relativní molekulová hmotnost	78,11 g/mol
Teplota vzplanutí	-11,1 °C
Teplota tání	5,5 °C
Teplota varu	80,1 °C
Hustota	0,879 g/cm ³ (při teplotě 20 °C)
Relativní hustota par	2,7
Tlak par [při 20°C (kPa)]	9,95
Rozpustnost ve vodě	1800 mg/l (při teplotě 25 °C)
Rozpustnost v nepolárních rozpouštědlech	mísitelný s většinou

Benzen je bezbarvá kapalina nasládlé vůně, hořlavá, řadící se k VOCs. Je nepolární a poměrně rozpustný ve vodě. Také je mísitelný s polárními rozpouštědly jako například s acetonem, chloroformem a tetrachlormethanem [12].

Benzen patří mezi technicky velmi významné látky, i když je zdraví škodlivý. Jako jiné uhlovodíky vykazuje účinky narkotické. Má také genotoxické účinky, a to především teratogení a karcinogení. V praxi by měl být proto nahrazován méně škodlivými látkami jako například toluenem, xylenem, kumenem, cyklohexanem a heptanem.

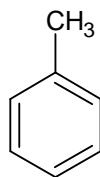
Do organismu benzen proniká respiračním traktem, tedy inhalací par, kde dále metabolizuje na fenol. Projevy akutní otravy benzenem jsou podobné jako při otravě etanolem. Hlavním projevem je pak bezvědomí. Bezvědomí nemusí předcházet počáteční stav euforie, přičemž časové rozmezí mezi bezvědomím, křečemi a smrtí jsou velmi nízké. Působením benzenu je z kůry nadledvinek uvolňován adrenalin a ten způsobuje nebezpečí vzniku fibrilace komor.

Již při koncentraci 100 ppm je benzen ve vzduchu slabě cítit. Při této koncentraci však nemá ani při delší expozici narkotické účinky. Ke ztrátě vědomí dochází při expozici 700 ppm po dobu 30 až 60 minut. K těžké akutní otravě dochází po expozici 5 až 10 minut koncentrací 20 000 ppm. Může dojít k onemocnění dýchacích cest a očí. K poškození jater, cév a srdce může dojít po požití benzenu. Projevem chronické otravy jsou pocity ospalosti, bolesti hlavy, závratě, ztráta chuti k jídlu a hubnutí. Ojedinele také může nastat žaludeční nevolnost [19, 20].

LD₅₀ (člověk, perorálně) = 0,05 g/kg

LD₅₀ (potkan, perorálně) = 3,4–5,6 g/kg [19, 20]

2.1.3.2 Toluén



Obr. 6: Toluén.

Tabulka 6: Fyzikální a chemické vlastnosti toluenu [12, 21].

Relativní molekulová hmotnost	92,13 g/mol
Teplota vzplanutí	4,4 °C
Teplota tání	-95 °C
Teplota varu	110,6 °C
Hustota	0,87 g/cm ³ (při teplotě 20 °C)
Relativní hustota par	3,14
Tlak par [při 20°C (kPa)]	2,9
Rozpustnost ve vodě	515 mg/l (při teplotě 20 °C)

Toluén je bezbarvá kapalina s aromatickým zápachem. Při pokojové teplotě je hořlavý a těká, řadí se tedy mezi VOCs. Je mísitelný s éterem a chloroformem. V acetonu se rozpouští.

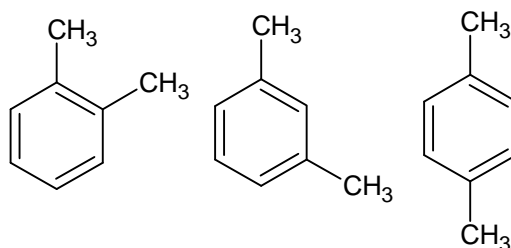
Často je využíván v průmyslu jako náhrada toxičtějšího benzenu. Přidává se do benzínu pro zlepšení oktanového čísla. Využívá se také při výrobě benzenu a dalších chemikálií, jako rozpouštědlo v barvách, v lepidlech, inkoustech, čisticích prostředcích a v syntetických vonných látkách. Dále se uplatňuje při výrobě léčiv a kosmetických přípravků na nehty. Jako výchozí surovina je užíván při výrobě polymerů, ze kterých je poté vyráběn polyurethan, nylon a plastové lahve [12].

U toluenu, který je méně jedovatý nežli benzen, nedochází k intoxikaci tak snadno jako právě u benzenu. Při expozici koncentraci 200 ppm po dobu osmi hodin nastává lehká narkóza. Narkotické účinky jsou zřetelné při koncentraci 600 až 800 ppm. Čistý toluén nemá genotoxické vlastnosti. Při akutní otravě dochází k poškození ledvin a jater. Příznaky chronické otravy jsou bolesti hlavy, nechutenství, nevolnost, poruchy koordinace a slabost [19, 20].

LD₅₀ (myš, inhalačně) = 5300 ppm

LD₅₀ (orálně, potkan) = 5000 mg/kg [19, 20]

2.1.3.3 Xylen



Obr. 7: *o*-xylen, *m*-xylen a *p*-xylen

Tabulka 7: Fyzikální a chemické vlastnosti *o*-xylen, *m*-xylen a *p*-xylen [12, 22].

	<i>o</i> -xylen	<i>m</i> -xylen	<i>p</i> -xylen
Relativní molekulová hmotnost	106,16 g/mol	106,16 g/mol	106,16 g/mol
Teplota vzplanutí	32 °C	27 °C	27 °C
Teplota tání	- 25 °C	- 47,4–48 °C	13– 14 °C
Teplota varu	144 °C	138–139 °C	137 – 138 °C
Hustota (při 20°C)	0,8801 g/cm ³	0,8642 g/cm ³	0,8610–0,864 g/cm ³
Tlak par [při 20°C (kPa)]	0,8	0,8	0,8
Rozpustnost ve vodě (při 25 °C)	175–213 mg/l	160–173 mg/l	162,4–198 mg/l
Rozpustnost v organických rozpouštědlech	V nepolárních rozpouštědlech dobře rozpustné.		

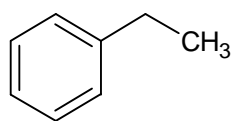
Xylen je bezbarvá kapalina s nasládlou vůní. Existují tři izomery a to ortho, meta a para xyleny, přičemž technický xylen obsahuje asi 40–65 % *m*-xylen, až 20 % *o*- a *p*-xylen a ethylbenzen. Přírodně se xyleny vyskytují v ropě.

Využívá se jako rozpouštědlo při výrobě chemikálií, do zemědělských postřiků a lepidel. Také slouží jako přísada do leteckého paliva a benzínu. Jako surovina je použit při výrobě různých polymerů, anhydridu kyseliny ftalové, kyseliny tereftalové a kyseliny isoftalové [12].

Všechny isomery mají hepatotoxický a nefrotoxický účinek. Působí dráždivě a narkoticky. Projevy chronické otravy technické směsi xyleny jsou bolesti hlavy, únava, zažívací potíže a zvracení. V těle dochází k oxidaci xyleny hlavně na postraním řetězci. Je vylučován jako kyselina tolurová po koagulaci s glycinem. *o*-xylen je cítit již od koncentrace 170 ppm. Při inhalaci je tento isomer asi dvakrát méně jedovatý než *m*-xylen a dvakrát jedovatější než *p*-xylen. Inhalace menší koncentrace *m*-xyleny způsobuje zarudnutí v obličejí a tlak v hlavě. Při větší koncentraci je projev otravy podobný opilosti [19, 20].

$$LD_{50} \text{ (orálně, potkan) } = 4300 \text{ mg/m}^3 \text{ [19, 20]}$$

2.1.3.4 Ethylbenzen



Obr. 8: Ethylbenzen.

Tabulka 8: Fyzikální a chemické vlastnosti ethylbenzenu [12, 23].

Relativní molekulová hmotnost	106,16 g/mol
Teplota vzplanutí	15 °C
Teplota tání	-95 °C
Teplota varu	136,25 °C
Hustota	0,8665 g/cm ³ (při teplotě 20 °C)
Relativní hustota par	3,66
Tlak par [při 20°C (kPa)]	0,9
Rozpustnost ve vodě	161 mg/l (při teplotě 16 °C)

Ethylbenzen je bezbarvá kapalina s charakteristicky nasládlou vůní. Je hořlavý a těká. Dobře se rozpouští v organických rozpouštědlech. Vyskytuje se v ropě a kamenouhelném dehtu.

Ethylbenzen je používán z 99 % jako surovina při výrobě styrenu. Dále se také používá k výrobě plastových fólií nebo gumy. Slouží jako rozpouštědlo a ředidlo barev a laků. Přidává se do paliv a asfaltu. Je obsažen v technickém xylenu, který se používá jako rozpouštědlo. V benzínu je ethylbenzen obsažen v množství asi 4 % obj. [12].

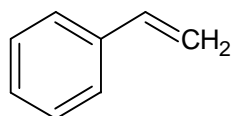
Ethylbenzen má silný narkotický účinek a jeho páry jsou značně dráždivé. Při styku s kůží vyvolává nejintenzivnější podráždění ze všech aromatických uhlovodíků. Při zasažení oka může způsobit poškození rohovky. Na krvetvorbu nijak nepůsobí.

V těle ethylbenzen metabolizuje na kyselinu fenylglyoxylovou, mandlovou a glukuronid 1-fenylethanol.

Při koncentraci v rozmezí 200–1000 ppm dráždí oči. Dýchací cesty dráždí při koncentraci 2000 ppm. Dráždění je nesnesitelné při koncentraci 5000 ppm. Při pobytu v prostoru, kde je nízká koncentrace par ethylbenzenu, dochází k opakovanému dráždění, které přestává být po krátké době vnímáno [19, 20].

LD₅₀ (orálně, potkan) = 3500 mg/kg [19, 20]

2.1.3.5 Styren



Obr. 9: Styren.

Tabulka 9: Fyzikální a chemické vlastnosti styrenu [12, 24].

Relativní molekulová hmotnost	104,14 g/mol
Teplota vzplanutí	31 °C
Teplota tání	-30,6 °C
Teplota varu	104,14 °C
Hustota	0.9059 g/cm ³ (při teplotě 20 °C)
Relativní hustota par	3,6
Tlak par [při 20°C (kPa)]	0,67
Rozpustnost ve vodě	310 mg/l (při teplotě 25 °C)

Styren je bezbarvá až nažloutlá olejovitá kapalina organické, téměř květinové vůně. Je špatně rozpustný ve vodě, ale dobře rozpustný v organických rozpouštědlech. Podléhá oxidaci za vzniku peroxidů, které dále působí jako katalyzátor jeho polymerace.

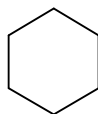
Styren je používán hlavně jako rozpouštědlo, dále pak pro výrobu polystyrenu, kopolymerů styrenu a pryskyřic. Původně byl styren používán primárně v průmyslu syntetických kaučuků. V současné době je využíván jako hlavní surovina při výrobě polymerů, gumy, pryskyřic, nátěrů a barev [12].

Styren vykazuje narkotický a také značný dráždivý účinek. Při koncentraci 60 ppm se jeho dráždivý účinek neprojevuje. Při koncentraci 800 ppm je značně cítit a projevuje se dráždivý i narkotizující účinek. Koncentrace 1300 ppm je již nesnesitelná. Opakovaný kontakt s kůží může vyvolat podráždění, při zasažení oka může nastat poškození rohovky.

Na krvetvorbu nemá styren žádný účinek. Při dlouhé době strávené v prostředí s obsahem styrenu nastává pokles krevního tlaku a změna funkce jater. Je řazen mezi možné karcinogeny pro člověka. Po chronické expozici styrenu se projevuje lymfocitóza, atrofie sliznic horních cest dýchacích a hepatotoxické účinky. V organismu dochází k metabolizaci styrenu na kyselinu mandlovou [19, 20].

LD₅₀ (orálně, potkan) = 5000–5840 mg/kg [19, 20]

2.1.3.6 Cyklohexan



Obr. 10: Cyklohexan.

Tabulka 10: Fyzikální a chemické vlastnosti cyklohexanu [12, 25].

Relativní molekulová hmotnost	84,16 g/mol
Teplota vzplanutí	260 °C
Teplota tání	6,4 °C
Teplota varu	80,7 °C
Hustota	0,78 g/cm ³ (při teplotě 20 °C)
Relativní hustota par	2,9
Tlak par [při 20°C (kPa)]	10,4
Rozpustnost ve vodě	55 mg/l (při teplotě 25 °C)

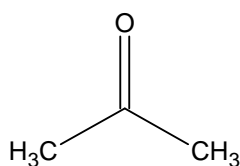
Cyklohexan je bezbarvá hořlavá kapalina slabě nasládlé vůně. V přírodě se vyskytuje v ropě a také v cigaretovém kouři. Je nerozpustný ve vodě a velmi dobře mísitelný s organickými rozpouštědly.

Používá se jako rozpouštědlo, dále se využívá při výrobě polyamidů jako například nylonu, dále pro výrobu benzenu, cyklohexanonu a nitro-cyklohexanu. Může být přidáván do laků, pryskyřic, barev a fungicidů [12].

Cyklohexan má narkotický účinek. Při koncentraci 0,5 ppm je již cítit, koncentrace 5 ppm vyvolává dráždivý účinek a při koncentraci 300 ppm dochází k podráždění sliznic. Kontaktem s kůží nedochází k vstřebávání cyklohexanu, ale nedochází k dráždivému účinku. Při kontaktu s očima nedochází k silnému podráždění. Na krevetvorbu nepůsobí. U zvířat bylo po dlouhé expozici (50 x 6 hodin) prokázáno poškození ledvin a jater. Při přerušení expozice se toto postižení již nerozvíjí. Bylo prokázáno, že cyklohexan se v těle nemůže metabolizovat na benzen a toluen [19, 20].

LD₅₀ (orálně, krysa) = 12,705 mg/kg [19, 20]

2.1.3.7 Aceton



Obr. 11: Aceton.

Tabulka 11: Fyzikální a chemické vlastnosti acetonu [12, 26].

Relativní molekulová hmotnost	58,08 g/mol
Teplota vzplanutí	-18 °C
Teplota tání	-94 °C
Teplota varu	56,5 °C
Hustota	0,791 g/cm ³ (při teplotě 20 °C)
Relativní hustota par	2,1
Tlak par [při 20°C (kPa)]	24,7
Rozpustnost ve vodě	neomezená

Aceton je bezbarvá hořlavá a těkavá kapalina specifického zápachu. Je neomezeně mísitelný s vodou. Směs par acetonu s kyslíkem je výbušná.

Používá se jako rozpouštědlo, převážně ve farmacii, dále pak jako meziproduct nebo výchozí surovina syntéz. Využívá se při syntéze acetonkvanhydrinu, který působením kyseliny sírové přechází na methakrylamid. Ten dále reaguje s methanolem za vzniku methylesteru kyseliny akrylové, ta je základním stavebním prvkem polymeru známého jako plexisklo [12].

Inhalace par acetonu působí dráždivě a narkoticky. Koncentraci 300 ppm nezpůsobuje poškození sliznic. Při pohybu v prostoru s koncentrací 400 ppm dochází k dráždění již během několika minut, avšak koncentrace 1300 ppm nemá dráždivý účinek ani po minutě. Pobyt v prostoru s koncentrací par acetonu 2000 ppm způsobuje počáteční příznaky narkózy, těžká inhalační otrava vede k zarudnutí obličeje, slinotoku a bezvědomí. Výjimečné je poškození jater a ledvin, které je pouze dočasné. K otravě dochází již po několikahodinové latenci.

Požítí 10 až 20 ml acetonu není pro dospělého člověka nebezpečné a zůstává bez následků. Požití 50 ml acetonu způsobí poškození ledvin a jater. Aceton se vstřebává kůží, ale touto cestou nemůže dojít k otravě. Na kůži aceton působí mírně dráždivě, vyvolává překrvení. Protože aceton rozpouští tuky, způsobuje, že je kůže citlivější a je více náchylná k infekci. Při kontaktu s okem nedochází k poškození rohovky.

Aceton se díky své rozpustnosti ve vodě dostává poměrně rychle do krve, dále je v nezměněné formě vylučován plicemi, kůží a ledvinami, pokud však nedochází k jeho zoxidování za vzniku kysličníku uhlíkatého a vody. Aceton vzniká v těle při hladovění anebo cukrovce, což je důsledek poruchy látkové přeměny [19, 20].

LD₅₀ (orálně, potkan) = 9750 mg/kg [19, 20]

2.1.3.8 Tetrahydrofuran



Obr. 12: Tetrahydrofuran.

Tabulka 12: Fyzikální a chemické vlastnosti tetrahydrofuranu [12, 27].

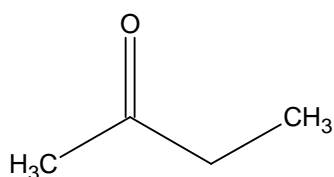
Relativní molekulová hmotnost	72,11 g/mol
Teplota vzplanutí	-20 °C
Teplota tání	-108 °C
Teplota varu	66 °C
Hustota	0,89 g/cm ³ (při teplotě 20 °C)
Relativní hustota par	2,5
Tlak par [při 20°C (kPa)]	20
Rozpustnost ve vodě	mísitelný

Tetrahydrofuran je bezbarvá hořlavá kapalina benzínové vůně. Používá se jako rozpouštědlo pro poly(vinylchlorid), vinylidenchloridové polymery, syntetické i přírodní pryskyřice. Využíván je také při výrobě celofánu, magnetické pásky a tiskařských barev. Také se využívá pro reakce Grignardových činidel a hydridů kovů. Jako surovina je využíván při přípravě chemikálií jako kyseliny adipové, butadienu, kyseliny akrylové, ale také motorových paliv, vitaminů, hormonů, pro farmaceutické produkty, syntetické parfémy, organometalické sloučeniny a insekticidy [12].

Účinek tetrahydrofuranu je narkotický. Inhalace par tetrahydrofuranu způsobuje narkózu, k níž dochází pomaleji než po inhalaci étheru, avšak trvá déle. Při kontaktu kapaliny s kůží nedochází k jejímu dráždění. Vyrážka, která vzniká, je s pravděpodobností způsobená peroxidy, které tetrahydrofuran doprovází. Páry působí dráždivě. U zvířat opakovaná inhalační expozice způsobuje poškození jater a ledvin [19, 20].

LD₅₀ (orálně, krysa) = 2880 mg/kg [19, 20]

2.1.3.9 Methylethylketon



Obr. 13: Methylethylketon.

Tabulka 13: Fyzikální a chemické vlastnosti methylethylketonu [12, 28].

Relativní molekulová hmotnost	72,10 g/mol
Teplota vzplanutí	-6 °C
Teplota tání	-86 °C
Teplota varu	79,6 °C
Hustota	0,80 g/cm ³ (při teplotě 20 °C)
Relativní hustota par	2,41
Tlak par [při 20°C (kPa)]	10,5
Rozpustnost ve vodě	353 g/l (při teplotě 10 °C)

Methylethylketon je hořlavá bezbarvá kapalina acetonového zápachu.

Přibližně z 63 % je methylethylketon využíván jako rozpouštědlo při výrobě nátěrů. Dále se uplatňuje jako rozpouštědlo v adhesivech, tiskařských inkoustech a při výrobě magnetických pásek. Malé množství methylethylketonu se využívá ke sterilizaci chirurgických nástrojů, stříkaček a dentálních nástrojů. Také se používá jako extrakční rozpouštědlo pro rostlinné oleje a jako rozpouštědlo ve farmaceutickém a kosmetickém průmyslu [12].

Methylethylketon má dráždivější účinek nežli aceton a díky tomu se příznaky narkotického působení neobjevují. Již po několika minutách při koncentraci 1 mg/l působí dráždivě. Koncentrace 30 mg/l je již po několika minutách nesnesitelná. Ve směsi s 2-hexanonem vyvolává neuropatii. Při kontaktu s kůží se vstřebává a může vyvolat i vznik vyrážky [19, 20].

LD₅₀ (orálně, potkan) = > 2000 mg/kg [19, 20]

2.2 Vzorkování

V posledních letech zájem a nutnost hodnocení míry znečištění vnitřního ovzduší výrazně vzrostly vzhledem k tomu, že většina lidí tráví významnou část dne uvnitř budov. Ve vnitřním prostředí se vyskytují nejen látky z vnějšího okolí, ale také emise z různých vnitřních zdrojů (kouření, stavební materiály a podobně). Úroveň expozice těchto sloučenin tedy nemůže být odhadnuta z jejich vnějších koncentrací. Při hodnocení kontaminace prostředí jsou cílovými látkami především VOCs [29].

2.2.1 Vzorkování ovzduší v pracovním prostředí

Zaměstnavatel má povinnost, podle zákoníku práce a podle zákona o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů číslo 258/2000 Sb. v platném znění a jeho prováděcích vyhlášek, kontrolovat stav ovzduší na pracovišti. Jedná se o pracoviště s možností výskytu chemických látek a prachu.

Zdravotní rizika pro zaměstnance plynoucí ze styku s látkami zdraví škodlivými, jako jsou chemické látky, chemické přípravky a prach, jsou hodnoceny podle přítomnosti těchto látek a také úrovně, typu a doby trvání expozice [30].

2.2.2 Pasivní vzorkování

Pasivní vzorkování je technika, která se rychle vyvíjela během posledních 20 let a je široce používaná nejen pro monitorování znečištění životního prostředí. Využívá se jak ke sledování různých chemických látek v atmosféře, s nimiž souvisí problémy se změnou klimatu, tak k sledování expozic na různých pracovištích. V mnoha případech je tato technologie jedinou použitelnou pro stanovení úrovně antropogenního znečištění [31].

Odběr vzorku pasivními vzorkovači je založen na principu toku molekul vzorkované sloučeniny z média vzorkovaného do média sběrného. Tok molekul je vyvolán snahou vzorkované látky o dosažení rovnovážné koncentrace v obou médiích. Tento děj probíhá do dosažení rovnovážného stavu, anebo do ukončení operátorem. Pro tento typ vzorkovačů je charakteristické vzorkování pouze určité frakce polutantů.

Sběrné médium, ve kterém se sledovaná látka sorbuje, je pasivně vystaveno samovolnému proudění vzorkovaného média. Vzorkované médium může být biotické i abiotické. Příkladem biotického média je jehličí, mechy, lišejníky, ale také živé organismy jako ryby. Výhodou těchto materiálů je jejich snadná dostupnost. Vzorkování probíhá do doby potřebné k nasycené sorpční kapacitě, tedy do ustanovení rovnovážného stavu [32].

Pasivní odběr vzorků má řadu výhod jako nízké pořizovací i provozní náklady, nízké nároky na údržbu, snadná instalace, nevyžaduje kontrolu a připojení ke zdroji elektrické energie. Protože pasivní vzorkovače jsou malé a tiché, jsou vhodné pro měření osobní expozice a vzorkování vnitřního ovzduší [16, 32–34]. Metoda poskytuje přesné výsledky o dlouhodobé úrovni kontaminace organických i anorganických látek i ve velmi malých koncentracích. Nevýhodou je obtížná kvantifikace, kdy průměrná koncentrace vzorkovaných látek po dobu expozice vzorkovače se vyhodnocuje pomocí přepočtů vycházejících z množství sloučeniny zachycené vzorkovačem a zohledňujících délku expozice, rychlost

sorpce a další parametry nejčastěji s využitím empiricky získaných koeficientů. Také je nevýhodou nižší citlivost, vyšší detekční limity a možné interakce s jinými polutanty [32–34].

I přes mnoho výhod tohoto typu vzorkování je jeho použití stále málo časté. Rozšířenější axiální typy pasivních dozimetrů mají díky nevhodné geometrii nedostatečnou citlivost a reprodukovatelnost. Také je pro tento typ systému běžná nízká rychlost sorpce měnící se v závislosti na vnějších podmínkách prostředí [34].

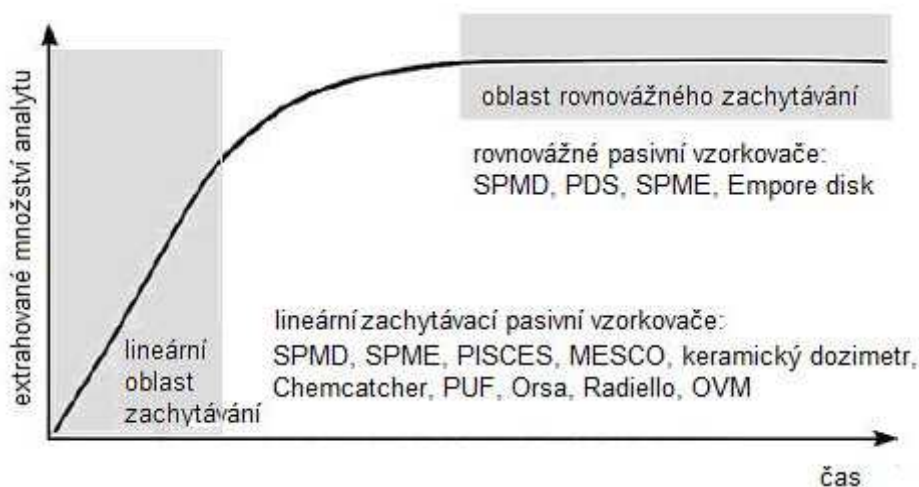
2.2.2.1 Vzorkovače rovnovážné

Tento typ vzorkovačů má poměrně malou kapacitu sběrné fáze, ta je přímo vystavena vzorkovanému médiu po celou dobu vzorkování. K dosažení rovnovážného stavu dochází v řádu několika minut a informace, kterou získáme během této krátké expoziční doby, má charakter okamžitého stavu a zároveň tedy krátkodobého průměru.

K vyhodnocení získané koncentrace lze použít vztah:

$$C_v = \frac{C_s}{K_{sv}} \quad (19)$$

kde C_v je koncentrace analytu ve vzorkovaném médiu, K_{sv} je rozdělovací konstanta analytu mezi vzorkovaným a sběrným médiem a C_s je koncentrace analytu ve sběrném médiu [32, 35].



Obr. 14: Koncentrace ve sběrném médiu [33].

Mezi rovnovážné vzorkovače patří například mikroextrakce tuhou fází (SPME) a jeho varianta míchadélko pokryté sorbentem (SBSE) a také desky pro TLC použité jako pasivní vzorkovače vod [32].

2.2.2.2 Vzorkovače integrativní

Pro tento typ vzorkovačů je charakteristická vysoká kapacita sběrného média, v důsledku čehož se doba expozice pro dosažení rovnovážného stavu pohybuje v řádu měsíců.

Vzorkované a sběrné médium jsou odděleny semipermeabilní membránou nebo difusní bariérou, řídící rychlost transportu vzorkovaných látek do vzorkovače.

Nárůst koncentrace ve sběrném médiu je lineární v první části expozice, která je pracovní oblastí pro integrativní vzorkovače. Tohoto jevu se využívá při kvantifikaci dle vztahu:

$$\frac{dM_s}{dt} = V_s \frac{dC_s}{dt} = k \cdot C_v \quad (20)$$

kde dM_s je přírůstek hmotnosti analytu ve sběrném médiu za časový úsek dt , k je konstanta úměrnosti, V_s je objem sběrného média a C_v je aktuální koncentrace ve vzorkovaném médiu.

