

Věstník MŽP ČR, částka 1/2017

Specializované mapy s odborným obsahem (Nmap)

Data o výskytu emergentních polutantů ve vybraných složkách prostředí

Název organizace: Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí RECETOX

Číslo projektu TA ČR: TB030MZP001

Název projektu TA ČR: Emergentní polutanty ve složkách životního prostředí (EMERTOX)

Řešitelský tým projektu:

doc. Ing. Branislav Vrana, Ph.D.

prof. RNDr. Jana Klánová, Ph.D.

doc. RNDr. Pavel Čupr, Ph.D.

RNDr. Roman Prokeš, Ph.D.

RNDr. Jana Borůvková, Ph.D.

Ing. Jitka Bečanová, Ph.D.

Foppe Smedes

doc. Mgr. Klára Hilscherová, Ph.D.

Mgr. Jiří Novák, Ph.D.

Mgr. RNDr. Michal Bittner, Ph.D.

Mgr. Ondřej Sáňka, Ph.D.

Ing. Šimon Vojta, Ph.D.

RNDr. Ondřej Mikeš, Ph.D.

Mgr. Anežka Sharma

Mgr. Katarína Bányiová

Ing. Kateřina Šebková, Ph.D.

Mgr. Jakub Urík

Ing. Barbora Feixová

Výše uvedení členové týmu jsou z Centra pro výzkum toxických látek v prostředí RECETOX, Přírodovědecké fakulty MU - tedy z řešitelského pracoviště projektu.

Předkládaný soubor specializovaných map s odborným obsahem je jedním z výsledků projektu "Emergentní polutanty ve složkách životního prostředí", č. TB030MZP001 podpořeného programem BETA Technologické agentury České republiky.

Citace:

Čupr, P., Vrana, B., Sážka, O., Prokeš, R., Borůvková, J., Bečanová, J., Smedes, F., Hilscherová, K., Novák, J., Bittner, M., Vojta, Š., Mikeš, O., Sharma, A., Bányiová, K., Šebková, K., Urík, J., Chropeňová, M., Karásková, P., Melymuk, L., Audy, O., Přibyllová, P., Kohoutek, J., Feixová, B., Klánová, J., 2016. Specializované mapy s odborným obsahem (Nmap). Data o výskytu emergentních polutantů ve vybraných složkách prostředí. Masarykova univerzita, RECETOX. RECETOX REPORT No. 600. Listopad 2016.

OBSAH

[1 Úvod](#)

[2 Mapové listy](#)

[2.1](#) Prostorová a časová variabilita polybromovaných difenyletherů (PBDE), izomerů hexabromcyklododekanu (HBCD) a perfluorovaných látek (PFCs) v dnových sedimentech řeky Moravy a jejím přítoku Dřevnici na Zlínsku

[2.2](#) Prostorová variabilita polybromovaných difenyletherů (PBDE), izomerů hexabromcyklododekanu (HBCD) a perfluorovaných látek (PFCs) v povrchové vodě v řece Moravě a jejím přítoku Dřevnici na Zlínsku

[2.3](#) Výskyt zhášečů hoření v rozpustné formě v povrchové a komunální odpadní vodě v různě zatížených vodních útvarech v okolí Brna

[2.4](#) Sezonnost výskytu polybromovaných difenyletherů (PBDE), perfluorovaných látek (PFCs) a vybraných farmak v povrchové a komunální odpadní vodě v aglomeraci města Brna

[2.5](#) Výskyt perfluorovaných látek a vybraných farmak v povrchové vodě v pramenných oblastech řek

[2.6](#) Denní variabilita výskytu perfluorovaných látek a vybraných farmak v povrchové vodě ve vodních útvarech v okolí Brna

[2.7](#) Aktuální výskyt zhášečů hoření v povrchové a komunální odpadní vodě v aglomeraci města Brna

[2.8](#) Výskyt perfluorovaných látek v domácím prachu z domácností České republiky, Spojených států amerických a Kanady

[2.9](#) Výskyt zhašeečů hoření v ovzduší, v domácím prachu a ve stěrech z oken z domácností České republiky, Spojených států amerických a Kanady

[2.10](#) Výskyt zhašeečů hoření v ovzduší domácností České republiky

[2.11](#) Výskyt zhašeečů hoření v ovzduší a v prachu ve vnitřním prostředí použitím různých metod vzorkování

[2.12](#) Výskyt bromovaných látek v ovzduší ve výukových a kancelářských místnostech

[2.13](#) Prostorová variabilita zhašeečů hoření ve vzorcích prachu ve vnitřním prostředí

[2.14](#) Aplikace ověřené metodiky na vzorkování vnitřního prostředí

[Seznam odborných podkladů](#)

1 ÚVOD

Hlavním cílem tohoto souboru map je vizualizovat informace o výskytu emergentních polutantů ve vybraných složkách životního prostředí - vodní a vnitřní prostředí. Jedná se o bromované zhašeeče hoření (zejména bromované difenylethery - PBDEs) a hexabromcyklododekan (HBCD), které byly zařazeny do příloh Stockholmské úmluvy (SÚ) o perzistentních organických polutantech (POPs). Dále byla získána a vizualizována data o výskytu perfluorooktansulfonanu (PFOS), perfluorooktanové kyseliny (PFOA) a dalších příbuzných perfluorovaných látkách (PFCs).

V průběhu řešení projektu byly zpracovány soubory map, které prezentují pilotní data o kontaminaci prostředí nízkými, ale z hlediska rizik pro životní prostředí a zdraví člověka relevantními, koncentracemi výše uvedených emergentních látek. Byly připraveny mapy ze studií výskytu těchto látek ve vodním prostředí, v ovzduší a ve vnitřním prostředí. Při sběru terénních dat využitých ke tvorbě map byly využity nové vzorkovací metody umožňující měření hladin sledovaných látek ve vybraných matricích způsobem, který má vztah k expozici vodních organismů (metody aplikované ve vodním prostředí) nebo člověka (metody aplikované ve vnitřním prostředí).

Pro vnitřní prostředí i povrchové a odpadní vody bylo využito zejména technik pasivního vzorkování. Kromě stávajících metod odběru vzorků (bodové odběry vody a sedimentu, použití komerčně dostupných pasivních vzorkovačů typu POCIS, aktivní vzorkovače vzduchu, pasivní PUF vzorkovač ovzduší, atd.) byly využity i zcela nové postupy monitorování sledovaných látek, které byly vyvinuty nebo optimalizovány jako samostatné výstupy projektu EMERTOX. Jedná se o tři nové certifikované metodiky (Nmet), konkrétně: a) metodika vzorkování vnitřního prostředí pro analýzy vybraných emergentních polutantů kombinací metod pasivního vzorkování ovzduší a prachových částic (Čupr et al., 2016); b) metodika pasivního vzorkování pro sledování polybromovaných difenyletherů a jiných hydrofobních kontaminantů ve vodním prostředí (Vrana et al., 2016a); c) metodika pasivního vzorkování pro sledování perfluorovaných sloučenin a vybraných farmak ve vodním prostředí (Vrana et al., 2016b). Součástí tohoto souboru map jsou tak nejen mapy, které prezentují výskyt emergentních látek v životním prostředí, ale představují i výsledky pilotních terénních studií, které měly za cíl ověřit a demonstrovat funkčnost nově navržených metodik v terénu. Terénní studie byly navrženy tak, aby byly vzorky stejným nebo analogickým způsobem odebrány pro chemickou i toxikologickou analýzu.

Zobrazovaná data o výskytu emergentních polutantů v odebraných vzorcích v jednotlivých studiích zahrnují vždy sadu emergentních látek relevantních pro daný typ prostředí.

Předkládané specializované mapy s odborným obsahem (Nmap) jsou také dostupné ve věstníku MŽP ČR. Zdrojová data (včetně mezních hodnot kvantifikace LOQ) jsou součástí xls souborů, které jsou přílohou závěrečné zprávy projektu Emertox. Data jsou vložena i do systému GENASIS (www.genasis.cz), který je součástí Jednotného informačního systému životního prostředí ČR (JIŽP).

Uživatelé těchto výsledků je nejen odborná veřejnost, ale státní a regionální správa včetně odborů MŽP, které mohou výsledky uplatnit k plnění povinnosti ČR v rámci mezinárodních úmluv. Další cílovou skupinou uživatelů jsou i firmy a instituce zabývající se kvalitou a znečištěním vnitřního prostředí a vodního ekosystému. V podmínkách ČR jsou to zejména zdravotní ústavy, místní samosprávy, hygienické stanice a společnosti zodpovědné za kvalitu a hygienický stav užívaných staveb, dále pak státní podniky Povodí a Český hydrometeorologický ústav.

2 MAPOVÉ LISTY

Předkládaný soubor map obsahuje série studií zaměřených na různé složky životního prostředí. Celkově jsou zde zahrnuty výsledky 14 studií, z nichž 7 je zaměřených na vodní prostředí (voda, sediment) a 7 na vnitřní prostředí.

2.1 PROSTOROVÁ A ČASOVÁ VARIABILITA POLYBROMOVANÝCH DIFENYLETERŮ (PBDE), IZOMERŮ HEXABROMCYKLODODEKANU (HBCD) A PERFLUOROVANÝCH LÁTEK (PFCS) V DNOVÝCH SEDIMENTECH ŘEKY MORAVY A JEJÍM PŘÍTOKU DŘEVNICE NA ZLÍNSKU

Celkem 13 map; [Mapy 1 -13](#)

Tato studie podrobně charakterizuje výskyt výše uvedených kontaminantů v říčních sedimentech. Ilustruje sezónní a prostorovou variabilitu kontaminace říčních sedimentů látkami v reprezentativní průmyslové oblasti. Cílem studie bylo především identifikovat emergentní polutanty ze skupiny perfluorovaných látek a bromovaných zlášečů hoření, pro které je sediment vhodnou matricí pro případný budoucí monitoring stavu vod, a také charakterizovat roční variabilitu výskytu těchto látek ve vzorcích dnového říčního sedimentu.

Sedimenty byly vzorkovány v měsíčním intervalu (28 dní) od července 2007 do července 2008 na pěti lokalitách v jihovýchodní části České republiky. Vybrána byla řeka Morava a její přítok Dřevnice, jejichž voda i sediment jsou historicky zatíženy okolní rozsáhlou hospodářskou a průmyslovou činností. Lokalita Bělov (BE) leží na řece Moravě nad soutokem s řekou Dřevnicí. Lokalita Malenovice (MA) leží na řece Dřevnici a je zatížena průmyslovými a komunálními odpadními vodami z aglomerace Zlína a Otrokovic. Profil Spytihněv (SP) je lokalizován pod soutokem řeky Moravy s řekou Dřevnicí. Lokality Čerťák (CE) a Čerťák - mrtvé rameno (CR) leží dále po toku řeky Moravy a byly vybrány tak, aby na nich bylo možné provést srovnání znečištění v říčním korytu aktivního toku a jeho slepých ramenech. Lokality MA, SP, CE a CR jsou po proudu od komunálních čistíren odpadních vod. Oproti tomu lokalita BE se nachází po proudu od malých měst a vesnic bez čistíren odpadních vod.

Povrchový sediment byl odebrán ze dna řeky (max. do 10 cm) ve vzdálenosti cca 1 až 2 m od břehu pomocí vzorkovací tyče. Reprezentativní vzorky říčních sedimentů z každé lokality byly připraveny smícháním pěti až osmi dílčích vzorků odebraných na ploše cca 4 m². Po převezení vzorků do laboratoře byly ze sedimentů vyjmuty kusy materiálů větší než 1 cm a sedimenty byly lyofilizovány. Suché vzorky sedimentů byly následně homogenizovány, pomlety, prosety (2 mm

síto) a uskladněny při - 20 °C. Před zpracováním a analýzou pro stanovení perfluorovaných látek a bromovaných zhášečů hoření byly vzorky rozmrazeny za laboratorní teploty po dobu 24 hod. Poté byly naváženy podíly vzorků a vzorky byly nezávisle zpracovány pro každou z uvedených skupin látek.

Podíl z každého vzorku byl použit pro určení základních charakteristik sedimentu (celkový obsah organického uhlíku (TOC), stanovení jílového podílu a geologická klasifikace sedimentu).

Bromované zhášeče hoření

V této části studie byly ve vzorcích analyzovány bromované zhášeče hoření (BFRs) a to především ty, které byly v roce 2009 a 2013 zařazeny do příloh Stockholmské úmluvy (UNEP, 2016) a jsou na seznamu prioritních látek Vodní rámcové směrnice (Evropská unie, 2013, 2000). Do této skupiny patří 6 kongenerů bromovaných difenyletherů (BDE) a hexabromcyklododekan (HBCD). Celkově bylo analyzováno 12 bromovaných zhášečů hoření v 70 vzorcích sedimentů.

Tabulka 1. Analyzované bromované zhášeče hoření

sloučenina	zkratka	molekulový vzorec
α-hexabromcyklododekan	α-HBCD	C ₁₂ H ₁₈ Br ₆
β-hexabromcyklododekan	β-HBCD	C ₁₂ H ₁₈ Br ₆
γ-hexabromcyklododekan	γ-HBCD	C ₁₂ H ₁₈ Br ₆
2,4,4'-tribromdifenyl ether	BDE 28	C ₁₂ H ₇ Br ₃ O
2,2',4,4'-tetrabromdifenyl ether	BDE 47	C ₁₂ H ₆ Br ₄ O
2,2',4,4',5-pentabromdifenyl ether	BDE 99	C ₁₂ H ₅ Br ₅ O
2,2',4,4',6-pentabromdifenyl ether	BDE100	C ₁₂ H ₅ Br ₅ O
2,2',4,4',5,5'-hexabromdifenyl ether	BDE153	C ₁₂ H ₄ Br ₆ O
2,2',4,4',5,6'-hexabromdifenyl ether	BDE154	C ₁₂ H ₄ Br ₆ O
2,2',3,4,4',5',6-heptabromdifenyl ether	BDE183	C ₁₂ H ₄ Br ₈ O
dekabromdifenyl ether	BDE 209	C ₁₂ Br ₁₀ O

Pro analýzu bromovaných zhášečů hoření bylo naváženo 5 g každého vzorku sedimentu. Před extrakcí byly vzorky obohaceny ¹³C značenými vnitřními standardy pro zjištění ztrát během extrakce. Vzorky byly následně extrahovány dichlormethanem (DCM) pomocí automatizovaného Soxhletova extraktoru (B-811 Büchi, Švýcarsko) (40 minut samotná extrakce, 20 minut promývání, 20 minut zakoncentrování). Koncentrované extrakty byly čištěny (včetně odstranění síry) sloupcovou chromatografií tak, že se extrakty smísily s oxidem křemičitým a práškovou aktivní mědí a byly nanесeny na kolonu obsahující kyselinou sírovou modifikovaný silikagel. Z této kolony byly bromované zhášeče hoření eluovány 40 ml směsí DCM/n-hexan (1:1). Dále byl eluát koncentrován a následovala frakcionace v skleněné Pasteurové pipetě, která obsahovala (zdola nahoru): 50 mg silikagelu, 70 mg směsi aktivní uhlí/silikagel (1:40) a 5 mg silikagelu. Nejprve byla kolona promyta 5 ml toluenu a 5 ml směsí DCM/cyklohexan (3:7). Následně byl aplikován vzorek a eluován 9 ml směsí DCM/cyklohexan směs (3:7) pro stanovení BDE a následně 40 ml toluenu pro stanovení HBCD. První frakce byla zakoncentrována pod proudem dusíku na finální objem 50 μl, druhá frakce byla později spojená s první frakcí (po analýze BDE), rozpouštědlo bylo odpařeno proudem dusíku do sucha a bylo vyměněno za acetonitril. Před každým stanovením byly přidány ke vzorkům injekční izotopicky značené standardy pro zjištění přesného objemu (BDE) a postižení matričních efektů (HBCD).