Po integraci a úpravě rovnice (20), za předpokladu že $M_s = C_s = 0$ v čase $t = 0$, přechází na tvar:

$$M_s = V_s \cdot C_s = k \int_0^t C_v \cdot dt \quad (21)$$

Rovnice (21) je vyjádřením charakteru odezvy vzorkovačů. Integrál koncentrace ve vzorkovaném prostředí je úměrný množství analytu zachyceného během expozice na vzorkovači.

Průměrnou koncentraci \overline{C}_s můžeme získat výpočtem rovnice (22):

$$\overline{C}_v = \frac{M_s}{k \cdot t} \quad (22)$$

Konstanta k je vyjádřením objemu analytu vyextrahovaného vzorkovačem za jednotku času [objem \cdot čas⁻¹]. Někdy je také označována jako vzorkovací rychlost R_s . Ta je ovlivněna fyzikálními podmínkami po dobu expozice a pro každou látku je určována laboratorními kalibračními experimenty [35].

2.2.2.3 Rozdíly mezi axiální a radiální difúzí

Pokud není systém ve stavu termodynamické rovnováhy, dochází v něm v případě neměnných vnějších podmínek k samovolným procesům, které vedou až k ustavení rovnováhy. V koncentračně heterogenním systému nastává proces, při němž dochází k samovolnému vyrovnávání koncentrací. Tento proces nazýváme difúzí. Doba při difúzi nutná k přenesení daného množství hmoty lze popsat pomocí Fickových zákonů.

První Fickův zákon:

$$\frac{dm}{dt} = D \cdot S \cdot \frac{dC}{dl} \quad (23)$$

kde dm/dt je změna látkového množství za čas, D je difúzní koeficient látky v daném prostředí, S je plocha difúzního povrchu, dC/dl je koncentrační gradient.

$$dC = (C - C_0) \quad (24)$$

kde C je koncentrace analytu v povrchové vrstvě, C_0 je koncentrace na adsorpčním povrchu.

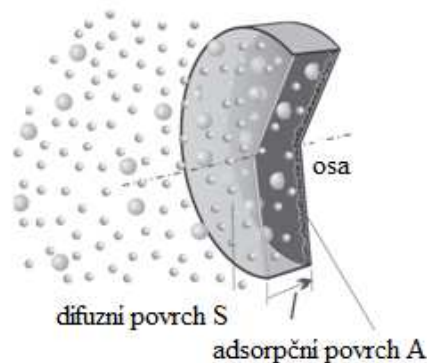
Poměr mezi adsorbovaným množstvím látky a koncentrací této látky v ovzduší dostaneme integrací rovnice (23).

$$Q = \frac{m}{t \cdot C} \quad (25)$$

kde Q je vzorkovací rychlost.

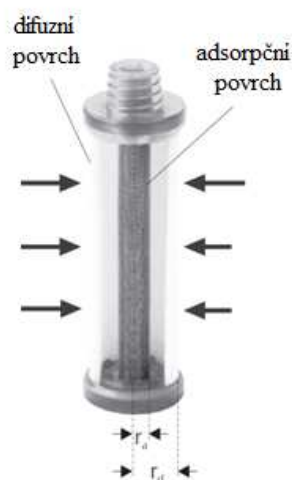
Naadsorbované množství látky zvýšíme zvětšením povrchů difúzního a adsorpčního, přičemž dráhu mezi oběma povrchy, kterou analyt urazí, musíme zmenšit. S ohledem na platnost Fickových zákonů nesmí být dráha kratší jak 8 mm.

Právě nevhodná geometrie je nevýhodou typů axiálních pasivních dozimetrů (obr. 15).



Obr. 15: Axiální pasivní dozimetr.

Oproti tomu dozimetry radiální (obr. 16) se skládají z uzavřeného porézního válcovitého držáku, ve kterém je umístěna vhodná adsorpční kolonka. Porézním povrchem difundují molekuly analytu, které jsou poté adsorbovány na vhodné kolonce.



Obr. 16: Radiální pasivní dozimetr.

Pro radiální pasivní dozimetr je Fickův zákon v následujícím tvaru:

$$\frac{dm}{dt} = D \cdot 2h\pi \cdot r \cdot \frac{dC}{dr} \quad (26)$$

kde dm/dt je změna látkového množství za čas, D je difúzní koeficient látky v daném prostředí, h je výška adsorpčního válečku, r_d je poloměr povrchu difúzního válečku, r_a je poloměr povrchu adsorpčního válečku.

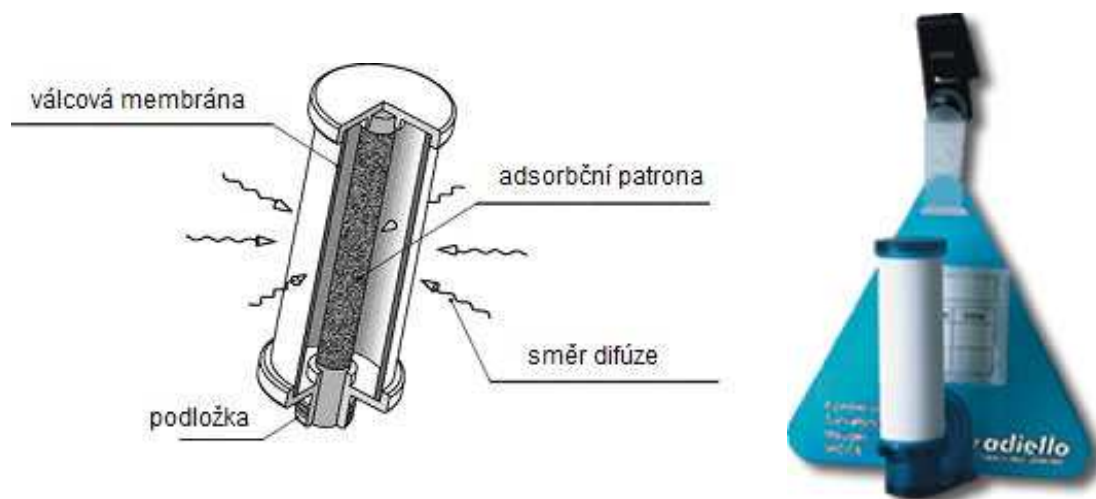
Integrací rovnice (26) dostaneme tvar:

$$Q = D \cdot \frac{2\pi h}{\ln \frac{r_d}{r_a}} \quad (27)$$

U dozimetrů radiálního typu závisí rychlost adsorpce na poměru difúzního povrchu a vzdálenosti, na kterou látka difunduje exponenciálně. Právě proto je již zmíněná rychlost adsorpce u radiálních dozimetrů více jak 3x vyšší, než je tomu u axiálních dozimetrů stejných rozměrů. Na rychlosti difúze látek přes inertní porézní stěnu, jejíž difúzní koeficient je nízký, závisí rychlost sorpce. Také se zde uplatňuje tzv. gaussovský profil, tedy naadsorbované látky se kumulují u středu a tak je vrchní vrstva k dispozici pro další sorpci [34, 36].

2.2.2.4 Pasivní dozimetr Radiello

Pasivní dozimetr Radiello (obr. 17) byl vyvinut v institutu Fondazione Salvatore Maugeri, Padova, Itálie ve spolupráci s European Commission's Point Research Center. Nyní Radiello dodává společnost Sigma-Aldrich.



Obr. 17: Pasivní dozimetr Radiello.

Skládá se z difúzního porézního válcového držáku, z adsorpční nebo chemiadsorpční kolonky a trojúhelníkové podkladové destičky (obr. 18). Tento vzorkovač je velmi lehký, váží kolem 15 g [34, 37].



Obr. 18: Trojúhelníková podkladová destička.

Difúzní porézní válcový držák (obr. 19) je opakovaně použitelný. Je vyráběn ve čtyřech barevně odlišených variantách. První typ držáku je bílý (code 120). Vyroben je z mikroporézního polyethylenu. Tloušťka jeho stěny je 1,7 mm, průměrnou porozitu má 25 ± 5 m a délka difúzní cesty je 18 mm. Tento typ je nejčastěji používán. Další typ je modrý (code 120-1), který je vyroben z mikroporézního polyethylenu, do kterého je přidáno modré barvivo. Díky této úpravě je adsorpční kolonka chráněna před slunečním světlem. Tento typ držáku je vhodný pro vzorkování analytů citlivých na světlo. Držák žluté barvy (code 120-2) je vyroben z mikroporézního polyethylenu. Tloušťka stěny je 5 mm, průměrnou porozitu má 10 ± 2 mm a délka difúzní cesty je 150 mm. Tento typ držáku je vhodný pro vzorkování, kdy je třeba redukovat vzorkovací rychlost. Poslední je kovově šedý držák (code 120-3). Je vyroben z 50 mm silné silikonové membrány, která je zesílená ocelovou mřížkou. Tento typ je používán především pro vzorkování anestetik a par.



Obr. 19: Difúzní porézní válcové držáky.

Kolonek je vyvinuta řada typů a jsou voleny podle typu vzorkovaného analytu. Jejich délka je 60 mm a průměr 4,8 mm nebo 5,8 mm. Tyto kolonky jsou uchovávány ve zkumavkách ze skla či plastu. Kolonky, z nichž se vzorkovaná látka získává desorpčí rozpouštědlem, jsou na jedno použití, při termické desorpci jsou použitelné opakovaně. Umístění kolonky se liší podle typu vzorkování. Pro vzorkování v terénu je kolonka umístěna horizontálně, tedy

směrem k podkladové destičce a u osobních odběrů je pak kolonka orientována vertikálně [34, 36].

Radiello je typ difúzního radiálního pasivního dozimetru, který má řadu výhod oproti axiálním typům dozimetrů. Jednou z výhod je až 3x vyšší rychlost sorpce, dále pak vysoká adsorpční kapacita, nízké detekční limity, doba expozice od 15 minut do 30 dnů, měření koncentrací od 1 ppb k více než 1 000 ppm a zpracování velkého množství vzorků [34].

Tento vzorkovač je určen pro vzorkování aldehydů, těkavých organických látek a BTEX, NO₂, SO₂, O₃, H₂S, NH₃, HCl, HF, anestetických plynů (např. N₂O, isofluoran, ethan, halothan a sevoran), fenolů, methylfenolů a dimethylfenolů [34, 37].

2.2.2.5 Mikroextrakce na pevné fázi

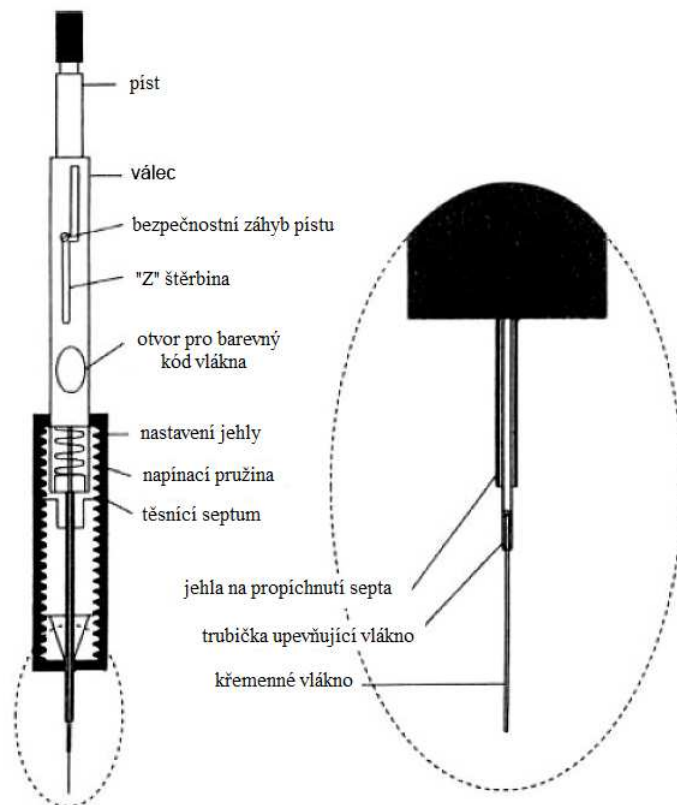
Mikroextrakce tuhou fází (SPME) (obr. 20) je jednoduchá a efektivní technika izolace analytů ze vzorku. Metoda je poměrně rychlá a citlivá a lze ji kombinovat s dalšími analytickými technikami, například GC nebo HPLC. Byla vyvinuta jako odpověď na potřebu rychlé bezrozpuštědlové extrakční metody využitelné v terénu. Poprvé ji popsal Pawliszyn v roce 1990 [38, 39].



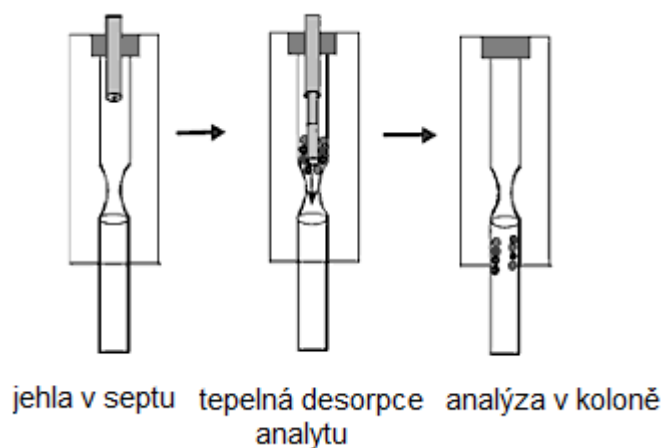
Obr. 20: SPME [40].

Aby bylo zařízení snadno a prakticky použitelné, je extrakční vrstvička fixována na křemenném vlákne, které je umístěno v duté jehle. Extrakční vrstvu mohou tvořit polymerní organické fáze, například polydimethylsiloxan a polyakrylát. Tato vrstva mimo jiné také chrání velmi křehké křemenné vlákno před poškozením. Polyakrylát se chová jako pevná látka a polydimethylsiloxan jako kapalina. Rychlost extrakce u polydimethylsiloxanu je tedy ve srovnání s polyakrylátem vyšší. Běžně je křemenné vlákno 100–200 mm dlouhé s tloušťkou filmu 10–100 mikronů.

Dutá jehla s křemenným vláknem je umístěna ve speciálním zařízení (obr. 21). Vlákno chrání před poškozením a také umožňuje snadnou manipulaci. Pohyb vlákna je zajištěn pružinou a pístem, kdy pohyb pístu směrem dolů vlákno z jehly vysune. Při analýze se vlákno zasune do plynového chromatografu, v němž dojde k tepelné desorpci (obr. 22). Při této desorpci se vlákno také čistí a je poté připraveno k další analýze [39].



Obr. 21: SPME [41].



Obr. 22: Termální desorpce analytů z SPME vlákna v injektor GC [42].

Pokud je SPME využit jako rovnovážný vzorkovač, je vlákno při vzorkování vysunuto z jehly a tím je uvedeno do přímého kontaktu se vzorkovaným médiem. Během několika minut dojde k ustanovení rovnováhy a sběrné médium je poté skryto zpět do jehly. V laboratoři je pak vzorek analyzován obvyklým způsobem. Jako integritivní vzorkovač

funguje SPME v případě, že před expozicí v terénu je vlákno ponecháno v jehle. Zatažením vlákna hlouběji do jehly je vytvořena difúzní bariéra. Doba expozice je kratší, což je důsledek malé kapacity sběrného média [35].

Vlákno je možné vystavit vzorkům kapalného a plynného skupenství. Množství extrahovaného analytu nezávisí na objemu vzorku a zároveň přímo závisí na jeho obsahu ve vzorku. Díky tomu je analytický proces urychlen a zároveň jsou eliminovány ztráty analytu, které mohou vzniknout adsorpcí na povrchu vzorkovnic, anebo jeho rozkladem.

Jsou dvě základní uspořádání extrakce pomocí SPME, a to přímé ponoření do vzorku a analýza rovnovážné plynné fáze. Při přímém ponoření do vzorku je analyt extrahován na vlákno rovnou z matrice. Aby bylo zabráněno vzniku míst s nedostatkem analytu a také aby nastala rovnováha mezi vláknem a vzorkem rychleji, jsou využity různé pomocné techniky jako například míchání či sonifikace. Ustanovení rovnováhy při přímém ponoření popisuje rovnice (28).

$$n = \frac{K_{fs} V_f V_s C_0}{K_{fs} V_f V_s} \quad (28)$$

kde n je množství extrahované látky, K_{fs} je distribuční koeficient mezi vláknem a vzorkem, V_f je objem extrakční vrstvy na vlákně, V_s je objem vzorku a C_0 je počáteční koncentrace analytu ve vzorku.

Naproti tomu při analýze rovnovážné plynné fáze je vlákno umístěno nad hladinou vzorku v uzavřené nádobce. Výhodou tohoto uspořádání je, že je vlákno chráněno před škodlivými látkami, které by mohl vzorek obsahovat. Takto je možné vzorkovat pouze dostatečně těkavé analyty, přičemž těkavější látky budou v prostoru nad vzorkem ve větší koncentraci než méně těkavé látky [39].

Oproti jiným extrakčním technikám má SPME řadu výhod. Předností jsou jeho malé rozměry. Dále pro extrakci touto technikou nejsou potřeba rozpouštědla. I přes malé množství vyextrahovaného analytu umožňuje stanovení s velkou citlivostí. Umožňuje tedy vzorkování s vysokou efektivností a pracovní jednoduchostí [5, 39].

2.3 Chromatografie

Chromatografie je analytická metoda umožňující dělení poměrně složitých směsí látek, identifikaci jednotlivých složek a také jejich kvantifikaci. Při separaci se uplatňuje několik fyzikálně-chemických dějů, z nichž jeden vždy převládá.

2.3.1 Plynová chromatografie

Plynová chromatografie (GC) je separační metoda, která dělí složky směsi na základě rozdělovacího koeficientu a rozdílných bodů varu. Separace probíhá mezi stacionární a mobilní fází v koloně. Stacionární fáze (nepohyblivá) je sorbent nebo kapalina umístěná v koloně a mobilní fáze (nosný plyn) je pohyblivá a prochází kolonou.

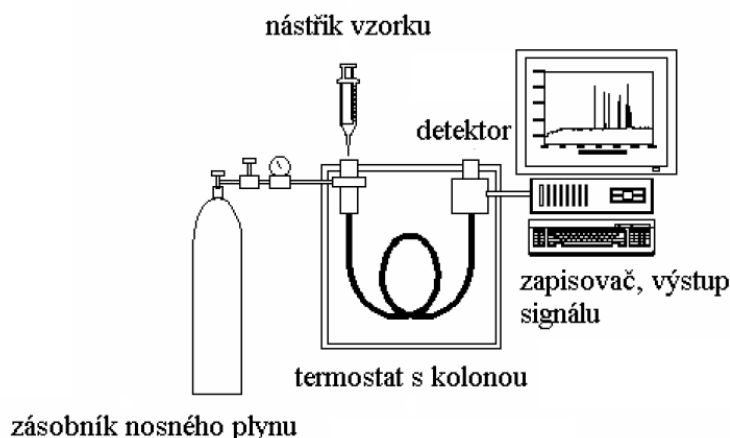
Dělení analytů je na základě rozdílné distribuce mezi stacionární a mobilní fází. Analyty mají také rozdílnou afinitu k stacionární fázi a odlišně se na ni adsorbují nebo v ní rozpouštějí. Touto metodou můžeme separovat látky, které lze za pracovní teploty kolony převést do plynné fáze.

Vzorek je pomocí injektoru dávkován do proudu nosného plynu a tím se dále vzorek unáší kolonou. Vzorky s vysokým bodem varu nebo v tuhém skupenství je nutné před stanovením upravit. Tuhé látky je nutné rozpustit v rozpouštědlech a látky s vysokým bodem varu jsou převedeny na deriváty s nižším bodem varu.

VOCs je možné stanovit pomocí metody head space, metody analýzy rovnovážné plynné fáze. Vzorek v uzavřené skleněné lahvičce zahřejeme například ve vodní lázni na požadovanou teplotu. VOCs tak oddělíme od matrice, protože přejdou do plynného skupenství.

K separaci složek dochází v koloně, která je zahřívána na určitou teplotu. Složky vzorku se zde separují na základě různé schopnosti zachycovat se na stacionární fázi. Kolonu tedy nejdříve opouští složky, které mají nejmenší afinitu k stacionární fázi a jsou nejdříve zaznamenávány detektorem. Složky s větší afinitou jsou v koloně zadržovány delší dobu a dostávají se na detektor později. Následně je signál z detektoru vyhodnocen. Poskytuje informace o kvantitativním i kvalitativním složení vzorku.

Plynový chromatograf (obr. 23) se skládá ze zdroje nosného plynu, regulačního systému, dávkovače vzorku, kolony (ta je umístěná v termostatu), detektoru a vyhodnocovacího zařízení [43].



Obr. 23: Schéma plynového chromatografu.

2.3.1.1 Mobilní fáze

Mobilní fází v plynové chromatografii je nosný plyn, který volíme například podle čistoty, reaktivity, ceny plynu, viskozity, účinnosti a typu detektoru. Používá se vodík, dusík, helium a argon.

Účinnost chromatografického systému určuje lineární rychlost mobilní fáze u spolu s mírou interakce mezi analytem a stacionární fází. Lineární rychlost, v daném experimentálním uspořádání s konstantním průřezem kolony A , je úměrnou objemové rychlosti F_c , která je nastavená pomocí regulátoru konstantního průtoku nosného plynu.

$$u = \frac{F_c}{A} = \frac{\chi}{\pi} \cdot \frac{dP}{dL} \quad (29)$$

Pro průtok nosného plynu kolonou obecně platí, že je funkcí tlakového spádu $\Delta(P_i - P_0)$ mezi tlakem vstupním P_i a výstupním P_0 , viskozity plynu η a pseudodynamického odporu separačního systému. Viskozita je pak funkcí teploty, kdy při vzrůstající teplotě vzrůstá ($\eta = f(T^{0.7})$).

Lineární rychlost plynu není po celé délce kolony konstantní, což je způsobeno stlačitelností plynů. Okamžitá lineární rychlost u od počátku kolony až k jejímu konci vzrůstá. Pro vyšší tlakový spád, jenž je určen faktorem kompresibility j , je tento nárůst podstatně vyšší, jak dokládají rovnice 30 a 31 [44].

$$j = \frac{P_0}{P} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\left(\frac{P_i}{P_0}\right)^2 - 1}{\left(\frac{P_i}{P_0}\right)^3 - 1} \quad (30)$$

$$\bar{u} = j \cdot u \quad (31)$$

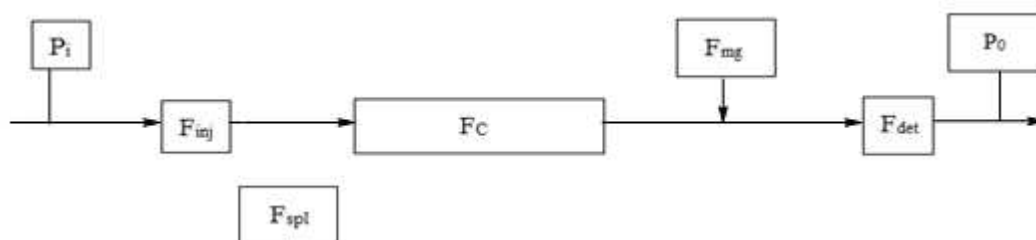
2.3.1.2 Regulační systém

Jedná se o regulátory tlaku a průtoku nosného plynu. Regulační systém zajišťuje průtok plynu, tlak a splitovací poměr. Průtok plynu kolonou a detektorem je konstantní a to pro všechny typy nosných plynů, teploty a typu kolony. Nastavení tlaku je proměnlivé tak, aby průtok plynu kolonou byl konstantní [43].

V plynovém chromatografu je průtok nosného plynu regulován na několika místech (obr. 24). Průtok nosného plynu injektorem F_{inj} je požadován vysoký, aby nedocházelo k rozmytí vzorku před kolonou. Naopak v koloně je požadován nižší průtok nosného plynu (optimalizován podle rovnice 32) a také nižší množství vzorku. Z tohoto důvodu je část nosného plynu se vzorkem odváděna děličem mimo kolonu. Součet dávkovaného množství analytu m_a a dělicího poměru, dle rovnice 33, dává množství vzorku na koloně m_c .

$$H = A + \frac{1}{\bar{u}} \cdot B + \bar{u} \cdot C \quad (32)$$

$$m_c = m_a \cdot \frac{F_c}{F_c + F_{split}} = m_a \cdot \frac{F_c}{F_{inj}} \quad (33)$$



Obr. 24: Kontrolované průtoky v plynové chromatografii.

F_{inj} je průtok injektorem, F_{spl} průtok za děličem, F_C je průtok kolonou, F_{mg} je průtok make-up plynu, F_{det} je průtok detektorem [44].

2.3.1.3 Injektor

Pomocí injektoru je vzorek dávkován do proudu nosného plynu. Vzorek v roztoku musí být rychle odpařen, proto je nutné, aby bylo dávkování rychlé. Injektor zajišťuje malý objem vzorku vstupujícího na kolonu a nesmí v něm dojít během odpaření vzorku k jeho rozkladu.

Prostor injektoru je od vnějšího prostoru oddělen septem, přes které se pomocí mikrodávkače opatřeného jehlou realizuje nástřik vzorku. Vzorek může být na kolonu dávkován dvěma způsoby, děličově (split) a bezděličově (splitless). Při děličovém dávkování je směs vzorku s nosným plynem rozdělena, část vstupuje na kolonu a část odchází do odpadu. Při bezděličovém dávkování je převedeno prakticky veškeré dávkované množství vzorku na kolonu.

2.3.1.4 Kolony

Kolona je umístěna v termostatu, který je temperován na určitou teplotu, ta je v GC důležitou proměnnou. Pokud je teplota konstantní, jedná se o tzv. isotermální analýzu. Analýza, v jejímž průběhu je teplota měněna, se označuje jako analýza s programovanou teplotou a využívá se při analýze vícesložkových směsí látek s rozdílným bodem varu. Výhodou použití teplotního programu je zlepšení píků, tedy zúžení signálu a zvýšení citlivosti.

V koloně je stacionární fáze, díky níž dochází k separaci látek, přičemž vyšší účinnost separace poskytují kolony s menším vnitřním průměrem. Oproti tomu kolony s větším průměrem mají vyšší kapacitu, jsou tedy schopny separovat větší množství vzorku.

Náplňové kolony (obr. 25) jsou vyrobeny například ze skla, oceli nebo polyethylenu. Jejich délka je až 4 m a vnitřní průměr 2 až 4 mm. Naplněny jsou stacionární fází, a to adsorbentem nebo inertním nosičem pokrytým kapalinou. Jako adsorbenty se používají silikagel a oxid hlinitý (alumina). Nosič kapalné fáze je na bázi křemeliny (oxid křemičitý), aby se neuplatňovaly jejich adsorpční schopnosti, jsou upravovány [43].



Obr. 25: Náplňové kolony [45].

Kapilární kolony (obr. 26) jsou vyrobeny z křemene pokrytého vrstvou polyimidu. Jejich délka je nejčastěji 30 m a vnitřní průměr většinou v rozmezí 0,2 až 0,53 mm. Stacionární fáze je nanášena na vnitřní stěně kapiláry [43].