Analýza BDE byla prováděna separací pomocí vysokorozlišovací plynové chromatografie a následnou detekcí vysokorozlišovacím hmotnostním spektrometrem. Analýza HBCD byla

provedena po výměně rozpouštědla vzorku za acetonitril vysokoúčinnou kapalinovou chromatografií a následnou tandemovou hmotnostní spektrometrií s ionizací elektrosprejem.

Perfluorované látky

V této části studie byly ve vzorcích analyzovány perfluorované látky (z anglického perfluorinated compounds PFCs, nebo aktuálně označované jako perfluoroalkanové sloučeniny; perfluorinated alkylated substances PFASs). Do této skupiny patří perfluoroalkyl karboxylové kyseliny (PFCAs) a perfluoroalkylované sulfonany (PFASs) s nejvýznamnějšími zástupci perfluorooktan sulfonem (PFOS) a perfluorooktanovou kyselinou (PFOA). Celkově bylo analyzováno 15 perfluorovaných látek v 70 vzorcích sedimentů.

Tabulka 2. Analyzované perfluorované látky

sloučenina	zkratka	molekulový vzorec
perfluoropentanová kyselina	PFPA	$C_5HF_9O_2$
perfluorohexanová kyselina	PFHxA	$C_6HF_{11}O_2$
perfluoroheptanová kyselina	PFHpA	$C_7HF_{13}O_2$
perfluorooktanová kyselina	PFOA	$C_8HF_{15}O_2$
perfluorononanová kyselina	PFNA	$C_9HF_{17}O_2$
perfluorodekanová kyselina	PFDA	$C_{10}HF_{19}O_2$
perfluoroundekanová kyselina	PFUDA	$C_{11}HF_{21}O_2$
perfluorododekanová kyselina	PFDoA	$C_{12}HF_{23}O_2$
perfluorotridekanová kyselina	PFTrDA	$C_{13}HF_{25}O_2$
perfluorotetradekanová kyselina	PFTeDA	$C_{14}HF_{27}O_2$
perfluorobutansulfonan	PFBS	$C_4F_9SO_3H$
perfluorohaxandusulfonan	PFHxS	$C_6F_{13}SO_3H$
perfluoroheptansulfonan	PFHpS	$C_7F_{15}SO_3H$
perfluorooktansulfonan	PFOS	$C_8F_{17}SO_3H$
perfluorodekansulfonan	PFDS	$C_{10}F_{21}SO_3H$

Pro analýzu PFCs bylo naváženo 5 g každého vzorku suchého sedimentu. Vzorek byl 40 minut extrahován methanolem obohaceným octanem amonným (5 mM) za použití horké Soxhletové extrakce, 20 minut promýván rozpouštědlem a následně 30 minut zakoncentrován v automatickém extraktoru (B-811, Büchi, Švýcarsko). Zakoncentrované extrakty byly filtrovány s použitím stříkačkového filtru (nylonová membrána o průměru 13 mm a velikostí pórů 0,45 µm) a filtrát byl následně zakoncentrován do poslední kapky pod proudem dusíku v koncentrátoru TurboVap II (Caliper Lifesciences, USA). Před analytickým stanovením byl vzorek rekonstituován do 1 ml mobilní fáze (50/50 v/v, 5 mM octanu amonného ve vodě / 5 mM octanu amonného v methanolu). Instrumentální analýza byla prováděna pomocí kapalinové chromatografie v kombinaci s tandemovou hmotnostní spektrometrií.

Výsledky této studie jsou prezentovány v [mapách 1-13](#). Koncentrace nižší než příslušná mezní hodnota kvantifikace (LOQ) jsou v mapách označeny šedou barvou. V případě, že se měřené hodnoty v daném vzorku nacházely pod LOQ, byly výsledky měření pro účely zobrazení v mapách stanoveny na polovinu dané mezní hodnoty kvantifikace. Všechny hodnoty koncentrace BDE 28 byly nižší než příslušná hodnota LOQ (1 ng/g). Výsledky analýzy této látky nejsou zobrazeny v mapě.

2.2 PROSTOROVÁ VARIABILITA POLYBROMOVANÝCH DIFENYLETHERŮ (PBDE), IZOMERŮ HEXABROMCYKLODODEKANU (HBCD) A PERFLUOROVANÝCH LÁTEK (PFCS) V POVRCHOVÉ VODĚ V ŘECE MORAVĚ A JEJÍM PŘÍTOKU DŘEVNICI NA ZLINSKU

Celkem 7 map; [Mapy 14 - 20](#)

Tato studie charakterizuje prostorovou variabilitu kontaminace výše uvedenými kontaminanty volně rozpuštěnými v povrchové vodě v reprezentativní průmyslové oblasti. Vybrána byla řeka Morava a její přítok Dřevnice, jejichž voda i sediment jsou historicky zatíženy okolní rozsáhlou hospodářskou a průmyslovou činností. Lokalita Bělov (BE) leží na řece Moravě nad soutokem s řekou Dřevnicí. Lokalita Malenovice (MA) leží na řece Dřevnici a je zatížena průmyslovými a komunálními odpadními vodami z aglomerace Zlína a Otrokovic. Odběrový profil Spytihněv (SP) je lokalizován pod soutokem řeky Moravy s řekou Dřevnicí. Lokality Čerták (CE) a Čerták - mrtvé rameno (CR) leží dále po toku řeky Moravy a byly vybrány tak, aby na nich bylo možné provést srovnání znečištění v říčním korytu aktivního toku a jeho slepých ramenech. Lokality MA, SP, CE a CR jsou po proudu od komunálních čistíren odpadních vod. Oproti tomu lokalita BE se nachází po proudu od malých měst a vesnic bez čistíren odpadních vod.

Bromované zhášeče hoření

V této části studie byly ve vzorcích analyzovány bromované zhášeče hoření (BFRs) a to především ty, které byly v roce 2009 a 2013 zařazeny do příloh Stockholmské úmluvy (UNEP, 2016) a jsou na seznamu prioritních látek Vodní rámcové směrnice (Evropská unie, 2013, 2000). Do této skupiny patří 6 kongenerů bromovaných difenyletherů (BDE) a hexabromcyklododekan (HBCD).

K odběru vzorků byl v této studii použit nový postup monitorování sledovaných látek, který je samostatným výsledkem projektu TAČR EMERTOX. K pasivnímu vzorkování bromovaných zhášečů hoření ve vodním sloupci byl použit postup, který je popsán v metodice „Ověřená metodika pasivního vzorkování pro sledování polybromovaných difenyletherů a jiných hydrofobních kontaminantů ve vodním prostředí“ (Nmet) (Vrana et al., 2016a). K odběru byla použita varianta statického pasivního odběru vzorků (viz kapitola 7.5 metodiky) (Vrana et al., 2016a).

Kalibrované pasivní vzorkovače na bázi silikonové pryže AlteSil byly exponovány ve vodním sloupci od 4. dubna do 2. května 2016 (28 dní). Vzorkovače byly umístěny v hloubce cca 0,5 m pod hladinou toku po dobu 28 dní. Po expozici byl analyzován obsah zhášečů hoření a provozních referenčních látek ve vzorkovačích. Koncentrace zhášečů hoření volně rozpuštěných ve vodní fázi vzorkované vody (v jednotkách pg/l) byly vypočítány způsobem popsaným ve výše zmíněné metodice (Nmet).

Tabulka 3. Analyzované bromované zhášeče hoření

sloučenina	zkratka	molekulový vzorec
α-hexabromcyklododekan	α-HBCD	C ₁₂ H ₁₈ Br ₆
β-hexabromcyklododekan	β-HBCD	C ₁₂ H ₁₈ Br ₆
γ-hexabromcyklododekan	γ-HBCD	C ₁₂ H ₁₈ Br ₆
2,4,4'-tribromdifenyl ether	BDE 28	C ₁₂ H ₇ Br ₃ O
2,2',4,4'-tetrabromdifenyl ether	BDE 47	C ₁₂ H ₆ Br ₄ O
2,2',4,4',5-pentabromdifenyl ether	BDE 99	C ₁₂ H ₅ Br ₅ O
2,2',4,4',6-pentabromdifenyl ether	BDE100	C ₁₂ H ₅ Br ₅ O
2,2',4,4',5,5'-hexabromdifenyl ether	BDE153	C ₁₂ H ₄ Br ₆ O
2,2',4,4',5,6'-hexabromdifenyl ether	BDE154	C ₁₂ H ₄ Br ₆ O

Perfluorované látky

V této části studie byly ve vzorcích analyzovány perfluorované látky. Do této skupiny patří perfluoroalkyl karboxylové kyseliny (PFCAs) a perfluoroalkylované sulfonany (PFSA) s nejvýznamnějšími zástupci perfluorooktan sulfonem (PFOS) a perfluorooktanovou kyselinou (PFOA).

Pro hodnocení úrovně znečištění byla odebírána voda. Na získání vzorků vody byly použity dva typy pasivních vzorkovačů: komerčně dostupné vzorkovače POCIS a nový typ pasivního vzorkovače na bázi difúze v agarozovém hydrogelu. Tento nový postup pasivního odběru sledovaných látek je samostatným výsledkem projektu EMERTO X a je popsán v metodice „Metodika pasivního vzorkování perfluorooktansulfonanu PFOS, PFOA a vybraných farmak ve vodním prostředí“ (Nmet) (Vrana et al., 2016b). Kromě pasivního odběru vzorků byly z každé lokality analyzovány dva bodové vzorky vody (1 l), které byly odebrány před a po expozici pasivních vzorkovačů.

Pasivní vzorkovače byly exponovány ve vodě na pěti lokalitách od 4. dubna do 2. května 2016. Vzorkovače byly umístěny v hloubce cca 0,5 m pod hladinou toku po dobu 28 dní. Vzorkování pomocí vzorkovačů POCIS (verze se sorbentem OASIS HLB) probíhalo dle metody Grabic a kol. (Grabic et al., 2010). Bodové vzorky vody byly odebírány pomocí polykarbonátové vzorkovnice umístěné na vzorkovací tyči.

Po ukončení pasivního odběru byly vzorkovače na bázi difúze v agarozovém hydrogelu zpracovány postupem uvedeným ve výše uvedené metodice (Nmet) (Vrana et al., 2016b). K eluci látek ze vzorkovače POCIS byl použit methanol. Na snížení objemu rozpouštědla ve vzorku byl použit proud dusíku. Vzorky vody (1 l) byly nejprve přefiltrovány přes křemenný filtr (70 mm Whatman GF/C s velikostí pórů 1,2 µm). Před vlastní extrakcí bylo u všech vzorků upraveno pH (přídavkem adekvátního množství kyseliny chlorovodíkové) na hodnotu 2 - 3. K vlastní extrakci byly použity SPE kolony Waters® Oasis HLB (6 cc/150 mg). Extrakční postup byl založen na metodě EPA 1694.

Obsah perfluorovaných látek v extraktech pasivních vzorkovačů a v bodových vzorcích vody byl stanoven kapalinovou chromatografií s tandemovou hmotnostní detekcí (LC/MS/MS) postupem uvedeným ve výše zmíněné metodice (Nmet). Výsledky měření byly vyjádřeny jako koncentrace akumulované v pasivním vzorkovači po 28 denní expozici. V případě vzorkovače na bázi difúze v agarozovém hydrogelu byly vypočítány i koncentrace perfluorovaných látek rozpuštěných ve vodní fázi vzorkované vody (ng/l) způsobem uvedeným ve výše zmíněné metodice (Nmet). Tyto koncentrace byly přímo porovnány s výsledky analýz bodových vzorků vody odebraných před a po expozici pasivních vzorkovačů (mapa č. 20).

Tabulka 4. Analyzované perfluorované látky

sloučenina	zkratka	molekulový vzorec
perfluoropentanová kyselina	PFPA	$C_5HF_9O_2$
perfluoroheptanová kyselina	PFHxA	$C_6HF_{11}O_2$
perfluoroheptanová kyselina	PFHpA	$C_7HF_{13}O_2$
perfluorooktanová kyselina	PFOA	$C_8HF_{15}O_2$
perfluorononanová kyselina	PFNA	$C_9HF_{17}O_2$
perfluorodekanová kyselina	PFDA	$C_{10}HF_{19}O_2$
perfluoroundekanová kyselina	PFUdA	$C_{11}HF_{21}O_2$
perfluorododekanová kyselina	PFDoA	$C_{12}HF_{23}O_2$
perfluorotridekanová kyselina	PFTTrDA	$C_{13}HF_{25}O_2$
perfluorotetradekanová kyselina	PFTeDA	$C_{14}HF_{27}O_2$

perfluorobutansulfonan	PFBS	C ₄ F ₉ SO ₃ H
perfluorohaxandusulfonan	PFHxS	C ₆ F ₁₃ SO ₃ H
perfluoroheptansulfonan	PFHpS	C ₇ F ₁₅ SO ₃ H
perfluorooktansulfonan	PFOS	C ₈ F ₁₇ SO ₃ H
perfluorodekansulfonan	PFDS	C ₁₀ F ₂₁ SO ₃ H
Perfluorooktansulfonamid	FOSA	C ₈ F ₁₇ SO ₂ NH ₂
N-methylperfluorooktansulfonamid	MeFOSA	C ₉ F ₁₇ SO ₂ NH ₄
N-ethylperfluorooktansulfonamid	EtFOSA	C ₁₀ F ₁₇ SO ₂ NH ₆
N-methylperfluorooktansulfonamidoethanol	MeFOSE	C ₁₁ F ₁₇ SO ₃ NH ₈
N-ethylperfluorooktansulfonamidoethanol	EtFOSE	C ₁₂ F ₁₇ SO ₃ NH ₁₀

Výsledky této studie jsou prezentovány v [mapách 14 - 20](#). Koncentrace nižší než příslušná mez kvantifikace (LOQ) jsou v mapách označeny šedou barvou. V případě, že se měřené hodnoty v daném vzorku nacházely pod LOQ, byly výsledky měření pro účely zobrazení v mapách stanoveny na polovinu dané mezní hodnoty kvantifikace. Číselné hodnoty u některých grafů vyjadřují celkový součet koncentrací celé sledované skupiny látek a podle Směrnice Evropské komise 2009/90/ES tento součet nezahrnuje podlimitní hodnoty.