Obr 26: Kapilární kolona [45].

2.3.1.5 Detektory

Nosný plyn z kolony vstupuje do detektoru, ten následně reaguje na proměnlivost jeho složení změnou elektrické veličiny. Detektor tedy umožňuje převést fyzikálně chemické vlastnosti analytu na měřitelný signál a to zpravidla na elektrický. Odezva detektoru je tedy jeho reakce na složení plynu, přičemž aktuální odezva je průměrná hodnota pro koncentraci analytu v celém objemu.

Vlastnosti detektoru se hodnotí podle jeho citlivosti, selektivity a také lineárního dynamického rozsahu. Citlivost je změnou koncentrační odezvy příslušící jednotkové změně koncentrace složek, které jsou přítomny v detektoru. Rozdílná odezva detektoru na látky pak souvisí se selektivitou. Pokud je odezva detektoru nenulová a zároveň podobná, jedná se o univerzální detektor. U selektivního detektoru pak odezva závisí na přítomnosti určitých funkčních skupin v molekule analytu [44].

Plamenově ionizační detektor (FID) je velmi citlivým a nejpoužívanějším typem detektoru. Detektor je tvořen hořákem umístěným mezi dvěma elektrodami. Anodu tvoří kovová část tělesa hořáku, katodu kovová síťka nebo trubička umístěná těsně nad plamenem. Do spodní části detektoru je přiváděn nosný plyn spolu s pomocným plynem a vzduchem. Analyt unášený nosným plynem je v kyslíko-vodíkovém plameni spalován. V plameni z molekul analytu vznikají ionty, které zvyšují vodivost plamene. V detektoru jsou zaznamenávány změny ionizačního proudu způsobené přítomností eluovaného analytu.

Tepelně vodivostní detektor (TCD) patří mezi univerzální detektory. Tento typ detektoru má konstantním elektrickým proudem žhavené vlákno, okolo kterého proudí nosný plyn. Proud nosného plynu ochlazuje vlákno na určitou teplotu. Změna teploty vlákna a následně i jeho elektrického odporu je důsledkem přítomnosti stanovované složky měnící tepelnou vodivost prostředí. Obvykle jsou v TCD použita dvě vlákna, kdy okolo jednoho proudí pouze čistý nosný plyn a okolo druhého eluát z kolony. Pomocí Wheatsonova můstku jsou pak porovnávány jejich odpory.

Detektor elektronového záchytu (ECD) je vhodný pro stanovení halogenů, na které je velmi citlivý a také sloučenin obsahujících fosfor, kyslík, síru, olovo, arseny a nitrosloučeniny. Jako zdroj ionizujícího záření je u ECD použit radioaktivní zářič ^3H nebo ^{63}Ni , který emituje

záření β , tedy proud elektronů. Emitované záření má velkou energii, díky níž není zachycováno elektronegativnějšími atomy dané složky. K ionizaci dochází při kolizi nosného plynu, kterým je dusík, se zářením β . Produktem jsou pomalé elektrony, které zachycují elektronegativní atomy separované složky a snižují tak ionizační proud.

Fotoionizační detektor (PID) je velmi citlivý, až 100 x více než FID. Selektivita tohoto detektoru je značně ovlivněna vhodnou volbou vlnové délky ionizujícího UV záření. Organické látky, amoniak, kyslík a sulfan jsou ionizovány. Naproti tomu anorganické plyny, například dusík, helium, oxid uhelnatý a uhlíčitý a voda ionizovány nejsou [43].

2.4 Stanovení těkavých organických látek

Evropský parlament schválil nové nařízení č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek a o zřízení Evropské agentury pro chemické látky, pro které se vžila zkratka REACH (registrace, evaluace a autorizace chemických látek). Účelem tohoto nařízení je především zajistit ochranu lidského zdraví a životního prostředí před nežádoucími účinky více jako 34 milionů chemických látek registrovaných v CAS. REACH má tedy drasticky zvýšit počet chemických sloučenin, které vyžadují registraci. Stanoví monitorování chemických látek, které jsou při jejich používání uvolňovány do životního prostředí. Toto monitorování poskytne potřebné údaje pro registraci a správné posouzení rizik těchto látek [46].

Monitoring těkavých organických látek v pracovním ovzduší má význam vzhledem k jejich značnému podílu na znečištění pracovního prostředí a vlivu na kvalitu ovzduší. Některé z VOCs jsou považovány za nebezpečné lidskému zdraví, a některé z nich jsou podezřelé nebo známé karcinogeny i ve velmi nízkých koncentracích [46, 47]. V důsledku toho jsou koncentrace VOCs pravidelně sledovány na mnoha pracovištích, například v automobilovém průmyslu, na čerpacích stanicích či výrobních závodech na polyvinylchlorid nebo barvy [46].

Pro odběr vzorků se využívá aktivní i pasivní vzorkování. Přičemž v současné době se pro odběr VOCs ve vnitřních prostorách pracovišť používá převážně vzorkování pasivní, které je jednoduché, snadno se s ním manipuluje a je cenově dostupné v porovnání s aktivním odběrem. Tímto odběrem získáme časově vážený průměr koncentrace. V různých studiích používají PUF disk, SPME a Radiello [46, 47].

Vzhledem k fyzikálně–chemickým vlastnostem VOCs jsou pro jejich stanovení nejčastěji použity analytické metody plynová chromatografie s detektorem plamenově ionizačním nebo detektorem elektronového záchytu. Také lze využít plynovou chromatografii ve spojení s hmotnostní spektrometrií (MS). Velmi zřídka je využívána také vysoce účinná kapalinová chromatografie (HPLC) nebo iontová chromatografie (IC), která je používána zejména pro analýzu karbonylových sloučenin po derivatizaci [11, 17].

2.4.1 Vzorkování

2.4.1.1 Aktivní vzorkování

Při aktivním odběru vzorků je vzduch vháněn přes adsorbent nebo směs adsorbentů, přičemž podle typu adsorbentu jsou zachycovány určité látky. Jako adsorbent se používá

aktivní uhlí nebo organické porézní polymery jako například Chromosorb, XAD-2 pryskyřice a grafitové saze jako Carbotrap. Směs adsorbentů, využívaných pro vzorkování VOCs, je na bázi uhlíku nebo porézních polymerů jako Carbopack a Carboxen nebo Carbosieve. Také se využívá spojení Carbotrap a Carbosieve nebo dva druhy Carbograph, dále Tenax s Carboxenem, Carbopackem nebo Carbotrapem.

Adsorbent Tenax byl využíván pro vzorkování VOCs ve značně znečištěném ovzduší. Tento typ adsorbentu je hydrofobní, tepelně stabilní a umožňuje rychlou desorpci. Stabilita při skladování byla testována na adsorbentu Tenax TA, Chromosorb a Carbotrap. U Tenaxu TA a Carbotrapu byla zjištěna špatná výtěžnost. Také byly pozorovány rozdíly způsobené dobou nebo teplotou při skladování [5].

Aktivní vzorkovače mají tu výhodu, že jsou schopné odebrat přesný objem vzduchu v krátké době. Obtížné je vzorkování více bodů a současně, protože aktivní odběr potřebuje elektřinu [16]. Americká agentura EPA zveřejnila několik různých metod (například TO-1 a TO-2) pro aktivní odběr VOCs [5].

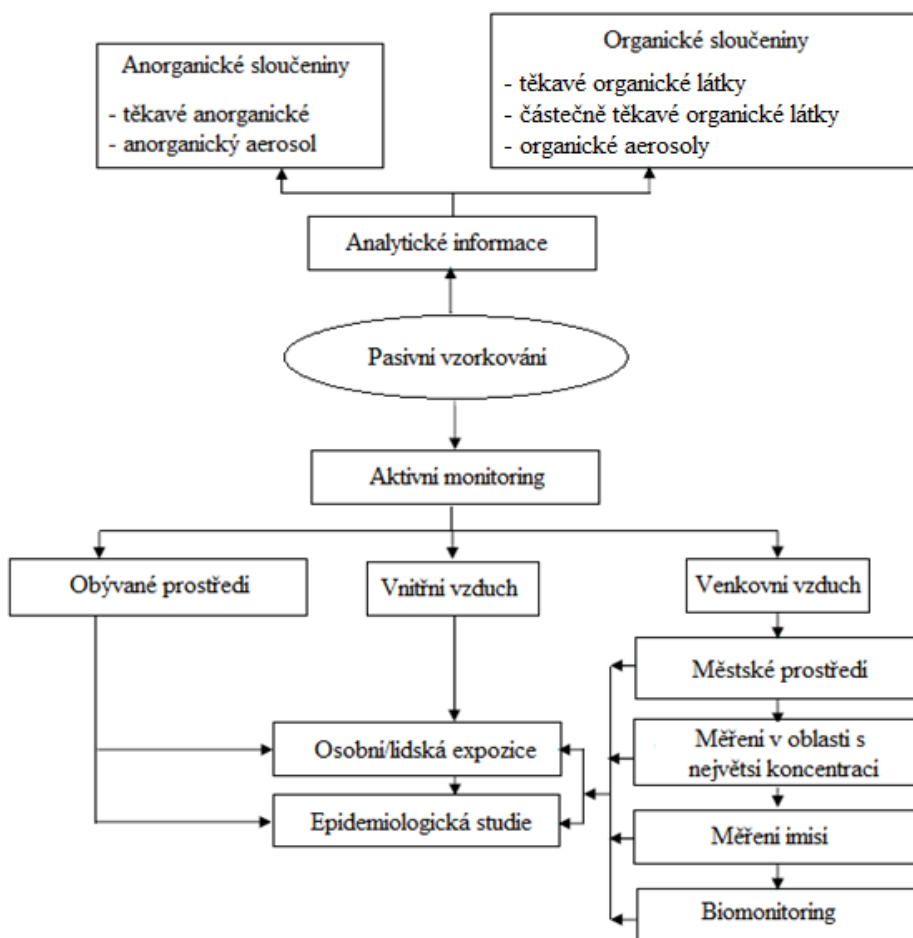
Metoda TO-1 popisuje odběr vzduchu z vnějšího prostředí přes kazetu obsahující 1–2 gramy Tenaxu®. Vybrané VOCs jsou zachyceny na pryskyřici a zbylé organické i anorganické sloučeniny procházejí touto kazetou. Při analýze je kazeta umístěna do vyhřívané komory a propláchnuta inertním plynem. VOCs jsou inertním plynem unášeny dále do vymrazovačky, následně pak na kolonu. Teplota na koloně je nejprve 70 °C, dále je zvýšena. K analýze je používán plynový chromatograf s hmotnostní detekcí.

Metoda TO-2 je podobná metodě TO-1, s výjimkou adsorbentu, který je v tomto případě uhlíkové molekulární síto a ne Tenax. Tento adsorbent umožňuje zachytit velkou škálu VOCs. Tato metoda je také vhodná pro stanovení některých nepolárních VOCs s teplotou varu od -15 °C do 120 °C. Vzorky jsou zachycovány na kazetě s obsahem 0,4 g uhlíkového molekulárního síta. Před analýzou je kazeta propláchnuta 2–3 litry čistého, suchého vzduchu kvůli odstranění vlhkosti. U stanovení je podobně jako u metody TO-1 kazeta zahřáta na 350–400 °C a zároveň promývána heliem. Desorbované organické sloučeniny jsou kumulovány ve speciálně vytvořené vymrazovačce. Shromážděné organické látky jsou poté náhle vypařeny do kapilární kolony systému GC/MS (udržován při 70 °C). Jednotlivé složky jsou identifikovány a kvantitativně vyhodnoceny v průběhu teplotně naprogramované chromatografické analýzy [12].

2.4.1.2 Pasivní vzorkování

Každý den dospělý člověk vdechne v průměru 11 000 litrů vzduchu, obsahujícího řadu látek, které mohou mít také nepříznivé účinky na zdraví. Patří mezi ně aromatické uhlovodíky a VOCs, které jsou ve velké míře obsaženy ve vnitřním i vnějším prostředí. Jejich zdroje se liší právě v závislosti na prostředí. V této souvislosti by možnost provedení jednoduchého odběru vzorku měla velký význam pro posouzení kontaminace mnoha typů míst [48].

Možnosti použití pasivního vzorkování při monitoringu ovzduší jsou shrnuty na obrázku 27.

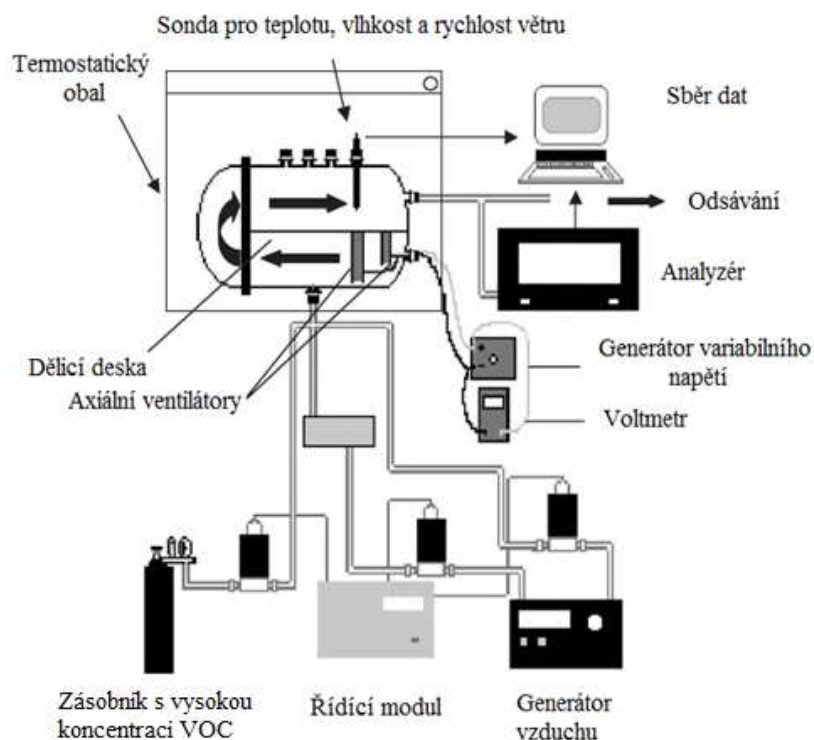


Obr. 27: Praktická aplikace pasivního vzorkování při monitoringu kvality ovzduší [33].

Aby bylo možné používat pasivní vzorkovač Radiello na posouzení vnějšího či vnitřního prostředí, je důležité přesně definovat některé parametry. Proto A. Pennequin-Cardinal a kol. [48] se ve své studii zabývají vlivem různých faktorů, jako je rychlost větru, relativní vlhkost, teplota, doba expozice a koncentrace.

Ve své práci publikují výsledky z pokusů, kdy vystavili vzorkovače třem typickým koncentracím (nízké, střední a vysoké) po odlišnou dobu (jednoho, tří a sedmi dnů) při různých teplotách (10 °C, 20 °C a 30 °C) při třech relativních vlhkostech (20 %, 50 % a 80 %) a pěti rychlostem větru (0; 0,3; 0,5; 1 a 3 m·s⁻³). Vliv zpětné difúze a směs 37 VOCs byly zkoumány v několika konkrétních experimentech v expoziční komoře. Nakonec této studie byly zkonstruované modely, které popisují změny v závislosti na vzorkovací frekvenci a sledovaných parametrech. Byly zjištěny nejistoty měření popsané pro každou sloučeninu samostatně.

Při samotném experimentu byly pasivní vzorkovače Radiello umístěny do expoziční komory (obr. 28), kde byly kontrolovány jak koncentrace VOCs, tak sledované faktory. Střední hodnota řady testovaných koncentrací byla stanovena podle průměrné roční hodnoty stanovené podle Evropské směrnice 2000/69/ES, tedy 5 µg·m⁻³ pro benzen. V testovaném vzduchu byly poměry koncentrací VOCs stanoveny podle koncentrací vyskytující se v okolním vzduchu (10,6 ppm benzenu, 31,5 ppm toluenu, 5,1 ppm ethylbenzenu, 10,2 ppm *m/p*-xylynu a 6 ppm *o*-xylynu).



Obr. 28: Expoziční komora pro určení vlivu okolních podmínek na vzorkování vzorkovačem Radielo.

Analýza adsorpčních povrchů Radiella byla realizována automatickou teplotní desorpcí, pomocí ATD 400 firmy Perkin Elmer, ve spojení s plynovým chromatografem s plamenově ionizačním detektorem. Podmínky stanovení jsou uvedeny v tabulce 14.

Tabulka 14: Podmínky stanovení pro ATD 400 / GC-FID.

adsorbent	Carbopack B + Carbosieve III
teplota desorpce	290 °C
čas desorpce	10 min.
teplota adsorpční patrony	10–290 °C
průtok děličem	10 ml·min ⁻¹
nosný plyn	helium (průtok kolonou: 1,25 ml·min ⁻¹)
kolona	CP-Sil 8 CB 50 m × 0,32 mm × 0,25 μm
teplotní program kolony	počáteční teplota 35 °C po dobu 10 min, poté po 5 °C za min na 140 °C, dále pak po 15 °C za min na 250 °C, poté 3 min na 250 °C
detektor	FID (250 °C)

Při testech vlivu doby expozice a koncentrace bylo vystaveno expozici 180 vzorkovačů za různých podmínek trvání expozice (1, 3 a 7 dnů) a koncentrace (nízká, střední a vysoká).

Všechny ostatní parametry byly po celou dobu testů stejné, tedy relativní vlhkost $50 \pm 3 \%$, teplota $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ a rychlost větru $0,5 \pm 0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Výsledkem tohoto testu je, že odchylky v závislosti na těchto parametrech se pohybují $<5 \%$.

Vlivu rychlosti větru byl testován na 6 vzorkovačích v 13 sadách při rychlostech větru 0; 0,3; 0,5; 1 a $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Všechny ostatní parametry byly pevně stanoveny, tedy relativní vlhkost $50 \pm 3 \%$, teplota $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, koncentrace byly střední a doba vzorkování byla 1 den. Pro slabý vítr (rychlost se blíží k $0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) bylo pozorováno snížení 10–15 % oproti výsledkům získaných při standardním podmínkách. Pro vysoké rychlosti větru ($3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), která představuje nárůst o 15 až 20 % vzorkovací frekvence. Předpokládá se, že tento efekt je způsoben zkrácením dráhy difuze.

Vliv teploty a relativní vlhkosti byl testován na 6 vzorkovačích v 11 sadách za různých podmínek a kombinacích relativní vlhkosti v rozmezí 20 % až 80 % a teploty v rozmezí $10 \text{ }^\circ\text{C}$ až $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Ostatní faktory byly pevně stanoveny, a to doba expozice 3 dny $0,5\text{--}0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a koncentrace na střední úrovni. Bylo zjištěno, že relativní vlhkost nemá prakticky na vzorkování vliv, zatímco teplota má různé účinky na vzorkování. Například pro benzen je to pokles o $0,6 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, pro toluen $0,35 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

V posledním testu bylo šest vzorkovačů ve dvou sériích vystaveno směsi 37 VOCs po dobu 7 dnů při střední koncentraci, relativní vlhkosti v rozmezí $50 \pm 3 \%$, teploty $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ a rychlosti větru $0,5 \pm 0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. U testovaných VOCs nebyly pozorovány rozdíly ve vzorkování se spolehlivostí 95 % [48].

Mikroextrakci tuhou fází lze považovat za alternativu ke klasickým metodám (např. adsorpční trubičky) vzorkování VOCs ve vnitřním prostředí. Nejspolehlivější adsorpční povrch pro tento typ vzorkování je vlákno polydimethylsiloxan/Carboxen (PDMS/Carboxen). Problém při vzorkování SPME technikou nastává při uchování odebraných vzorků. Skladovací podmínky musí být přesně definovány vzhledem k tomu, že v okolním vzduchu se cílové sloučeniny nacházejí také. Nesmí tedy dojít k ztrátám či zvýšení koncentrace analytu.

Při porovnání vláken pro vzorkování VOCs mělo neuspokojivé výsledky vlákno $100 \mu\text{m}$ PDMS, které mělo po 24 hodinovém skladování při $24 \text{ }^\circ\text{C}$ výtěžnost pouhých 70 %. Oproti tomu vlákno PDMS/Carboxen mělo výtěžnost od 52 do 113 % při stejných podmínkách. Podstatný vliv na skladování nemá relativní vlhkost ani čas. SPME je vhodnou technikou pro vzorkování VOCs v ovzduší ve vnitřních prostorách [49].

2.4.2 Stanovení pomocí plynové chromatografie

Ve většině výzkumů jsou VOCs analyzovány pomocí GC. Jejich analýza pomocí jiných technik je spíše omezená. Příklady těchto technik je DOAS (diferenciální optická absorpční spektroskopie) pro plynné vzorky a MIMS (hmotnostní spektrometrie s membránovým vstupem) u plynných a kapalných vzorků [10].

J. Begerow a kol. [50] porovnávali dva typy pasivních vzorkovačů vzhledem k jejich využitelnosti vzorkování VOCs ve vnitřním i vnějším prostředí. K separaci a detekci VOCs použili plynovou chromatografii s detektorem ECD a FID. Vzorek byl dávkován split-splitless injektorem, mobilní fáze byla paralelně dělena na dvě kapilární kolony s různou polaritou. Detekce bylo dosaženo spojením výstupu každé z kolon s detektory ECD a FID, zapojenými za sebou. Podmínky tohoto stanovení jsou shrnuty v tabulce 15.

Tabulka 15: Podmínky pro stanovení VOC plynovou chromatografií.

přístroj	plynový chromatogram HRCG 5300 (Fisons Instruments) s automatickým dávkovačem AS 200
injektor	teplotně programovaný split-splitless multi-injektor MFA 515
detektor předkolona	dva detektory ECD/FID v sérii za každou kolonou kapilární kolona 2,5 m x 0,32 mm deaktivovaná methyl siloxanem (Chrompack)
kapilární kolona 1	60 m DB-5 (5 % fenyl, 95 % methyl silikon, J&W Scientific), 1 µm tloušťka filmu, 0,32 mm vnitřní průměr
kapilární kolona 2	60 m DB-1701 (14 % kyanopropyl fenyl silikon, J&W Scientific) 1 µm tloušťka filmu, 0,32 mm vnitřní průměr
nosný plyn	helium (čistota 5.6) průtok 2 ml/min
přídavný plyn	dušík (čistota ECD) průtok 30 ml/min
průtok děličem	10 ml/min
Teploty	
ECD1 a ECD2	330 °C
FID1 a FID2	330 °C
injektor	50 °C po dobu 1 min., pak balisticky vyhříván do 250 °C
kolony	5 min při 35 °C, 4 °C /min na 150 °C, 30 minut při 150 °C
objem nástřiku:	2 µl
Vyhodnocení dat	plocha píku

Rein Otson a Xu-Liang Cao [51] ve své práci posuzovali tehdy nové typy pasivních vzorkovačů, které měly být malé, jednoduché a cenově dostupné. Jejich metoda byla určena především pro vzorkování VOCs na pracovištích.

Ke stanovení používali plynový chromatograf Hewlett-Packard (HP) 5890 Series II s hmotnostním detektorem HP 5972A v režimu SIM. Vzorky byly dávkovány pomocí automatického dávkovače HP 7673A. Kapilární kolona použitá pro toto stanovení byla DB-624 (60 m x 0,32 mm ID, 1,8 µm tloušťka, Brockville, Kanada). Teplota v termostatu byla držena na 40 °C po dobu 4 minut, poté byla zvýšena gradientem 10 °C za minutu na 220 °C (0 min.), dále po 20 °C za minutu na 250 °C (6 min.). Teplota injektoru byla 250 °C. Jako nosný plyn bylo použito helium s průtokem 30 ml/min. Automatickým dávkovačem byl dávkován z 2 ml vialek extrakt s přídavkem standardu.

Získaná data byla upravena pomocí metody SIM, která je založena na kvantifikaci jednoho iontu a dvou označených iontů přes cílovou sloučeninu. Pro kvantifikaci byla použita metoda externího standardu založená na vyhodnocení ploch píků [51].

2.5 Gumotex a.s.

V roce 1950 začíná v Břeclavi podnikat firma v oblasti výroby opryžovaného textilu a ochranných oděvů. Jako samostatný podnik Gumotex, a.s. vystupuje od roku 1952, kdy začal vyrábět povrchově upravované pogumované materiály. Později je výroba rozšířena o sportovní nafukovací výrobky, a to lehátka, čluny a lodě. V 60. a 70. letech minulého století dochází k velkému rozmachu díky zavedení výroby polyurethanových pěn.

Společnost dodává z polyurethanových pěn výrobky pro nábytkářský průmysl, a to matrace a různé tvarované výrobky. Pro automobilový průmysl pak pěnové výplně sedáků, hlavové opěry, sluneční clony a další drobné výrobky do interiéru vozidel.

Gumárenské směsi a speciálními směsmi povrchově upravované materiály jsou základem pro výrobky pro volný čas, jako jsou čluny, lodě, rafty. Také jsou z těchto materiálů vyráběny nafukovací matrace a dále pak speciální produkty, a to nafukovací stany, boxy a také některé potřeby využívané v rámci integrovaného záchranného systému ČR.

Společnost Gumotex, a.s. je se svým ročním obrátem dvě miliardy korun největším podnikem v břeclavském regionu. Zaměstnává přibližně 1300 zaměstnanců. Více než polovina produkce je exportována především do USA a zemí Evropské unie.

Mezi klíčové technologie této firmy patří zpracování polyurethanových pěn, výroba postelových matrací, výroba dílů pro interiéry automobilů (sluneční clony, sedáky, opěry), výroba natíraných a nánosovaných textilů a výroba nafukovacích člunů a matrací [6].

2.5.1 Látky používané na pracovištích firmy Gumotex, a.s.

Na pracovištích firmy Gumotex, a.s. se koncentrace chemických škodlivin v pracovním ovzduší posuzuje podle zákona č.258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví v platném znění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým jsou stanoveny podmínky ochrany zdraví při práci, příloha číslo 2, část A: Seznam chemických látek a jejich přípustné expoziční limity (PEL) a nejvyšší přípustné koncentrace (NPK-P).