2.3 VÝSKYT ZHÁŠEČŮ HOŘENÍ V ROZPUSTNÉ FORMĚ V POVRCHOVÉ A KOMUNÁLNÍ ODPADNÍ VODĚ V RŮZNĚ ZATÍŽENÝCH VODNÍCH ÚTVARECH V OKOLÍ BRNA

Celkem 4 mapy; [Mapy 21 - 24](#)

Tato studie charakterizuje úroveň znečištění vod brémovanými zhášeči a dechloranem Plus (Tabulka 5) ve vyčištěné komunální odpadní vodě z druhé největší městské aglomerace v České republice - města Brna a v dalších různě zatížených vodních útvarech v okolí Brna. Město Brno s 400.000 obyvateli se rozkládá v povodí řek Svratky a Svitavy. Čistírna odpadních vod (ČOV) v Modřicích slouží k čištění odpadních vod přiváděných systémem kanalizačních stok z města Brna a ve stále větší míře prostřednictvím soustavy čerpacích stanic i z širokého okolí Brna. Byly vybrány 4 vzorkovací lokality: na odtoku (výpusti) vyčištěné odpadní vody z ČOV Modřice (lokalita 1), v povrchové vodě recipientu odpadní vody po proudu na řece Svratce v lokalitě Rajhrad (lokalita 2), a na jednom z rybníků soustavy Pohořelických rybníků, kde je předpoklad, že kvalita vody není přímo zatížena průmyslovou činností (lokalita 3 a 4).

K odběru vzorků byl použit zcela nový postup monitorování sledovaných látek, který byl vyvinutý jako samostatný výstup projektu EMERTOX. Jedná se metodiku (Nmet) „Metodika pasivního vzorkování pro sledování polybromovaných difenyletherů a jiných hydrofobních kontaminantů ve vodním prostředí“ (Vrana et al., 2016a). K odběru byla použita varianta dynamického pasivního odběru vzorků (viz kapitola 7.6) zmíněné metodiky. Kalibrované pasivní vzorkovače na bázi silikonové pryže AlteSil byly exponovány 112 až 164 dní v roce 2015 a 2016. Koncentrace zhášečů hoření volně rozpuštěných ve vodní fázi vzorkované vody byly vypočítány způsobem popsaným ve výše zmíněné metodice.

Vybraná data z této pilotní studie byla použita ve zmíněné metodice i jako praktické ilustrační příklady stanovení volně rozpuštěné koncentrace hydrofobních látek v povrchové vodě pomocí pasivního vzorkování.

Tabulka 5. Analyzované zhášeče hoření

sloučenina	zkratka	molekulový vzorec
------------	---------	-------------------

α -hexabromcyklododekan	α -HBCD	$C_{12}H_{18}Br_6$
β -hexabromcyklododekan	β -HBCD	$C_{12}H_{18}Br_6$
γ -hexabromcyklododekan	γ -HBCD	$C_{12}H_{18}Br_6$
2,4,4'-tribromdifenyl ether	BDE 28	$C_{12}H_7Br_3O$
2,2',4,4'-tetrabromdifenyl ether	BDE 47	$C_{12}H_6Br_4O$
2,2',4,4',5-pentabromdifenyl ether	BDE 99	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',6-pentabromdifenyl ether	BDE100	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',5,5'-hexabromdifenyl ether	BDE153	$C_{12}H_4Br_6O$
2,2',4,4',5,6'-hexabromdifenyl ether	BDE154	$C_{12}H_4Br_6O$
2,3,5,6-Tetrabrom-p-xylen	pTBX	$C_8H_6Br_4$
2-Bromoallyl-2,4,6-tribromfenyl ether	BATE	$C_6H_7Br_3O$
1,2,3,4,5-Pentabrombenzen	PBBZ	C_6HBr_5
3,4,5,6-Tetrabrom-2-chlortoluen	TBCT	$C_7H_3Br_4Cl$
Pentabromtoluen	PBT	$C_7H_3Br_5$
Pentabromethylbenzen	PBEB	$C_8H_5Br_5$
2,3-Dibrompropyl-2,4,6-tribromfenyl ether	DPTE	$C_9H_7Br_5O$
Hexabrombenzen	HBB	C_6Br_6
1,2-Bis(2,4,6-tribromfenoxy)ethan	BTBPE	$C_{14}H_8Br_6O_2$
syn-Dechloran Plus	s-DP	$C_{18}H_12Cl_{12}$
anti-Dechloran Plus	a-DP	$C_{18}H_12Cl_{12}$
α -Tetrabromoethylcyklohexan	aTBECH	$C_8H_{12}Br_4$
β -Tetrabromoethylcyklohexan	bTBECH	$C_8H_{12}Br_4$
α -1,2,5,6-Tetrabromocyclooktan	aTBCO	$C_6H_2Br_4O$
β -1,2,5,6-Tetrabromocyclooktan	bTBCO	$C_6H_2Br_4O$
Hexachlorocyclopentenyl-dibromcyclooktan	HCDBCO	$C_{13}H_{12}Br_2Cl_6$

Výsledky této studie jsou prezentovány v [mapách 21 - 24](#). V případě, že se měřené hodnoty v daném vzorku nacházely pod LOQ, byly výsledky měření pro účely zobrazení v mapách stanoveny na polovinu dané mezní hodnoty kvantifikace. Číselné hodnoty u některých grafů vyjadřují celkový součet koncentrací celé sledované skupiny látek a podle Směrnice Evropské komise 2009/90/ES tento součet nezahrnuje podlimitní hodnoty.

2.4 SEZONNOST VÝSKYTU POLYBROMOVANÝCH DIFENYLETERŮ (PBDE), PERFLUOROVANÝCH LÁTEK (PFCS) A VYBRANÝCH FARMAK V POVRCHOVÉ A KOMUNÁLNÍ ODPADNÍ VODĚ V AGLOMERACI MĚSTA BRNA

Celkem 4 mapy; [Mapy 25 - 28](#)

Tato dvouletá studie charakterizuje trendy a variabilitu znečištění v povodí dvou řek v oblasti s řadou průmyslových činností. Vzorky byly odebírány v druhé největší městské aglomeraci (Brno) v České republice. Město Brno s 400.000 obyvateli se rozkládá v povodí řek Svatky a Svitavy. Čistírna odpadních vod (ČOV) v Modřicích slouží k čištění odpadních vod přiváděných systémem kanalizačních stok z města Brna a ve stále větší míře prostřednictvím soustavy čerpacích stanic i z širokého okolí Brna. Bylo vybráno 9 vzorkovacích lokalit na třech řekách - Svatka, Svitava a Bobrava. Vzorkovací místa na řece Svatce byla na severu od Brna v městské části Kníničky pod přehradou (lokalita 1) a na jih od Brna před soutokem s řekou Svitavou (lokalita 2). Na řece Svitavě byly vzorkovacím místem Bílovice nad Svitavou (malé město severně od Brna, lokalita 3), jižně od Brna pak před soutokem s řekou Svatkou (lokalita 4). Další odběrová místa byla na přítoku (lokalita 5) a odtoku (lokalita 6) odpadních vod na ČOV Modřice, která se nachází pod soutokem řeky Svatky a Svitavy. Třetí vzorkovanou řekou byla Bobrava (lokalita 9), která se vlévá do

Svratky pod čistírnou odpadních vod. Další dvě odběrová místa byla dále po proudu na řece Svratce pod soutokem s řekou Bobravou v blízkosti menších měst Rajhradice (lokalita 7) a Židlochovice (lokalita 8).

Vzorkování probíhalo v letech 2007 - 2008 vždy na jaře a na podzim. Pro hodnocení úrovně znečištění byla odebírána voda. Na získání vzorků vody byly použity dva typy pasivních vzorkovačů: s polopropustnou membránou (SPMD) pro hydrofobní kontaminanty a vzorkovače POCIS pro polární sloučeniny. Vzorkování probíhalo dle metody Grabic a kol. (Grabic et al., 2010). Vzorkovače byly umístěny v hloubce 0,5 - 1 m po dobu 21 - 28 dní. Po ukončení vzorkovací doby byly membrány až do analýzy skladovány v uzavřených nádobách v mrazničce při teplotě -18 °C. K eluci látek ze vzorkovače SPMD byl použit hexan a z POCIS kombinace rozpouštědel methanol:toluen:dichlormethan (1:1:8). Na zkoncentrování byl použit proud dusíku. K interpretaci dat z pasivních vzorkovačů SPMD byla použita modifikovaná metodika Nmet „Metodika pasivního vzorkování pro sledování polybromovaných difenyletherů a jiných hydrofobních kontaminantů ve vodním prostředí“. Vzorkovací rychlosti byly vypočítány pomocí 4 provozních referenčních látek (d_{10} -acenaften, d_{10} -fluoren, d_{10} -fenantren, d_{12} -chrysen). Potřebné hodnoty rozdělovacích koeficientů látek v systému vzorkovač SPMD-voda byly odhadnuty z hodnot rozdělovacího koeficientu oktanol-voda metodou podle Huckinse a kol. (2006) (Huckins et al., 2006).

Tabulka 6. Analyzované látky

sloučenina	zkratka	molekulový vzorec
2,4,4'-tribromdifenyl ether	BDE 28	$C_{12}H_7Br_3O$
2,2',4,4'-tetrabromdifenyl ether	BDE 47	$C_{12}H_6Br_4O$
2,2',4,4',5-pentabromdifenyl ether	BDE 99	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',6-pentabromdifenyl ether	BDE100	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',5,5'-hexabromdifenyl ether	BDE153	$C_{12}H_4Br_6O$
2,2',4,4',5,6'-hexabromdifenyl ether	BDE154	$C_{12}H_4Br_6O$
perfluorooktanová kyselina	PFOA	$C_8HF_{15}O_2$
perfluorononanová kyselina	PFNA	$C_9HF_{17}O_2$
perfluorohexansulfonan	PFHxS	$C_6F_{13}SO_3H$
perfluorooktansulfonan	PFOS	$C_8F_{17}SO_3H$
N-methylperfluoro-1-oktansulfonamid	N-Me-FOSA	$C_9H_4F_{17}NO_2S$
perfluorooktansulfonan	PFOS	$C_8F_{17}SO_3H$
2H-perfluor-2-oktenová kyselina	FHUEA	$CF_3(CF_2)_4CFCHCOOH$
perfluorooktansulfonamid	FOSA	$C_8H_2F_{17}NO_2S$
karbamazepin	-	$C_{15}H_{12}N_2O$
sulfamethoxazol	-	$C_{10}H_{11}N_3O_3S$
diklofenak	-	$C_{14}H_{11}Cl_2NO_2$

Výsledky této studie jsou prezentovány v [mapách 25 - 28](#). Koncentrace nižší než příslušná mez kvantifikace (LOQ) jsou v mapách označeny šedou barvou. V případě, že se měřené hodnoty v daném vzorku nacházely pod LOQ, byly výsledky měření pro účely zobrazení v mapách stanoveny na polovinu dané mezní hodnoty kvantifikace.

2.5 VÝSKYT PERFLUOROVANÝCH LÁTEK A VYBRANÝCH FARMÁK V POVRCHOVÉ VODĚ V PRAMENNÝCH OBLASTECH ŘEK

Celkem 3 mapy; [Mapy 29 - 31](#)

Pro zhodnocení specifických toxických potenciálů v povrchové vodě v pramenných oblastech

řek bylo vybráno sedm horních toků (Tichá Orlice, Jizerka, Boberský potok, Mže, Volyňka, Volarský potok, Živný potok). Na nich byl sledován vliv prvních obcí s čistírnami odpadních vod (Králíky, Jilemnice, Cvikov, Tachov, Vimperk, Volary a Prachatice) na znečištění vody sledovanými látkami. Všechny vybrané lokality se nacházejí v relativně čistých oblastech bez průmyslového zatížení. Sledované obce mají cca 1900 - 13000 obyvatel a objem vody vypouštěné z ČOV představoval na jednotlivých horních tocích v průměru 4-30 % objemu vody v recipientu. Většina ČOV pracovala na principu biologického čištění odpadních vod za pomoci aktivovaného kalu. Jeden vzorkovač POCIS-Pest a jeden POCIS-Pharm (Exposmeter AB, Švédsko) byl umístěn vždy 2 - 5km proti proudu toku (zalesněná část bez antropogenního znečištění) od prvního sídla a komunální čistírny odpadních vod (ČOV) a druhá sada vzorkovačů byla umístěna 150-250m pod ČOV. Všechny vzorkované oblasti byly v prostředí lesů, pastvin nebo přirozených či polopřirozených stanovišť. Vzorkovací zařízení bylo ve vodním toku umístěno 16 - 23 dní během ledna nebo června 2008. Pro extrakci cílových analytů byly vzorkovače extrahovány methanolem v případě POCIS-Pharm a pro POCIS-Pest směs dichlormethan:methanol:toluen (8:1:1). Po zakoncentrování extraktů pod proudem dusíku byla konečnou analytickou metodou kapalinová chromatografie v spojení s tandemovou hmotnostní spektrometrií. Pro lepší vzájemnou srovnatelnost byla data normalizována na typickou 20-denní expoziční dobu vzorkovače POCIS (tj. koncentrace vyjádřena jako ng/vzorkovač/20 dní expozice), předpokládající integrační odběr po celou dobu expozice vzorkovačů.

Tabulka 7. Analyzované látky

sloučenina	zkratka	molekulový vzorec
perfluorooktanová kyselina	PFOA	$C_8HF_{15}O_2$
perfluorononanová kyselina	PFNA	$C_9HF_{17}O_2$
perfluorooktansulfonan	PFOS	$C_8F_{17}SO_3H$
karbamazepin	-	$C_{15}H_{12}N_2O$
sulfamethoxazol	-	$C_{10}H_{11}N_3O_3S$
diklofenak	-	$C_{14}H_{11}Cl_2NO_2$

Výsledky této studie zobrazené v [mapách č. 29 - 31](#) uvádějí srovnání koncentrací 3 perfluorovaných sloučenin a 3 farmak v POCIS vzorkovačích exponovaných v horních tocích řek vždy nad obcí a pod obcí a čistírnou odpadních vod:

2.6 DENNÍ VARIABILITA VÝSKYTU PERFLUOROVANÝCH LÁTEK A VYBRANÝCH FARMAK V POVRCHOVÉ VODĚ VE VODNÍCH ÚTVARECH V OKOLÍ BRNA

Celkem 3 mapy; [Mapy 32 - 34](#)

Tato studie má charakterizovat variabilitu výskytu perfluorovaných látek a vybraných farmak v povrchové vodě v souvislosti s krátkodobými změnami průtoku. Studie byla provedena v povodí dvou řek v oblasti s řadou průmyslových činností. Vzorky byly odebírány v druhé největší městské aglomeraci (Brno) v České republice. Město Brno s 400.000 obyvateli se rozkládá v povodí řek Svatky a Svitavy. Byly vybrány 4 vzorkovací lokality na dvou řekách: Svatka a Svitava. Vzorkovací místa na řece Svatce byla na severu Brna v blízkosti ZOO pod přehradou (lokalita PR) a na jihu Brna pod výústí odpadní vody z komunální čistírny odpadních vod v Modřicích (lokalita PC). Další odběrové místo bylo dále po proudu na řece Svatce v blízkosti obce Vranovice (lokalita VR). Na řece Svitavě bylo vzorkovací místo na severu Brna v městské části Obřany (lokalita OB). Vzorkování bylo plánováno tak, aby postihlo změny průtoku v řece Svatce vlivem periodického vypouštění definovaného množství vody z přehrady, tak i vlivem intenzivních srážek.