2.5.1.1 Přípustné expoziční limity

Přípustné expoziční limity jsou dle Státního zdravotního ústavu definovány jako [52]: „Přípustný expoziční limit chemické látky nebo prachu je celosměnový časově vážený průměr koncentrací plynů, par nebo aerosolů v pracovním ovzduší, jimž může být podle současného stavu znalostí vystaven zaměstnanec v osmihodinové nebo kratší směně týdenní pracovní doby, aniž by u něho došlo i při celoživotní pracovní expozici k poškození zdraví, k ohrožení jeho pracovní schopnosti a výkonnosti. Přípustný expoziční limit je stanoven pro práci, při které průměrná plicní ventilace zaměstnance nepřekračuje 20 litrů za minutu za osmihodinovou směnu. Koncentrace chemické látky nebo prachu v pracovním ovzduší, jejímž zdrojem není technologický proces, nesmí překročit 1/3 jejich přípustných expozičních limitů.“

2.5.1.2 Nejvyšší přípustná koncentrace

Nejvyšší přípustné koncentrace jsou dle Státního zdravotního ústavu definovány jako [52]: „Nejvyšší přípustná koncentrace je taková koncentrace chemické látky, které nesmí být zaměstnanec v žádném úseku směny vystaven. Při hodnocení pracovního ovzduší lze porovnávat s nejvyšší přípustnou koncentrací dané chemické látky časově vážený průměr koncentrací této látky měřené po dobu nejvýše 15 minut. Takové úseky s vyšší koncentrací smí být během osmihodinové směny nejvýše čtyři, hodnocené s odstupem nejméně jedné hodiny.“

Tabulka 16: PEL a NPK - P chemických látek používaných na oddělení 322 - oprýžovaný textil a 328 - výroba člunů [53].

látka	číslo CAS	PEL [mg.m ⁻³]	NPK - P [mg.m ⁻³]
4,4'-difenylmetandiisokyanát	101-68-8	0,05	0,1
etylacetát	141-78-6	700	900
cyklohexan	110-82-7	700	2000
n-hexan	110-54-3	70	200
benzíny (technická směs uhlovodíků)	86290-81-5	400	1000
methylethylketon	78-93-3	600	900
toluen	108-88-3	200	500
aceton	67-64-1	800	1500
2,6-toluendiisokyanát	91-08-7	0,05	0,1
tetrahydrofuran	109-99-9	150	300

2.5.2 Oddělení číslo 322 - oprýžovaný textil

Na tomto pracovišti se vyrábí povrchově upravované textilie. Upravují se textilie z bavlny, polyesteru, bavlny s příměsí polyesteru a sklotkaniny. Na základní materiál jsou nanášeny roztoky polymerů nebo kaučukových směsí. Kaučukové směsi obsahují kaučuk, plnivo, antioxidant, urychlovací systém, pigmenty a jsou na bázi přírodního nebo syntetického kaučuku. Zařízení, které se na natírání používá, se skládá z navíjecí jednotky, natírací stolice (obsahuje válec a nůž) sušící komory a navíjecí jednotky. Roztoky směsí se dávkuje před natírací nůž, který je rovnoměrně nanese na procházející textil. V sušících komorách dochází k odpaření rozpouštědel a vysušený textil je navíjen do rolí na navíjecím zařízení. Páry rozpouštědel, které se odpaří v sušících komorách, se ventilátory odsávají do rekuperačního zařízení. V tomto zařízení se zpětně získá až 92 % rozpouštědel, které se vrací zpět do výroby.

U všech polotovarů i hotových výrobků se provádí kontrola kvality. Typy zkoušek vychází z požadavků kladených na výrobek. Je to například celková hmotnost, vodopropustnost, odolnost vůči oděru, pevnost v tahu, odolnost nízké případně vysoké teplotě, odolnost proti chemikáliím a adheze.

Směsi nanášené na textil jsou charakteristické pro další využití upravené textilie. Mohou se použít například pro výrobu autorohoží, v obuvnictví, jako těsnění, hadice, strojírenský průmysl, elektro-izolace, chemický průmysl a další.

Tabulka 17: Látky používané na oddělení číslo 322 [21, 25, 28, 54–57].

chemický přípravek	složení	použití
Lewidur I 333	roztok homologů a předpolymerů 4,4'-difenylmetandiisokyanátu a etylacetátu	pro zvýšení adheze při nanášení textilií
Makroplast B 2168	polychloropren, cyklohexan (20-30 %), ethylacetát (20-30 %), benziny C4-11 (10-20 %), n-hexan (< 1 %) a oxid zinečnatý (< 1 %)	kontaktní lepidlo
Benzín technický 80/110	benzínová frakce (ropná), hydrogenačně odsířená, lehká pyrolyzní; Nízkovroucí hydrogenovaný benzín	čistící a odmašťovací přípravek
Cyklohexan	koncentrace min. 99 %	rozpouštědlo, surovin pro výrobu polyamidů
Methylethylketon	koncentrace min. 97,70 %	rozpouštědlo, chemikálie pro výrobu fotomateriálů
Toluen	koncentrace > 99,00 %	výroba ředidel, barev a laků
Benzinový čistič	solventní nafta, lehká alifatická nízkovroucí benzínová frakce (> 95 %), toluen (< 5 %), benzen (< 0,1 %)	čistící a odmašťovací přípravek

2.5.3 Oddělení 328 - výroba člunů

Čluny jsou vyráběny na člunové lince. Ze základního materiálu jsou pomocí plotteru vyřezávány díly pro jednotlivé typy člunů. Jednotlivé díly jsou následně zvulkanizovány a po tlakových zkouškách odeslány na kompletaci. Při kompletaci se čluny lepí do jednotlivých válců a pak slepují do hotového korpusu. Podle základního materiálu je určeno lepidlo pro slepování člunu. Po kompletaci následuje tlaková zkouška, při níž se ke člunu přilepuje dno. Dno lodi může být vyrobeno klasickou metodou na člunové lince nebo se používá dublová podlaha.

Používá se lepidlo Ultraflex do kterého je přidáno tvrdidlo Härter a Desmodur RFE v poměru 71:29. Lepidlo je dále ředěno acetonem. Na jiné typy materiálů se používá lepidlo Unilep, do kterého je přidáno tvrdidlo Leabond v poměru 100:7,5.

K odmašťování a oživování lepených ploch se používá aceton a technický benzin.

Tabulka 18: Látky používané na oddělení číslo 328 [26, 27, 58–66].

chemický přípravek	složení	použití
Ultraflex 4818	polyuretanový roztok s rozpouštědly (aceton, ethylacetát)	lepidlo
Härter II	polyisokyanát v ethyl-acetátu.	tvrdidlo
Leabont SBS	roztok polyuretanového kaučuku v organických rozpouštědlech	tužidlo (sít'ující prostředek) k průmyslovým lepidlům
Unilep D 438	roztok polyuretanového kaučuku v organických rozpouštědlech	lepidlo
Roztok 5987	benzínová frakce (< 75 %), oxid zinečnatý (< 1 %), N-(cyklohexylthio)ftalimid (< 1 %) a di(benzothiazol-2-yl)disulfid (< 1 %)	lepidlo
Roztok 9081	toluen (> 70 %), kalafuna (< 1 %), oxid zinečnatý (5-10 %) a N-fenyl-N-isopropyl-1,4-fenylendiamin (10-15 %).	lepidlo
Aquaseal	roztok uretanového prepolymeru v toluenu jako rozpouštědle	lepidlo
Aceton	koncentrace 99,60 %	rozpouštědlo
Tetrahydrofuran	koncentrace 99,50 %	rozpouštědlo
Desmodur RFE	ester tris(p-isokyanátofenyl)thiofosforečné kyseliny (cca 27 hm %), etylacetát (cca 71 hm %) a chlorbenzen (< 1 hm %).	nátěrové hmoty nebo lepidla pro průmyslové aplikace
Cement plášťový	benzinovou frakci, rozpouštědlově rafinovanou lehkou a modifikovanou nízkovroucí benzinovou frakce	lepidlo pro průmyslové využití

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Přístroje, software, pracovní pomůcky a chemikálie

3.1.1 Přístroje

Plynový chromatograf s plamenově ionizačním detektorem

- GC Hewlett-Packard 5890 Series II
- Kolona: SLB™ - 5MS křemenná kapilární kolona, rozměry: 60 m × 0,25 mm × 0,5 μm; (Sigma Aldrich - Supelco)
- Automatický dávkovač vzorků Hewlett-Packard 7673

3.1.2 Pracovní pomůcky

- mikrodávkače Hamilton
- pipety
- vialky
- kádinky
- pasivní vzorkovače Radiello BTEX/VOCs cartridge Solvent desorption
 - adsorpční povrch o průměru 5,8 mm a délce 60 mm
 - nosná deska
 - difuzní porézní válcový držák (code 120) vyrobený z mikroporézního polyethylenu o průměru 16 mm a výšce 60 mm s tloušťkou stěny 1,7 mm, průměrnou porozitou 25 ± 5 mm délkou difúzní cesty 18 mm

3.1.3 Chemikálie

Tabulka 19: Chemikálie používané pro proměření kalibračních křivek a pro extrakci vzorků.

Chemikálie	Výrobce	Čistota [%]
aceton	Merck	≥ 98,0
methylethylketon	EURO-Šarm	min. 97,7
n-hexan	Merck	≥ 98,0
ethylacetát	Merck	99,8
tetrahydrofuran	LAB-SCAN	99,8
cyklohexan	LAB-SCAN	99,5
toluen	lach:ner	99,5
extrakční benzín	RM chemicals	-
sirouhlík	Merck	≥ 99,5
2-fluorotoluen	Sigma-Aldrich	≥ 99

3.1.4 Software pro zpracování a prezentaci dat

- Microsoft Office Word 2007
- Microsoft Office Excel 2007
- ChemStation for GC, Rev. A.10.02 [1635] (Agilent Technologies, USA)

3.2 Pracovní postup

3.2.1 Odběr vzorků

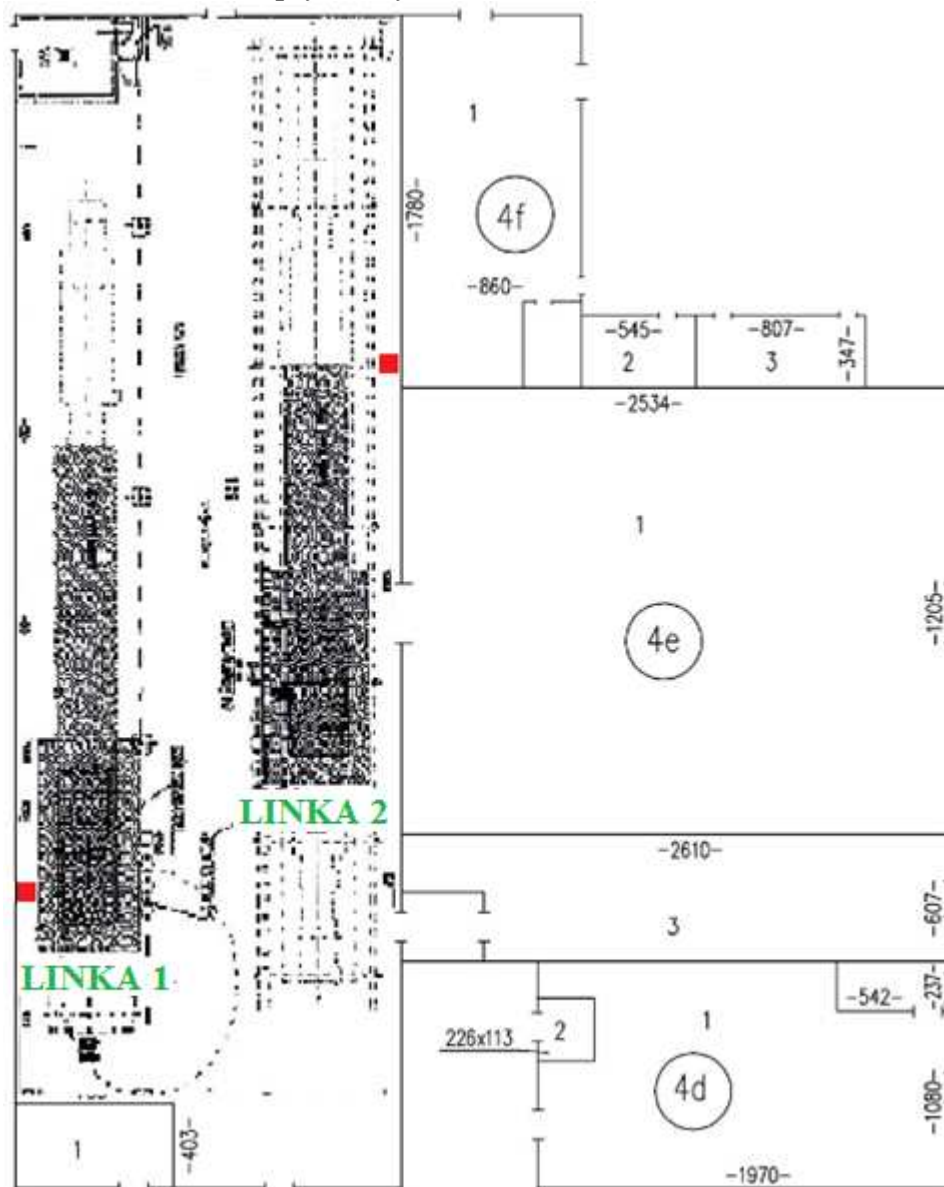
Vzorky byly odebrány pomocí vzorkovače Radiello BTEX/VOCs cartridge Solvent desorption v pěti sériích. Vzorkována byla dvě vybraná pracoviště firmy Gumotex, a.s., konkrétně oddělení číslo 322 - oprýžovaný textil a oddělení 328 - výroba člunů. Pasivní vzorkovače byly na pracovištích umístěny po dobu pěti a tří dnů.

První odběr byl proveden ve dnech 22.11.–26.11.2010. Na obě zmíněná pracoviště byly umístěny dva pasivní vzorkovače. Další odběr byl proveden ve dnech 7.3.–11.3.2011. I při tomto vzorkování byly umístěny na obě pracoviště dva pasivní vzorkovače. Třetí odběr byl uskutečněn ve dnech 28.3.–1.4.2011. V tomto případě bylo umístěno 6 vzorkovačů pouze na oddělení číslo 322 - oprýžovaný textil. Dále byl uskutečněn odběr ve dnech 20.4.–22.4.2011, kdy byly umístěny dva vzorkovače na obě zmíněná pracoviště. Poslední odběr byl uskutečněn 26.4.–28.4.2011. Opět byly umístěny dva a dva vzorkovače na obě pracoviště.

Tabulka 20: Označení vzorků s přesným místem jejich odběru a doba vzorkování.

vzorek	vzorkované místo	datum odběru	doba vzorkování [min]
Y755S	kompletace člunů		6025
Y930S	kompletace člunů segmenty	22.11.–26.11.2010	6035
Y741S	opryžovaný textil – linka 1		6080
Y933S	opryžovaný textil – linka 2		6028
NB502	kompletace člunů		6073
NB505	kompletace člunů segmenty	7.3.–11.3.2011	6070
NB504	opryžovaný textil – linka 1		6075
NB503	opryžovaný textil – linka 2		6075
NQ609	kompletace člunů – kontrola kvality 1		6058
NB506	kompletace člunů 1		6046
NE437	kompletace člunů 2	28.3.–1.4.2011	6045
NE438	kompletace člunů – kontrola kvality 2		6044
NB507	kompletace člunů – segmenty 1		6049
NQ606	kompletace člunů – segmenty 2		6042
NB514	kompletace člunů		3190
NB517	kompletace člunů segmenty	20.4.–22.4.2011	3197
NB508	opryžovaný textil – linka 1		3169
NB511	opryžovaný textil – linka 2		3178
DU379	kompletace člunů		3125
DU380	kompletace člunů segmenty	26.4.–28.4.2011	3125
DU376	opryžovaný textil – linka 1		3126
DU377	opryžovaný textil – linka 2		3136

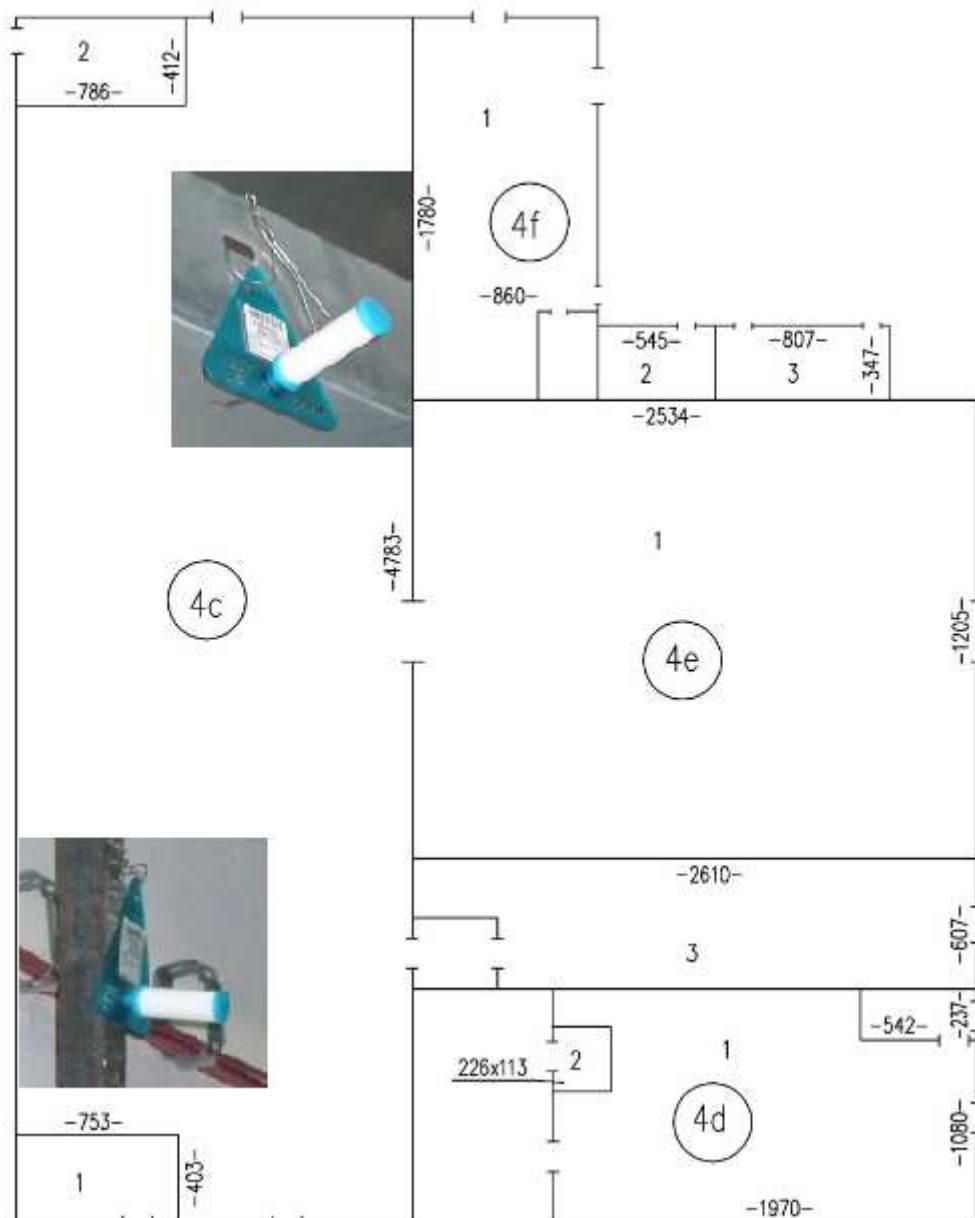
3.2.1.1 Oddělení číslo 322 - oprýžovaný textil



Obr. 29: Plán oddělení číslo 322 se značenými místy vzorkování.

- Značí umístění vzorkovačů při vzorkování ve dnech 22.11.–26.11.2010, 7.3.–11.3.2011, 20.4.–22.4.2011 a 26.4.–28.4.2011

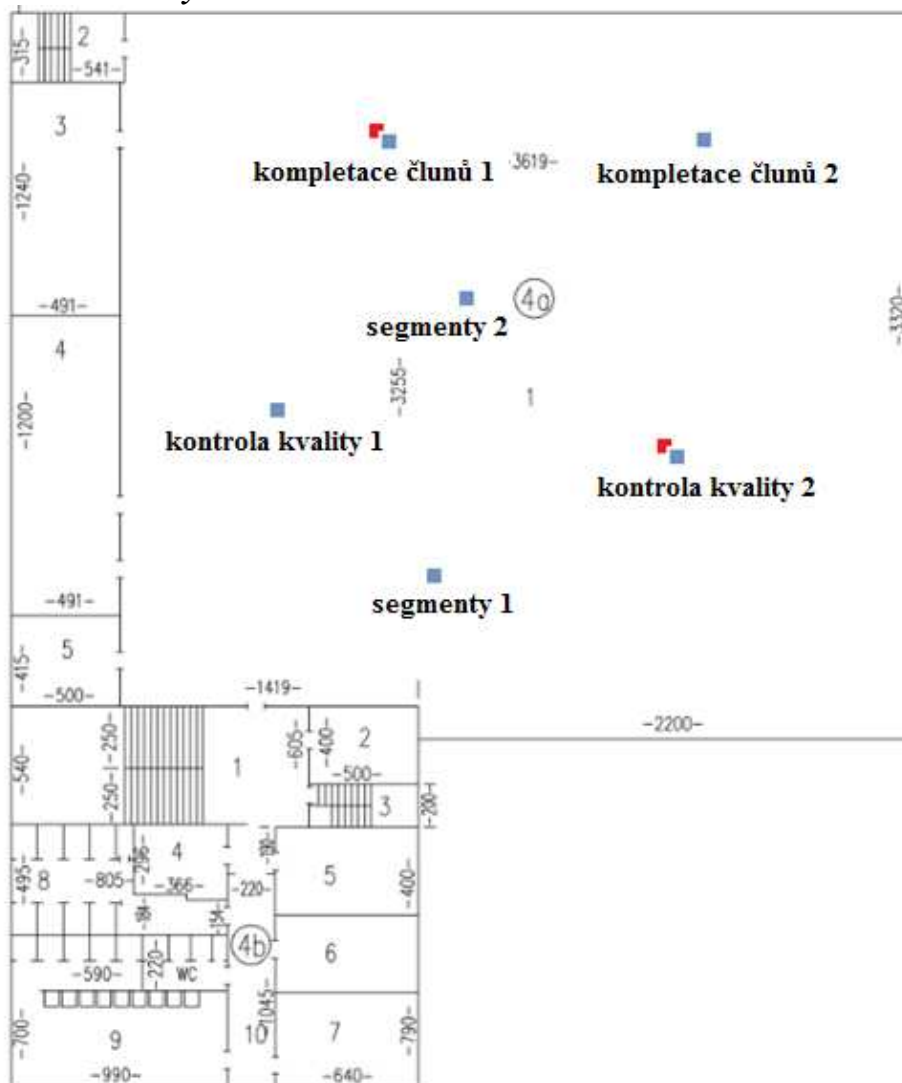
	místnost číslo	využití		místnost číslo	využití	
4c	1	potěrací dílna	4e	1	roztokárna	
	2	vzduchotechnika				
	3	el. rozvodna				
4d	1	odsiřovací stanice	4f	1	laminace	
	2	rozvodna páry		2	el. rozvodna	
	3	dílna		3	strojovna klimatizace	



Obr. 30: Plán oddělení číslo 322 se značenými místy vzorkování.

Na tomto pracovišti se vyrábějí nanášením roztoků polymerů nebo kaučukových směsí na základní materiál povrchově upravené textilie. Je zde používán Lewidur I 333, Makroplast B 2168, benzín technický 80/110, cyklohexan, methylethylketon, toluen a benzinový čistič. Většinou jsou využívána jako rozpouštědla, která jsou zde zpětně získávána a vracejí se do výroby.

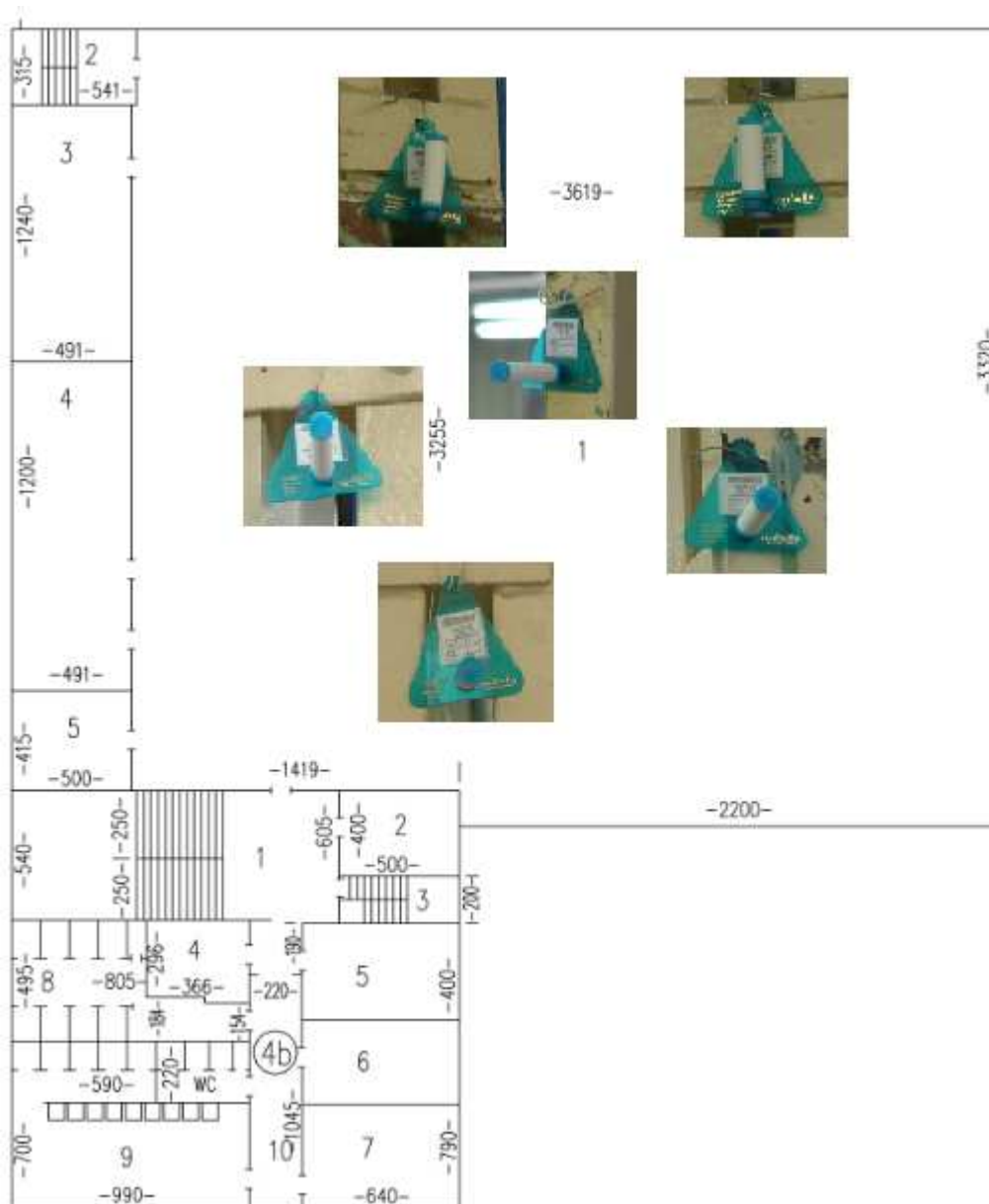
3.2.1.2 Oddělení 328 - výroba člunů



Obr. 31: Plán oddělení číslo 328 se značenými místy vzorkování.

- Značí umístění vzorkovačů při vzorkování ve dnech 22.11.–26.11.2010, 7.3.–11.3.2011, 20.4.–22.4.2011 a 26.4.–28.4.2011
- Značí umístění vzorkovačů při vzorkování ve dnech 28.3.–1.4.2011

	místnost číslo	využití		místnost číslo	využití
4a	1	dílna manipulace	4b	1	schodiště-chodba
	2	chodba		2	výtah
	3	sklad		3	schodiště-chodba
	4	sklad		4	šatna muži
	5	kancelář		5	kancelář
				6	sklad
				7	denní místnost
				8	WC sprcha muži
				9	umývárna, WC
				10	chodba



Obr. 32: Plán oddělení číslo 328 se zaznačenými místy vzorkování.

Na tomto provozu jsou kompletovány čluny tak, že jsou k sobě lepeny jednotlivé části, z nichž se člun skládá. Lepidlo je určeno podle druhu materiálu, z nichž jsou jednotlivé díly vyrobeny. Po kompletaci jsou jednotlivé spoje očištěny acetonem a člun je podroben po dobu několika hodin až dnů tlakové zkoušce. Na tomto provozu jsou používány Ultraflex 4818, Härter II, Leabont SBS, Unilep D 438, Roztok 5987, Roztok 9081, Aquaseal, aceton, tetrahydrofuran, Desmodur RFE a cement plášťový.

3.2.2 Princip stanovení

Adsorpční povrch pasivního vzorkovače Radiello je síťovaný válec z nerezové oceli, jejíž povrch je obalen 530 ± 30 mg aktivního uhlí o velikosti částic 35 – 50 mesh (0,3 – 0,5 mm).

Její průměr je 5,8 mm. VOCs jsou zachyceny adsorpcí a extrahovány sirouhlíkem, analýza se provádí plynovou chromatografií s detektorem plamenově ionizačním.

3.2.3 Extrakce

Do skleněné zkumavky, v níž byl uchováván adsorpční povrch, byly přidány 2 ml sirouhlíku a 10 ml vnitřního standardu. Jako vnitřní standard byl použit 2-fluortoluen. Extrakce trvala 30 min. a během této doby byla zkumavka občas protřepána.

3.2.4 Optimalizace nastavení plynového chromatografu

Pro stanovení VOCs byly optimalizovány podmínky plynové chromatografie především díky obsahu methylethylketonu a n-hexanu ve stanovovaných vzorcích. Obě látky mají podobný retenční čas a ve směsi jsme se tedy zaměřili na jejich oddělení. Dále pak při níže uvedených podmínkách při nižších koncentracích nebyly cílové látky vůbec zobrazeny.

3.2.4.1 Nastavení plynového chromatografu

Počáteční podmínky stanovení:

teplota detektoru: 300 °C

objem nástřiku: 1 µl

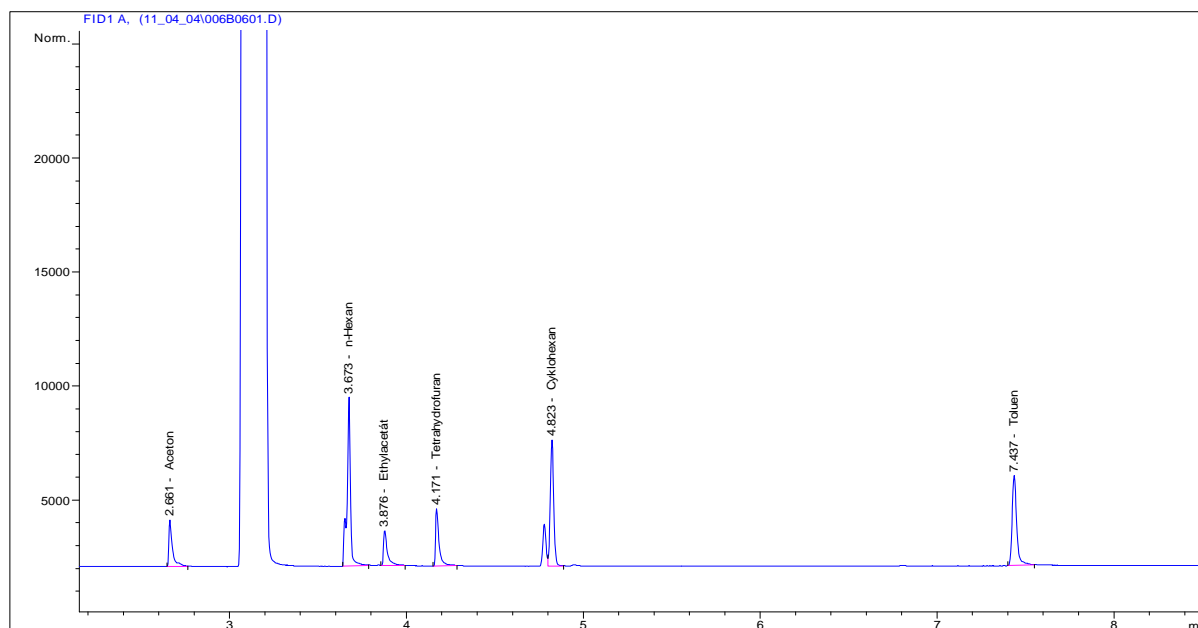
dávkování: děličové, dělicí poměr 1:20

teplotní program termostatu: počáteční teplota 40 °C po dobu 1 min., poté po 5 °C/min na 150 °C, finální izoterma 5 minut

doba analýzy: 28 min.

nosný plyn: vodík, konstantní tlak 160 kPa

make-up plyn: dusík, 30 ml/min



Obr. 33: Chromatogram bodu kalibrační křivky pro koncentraci 50 µg/ml.

Podmínky použité pro stanovení vzorků:

teplota detektoru: 300 °C

objem nástřiku: 2 µl

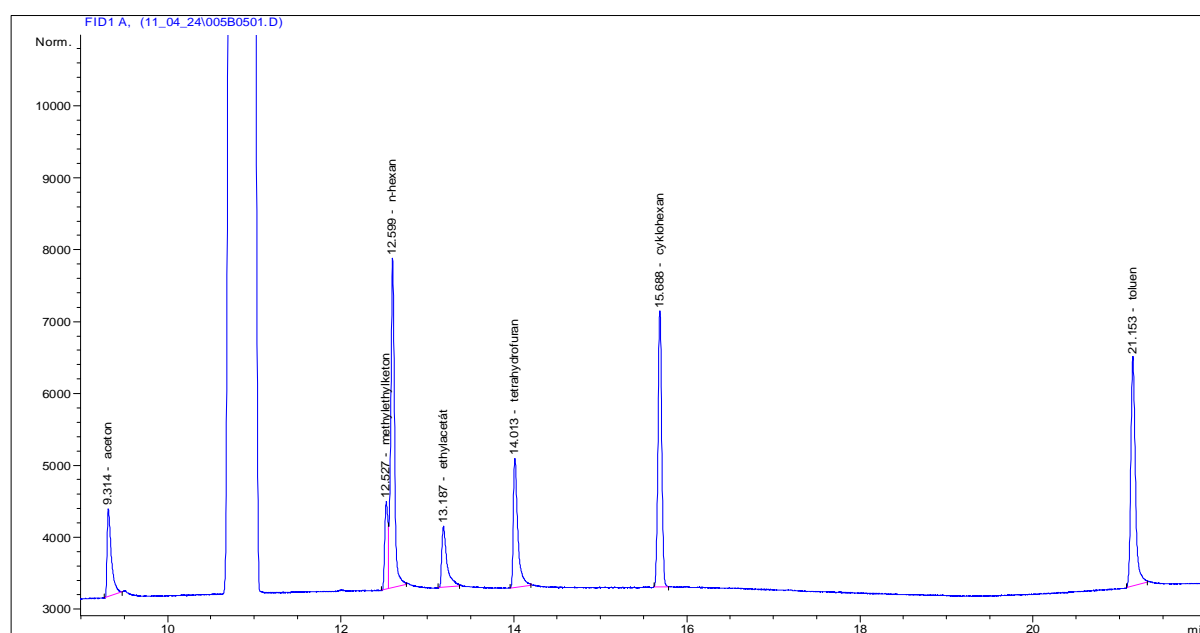
dávkování: děličové, dělicí poměr 1:25

teplotní program termostatu: počáteční teplota 35 °C po dobu 5 min, poté po 5 °C/min na 90 °C teplota držena 3 minuty, dále pak po 10 °C/min na 220 °C
finální izoterma 5 minut

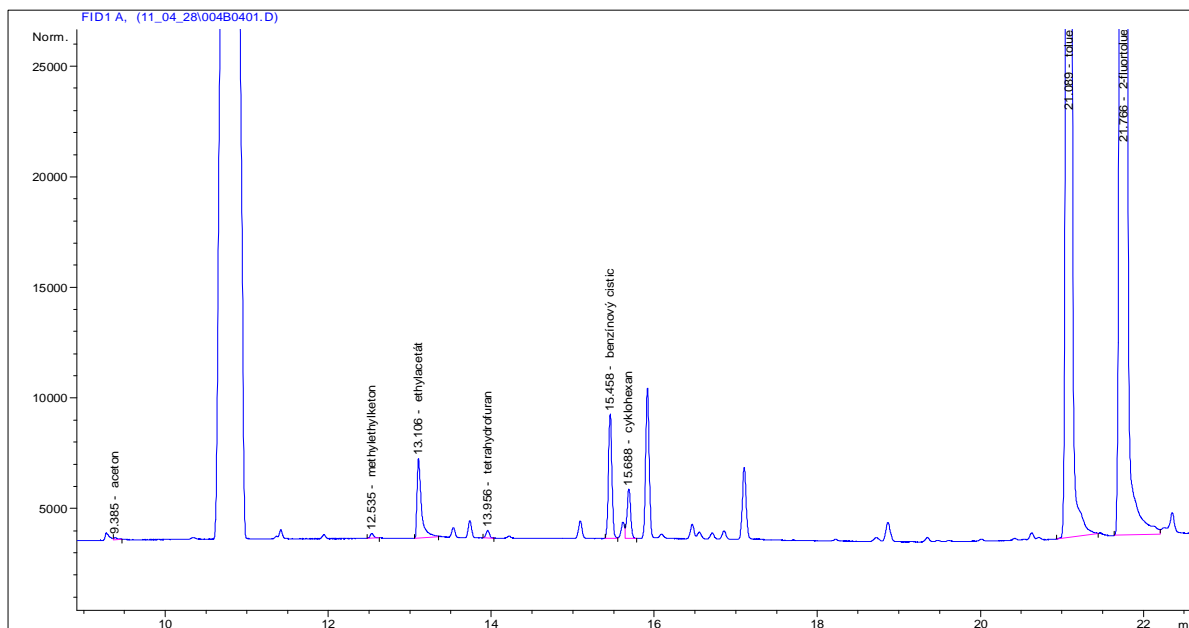
doba analýzy: 37 min.

nosný plyn: dusík, konstantní tlak 90 kPa

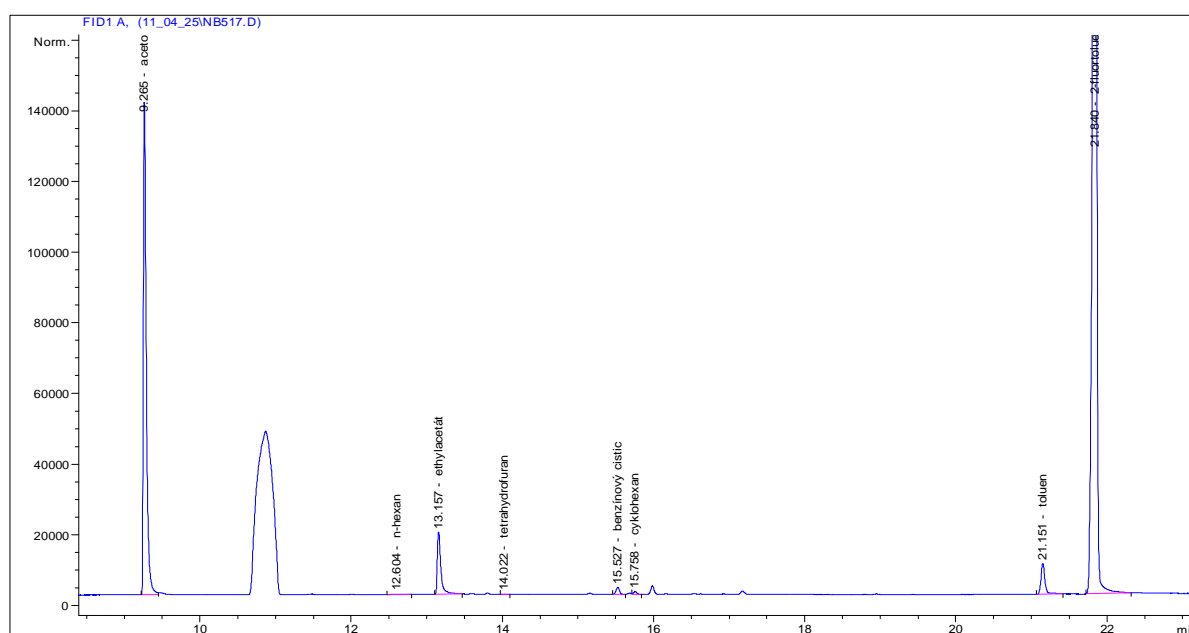
make-up plyn: dusík, 25 ml/min



Obr. 34: Chromatogram bodu kalibrační křivky pro koncentraci 50 µg/ml.



Obr. 35: Chromatogram vzorku DU377 (opryžovaný textil – linka 2) z vzorkování od 26.4. do 28.4.2011.



Obr. 36: Chromatogram vzorku NB517 (kompletace člunů segmenty) z vzorkování od 20.4. do 22.4.2011.

4. VÝSLEDKY A DISKUZE

Získané výsledky jsou uvedeny v následujících tabulkách pro jednotlivá oddělení.

4.1 Kalibrační křivky a retenční charakteristiky sledovaných těkavých organických látek

Pro sledované VOCs byly sestrojeny vícebodové kalibrační křivky, jež byly následně použity pro výpočet koncentrací v jednotlivých vzorcích. Sledované VOCs byly aceton, methylethylketon, n-hexan, ethylacetát, tetrahydrofuran, cyklohexan, toluen a benzínový čistič. Jejich retenční časy jsou uvedeny v tabulce 21.

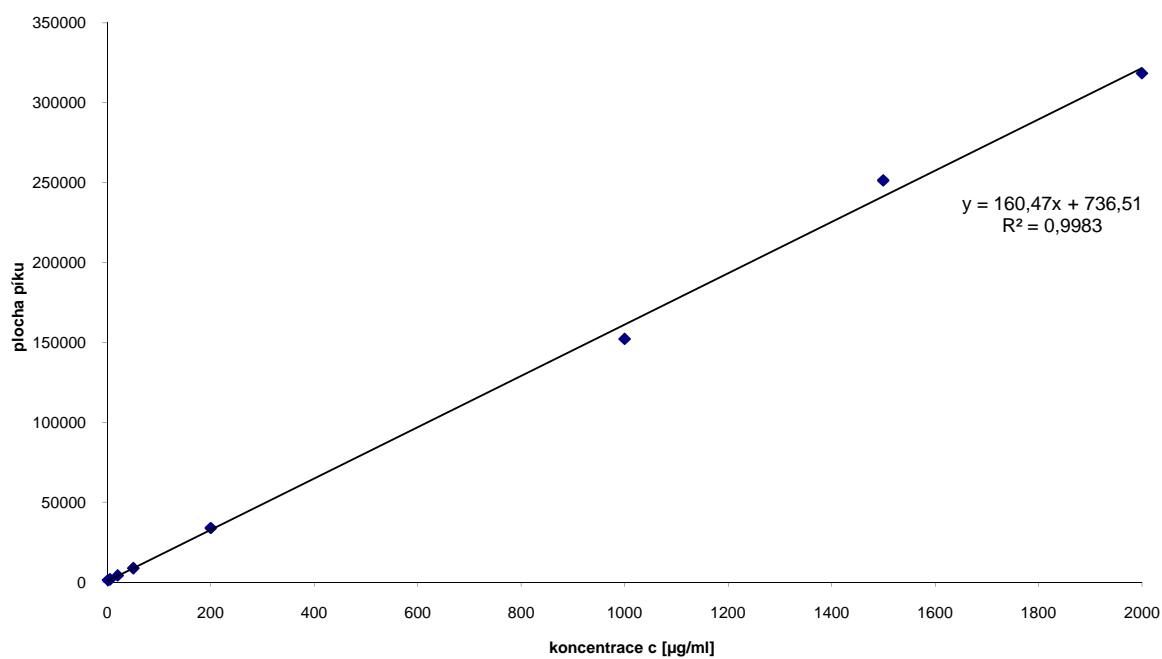
Tabulka 21: Retenční časy sledovaných VOCs.

VOCs	retenční čas [min]
aceton	9,269
methylethylketon	12,49
n-hexan	12,60
ethylacetát	13,15
tetrahydrofuran	13,96
cyklohexan	15,69
benzíny	15,15
toluen	21,16

Kalibrace acetonu

Tabulka 22: Kalibrační tabulka acetonu.

koncentrace [$\mu\text{g/ml}$]	plocha píku
1	1315
5	1770
20	4253
50	8780
200	33933
1000	152270
1500	251470
2000	318520

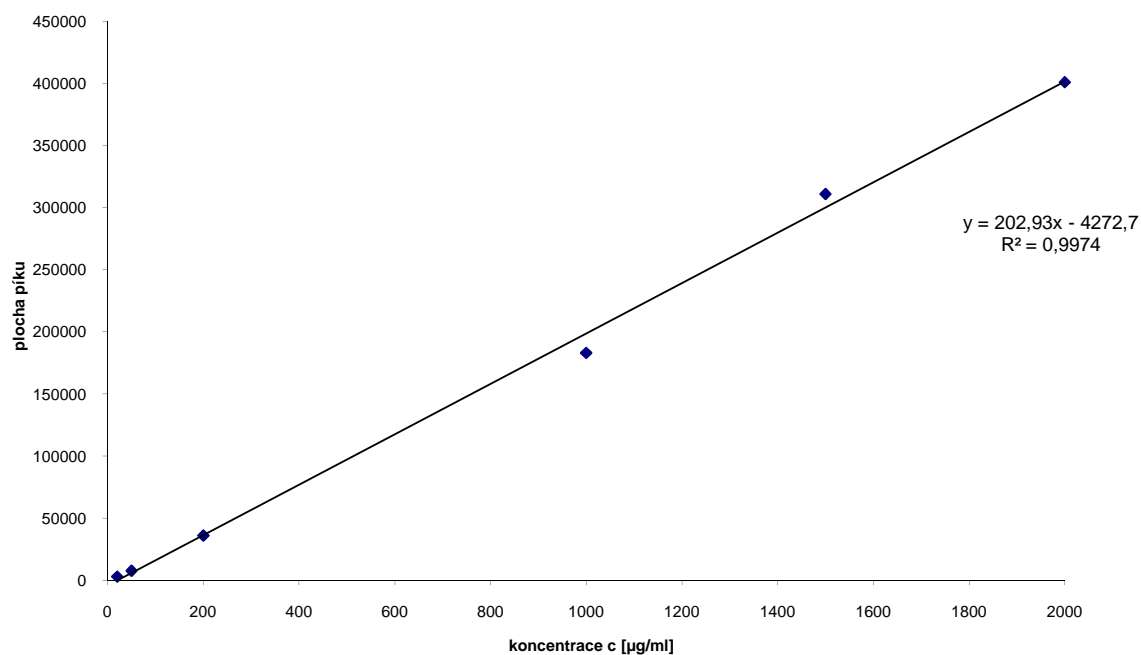


Obr. 37: Kalibrační křivka acetonu.

Kalibrace methylethylketonu

Tabulka 23: Kalibrační tabulka methylethylketonu.

koncentrace [µg/ml]	plocha píku
20	3117
50	7765
200	36189
1000	183140
1500	311030
2000	401090

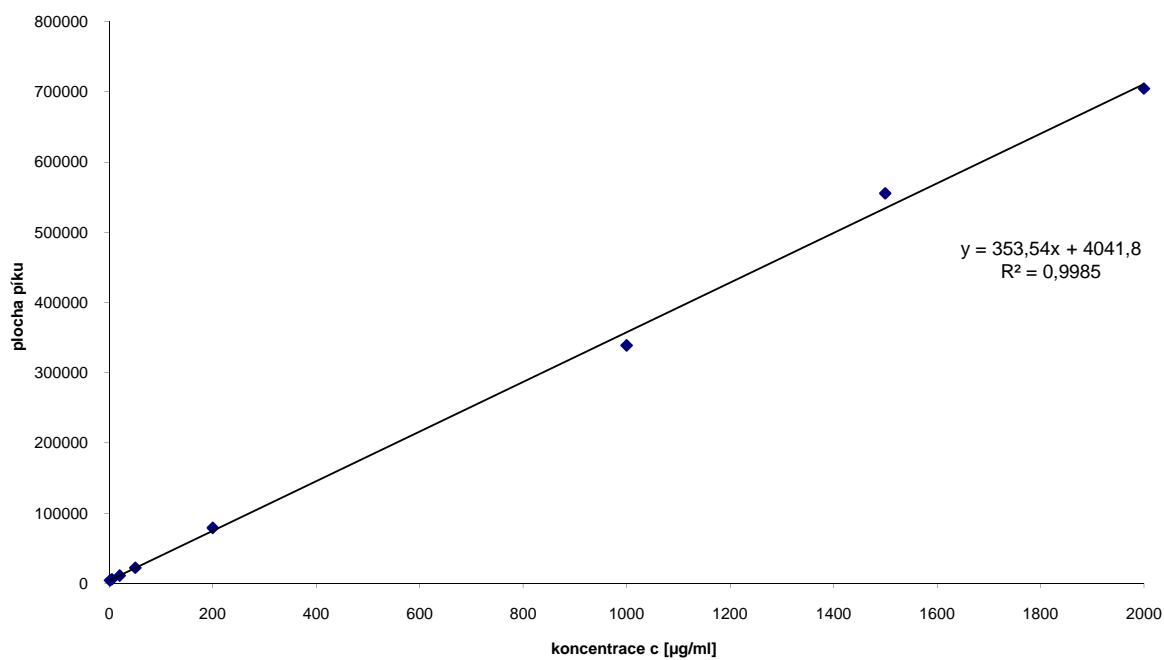


Obr. 38: Kalibrační křivka methylethylketonu.

Kalibrace n-hexanu

Tabulka 24: Kalibrační tabulka n-hexanu.

koncentrace [µg/ml]	plocha píku
1	4131
5	5953
20	11196
50	22187
200	78967
1000	338710
1500	555260
2000	704460

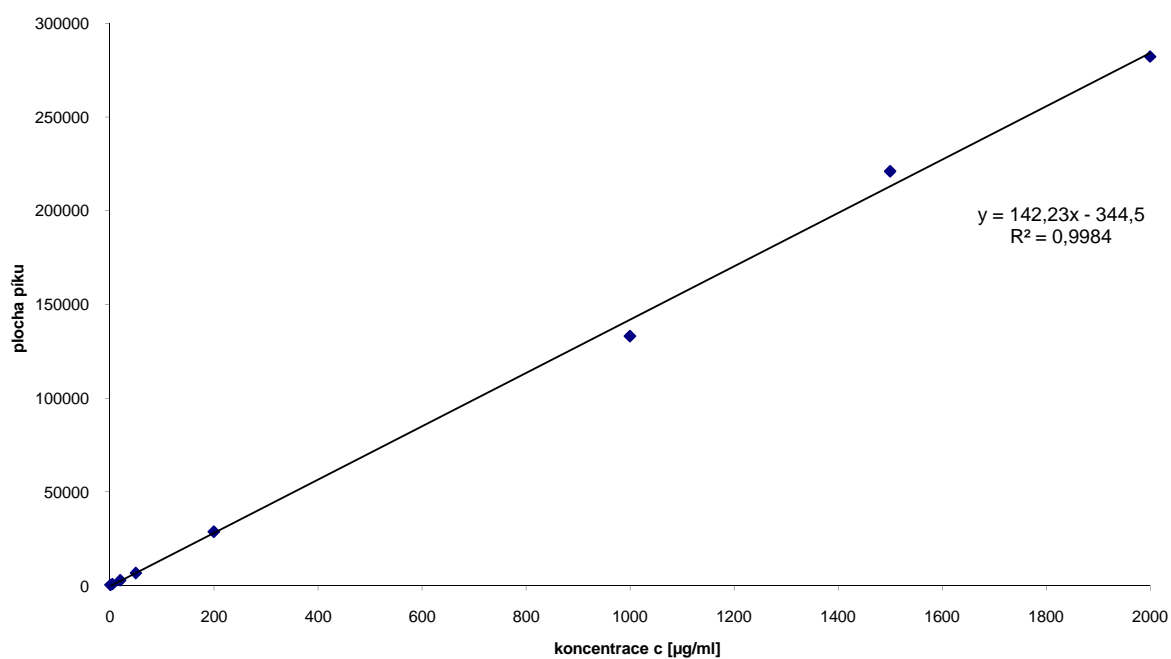


Obr. 39: Kalibrační křivka n-hexanu.

Kalibrace ethylacetátu

Tabulka 25: Kalibrační tabulka ethylacetátu.

koncentrace [µg/ml]	plocha píku
1	443,2
5	903,4
20	2952
50	6796
200	28860
1000	133140
1500	221140
2000	282300

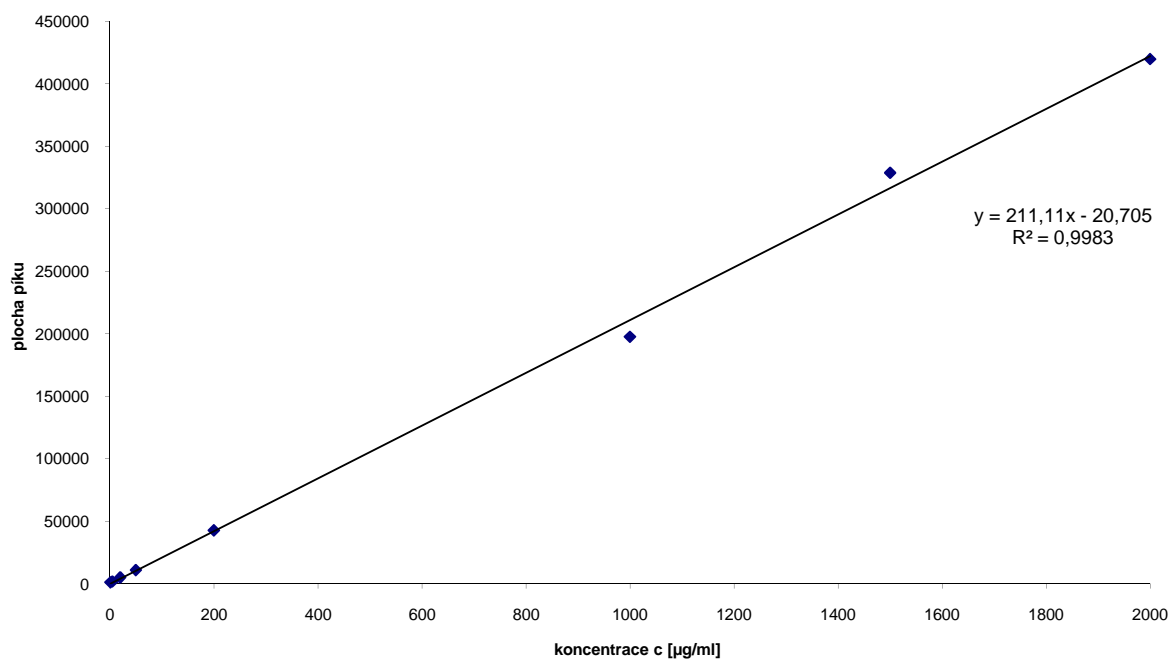


Obr. 40: Kalibrační křivka ethylacetátu.