Ve dnech 14. - 16.10.2015 byl v určených časových intervalech (před začátkem srážkové

činnosti, během deště a po odeznění srážek v hodinových intervalech) odebírán 1 litr vody pomocí plastové vzorkovnice umístěné na vzorkovací tyči. Vzorky byly odebírány v hlavní proudnici řek Svitavy a Svratky tak, aby vzorek odpovídal aktuální koncentraci látek v proudící povrchové vodě. Vzorkovnice byly ponořeny cca 20 cm pod hladinu a opakovaně vypláchnuty říční vodou, která z nich byla vylévána vždy po směru proudu řeky. Odebraný vzorek byl přelit do plastové vzorkovací lahve (Nalgene, 1 l). Po ukončení vzorkování byly vzorky transportovány do laboratoře, kde byly neprodleně zpracovány pro analýzu perfluorovaných látek a vybraných léčiv. Pro sledované období byly získány od Českého hydrometeorologického ústavu i údaje o aktuálním průtoku vody v řekách v blízkosti odběrových profilů. Průtok vody na sledovaných profilech po dobu odběrů vzorků vody je vyobrazen v mapě spolu s koncentracemi sledovaných látek.

Vzorky vody (1 l) byly nejprve přefiltrovány přes křemenný filtr (70 mm Whatman GF/C s velikostí pórů 1,2 μm). Před vlastní extrakcí bylo u všech vzorků upraveno pH (přídavkem adekvátního množství kyseliny chlorovodíkové) na hodnotu 2 - 3. K vlastní extrakci byly použity SPE kolony Waters® Oasis HLB (6 cc/150 mg). Extrakční postup byl založen na metodě EPA 1694 (Englert, 2007). Instrumentální analýza byla prováděna pomocí kapalinové chromatografie ve spojení s tandemovou hmotnostní spektrometrií.

Tabulka 8. Analyzované látky

sloučenina	zkratka	molekulový vzorec
perfluorooktanová kyselina	PFOA	$C_8HF_{15}O_2$
perfluorobutansulfonan	PFBS	$C_4F_9SO_3H$
perfluorooktansulfonan	PFOS	$C_8F_{17}SO_3H$
karbamazepin	-	$C_{15}H_{12}N_2O$
sulfamethoxazol	-	$C_{10}H_{11}N_3O_3S$
diklofenak	-	$C_{14}H_{11}Cl_2NO_2$

Výsledky studie jsou zobrazeny v [mapách 32 - 34](#).

2.7 AKTUÁLNÍ VÝSKYT ZHÁŠEČŮ HOŘENÍ V POVRCHOVÉ A KOMUNÁLNÍ ODPADNÍ VODĚ V AGLOMERACI MĚSTA BRNA

Celkem 3 mapy; [Mapy 35 -38](#)

Tato studie charakterizuje úroveň znečištění vod brómovanými zhášeči hoření a dechloranem Plus ve vyčištěné komunální odpadní vodě z druhé největší městské aglomerace v České republice - města Brna a v dalších různě zatížených vodních útvarech v okolí Brna. Město Brno s 400.000 obyvateli se rozkládá v povodí řek Svratky a Svitavy. Čistírna odpadních vod (ČOV) v Modřicích slouží k čištění odpadních vod přiváděných systémem kanalizačních stok z města Brna a ve stále větší míře prostřednictvím soustavy čerpacích stanic i z širokého okolí Brna. Bylo vybráno 8 vzorkovacích lokalit na třech řekách Svratka, Svitava a Bobrava. Vzorkovací místa na řece Svratce byla na severu Brna v městské části Kníničky pod přehradou (lokalita 1) a na jihu Brna před soutokem s řekou Svitavou (lokalita 2). Na řece Svitavě byla vzorkovací místa v Bílovicích nad Svitavou (malé město severně od Brna, lokalita 3) a na jihu Brna pak před soutokem s řekou Svratkou (lokalita 4). Další odběrová místa byla na odtoku (lokalita 6) odpadních vod na ČOV Modřice, která se nachází pod soutokem řeky Svratky a Svitavy. Třetí vzorkovanou řekou byla Bobrava (lokalita 9), která se vlévá do Svratky pod čistírnou odpadních vod. Další dvě odběrová místa byla dále po proudu na řece Svratce pod soutokem s řekou Bobravou v blízkosti menších měst Rajhradice (lokalita 7) a Židlochovice (lokalita 8). S výjimkou jedné lokality (5, přítok ČOV, nevzorkována v této kampani) jsou to stejné lokality, které byly dříve vzorkovány metodou pasivního odběru ve studii Sezonnost výskytu polybromovaných difenyletherů (PBDE),

perfluorovaných látek (PFCs) a vybraných farmak v povrchové a komunální odpadní vodě v aglomeraci města Brna (Mapy 25 - 28).

K odběru vzorků byl v této studii použit zcela nový postup monitorování sledovaných látek, který byl vyvinutý jako samostatný výstup projektu EMERTOX. Jedná se metodiku (Nmet) „Ověřená metodika pasivního vzorkování pro sledování polybromovaných difenyletherů a jiných hydrofobních kontaminantů ve vodním prostředí“ (Vrana et al., 2016a). K odběru byla na lokalitách 1,2,3,4,8 a 9 použita varianta statického pasivního odběru vzorků (viz kapitola 7.5) a na dvou lokalitách (6, 7) byla použita varianta dynamického pasivního odběru vzorků (viz kapitola 7.6) zmíněné metodiky. Kalibrované pasivní vzorkovače na bázi silikonové pryže AlteSil byly exponovány ve vodě od 17.8. do 15.9.2016 (29 dní). Po expozici byl analyzován obsah zhášečů hoření a provozních referenčních látek ve vzorkovačích. Koncentrace zhášečů hoření volně rozpuštěných ve vodní fázi vzorkované vody (pg/l) byly vypočítány způsobem popsáním ve výše zmíněné metodice.

Tabulka 9. Analyzované brómované zhášeče hoření

sloučenina	zkratka	molekulový vzorec
α -hexabromcyklododekan	α -HBCD	$C_{12}H_{18}Br_6$
β -hexabromcyklododekan	β -HBCD	$C_{12}H_{18}Br_6$
γ -hexabromcyklododekan	γ -HBCD	$C_{12}H_{18}Br_6$
2,4,4'-tribromdifenyl ether	BDE 28	$C_{12}H_7Br_3O$
2,2',4,4'-tetrabromdifenyl ether	BDE 47	$C_{12}H_6Br_4O$
2,2',4,4',5-pentabromdifenyl ether	BDE 99	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',6-pentabromdifenyl ether	BDE100	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',5,5'-hexabromdifenyl ether	BDE153	$C_{12}H_4Br_6O$
2,2',4,4',5,6'-hexabromdifenyl ether	BDE154	$C_{12}H_4Br_6O$
2,3,5,6-Tetrabrom-p-xylen	pTBX	$C_8H_6Br_4$
2-Bromoallyl-2,4,6-tribromfenyl ether	BATE	$C_6H_7Br_3O$
1,2,3,4,5-Pentabrombenzen	PBBZ	C_6HBr_5
3,4,5,6-Tetrabrom-2-chlortoluen	TBCT	$C_7H_3Br_4Cl$
Pentabromtoluen	PBT	$C_7H_3Br_5$
Pentabrommethylbenzen	PBEB	$C_8H_5Br_5$
2,3-Dibrompropyl-2,4,6-tribromfenyl ether	DPTE	$C_9H_7Br_5O$
Hexabrombenzen	HBB	C_6Br_6
1,2-Bis(2,4,6-tribromfenoxy)ethan	BTBPE	$C_{14}H_8Br_6O_2$
syn-Dechloran Plus	s-DP	$C_{18}H_{12}Cl_{12}$
anti-Dechloran Plus	a-DP	$C_{18}H_{12}Cl_{12}$
α -Tetrabromoethylcyklohexan	aTBECH	$C_8H_{12}Br_4$
β -Tetrabromoethylcyklohexan	bTBECH	$C_8H_{12}Br_4$
α -1,2,5,6-Tetrabromocyclooktan	aTBCO	$C_6H_2Br_4O$
β -1,2,5,6-Tetrabromocyclooktan	bTBCO	$C_6H_2Br_4O$
Hexachlorocyclopentenyl-dibromcyclooktan	HCDBCOC	$C_{13}H_{12}Br_2Cl_6$