Kalibrace tetrahydrofuranu

Tabulka 26: Kalibrační tabulka tetrahydrofuranu.

koncentrace [µg/ml]	plocha píku
1	1198
5	1910
20	5056
50	11000
200	42796
1000	197570
1500	328820
2000	419740

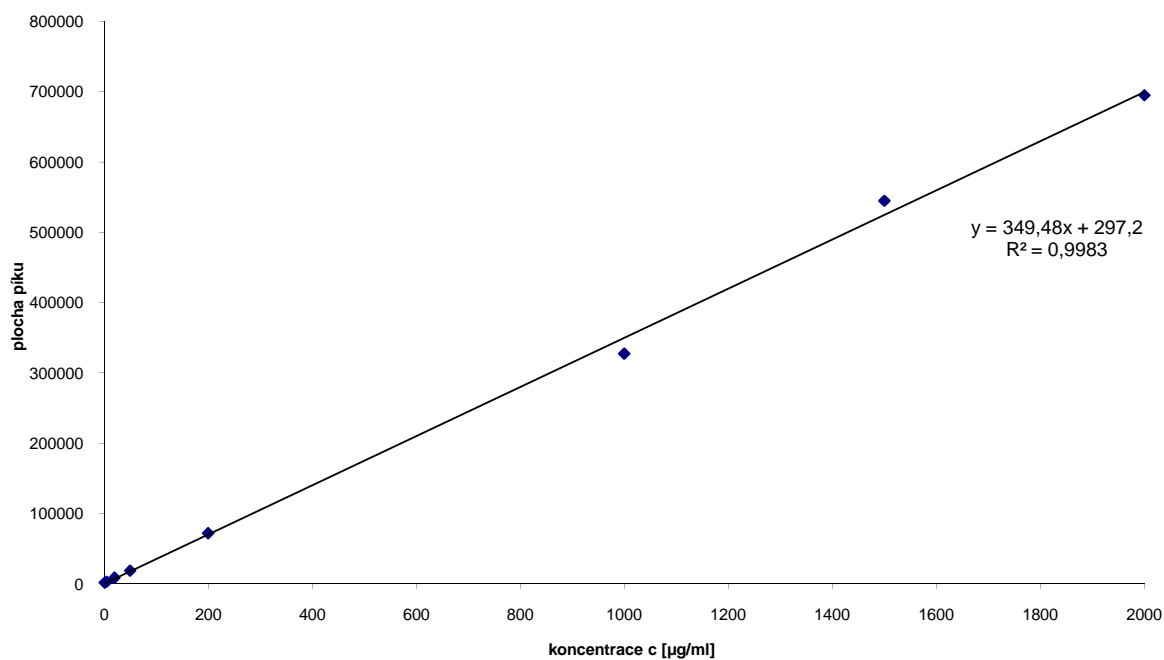


Obr. 41: Kalibrační křivka tetrahydrofuranu.

Kalibrace cyklohexanu

Tabulka 27: Kalibrační tabulka cyklohexanu.

koncentrace [µg/ml]	plocha píku
1	1749
5	3049
20	8652
50	18845
200	71922
1000	327530
1500	544790
2000	694970

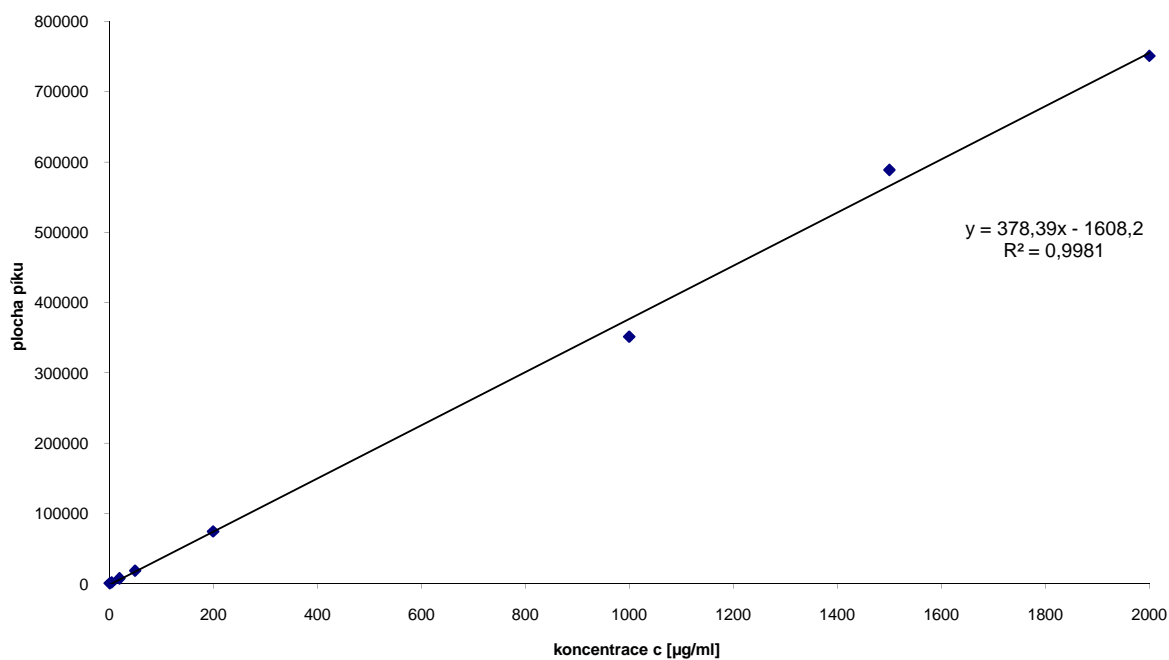


Obr. 42: Kalibrační křivka cyklohexanu.

Kalibrace toluenu

Tabulka 28: Kalibrační tabulka toluenu.

koncentrace [µg/ml]	plocha píku
1	736,3
5	2074
20	7790
50	18532
200	74421
1000	351290
1500	588670
2000	750800

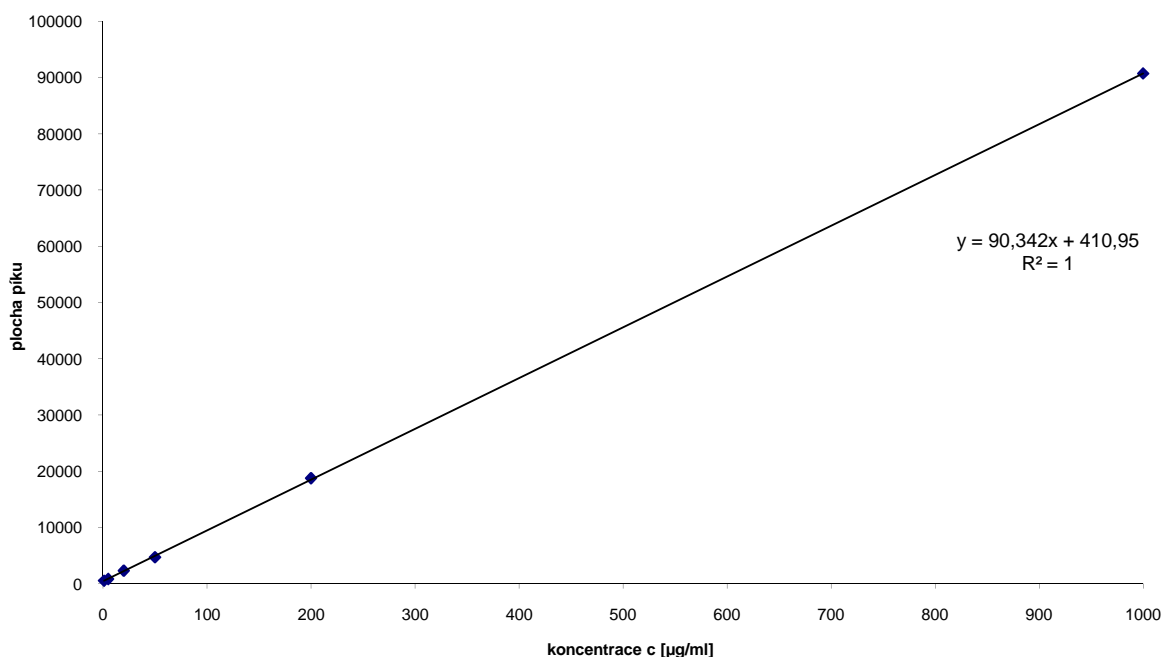


Obr. 43: Kalibrační křivka toluenu.

Kalibrace benzínového čističe

Tabulka 29: Kalibrační tabulka benzínového čističe.

koncentrace [µg/ml]	plocha píku
1	508,2
5	815,3
20	2279
50	4697
200	18730
1000	90713



Obr. 44: Kalibrační křivka benzínového čističe.

4.1.1 Výpočet meze detekce a meze stanovitelnosti

Mez detekce (LOD) (33) a mez stanovitelnosti (LOQ) (34) byly stanoveny z šumu základní linie.

$$LOD(\mu g/ml) = \frac{c(\mu g/ml)}{S/N} \cdot 3 \quad (33)$$

$$LOQ(\mu g/ml) = \frac{c(\mu g/ml)}{S/N} \cdot 10 \quad (34)$$

Tabulka 30: Hodnoty LOD a LOQ pro stanovení cílových látek plynovou chromatografií.

látky	LOD [µg/ml]	LOQ [µg/ml]
aceton	5,717	19,06
methylethylketon	9,929	33,10
n-hexan	0,4855	1,618
ethylacetát	3,721	12,40
tetrahydrofuran	1,768	5,892
cyklohexan	1,776	5,920
toluen	1,427	4,757
benzínový čistič	2,216	7,388

Tabulka 31: Hodnoty LOD a LOQ pro stanovení cílových látek pomocí pasivního vzorkování a následného stanovení plynovou chromatografií.

vzorek	aceton		methylethylketon		n-hexan		ethylacetát	
	LOD	LOQ	LOD	LOQ	LOD	LOQ	LOD	LOQ
Y755S	12,32	41,08	20,86	69,53	1,221	4,070	7,918	26,39
Y930S	12,30	41,01	20,82	69,42	1,219	4,063	7,905	26,35
Y741S	12,21	40,71	20,67	68,90	1,210	4,033	7,847	26,16
Y933S	12,32	41,06	20,85	69,50	1,220	4,068	7,914	26,38
NB502	12,23	40,75	20,69	68,98	1,211	4,038	7,856	26,19
NB505	12,23	40,77	20,70	69,02	1,212	4,040	7,860	26,20
NB504	12,22	40,74	20,69	68,96	1,211	4,037	7,853	26,18
NB503	12,22	40,74	20,69	68,96	1,211	4,037	7,853	26,18
NQ609	12,26	40,85	20,75	69,15	1,214	4,048	7,875	26,25
NB506	12,28	40,94	20,79	69,29	1,217	4,056	7,891	26,30
NE437	12,28	40,94	20,79	69,30	1,217	4,057	7,892	26,31
NE438	12,28	40,95	20,79	69,31	1,217	4,057	7,894	26,31
NB507	12,27	40,91	20,78	69,26	1,216	4,054	7,887	26,29
NQ606	12,29	40,96	20,80	69,34	1,218	4,059	7,896	26,32
NB514	23,28	77,58	39,40	131,3	2,306	7,687	14,96	49,85
NB517	23,22	77,41	39,31	131,1	2,301	7,670	14,92	49,74
NB508	23,43	78,10	39,66	132,2	2,321	7,738	15,05	50,18
NB511	23,36	77,88	39,55	131,8	2,315	7,716	15,01	50,04
DU379	23,76	79,20	40,22	134,1	2,354	7,847	15,27	50,89
DU380	23,76	79,20	40,22	134,1	2,354	7,847	15,27	50,89
DU376	23,75	79,17	40,20	134,1	2,353	7,845	15,26	50,87
DU377	23,68	78,92	40,08	133,6	2,346	7,820	15,21	50,71

Pozn.: Uvedené meze LOD a LOQ jsou v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tabulka 32: Hodnoty LOD a LOQ pro stanovení cílových látek pomocí pasivního odběru s následným stanovením plynovou chromatografií.

vzorek	tetrahydrofuran		cyklohexan		toluen		benzínový čistič	
	LOD	LOQ	LOD	LOQ	LOD	LOQ	LOD	LOQ
Y755S	3,965	13,22	5,459	18,20	3,201	10,67	5,573	18,58
Y930S	3,958	13,19	5,449	18,16	3,196	10,65	5,564	18,55
Y741S	3,929	13,10	5,409	18,03	3,172	10,57	5,523	18,41
Y933S	3,963	13,21	5,456	18,19	3,199	10,66	5,571	18,57
NB502	3,933	13,11	5,415	18,05	3,176	10,59	5,529	18,43
NB505	3,935	13,12	5,418	18,06	3,177	10,59	5,532	18,44
NB504	3,932	13,11	5,414	18,05	3,175	10,58	5,528	18,43
NB503	3,932	13,11	5,414	18,05	3,175	10,58	5,528	18,43
NQ609	3,943	13,14	5,429	18,10	3,183	10,61	5,543	18,48
NB506	3,951	13,17	5,440	18,13	3,190	10,63	5,554	18,51
NE437	3,952	13,17	5,440	18,13	3,190	10,63	5,555	18,52
NE438	3,952	13,17	5,441	18,14	3,191	10,64	5,556	18,52
NB507	3,949	13,16	5,437	18,12	3,188	10,63	5,551	18,50
NQ606	3,954	13,18	5,443	18,14	3,192	10,64	5,558	18,53
NB514	7,488	24,96	10,31	34,37	6,046	20,15	10,53	35,09
NB517	7,472	24,91	10,29	34,29	6,032	20,11	10,50	35,01
NB508	7,538	25,13	10,38	34,59	6,086	20,29	10,60	35,32
NB511	7,517	25,06	10,35	34,50	6,068	20,23	10,57	35,22
DU379	7,644	25,48	10,52	35,08	6,171	20,57	10,75	35,82
DU380	7,644	25,48	10,52	35,08	6,171	20,57	10,75	35,82
DU376	7,642	25,47	10,52	35,07	6,169	20,56	10,74	35,81
DU377	7,617	25,39	10,49	34,96	6,150	20,50	10,71	35,69

Pozn.: Uvedené meze LOD a LOQ jsou v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

4.2 Reálné vzorky

Průměrná koncentrace z intervalu doby expozice je vypočtena z hmotnosti analytu nalezeného na adsorpčním povrchu, z vzorkovací rychlosti a z času expozice.

Průměrná koncentrace po celou dobu expozice se vypočítá podle vzorce:

$$c[\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}] = \frac{m[\text{mg}]}{Q[\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}]\cdot t[\text{min}]} \cdot 10^6 \quad (35)$$

Tabulka 33: Vzorkovací rychlost při 25 ° C (298 K).

látko	vzorkovací rychlost [ml · min⁻¹]	nejistota na 2%
aceton	77	7,0
methylethylketon	79	1,6
n-hexan	66	2,5
ethylacetát	78	1,5
tetrahydrofuran	74	11,0
cyklohexan	54	4,5
toluen	74	1,5
benzinový čistič	66	-

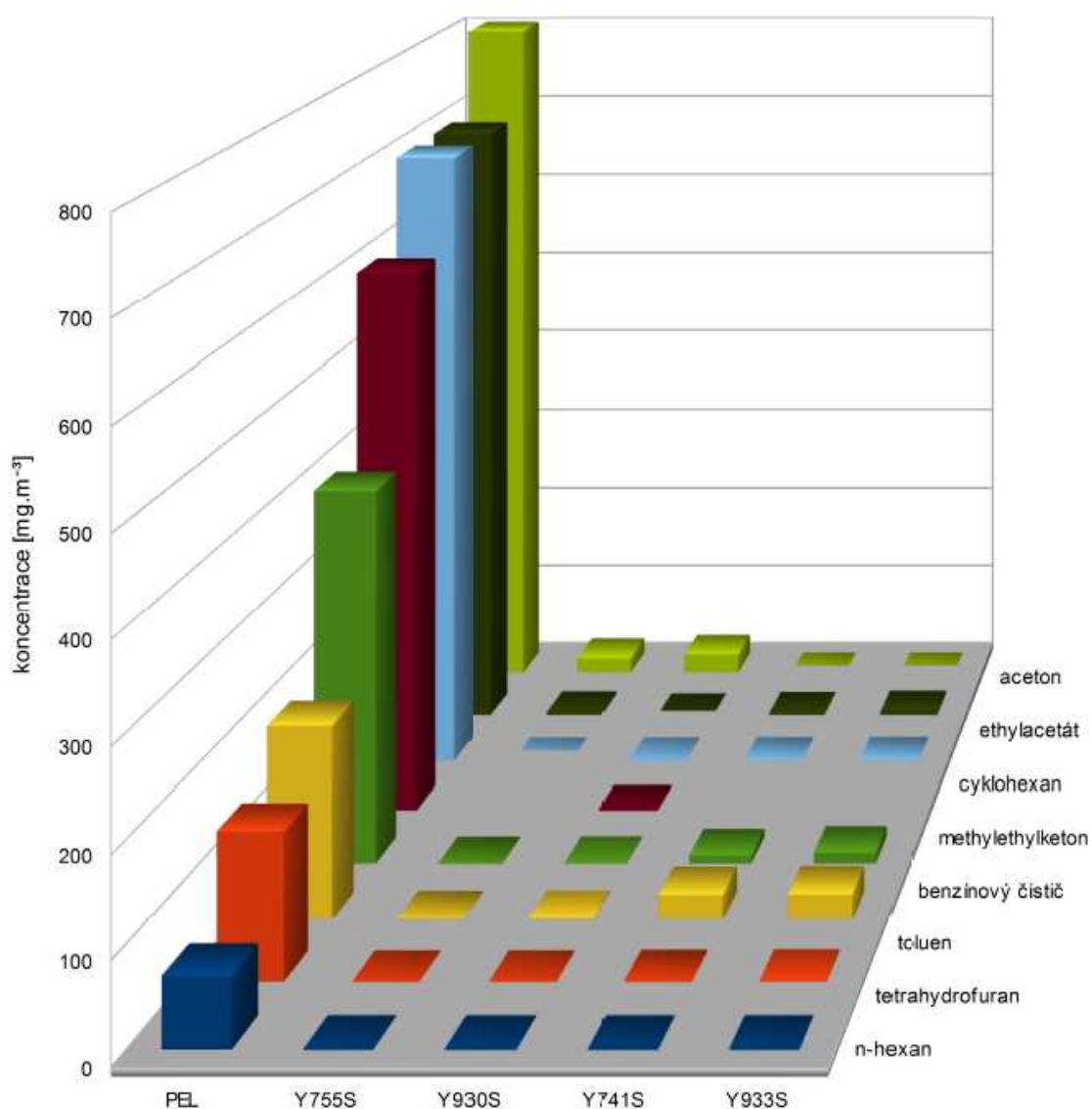
Vyhodnocení vzorků odebraných ve dnech 22.11–26.11.2010

Tabulka 34: Vypočítané průměrné koncentrace pro vzorky Y755S, Y930S a Y741S.

vzorek	látko	m [mg]	c [mg · m⁻³]
Y755S kompletace člunů	aceton	8,507	18,34
	methylethylketon	0,0015	0,0032
	n-hexan	0,0395	0,0993
	ethylacetát	1,410	3,001
	tetrahydrofuran	0,0233	0,0523
	cyklohexan	0,0164	0,0503
	toluen	0,5386	1,208
	benzínový čistič	0,3189	0,8018
Y930S kompletace člunů segmenty	aceton	10,77	23,18
	methylethylketon	0,1004	0,2106
	n-hexan	0,0036	0,0092
	ethylacetát	2,343	4,976
	tetrahydrofuran	0,0281	0,0629
	cyklohexan	0,0232	0,0713
	toluen	0,8091	1,811
	benzínový čistič	0,5382	1,351
Y741S opryžovaný textil – linka 1	aceton	0,0259	0,0554
	methylethylketon	0,0015	0,0031
	n-hexan	0,0319	0,0794
	ethylacetát	1,184	2,497
	tetrahydrofuran	0,3823	0,8498
	cyklohexan	0,2301	0,7005
	toluen	12,10	26,90
	benzínový čistič	3,709	9,243

Tabulka 35: Vypočítané průměrné koncentrace pro vzorek Y933S.

vzorek	látka	m [mg]	c [mg·m ⁻³]
Y933S opryžovaný textil – linka 2	aceton	0,0227	0,0489
	methylethylketon	0,0007	0,0015
	n-hexan	0,0424	0,1067
	ethylacetát	1,864	3,965
	tetrahydrofuran	0,5717	1,282
	cyklohexan	0,3252	0,999
	toluen	12,38	27,74
	benzínový čistič	4,896	12,31



Obr. 45: Porovnání koncentrací daných látek stanovených experimentálně s PEL.

Při tomto odběru byly umístěny na obě sledovaná pracoviště vždy dva pasivní vzorkovače Radiello. Získané hodnoty průměrných koncentrací za dané období pro jednotlivé látky jsou v grafu porovnány pouze s přípustnými expozičními limity, protože nalezené koncentrace jsou velmi nízké a není tedy třeba je srovnávat s nejvyššími přípustnými limity.

Na oddělení číslo 328 – kompletace člunů byl v nejvyšší koncentraci nalezen aceton. Průměrná koncentrace acetonu z obou odběrových míst je $20,76 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato koncentrace představuje 2,6 % přípustného expozičního limitu ($800 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) a 1,4 % nejvyšší přípustné koncentrace ($1500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Na oddělení číslo 322 – oprýžovaný textil byl v nejvyšší koncentraci nalezen toluen. Průměrná koncentrace toluenu z obou odběrových míst je $27,32 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato koncentrace představuje 13,7 % přípustného expozičního limitu ($200 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) a 5,5 % nejvyšší přípustné koncentrace ($500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Pro ostatní látky na obou pracovištích jsou koncentrace velmi nízké. Ani na jednom z pracovišť nedochází k překročení daných limitů pro žádnou ze sledovaných látek.

Vyhodnocení vzorků odebraných ve dnech 7.3.–11.3.2011

Tabulka 36: Výtěžnosti vypočtené s pomocí standardního přídávku.

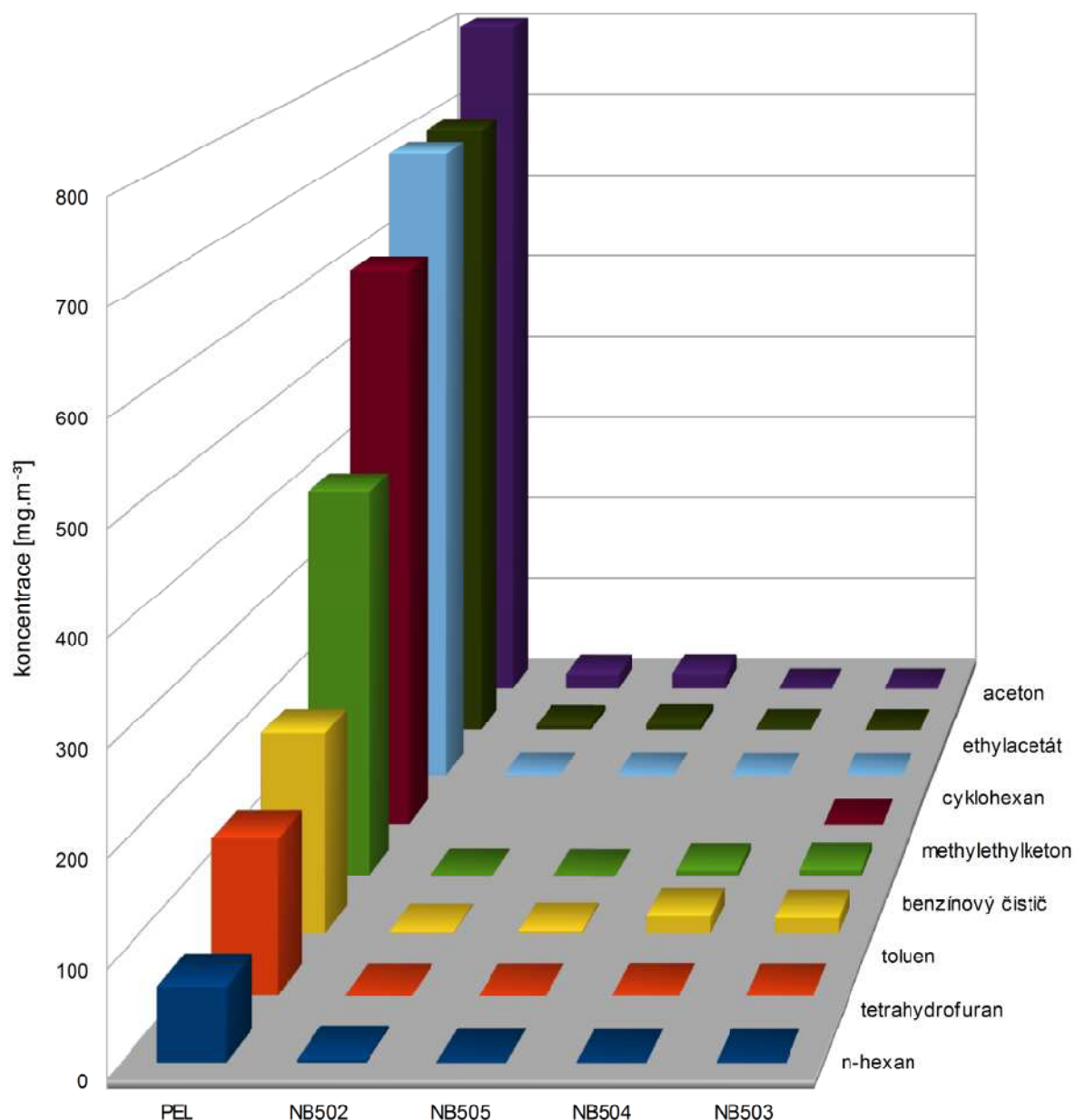
vzorek	výtěžnost [%]
NB502	114
NB505	132
NB504	123
NB503	87,3

Tabulka 37: Vypočítané průměrné koncentrace pro vzorek NB502 s korekcí na výtěžnost.

vzorek	látká	m [mg]	c_{114} [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]	c_{100} [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]
NB502 kompletace člunů	aceton	9,290	19,88	17,41
	methylethylketon	0,0020	0,0042	0,0036
	n-hexan	1,430	3,568	3,126
	ethylacetát	3,249	6,862	6,012
	tetrahydrofuran	0,0392	0,0872	0,0764
	cyklohexan	0,1463	0,4464	0,3911
	toluen	0,9248	2,059	1,804
	benzínový čistič	0,5105	1,274	1,116

Tabulka 38: Vypočítané průměrné koncentrace pro vzorky NB505, NB504 a NB503 s korekcí na výtěžnost.

vzorek	látka	m [mg]	c₁₃₁ [mg·m⁻³]	c₁₀₀ [mg·m⁻³]
NB505 kompletace člunů segmenty	aceton	10,95	23,43	17,80
	methylethylketon	0,0006	0,0012	0,0009
	n-hexan	0,1588	0,3961	0,3011
	ethylacetát	4,603	9,717	7,385
	tetrahydrofuran	0,0410	0,0912	0,0693
	cyklohexan	0,1106	0,3373	0,256
	toluen	1,498	3,332	2,533
	benzínový čistič	0,5443	1,358	1,032
vzorek	látka	m [mg]	c₁₂₃ [mg·m⁻³]	c₁₀₀ [mg·m⁻³]
NB504 opryžovaný textil – linka 1	aceton	0,0304	0,0649	0,0526
	methylethylketon	0,0014	0,0029	0,0024
	n-hexan	0,0361	0,0901	0,0730
	ethylacetát	0,9239	1,950	1,580
	tetrahydrofuran	0,1803	0,4012	0,3250
	cyklohexan	0,0930	0,2835	0,2297
	toluen	9,761	21,71	17,59
	benzínový čistič	3,472	8,661	7,015
vzorek	látka	m [mg]	c_{87,3} [mg·m⁻³]	c₁₀₀ [mg·m⁻³]
NB503 opryžovaný textil – linka 2	aceton	0,0245	0,0524	0,0600
	methylethylketon	0,0034	0,0072	0,0082
	n-hexan	0,0215	0,0536	0,0614
	ethylacetát	0,4622	0,9755	1,118
	tetrahydrofuran	0,1054	0,2345	0,2686
	cyklohexan	0,0625	0,1906	0,2184
	toluen	6,178	13,74	15,74
	benzínový čistič	2,676	6,675	7,647



Obr. 46: Porovnání koncentrací daných látek stanovených experimentálně s PEL.

Při tomto odběru byly opět umístěny na obě sledovaná pracoviště vždy dva pasivní vzorkovače Radiello. Získané hodnoty průměrných koncentrací za dané období pro jednotlivé látky jsou v grafu porovnány pouze s přípustnými expozičními limity, protože nalezené koncentrace jsou velmi nízké a není tedy třeba je srovnávat s nejvyššími přípustnými limity.

Při extrakci uvedených vzorků byl použit vnitřní standard 2-fluortoluen. Získané koncentrace jsou tedy korigovány na 100% výtěžnost. Výtěžnost vyhodnocená pomocí vnitřního standardu byla vyšší než 100 %; příčina tohoto jevu je nejasná.

Na oddělení číslo 328 – kompletace člunů byl v nejvyšší koncentraci nalezen aceton. Průměrná koncentrace acetonu z obou odběrových míst je $17,60 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato koncentrace

představuje 2,2 % přípustného expozičního limitu ($800 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) a 1,2 % nejvyšší přípustné koncentrace ($1500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Na oddělení číslo 322 – oprýžovaný textil byl v nejvyšší koncentraci nalezen toluen. Průměrná koncentrace toluenu z obou odběrových míst je $16,67 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato koncentrace představuje 8,3 % přípustného expozičního limitu ($200 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) a 3,3 % nejvyšší přípustné koncentrace ($500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Odlišnost v koncentracích pro aceton i toluen při prvním a druhém odběru jsou z důvodu změny technologií na těchto pracovištích.

Pro ostatní látky na obou pracovištích jsou koncentrace velmi nízké. Ani na jednom z pracovišť nedochází k překročení daných limitů pro žádnou ze sledovaných látek.

Vyhodnocení vzorků odebraných ve dnech 28.3.–1.4.2011

Tabulka 39: Výtěžnosti vypočtené s pomocí standardního přídávku.

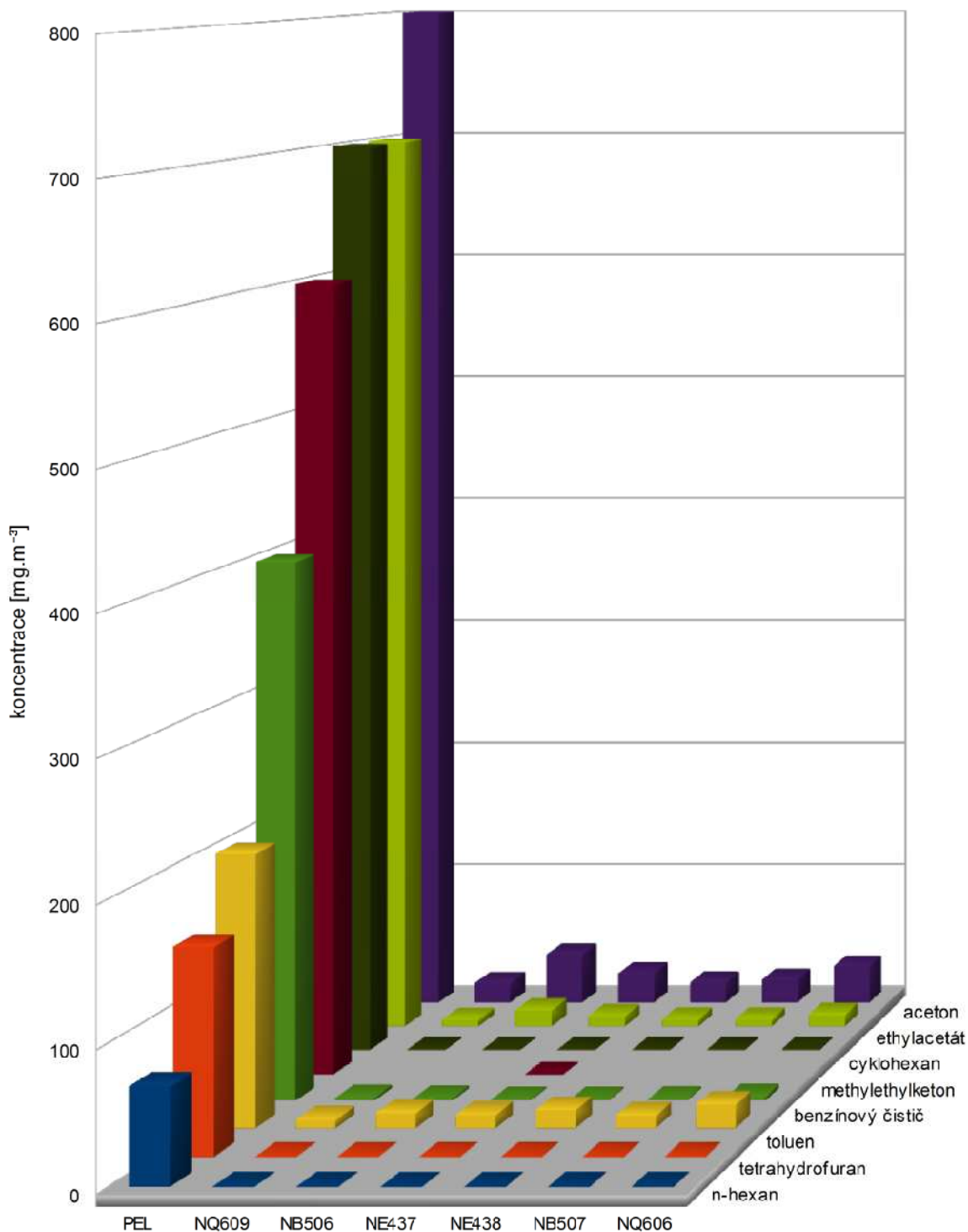
vzorek	výtěžnost [%]
NQ609	78,81
NB506	45,83
NE437	80,95
NE438	93,59
NB507	78,81
NQ606	41,28

Tabulka 40: Vypočítané průměrné koncentrace pro vzorky NQ609 a NQ506 s korekcí na výtěžnost.

vzorek	látká	m [mg]	$C_{78,81}$ [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]	C_{100} [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]
NQ609 kompletace člunů – kontrola kvality 1	aceton	6,008	12,88	16,34
	methylethylketon	0	0	0
	n-hexan	0,0610	0,1525	0,1935
	ethylacetát	1,964	4,156	5,273
	tetrahydrofuran	0,0630	0,1406	0,1784
	cyklohexan	0,2185	0,6678	0,8474
	toluen	2,243	5,003	6,348
	benzínový čistič	0,7633	1,909	2,422
vzorek	látká	m [mg]	$C_{45,83}$ [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]	C_{100} [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]
NB506 kompletace člunů I	aceton	8,466	18,19	39,68
	methylethylketon	0	0	0
	n-hexan	0,0401	0,1005	0,2192
	ethylacetát	2,753	5,838	12,7
	tetrahydrofuran	0,0443	0,0989	0,2158
	cyklohexan	0,1416	0,4337	0,9463
	toluen	2,311	5,174	11,29
	benzínový čistič	0,3690	0,9247	2,018

Tabulka 41: Vypočítané průměrné koncentrace pro vzorky NE437, NE438, NB507 a NQ606 s korekcí na výtěžnost.

vzorek	látka	m [mg]	C_{80,95} [mg·m⁻³]	C₁₀₀ [mg·m⁻³]
NE437 kompletace člunů 2	aceton	9,048	19,44	24,01
	methylethylketon	0,0701	0,1468	0,1814
	n-hexan	0,0293	0,0734	0,0907
	ethylacetát	3,129	6,637	8,199
	tetrahydrofuran	0,0407	0,0909	0,1123
	cyklohexan	0,1524	0,4668	0,5766
	toluen	3,596	8,038	9,929
	benzínový čistič	0,4139	1,038	1,282
vzorek	látka	m [mg]	C_{93,59} [mg·m⁻³]	C₁₀₀ [mg·m⁻³]
NE438 kompletace člunů – kontrola kvality 2	aceton	7,288	15,66	16,73
	methylethylketon	0	0	0
	n-hexan	0,0429	0,1076	0,1150
	ethylacetát	2,495	5,291	5,654
	tetrahydrofuran	0,0464	0,1037	0,1108
	cyklohexan	0,1624	0,4977	0,5318
	toluen	5,679	12,70	13,57
	benzínový čistič	0,4475	1,122	1,199
vzorek	látka	m [mg]	C_{78,81} [mg·m⁻³]	C₁₀₀ [mg·m⁻³]
NB507 kompletace člunů segmenty 1	aceton	6,929	14,90	18,90
	methylethylketon	0	0	0
	n-hexan	0,0381	0,0956	0,1213
	ethylacetát	2,061	4,374	5,550
	tetrahydrofuran	0,0439	0,0981	0,1245
	cyklohexan	0,1681	0,5151	0,6536
	toluen	3,326	7,440	9,440
	benzínový čistič	0,4660	1,169	1,483
vzorek	látka	m [mg]	C_{41,28} [mg·m⁻³]	C₁₀₀ [mg·m⁻³]
NQ606 kompletace člunů segmenty 2	aceton	5,755	12,36	29,93
	methylethylketon	0	0	0
	n-hexan	0,0437	0,1094	0,2650
	ethylacetát	1,786	3,786	9,171
	tetrahydrofuran	0,0492	0,1100	0,2664
	cyklohexan	0,1855	0,5678	1,376
	toluen	3,237	7,232	17,52
	benzínový čistič	0,5257	1,317	3,190



Obr. 47: Porovnání koncentrací daných látek stanovených experimentálně s PEL.

Při tomto odběru bylo umístěno šest pasivních vzorkovačů Radiello pouze na oddělení číslo 328 – kompletace člunů. Tento odběr byl zaměřen na toto pracoviště vzhledem k jeho rozloze a rozmanitosti pracovních úkonů a s tím související pestrostí používaných chemikálií. Získané hodnoty průměrných koncentrací za dané období pro jednotlivé látky jsou v grafu

opět porovnány pouze s přípustnými expozičními limity, protože nalezené koncentrace jsou velmi nízké a není tedy třeba je srovnávat s nejvyššími přípustnými limity.

Při extrakci uvedených vzorků byl použit vnitřní standard 2-fluortoluen. Získané koncentrace jsou tedy korigovány na 100% výtěžnost. Získané hodnoty měly výtěžnost i méně než 50 %. To mohlo být způsobeno nedokonalým vyextrahováním látek z adsorpčních povrchů. Ztráta cílových látek mohla být také způsobena pomalou manipulací, kdy mohlo dojít k jejich vytěknání.

V nejvyšší koncentraci zde byl nalezen aceton a toluen. Průměrná koncentrace acetonu ze všech odběrových míst je $24,26 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato koncentrace představuje 3 % přípustného expozičního limitu ($800 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) a 1,6 % nejvyšší přípustné koncentrace ($1500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Průměrná koncentrace toluenu ze všech odběrových míst je $11,35 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato koncentrace představuje 5,7 % přípustného expozičního limitu ($200 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) a 2,2 % nejvyšší přípustné koncentrace ($500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Ze získaných hodnot koncentrací je patrné, že nejvyšší koncentrace acetonu byly naměřeny v části pracoviště označeném jako kompletace člunů 1 a 2. Na těchto pracovištích jsou kompletovány jednotlivé části člunů a jsou zde tedy ve velké míře používána lepidla. Na pracovištích označených jako kompletace člunů segmenty 1 a 2 jsou omývány lepené spoje již zkompletovaných člunů acetonem. Na pracovištích kompletace člunů – kontrola kvality jsou umístěny čluny, které jsou podrobeny tlakové zkoušce.

Pro ostatní látky na obou pracovištích jsou koncentrace velmi nízké. Nedochází zde k překročení daných limitů pro žádnou ze sledovaných látek.

Vyhodnocení vzorků odebraných ve dnech 20.4.–22.4.2011

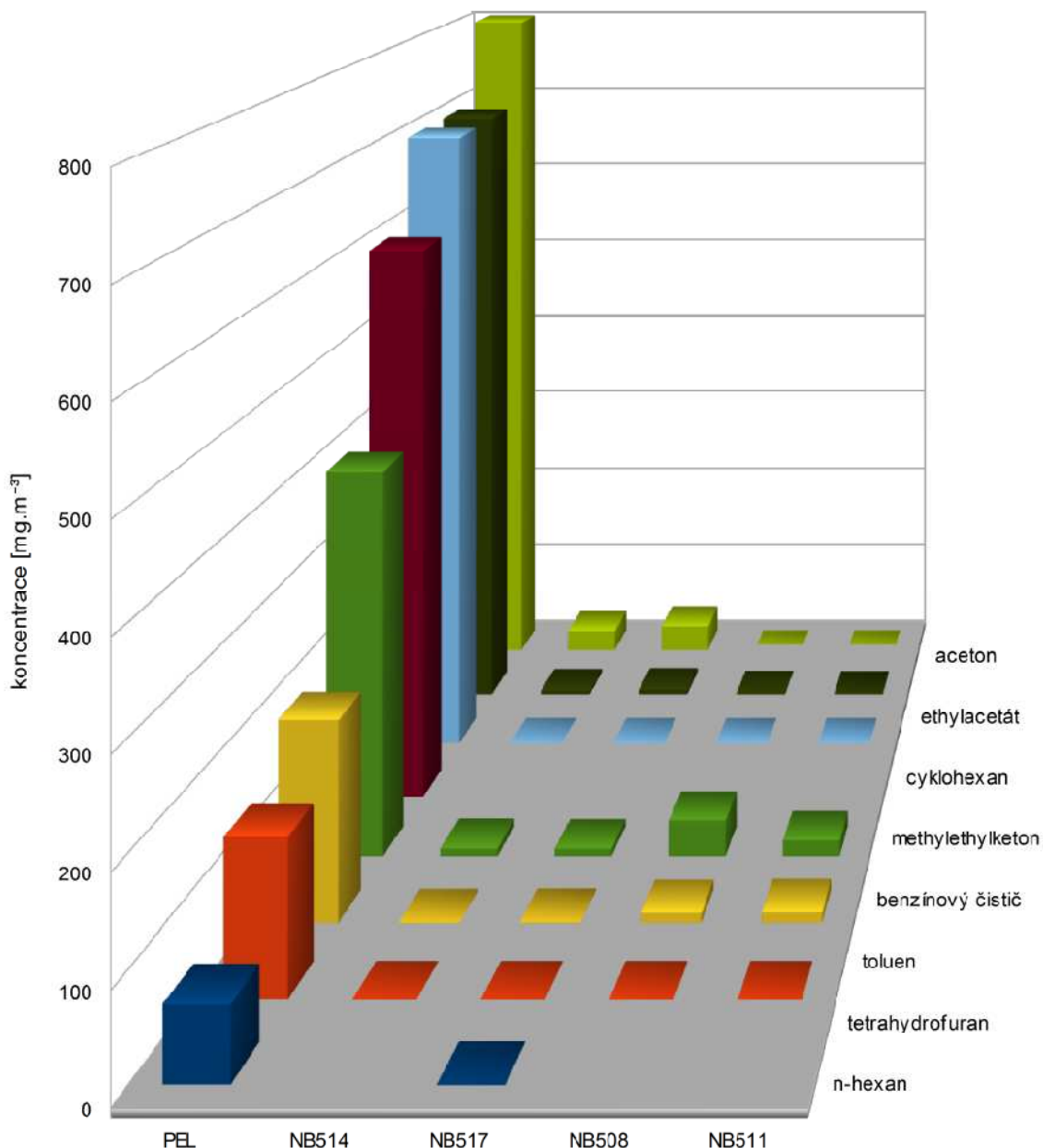
Tabulka 42: Výtěžnosti vypočtené s pomocí standardního přídávku.

vzorek	výtěžnost [%]
NB514	94,4
NB517	89,9
NB508	93,9
NB511	105

Při tomto odběru byl uskutečněn i slepý pokus. V tomto vzorku nebyly nalezeny žádné látky. Výtěžnost pak byla 91,1 %.

Tabulka 43: Vypočítané průměrné koncentrace pro vzorky NB514, NB517, NB511 a NB508 s korekcí na výtěžnost.

vzorek	látka	m [mg]	c_{94,4} [mg·m⁻³]	c₁₀₀ [mg·m⁻³]
NB514 kompletace člunů	aceton	5,885	23,96	25,39
	methylethylketon	0	0	0
	n-hexan	0,0008	0,0037	0,0039
	ethylacetát	1,050	4,221	4,473
	tetrahydrofuran	0,0153	0,0646	0,0685
	cyklohexan	0,0320	0,1855	0,1966
	toluen	0,1716	0,7270	0,7705
	benzínový čistič	1,714	8,140	8,626
vzorek	látka	m [mg]	c_{89,9} [mg·m⁻³]	c₁₀₀ [mg·m⁻³]
NB517 kompletace člunů segmenty	aceton	6,931	28,16	31,32
	methylethylketon	0	0	0
	n-hexan	0,0015	0,0070	0,0077
	ethylacetát	1,234	4,950	5,506
	tetrahydrofuran	0,0152	0,0643	0,0715
	cyklohexan	0,0298	0,1728	0,1923
	toluen	0,2405	1,016	1,131
	benzínový čistič	1,542	7,308	8,129
vzorek	látka	m [mg]	c_{93,9} [mg·m⁻³]	c₁₀₀ [mg·m⁻³]
NB508 opryžovaný textil – linka 1	aceton	0,0237	0,0969	0,1033
	methylethylketon	0	0	0
	n-hexan	0,0009	0,0044	0,0046
	ethylacetát	0,3672	1,486	1,583
	tetrahydrofuran	0,0288	0,1226	0,1307
	cyklohexan	0,0920	0,5378	0,5730
	toluen	2,258	9,627	10,26
	benzínový čistič	7,482	35,77	38,11
vzorek	látka	m [mg]	c₁₀₅ [mg·m⁻³]	c₁₀₀ [mg·m⁻³]
NB511 opryžovaný textil – linka 2	aceton	0,0224	0,0915	0,0869
	methylethylketon	0	0	0
	n-hexan	0	0	0
	ethylacetát	0,1523	0,6143	0,5838
	tetrahydrofuran	0,0204	0,0869	0,0826
	cyklohexan	0,0551	0,3213	0,3054
	toluen	2,726	11,59	11,01
	benzínový čistič	3,723	17,75	16,87



Obr. 48: Porovnání koncentrací daných látek stanovených experimentálně s PEL.

Při tomto odběru byly opět umístěny na obě sledovaná pracoviště vždy dva pasivní vzorkovače Radiello. Získané hodnoty průměrných koncentrací za dané období pro jednotlivé látky jsou v grafu porovnány pouze s přípustnými expozičními limity, protože nalezené koncentrace jsou velmi nízké a není tedy třeba je srovnávat s nejvyššími přípustnými limity.

Při extrakci uvedených vzorků byl použit vnitřní standard 2-fluortoluen. Získané koncentrace jsou tedy korigovány na 100% výtěžnost. Získané hodnoty měly výtěžnost kolem 100 %.

Na oddělení číslo 328 – kompletace člunů byl v nejvyšší koncentraci nalezen aceton. Průměrná koncentrace acetonu z obou odběrových míst je $28,35 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato koncentrace představuje 3,5 % přípustného expozičního limitu ($800 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) a 1,9 % nejvyšší přípustné koncentrace ($1500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Na oddělení číslo 322 – oprýžovaný textil byl v nejvyšší koncentraci nalezen benzínový čistič. Koncentrace toluenu zde byla nižší. Průměrná koncentrace benzínového čističe z obou odběrových míst je $27,49 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato koncentrace představuje 6,9 % přípustného expozičního limitu ($400 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) a 2,7 % nejvyšší přípustné koncentrace ($1000 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Odlišnost v koncentracích při vzorkování u předešlých odběrů pro aceton, benzínový čistič a také toluen jsou z důvodu změny technologií na těchto pracovištích.

Pro ostatní látky na obou pracovištích jsou koncentrace velmi nízké. Ani na jednom z pracovišť nedochází k překročení daných limitů pro žádnou ze sledovaných látek.

Vyhodnocení vzorků odebraných ve dnech 26.4.–28.4.2011

Tabulka 44: Výtěžnosti vypočtené s pomocí standardního přídávku.

vzorek	výtěžnost [%]
DU379	89,7
DU380	98,4
DU376	99,8
DU377	86,5

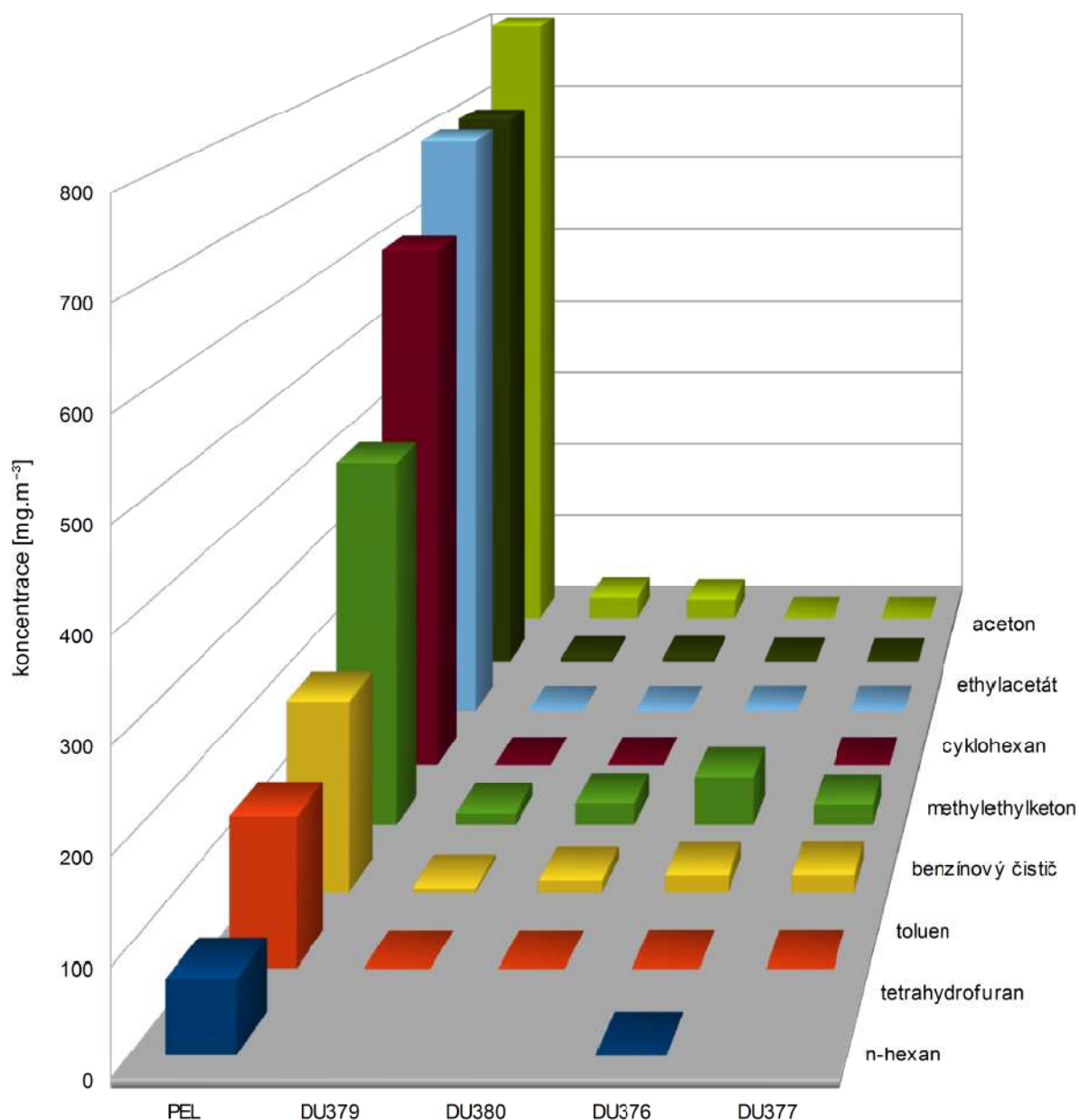
Při tomto odběru byly uskutečněny dva slepé pokusy. V těchto vzorcích nebyly nalezeny žádné látky. Výtěžnost byla 94,8 % a 95,5 %.

Tabulka 45: Vypočítané průměrné koncentrace pro vzorky DU379 a DU380 s korekcí na výtěžnost.

vzorek	látka	m [mg]	$C_{89,7}$ [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]	C_{100} [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]
DU379 kompletace člunů	aceton	6,023	25,03	27,90
	methylethylketon	0,0723	0,2931	0,3267
	n-hexan	0	0	0
	ethylacetát	1,023	4,197	4,678
	tetrahydrofuran	0,0162	0,0699	0,0779
	cyklohexan	0,0435	0,2575	0,2870
	toluen	0,9589	4,147	4,622
	benzínový čistič	2,593	12,57	14,01
vzorek	látka	m [mg]	$C_{98,4}$ [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]	C_{100} [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]
DU380 kompletace člunů segmenty	aceton	5,953	24,74	25,14
	methylethylketon	0,0726	0,2942	0,2990
	n-hexan	0	0	0
	ethylacetát	1,162	4,768	4,846
	tetrahydrofuran	0,0170	0,0736	0,0748
	cyklohexan	0,0726	0,4301	0,4371
	toluen	2,953	12,77	12,98
	benzínový čistič	5,081	24,64	25,03

Tabulka 46: Vypočítané průměrné koncentrace pro vzorky DU376 a DU377 s korekcí na výtěžnost.

vzorek	látká	m [mg]	c_{99,8} [mg·m⁻³]	c₁₀₀ [mg·m⁻³]
DU376 opryžovaný textil – linka 1	aceton	0,0195	0,0810	0,0812
	methylethylketon	0	0	0
	n-hexan	0,0054	0,0260	0,0260
	ethylacetát	0,6216	2,549	2,556
	tetrahydrofuran	0,0388	0,1678	0,1683
	cyklohexan	0,1367	0,8100	0,8119
	toluen	4,161	17,99	18,03
	benzínový čistič	11,13	53,97	54,10
vzorek	látká	m [mg]	c_{86,5} [mg·m⁻³]	c₁₀₀ [mg·m⁻³]
DU377 opryžovaný textil – linka 2	aceton	0,0199	0,0826	0,0955
	methylethylketon	0,0681	0,2748	0,3178
	n-hexan	0	0	0
	ethylacetát	0,3039	1,243	1,437
	tetrahydrofuran	0,0265	0,1141	0,1319
	cyklohexan	0,0658	0,3883	0,4491
	toluen	3,715	16,01	18,51
	benzínový čistič	4,229	20,43	23,63



Obr. 49: Porovnání koncentrací daných látek stanovených experimentálně s PEL.

Při tomto odběru byly opět umístěny na obě sledovaná pracoviště vždy dva pasivní vzorkovače Radiello. Získané hodnoty průměrných koncentrací za dané období pro jednotlivé látky jsou v grafu porovnány pouze s přípustnými expozičními limity, protože nalezené koncentrace jsou velmi nízké a není tedy třeba je srovnávat s nejvyššími přípustnými limity.

Při extrakci uvedených vzorků byl použit vnitřní standard 2-fluortoluen. Získané koncentrace jsou tedy korigovány na 100% výtěžnost. Získané hodnoty měly výtěžnost kolem 100 %.

Na oddělení číslo 328 – kompletace člunů byl v nejvyšší koncentraci nalezen aceton. Průměrná koncentrace acetonu z obou odběrových míst je $26,52 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato koncentrace představuje 3,3 % přípustného expozičního limitu ($800 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) a 1,8 % nejvyšší přípustné

koncentrace ($1500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Byl zde nalezen také benzínový čistič v koncentracích vyšších než u předešlých odběrů.

Na oddělení číslo 322 – oprýžovaný textil byl v nejvyšší koncentraci nalezen benzínový čistič. Koncentrace toluenu zde byla opět nižší. Průměrná koncentrace benzínového čističe z obou odběrových míst je $38,86 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato koncentrace představuje 9,7 % přípustného expozičního limitu ($400 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) a 3,9 % nejvyšší přípustné koncentrace ($1000 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Odlišnost v koncentracích při vzorkování u předešlých odběrů pro aceton, benzínový čistič a také toluen jsou z důvodu změny technologií na těchto pracovištích.

Pro ostatní látky na obou pracovištích jsou koncentrace velmi nízké. Ani na jednom z pracovišť nedochází k překročení daných limitů pro žádnou ze sledovaných látek.

5. ZÁVĚR

Předložená diplomová práce je zaměřená na stanovení těkavých organických látek na vybraných pracovištích firmy Gumotex, a.s., konkrétně na oddělení číslo 322 – oprýžovaný textil a oddělení 328 – kompletace člunů. Zde byly sledovány koncentrace acetonu, methylethylketonu, n-hexanu, ethylacetátu, tetrahydrofuranu, cyklohexanu, benzínového čističe a toluenu.

Byla zpracována rešerše zaměřená na těkavé organické látky. Je zde uvedena jejich základní charakteristika, reakce v atmosféře a také pro vybrané látky jejich použití a účinky na lidské zdraví. Také je zde shrnuta teorie pasivního vzorkování a popis pasivního vzorkovače Radiello. Dále pak stanovení těkavých organických látek za využití plynové chromatografie s plamenově ionizačním detektorem.

V rámci experimentální části bylo provedeno 5 sérií vzorkování pomocí pasivních vzorkovačů Radiello. Doba vzorkování byla po dobu pěti dnů ve dnech 22.11.–26.11.2010, 7.3.–11.3.2011 a 28.3.–1.4.2011. Odběr v době od 28.3. do 1.4.2011 byl zaměřen pouze na oddělení číslo 328, kdy bylo na toto pracoviště umístěno 6 vzorkovačů. Na tomto oddělení se provádí různé pracovní úkony s využitím jiných chemikálií, proto bylo zajímavé se na něj zaměřit s vyšším počtem vzorkovačů. Dále bylo provedeno vzorkování po dobu tří dnů, a to ve dnech 20.4.–22.4.2011 a 26.4.–28.4.2011. s výjimkou vzorkování ve dnech 28.3.–1.4.2011 bylo na obě pracoviště umístěno vždy po dvou pasivních vzorkovačích.

Po expozici byly adsorpční povrchy vzorkovačů Radiello extrahovány v sirouhlíku po dobu 30 minut. Při extrakci byl použit také vnitřní standard 2-fluortoluen pro zjištění výtěžnosti extrakce. Získané hodnoty měly výtěžnost i méně než 50 %. To mohlo být způsobeno nedokonalým vyextrahováním látek z adsorpčních povrchů.

Na oddělení číslo 322 – oprýžovaný textil byl v nejvyšší koncentraci nalezen aceton. Průměrná koncentrace acetonu ze všech odběrových míst a všech sérií vzorkování na tomto pracovišti je $23,72 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejvyšší koncentrace přitom byla naměřena ve dnech 28.3. až 1.4.2011, a to $39,68 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Průměrná koncentrace acetonu představuje 3 % přípustného expozičního limitu ($800 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) a 1,6 % nejvyšší přípustné koncentrace ($1500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Na oddělení 328 – kompletace člunů byl v nejvyšší koncentraci nalezen toluen. Průměrná koncentrace toluenu ze všech odběrových míst a všech sérií vzorkování na tomto pracovišti je $18,22 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejvyšší koncentrace přitom byla naměřena ve dnech 22.11. až 26.11.2010, a to $26,90 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Průměrná koncentrace toluenu představuje 9 % přípustného expozičního limitu ($200 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) a 3,6 % nejvyšší přípustné koncentrace ($500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Ze získaných výsledků je tedy patrné, že nedochází k překročení přípustných expozičních limitů ani nejvyšších přípustných koncentrací sledovaných látek na pracovištích.

Na základě praktických zkušeností s pasivními vzorkovači Radiello lze zkonstatovat, že jejich využití v podmínkách provozů podniku Gumotex, a.s. bylo jednoduché a bezproblémové. Při zpracování exponovaných vzorků pomocí extrakce sirouhlíkem pak

dochází k citelnému snížení mezí detekce a kvantifikace, neboť z extrahovaných 2 ml se do plynového chromatografu dávkuje 1 až 2 μ l, nicméně v uvedeném případě to nebylo na závadu, neboť mezí detekce a kvantifikace potřebných k posouzení, zda jsou hygienické limity sledovaných látek v pracovním prostředí dodrženy nebo překročeny, bylo i při tomto postupu dosaženo.

6. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HARRISON, ROY M.: *Pollution: causes, effects and control*. 4th ed. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2001. 579 s. ISBN 08-540-4621-6.
- [2] KURFÜRST, J.: *Kompendium ochrany kvality ovzduší*. 1. vyd. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2008. 407 s. ISBN 978-80-86832-38-8.
- [3] GROSSMANNOVÁ, H.: *Diagnostika rozkladu těkavých organických látek v klouzavém obloukovém plazmatickém výboji*. Brno, 2008. 94 s. Disertační práce na Fakultě chemické Vysokého učení technického v Brně, Ústavu fyzikální a spotřební chemie. Vedoucí disertační práce Doc. RNDr. František Krčma, Ph.D.
- [4] BEGEROW, J, et al.: Screening method for the determination of 28 volatile organic compounds in indoor and outdoor air at environmental concentrations using dual-column capillary gas chromatography with tandem electron-capture-flame ionization detection. *Journal of Chromatography A*. 1996, vol. 749, s. 181-191.
- [5] BARRO, R., et al.: Analysis of industrial contaminants in indoor air: Part 1. Volatile organic compounds, carbonyl compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls. *Journal of Chromatography A*. 2009, vol. 1216, s. 540–566.
- [6] GUMOTEX, akciová společnost [online]. 14.10.2010 [cit. 2010-11-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.gumotex.cz/>>.
- [7] HUBINOVÁ M., ČÍK G.: Reakcie prchavých organických zlúčenín v troposfére. *Chemické Listy*, 2004, č. 98, s. 891 – 902.
- [8] Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů ze dne 14. února 2002 ve znění pozdějších předpisů.
- [9] Směrnice Rady 1999/13/ES o omezování emisí těkavých organických sloučenin vznikajících při používání organických rozpouštědel při některých činnostech a v některých zařízeních ze dne 11. března 1999.
- [10] DEWULF, J., LANGENHOVE, H.V.: Analysis of volatile organic compounds using gas chromatography. *Trends in Analytical Chemistry*. 2002, vol. 21, no. 9+10, s. 637-646.
- [11] DEMEESTERE, K., et al.: Sample preparation for the analysis of volatile organic compounds in air and water matrices. *Journal of Chromatography A*. 2007, vol. 1153, s. 130–144.
- [12] U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [online]. 04.03.2008 [cit. 2010-11-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.epa.gov/>>.

- [13] ESTEVE-TURRILLAS, F.A., et al.: Development of a versatile, easy and rapid atmospheric monitor for benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes determination in air. *Journal of Chromatography A*. 2009, vol. 1216, s. 8549–8556.
- [14] BOTANY.cz [online]. 10.01.2010 [cit. 2011-01-10]. Dostupný z WWW: <<http://botany.cz/cs/>>.
- [15] GARTEN.CZ [online]. 10.01.2010 [cit. 2011-01-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.garten.cz/>>.
- [16] KUME, K., et al.: Field monitoring of volatile organic compounds using passive air samplers in an industrial city in Japan. *Environmental Pollution*. 2008, vol. 153, s. 649–657.
- [17] RAS, M.R.; BORRULL, F.; MARCÉ, R.M.: Sampling and preconcentration techniques for determination of volatile organic compounds in air samples. *Trends in Analytical Chemistry*. 2009, vol. 28, no. 3, s. 347–361.
- [18] Bezpečnostní list benzen (V souladu s Nařízením (ES) č. 1907/2006 a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 01.11.2005. datum revize 01.06.2008.
- [19] MATRKA, M., RUSEK, V.: *Průmyslová toxikologie: Úvod do obecné a speciální toxikologie*. 2. nezměň. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 1994. 157 s. ISBN 80-851-1385-6.
- [20] MARHOLD, J.: *Přehled průmyslové toxikologie: Organické látky*. 1. vyd. Praha: AVECINUM, zdravotnické nakladatelství, n. p., 1986. 1744 s.
- [21] Bezpečnostní list toluen (Dle předpisu (EU) č. 1907/2006 a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 17.03.2010.
- [22] Bezpečnostní list xylen (Dle zákona 356/2003 Sb. v platném znění a ve znění vyhlášky 231/2004 Sb. v platném znění a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 01.12.2004.
- [23] Bezpečnostní list ethylbenzen (Dle nařízení ES 1907/2006 a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 12.10.2009.
- [24] Bezpečnostní list styren (Podle vyhlášky č. 231/2004 Sb. a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 01.06.2004. datum revize 15.11.2005.
- [25] Bezpečnostní list cyklohexan (dle předpisu (EU) č. 1907/2006 a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 16.01.2008 datum revize, ve změně pozdějších předpisů.
- [26] Bezpečnostní list aceton (Dle předpisu (EU) č. 1907/2006 a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 09.07.2007. datum revize 09.07.2007.

- [27] Bezpečnostní list tetrahydrofuran (Dle zákona č. 356/2003 Sb. v platném znění a Nařízení ES č. 1970/2006 a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 05.02.2010.
- [28] Bezpečnostní list methylethylketon (Dle zákona č. 434/2005 Sb. a vyhlášky 460/2005 Sb. a dle směrnice Evropské komise 2004/73/ES a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 06.03.2006.
- [29] AMAGAI, O. T., MATSUSHITA, H.: A passive sampler–GC:ECD method for analyzing 18 volatile organohalogen compounds in indoor and outdoor air and its application to a survey on indoor pollution in Shizuoka, Japan. *Talanta*. 1999, vol. 50, s. 851–863.
- [30] KRAJÁK, V., et al.: Vzorkování ovzduší v pracovním prostředí. V Helán, V.: *Odběr vzorků: Sborník přednášek z kurzu*. 2.vyd. Český Těšín: T-PRINT Třinec, 2006. s. 206–215. ISBN 80-86380-33-5.
- [31] SEETHAPATHY, S.; GÓRECKI, T.; Li, X.: Passive sampling in environmental analysis. *Journal of Chromatography A*. 2008, vol. 1184, s. 234–253.
- [32] JANKŮ, J., ČERMÁK, J.: *Vzorkování odpadů*. první vydání - učební text. Praha: VŠCHT, 2006. 107 s. Dostupné z WWW: <http://www.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/vzorkovani/Vzorkovani_070104_4.pdf>.
- [33] ZABIEGAŁA, B., et al.: Passive sampling as a tool for obtaining reliable analytical information in environmental quality monitoring. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2010, vol. 396, s. 273–296.
- [34] Sigma-Aldrich [online]. 2006 [cit. 2011-01-20]. Radiello – the radial diffusive sampler. Dostupné z WWW: <http://www.radiello.com/english/funz_en.htm>.
- [35] ČÁSLAVSKÝ, J., KOTLAŘÍKOVÁ, P.: Pasivní vzorkování organických polutantů v životním prostředí. V HELÁN, V.: *Analýza organických látek: Sborník přednášek z kurzu*. 2. opravené a doplněné vydání. Český Těšín: 2 Theta, 2005. s. 95-102. ISBN 80-86380-29-7.
- [36] BAECHLER, S., COMMENT, S., DELÉMONT, O.: Extraction and concentration of vapors from fire debris for forensic purposes: Evaluation of the use of Radiello Passive Air Sampler. *Talanta*. 2010, vol. 82, s. 1247-1253.
- [37] NAMIEŠNIK, J., et al.: Passive sampling and/or extraction techniques in environmental analysis: a review. *Anal Bioanal Chem*. 2005, vol. 381, s. 279–301.
- [38] PALACZ, M., WASIAK, W.: New SPME fibre for analysis of mequinol emitted from DVDs+. *Chemical Papers*. 2011, vol. 65, no. 2, s. 113–118.

- [39] PAWLISZYN, B., PAWLISZYN, M.: Solid Phase Microextraction (SPME). *The Chemical Educator*. 1997, vol. 2, no. 4, s. 1-7. ISSN 1430-4171.
- [40] ZHU, F. *Alpha.chem.umb.edu* [online]. 2007-11-28 [cit. 2010-05-01]. Green Analytical Chemistry: Solid phase Microextraction. Dostupné z WWW: <<http://alpha.chem.umb.edu/chemistry/ch471/documents/GreenAnalyticalChemistry.pdf>>.
- [41] ATAOKA, H., LORD, H.L., PAWLISZYN, J.: Applications of solid-phase microextraction in food analysis. *Journal of Chromatography A*. vol. 200, 880, s. 35–62.
- [42] GREENWOOD, R., MILLS, G., VRANA, B.: *Passive sampling techniques in environmental monitoring* [online]. UK : Elsevier, 2007 [cit. 2011-04-09]. Dostupné z WWW: <<http://books.google.com/>>. ISBN 978-0-444-52225-2.
- [43] PERTILE, E., ČABLÍK, V.: *Instrumentální metody analýzy*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006. 238 s. ISBN 80-248-1049-2.
- [44] ŠEVČÍK, J. G. K.: Plynová chromatografie. V HELÁN, V.: *Analýza organických látek: Sborník přednášek z kurzu*. 2. opravené a doplněné vydání. Český Těšín: 2 Theta, 2005. s. 151-174. ISBN 80-86380-29-7.
- [45] LABICOM s.r.o. [online]. 2011 [cit. 2011-02-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.labicom.cz/supelco-199/>>.
- [46] LY-VERDÚ, S., et al.: A passive sampling-based analytical strategy for the determination of volatile organic compounds in the air of working areas. *Analytica Chimica Acta*. 2010, vol 677, s. 131–139.
- [47] HALLAMA, R.A., ROSENBERG, E., GRASSERBAUER, M.: Development and application of a thermal desorption method for the analysis of polar volatile organic compounds in workplace air. *Journal of Chromatography A*. 1998, vol. 809, s. 47–63.
- [48] PENNEQUIN-CARDINAL, A., et al.: Performances of the Radiellos diffusive sampler for BTEX measurements: Influence of environmental conditions and determination of modelled sampling rates. *Atmospheric Environment*. 2005, vol. 39, s. 2535–2544.
- [49] LARROQUE, V., DESAUZIERS, V., MOCHO, P.: Study of preservation of polydimethylsiloxane/Carboxen solid-phase microextraction fibres before and after sampling of volatile organic compounds in indoor air. *Journal of Chromatography A*. 2006, vol. 1124, s. 106–111.
- [50] BEGEROW, J., et al.: Performance of two different types of passive samplers for the GC/ECD-FID determination of environmental VOC levels in air. *Fresenius J Anal Chem*. 1999, vol. 363, s. 399–403.

- [51] OTSON, R.; CAO, X.L.: Evaluation of a small prototype passive sampler for airborne volatile organic compounds. *Journal of Chromatography A*. 1998, vol. 802, s. 307–314.
- [52] Státní zdravotní ústav [online]. 21.10.2010 [cit. 2011-01-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.szu.cz/>>.
- [53] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci ze dne 2. prosince 2007 ve znění pozdějších předpisů.
- [54] Bezpečnostní list benzínový čistič (dle předpisu (EU) č. 1907/2006 a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 17.03.2010.
- [55] Bezpečnostní list technický benzín (Podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č.1907/2006 (REACH) a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 24.02.2006. datum revize 12.07.2007.
- [56] Bezpečnostní list Lewidur I 333 (Podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č.1907/2006/ES ve znění opravy z 29.05.2007 a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 16.04.2009.
- [57] Bezpečnostní list Makroplast B 2168. (Dle ES č. 1907/2006 a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 27.06.2001. datum revize 28.08.2008.
- [58] Bezpečnostní list Roztok 5987 (Podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 ve znění Opravy z 29.05.2007 a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 14.10.2009.
- [59] Bezpečnostní list Härter II (Dle vyhlášky 231/2004 Sb. a 460/2005 Sb. a podle 1907/2006/ES a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 07.10.2008. datum revize 21.07.2008.
- [60] Bezpečnostní list Leabont SBS (Dle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 (REACH) a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 16.02.2009. datum revize: 16.02.2009.
- [61] Bezpečnostní list Unilep D 438 (Dle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 (REACH a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 16.02.2009. datum revize: 16.02.2009.
- [62] Bezpečnostní list Ultraflex 4818 (Dle vyhlášky 231/2004 Sb. a 460/2005 Sb. a podle 1907/2006/ES a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 07.10.2008. datum revize: 11.06.2008.

- [63] Bezpečnostní list Roztok cement práškový (Podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 ve znění Opravy z 29.05.2007 a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 27.06.2003. datum revize: 16.07.2009.
- [64] Bezpečnostní list Desmodur RFE (Dle ES č. 1907/2006 a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 14.05.2008. datum revize: 13.05.2008.
- [65] Bezpečnostní list Aquaseal (Dle zákona č. 356/2003 Sb. a vyhlášky č. 231/2004 Sb. a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 01.12.1999. datum revize: 01.12.1999.
- [66] Bezpečnostní list Roztok 9081 (Podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006/ES ve znění Opravy z 29.5.2007 a ve znění pozdějších předpisů.) datum vydání: 27.06.2003. 20.02.2009.

7. SEZNAM ZKRATEK

BTEX	benzen, toluen, etylbenzen a xylen
CAS	registrová čísla, jedinečné numerické identifikátory pro chemické sloučeniny
GC	plynová chromatografie, Gas Chromatography
ECD	Detektor elektronového záchytu, Electron capture detector
FID	Plamenově ionizační detektor, Flame ionization detector
HPLC	vysoce účinné kapalinová chromatografie
IARC	the International Agency for Research on Cancer, Mezinárodní agentur pro výzkum rakoviny
IC	iontová chromatografie
LD ₅₀	letální dávka
LOD	mez detekce
LOQ	mez stanovitelnosti
MS	hmotnostní spektrometrie
NPK-P	nejvyšší přípustná koncentrace látky na pracovišti
PEL	přípustný expoziční limit látky na pracovišti
PID	Fotoionizační detektor, Photoionisation detector
POPC	Photochemical ozone creation potential
REACH	registrace, evaluace a autorizace chemických látek
SPME	extrakce na tuhé fázi, solid phase microextraction
SVOC	polotěkavé organické látky, semi volatile organic compounds
TCD	Tepelně vodivostní detektor, Thermal Conductivity Detector
TVOCs	celkové těkavé organické látky, Total Volatile Organic Compound
VOCs	těkavé organické látky, Volatile Organic Compound
VVOCs	velmi těkavé organické látky, very volatile organic compounds
VOHCs	těkavých organohalogenové sloučeniny. Volatile Organohalogen Compound

8. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I	Fyzikální a chemické vlastnosti látek používaných na oddělení 322 - opryžovaný textil.
Příloha II	Fyzikální a chemické vlastnosti látek používaných na oddělení 322 - opryžovaný textil.
Příloha III	Fyzikální a chemické vlastnosti látek používaných na oddělení 328 - výroba člunů.
Příloha IV	Fyzikální a chemické vlastnosti látek používaných na oddělení 328 - výroba člunů.
Příloha V	Pohled na oddělení 322 - opryžovaný textil.
Příloha VI	Pohled na oddělení 328 - výroba člunů.

9. PŘÍLOHY

Příloha I

	Lewidur I 333	Makroplast B 2168	Benzín technický 80/110	Toluen
forma	-	viskózní kapalina	kapalný (při 20 °C)	kapalný
barva	-	nažloutlý	bezbarvý až nažloutlý	bezbarvý
zápach	-	po rozpouštědlech/esterech	typický benzínový	charakteristický, aromaticky
bod tání [°C]	-	-	< -20	-95
bod varu [°C]	-	-	63-100	110,6
bod vzplanutí [°C]	-	< -22	-11	4-6
teplota vznícení [°C]	-	-	220	-
dolní mez výbušnosti [% obj.]	-	1,1	0,93	1,2
horní mez výbušnosti [% obj.]	-	11,5	7	7,1
tenze par [hPa (při 20 °C)]	-	170	172	29
hustota [g/cm ³ (při 20 °C)]	1,0-1,06	0,84-0,94	0,70 *	0,87
rozpuštnost ve vodě	-	nemísitelný nebo jen velmi obtížně	prakticky nerozpustný	0,5 g/l (při 20–25° C)
K _{ow}	-	-	-	-2,7 (při 20 °C)
dynamická viskozita [mPa·s (při 20°C)]	150	2,0-2,6	-	0,58

* Hustota kapalin je uvedena při teplotě 15°C. [21,55–57]

Příloha II

	Cyklohexan	Methylethylketon	Benzinový čistič
forma	kapalný	kapalný	kapalný
barva	bezbarvý	bezbarvý	bezbarvý
zápach	sladký aromatický	chrakteristický	chrakteristický, aromaticky
bod tání [°C]	7	-	-
bod varu [°C]	81	79,1-80,1	80-110 (benzín)
bod vzplanutí [°C]	-18	514	-25
teplota vznícení [°C]	260	-	-
dolní mez výbušnosti [% obj.]	1,2	1,8	1,0 (benzín)
horní mez výbušnosti [% obj.]	8,3	11,5	6,5 (benzín)
tenze par [hPa (při 20 °C)]	104	105	250
hustota [g/cm ³ (při 20 °C)]	0,78	0,80	0,70-0,72 *
rozpustnost ve vodě	cca 0,1 g/l (při 20 °C)	290 g/l (při 20 °C)	nerozpustný
K _{ow}	3,44	-	-
dynamická viskozita [mPa·s (při 20°C)]	0,98	0,40	-

[25,28,54]

Příloha III

	Aceton	Härter II	Ultraflex 4818	Unilep D 438	Leabont SBS
forma	kapalný	kapalný	kapalný	transparentní sirupovitá kapalina	transparentní nízkoviskózní kapalina
barva	bezbarvý	žlutavá	průsvitný	bezbarvá až nažloutlá	bezbarvá až nažloutlá
zápach	sladký	charakteristický	charakteristický	charakteristický po organických rozpouštědlech (ethylenacetát)	charakteristický po organických rozpouštědlech (ethylenacetát)
bod tání [°C]	-94,7	-	-	-	-
bod varu [°C]	55,8-56,6	77	56	cca 75	cca 75
bod vzplanutí [°C]	-18	-4	460	-22	-4
teplota vznícení [°C]	540	-	-	-	-
dolní mez výbušnosti [% obj.]	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
horní mez výbušnosti [% obj.]	13,0	11,5	13,0	16,8	11,5
tenze par [hPa (při 20 °C)]	247	100	247	-	-
hustota [g/cm ³ (při 20 °C)]	0,791	1,17	0,87	0,85	0,93
rozpuštnost ve vodě	plně mísitelná látka	nemísitelný nebo jen velmi málo	nemísitelný nebo jen velmi málo	nerozpuštný	nerozpuštný
log K _{ow}	-0,24	-	-	-	-
dynamická viskozita [mPa·s (při 20°C)]	0,33	-	-	600-800	1

[26,59–62]

Příloha IV

	Aquaseal	Tetrahydrofuran	Desmodur RFE	Cement plášťový	Roztok 5987	Roztok 9081
forma	čirá viskózní kapalina	kapalný	kapalný	kapalný	kapalný	Kapalný
barva	průsvitná	bezbarvý	žlutý až nahnědlý	přírodní (světlá)	přírodní (světlá)	bezbarvý
zápach	charakteristická vůně toluenu	etherový	po esteru	typický po benzínu	typický po rozpouštědlech (benzínu)	typický po rozpouštědlech
bod tání [°C]	0	-108	-	-	-	-
bod varu [°C]	117	66	cca 77**	-	-	-
bod vzplanutí [°C]	20	-20	cca -4	23	-	-
teplota vznícení [°C]	-	230	460	-	-	-
dolní mez výbušnosti [% obj.]	-	1,5	2,2(ethylacetát) 1,3 (chlorbenzen)	-	-	-
horní mez výbušnosti [% obj.]	-	12	11,5 (ethylacetát) 11 (chlorbenzen)	-	-	-
tenze par [hPa (při 20 °C)]	-	20	97	-	-	-
hustota [g/cm ³ (při 20 °C)]	1	0,89	1,00	0,72*	0,785*	-
rozpustnost ve vodě	-	míselný s vodou	nemíselná látka při 15 °C	nerozpustný	nerozpustné	nerozpustné
dynamická viskozita [mPa·s (při 20°C)]	-	-	3	2600	1552	-

* Hustota kapalin je uvedena při teplotě 25°C. **Hodnota varu uvedená při tlaku 1.013 hPa.

[27,58,63–66]

Příloha V



Příloha VI