Výsledky této studie jsou prezentovány v [mapách 35 -38](#). V případě, že se měřené hodnoty v daném vzorku nacházely pod LOQ, byly výsledky měření pro účely zobrazení v mapách stanoveny na polovinu dané mezní hodnoty kvantifikace. Číselné hodnoty u některých grafů vyjadřují celkový součet koncentrací celé sledované skupiny látek a podle Směrnice Evropské komise 2009/90/ES tento součet nezahrnuje podlimitní hodnoty.

2.8 VÝSKYT PERFLUOROVANÝCH LÁTEK V DOMÁCÍM PRACHU Z DOMÁCNOSTÍ ČESKÉ REPUBLIKY, SPOJENÝCH STÁTŮ AMERICKÝCH A KANADY

Celkem 1 mapa; [Mapa 39](#)

Cílem studie bylo stanovení kontaminace vnitřního prostředí perfluorovanými látkami v České republice a její následné porovnání s odebranými vzorky v domácnostech Spojených států a Kanady. Součástí této studie bylo 63 domácností (20 z České republiky, 20 ze Spojených států a 23 z Kanady). Pro porovnání hladin analyzovaných polutantů byly vybrány obývací místnosti těchto domácností, kde se předpokládá největší pohyb obyvatelů domácnosti a několik ložnic. Jako vzorkovací matrice byl vybrán prach (pomocí sběrného polyesterového vaku v hadici vysavače). Odběr byl prováděn jednorázově po 28 dnech od posledního úklidu.

V případě perfluorovaných látek (PFCs) se jedná o první studii, která porovnává koncentrace PFCs ve vnitřním prostředí v Severní Americe a v Evropě. Statisticky významný rozdíl koncentrací PFCs ve vzorcích prachu byl zjištěn ve vztahu k typu podlahy, počtu lidí žijících v domácnosti či ke stářím budovy. Nebyl zjištěn rozdíl v porovnání obývacího pokoje s ložnicí. Prach byl označen jako důležitá matrice z pohledu možné dermální expozice.

Tabulka 10. Analyzované perfluorované látky

sloučenina	zkratka	molekulový vzorec
perfluoropentanová kyselina	PFPA	$C_5HF_9O_2$
perfluorohexanová kyselina	PFHxA	$C_6HF_{11}O_2$
perfluoroheptanová kyselina	PFHpA	$C_7HF_{13}O_2$
perfluorooktanová kyselina	PFOA	$C_8HF_{15}O_2$
perfluorononanová kyselina	PFNA	$C_9HF_{17}O_2$
perfluorodekanová kyselina	PFDA	$C_{10}HF_{19}O_2$
perfluoroundekanová kyselina	PFUdA	$C_{11}HF_{21}O_2$
perfluorododekanová kyselina	PFDoA	$C_{12}HF_{23}O_2$
perfluorotridekanová kyselina	PFTTrDA	$C_{13}HF_{25}O_2$
perfluorotetradekanová kyselina	PFTeDA	$C_{14}HF_{27}O_2$
perfluorobutansulfonan	PFBS	$C_4F_9SO_3H$
perfluorohaxandusulfonan	PFHxS	$C_6F_{13}SO_3H$
perfluoroheptansulfonan	PFHpS	$C_7F_{15}SO_3H$
perfluorooktansulfonan	PFOS	$C_8F_{17}SO_3H$
perfluorodekansulfonan	PFDS	$C_{10}F_{21}SO_3H$
N-methylperfluoroktansulfonamidoethanol	MeFOSE	$C_{11}F_{17}SO_3NH_8$
N-ethylperfluoroktansulfonamidoethanol	EtFOSE	$C_{12}F_{17}SO_3NH_{10}$

Výsledky této studie jsou prezentovány v [mapě č. 39](#).

2.9 VÝSKYT ZHÁŠEČŮ HOŘENÍ V OVZDUŠÍ, V DOMÁCÍM PRACHU A VE STĚRECH Z OKEN Z DOMÁCNOSTÍ ČESKÉ REPUBLIKY, SPOJENÝCH STÁTŮ AMERICKÝCH A KANADY

Celkem 6 map; [Mapy 40 - 45](#)

Cílem studie bylo stanovení kontaminace vnitřního prostředí domácností České republiky brómovanými látkami a dechloranem Plus a jejich následné porovnání s odebranými vzorky v domácnostech Spojených států a Kanady. Součástí této studie bylo 63 domácností (20 z České

republiky, 20 ze Spojených států a 23 z Kanady). Pro porovnání hladin analyzovaných polutantů byly vybrány obývací místnosti těchto domácností, kde se předpokládá největší pohyb obyvatelů domácnosti a několik ložnic. Jako vzorkovací matrice byly vybrány vzduch (vzorkovalo se pomocí pasivního PUF vzorkovače), prach (pomocí sběrného polyesterového vaku v hadici vysavače) a stěry z oken, které se vzorkovaly pomocí papírových utěrek. Frekvence odběrů byla v případě pasivního vzorkovače vzduchu po 28 dnech a pro vzorky prachu a stěrů z oken se vzorky odebíraly jednorázově po 28 dnech od posledního úklidu.

Při porovnání vzorků z obývacího pokoje a z ložnice nebyla zjištěna žádná statistická významnost (koncentrace emergentních látek se mísí v nejvíc obývaných místnostech domu). Koncentrace bromovaných látek korelují ve všech 3 vzorkovaných matricích.

Tabulka 11. Analyzované zhášeče hoření

sloučenina	zkratka	molekulový vzorec
2,4,4'-tribromdifenyl ether	BDE 28	$C_{12}H_7Br_3O$
2,2',4,4'-tetrabromdifenyl ether	BDE 47	$C_{12}H_6Br_4O$
2,3',4,4'-tetrabromdifenyl ether	BDE 66	$C_{12}H_6Br_4O$
2,2',3,4,4'-pentabromdifenyl ether	BDE 85	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',5-pentabromdifenyl ether	BDE 99	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',6-pentabromdifenyl ether	BDE 100	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',5,5'-hexabromdifenyl ether	BDE 153	$C_{12}H_4Br_6O$
2,2',4,4',5,6'-hexabromdifenyl ether	BDE 154	$C_{12}H_4Br_6O$
2,2',3,4,4',5',6-heptabromdifenyl ether	BDE 183	$C_{12}H_2Br_8O$
Dekabromdifenyl ether	BDE 209	$C_{12}Br_{10}O$
Hexabrombenzen	HBB	C_6Br_6
2,3,5,6-Tetrabrom-p-xylen	pTBX (TBX)	$C_8H_6Br_4$
1,2,3,4,5-Pentabrombenzen	PBBZ	C_6HBr_5
2-ethyl-1-hexyl-2,3,4,5-tetrabrombenzoát	EHTBB (EH-TBB)	$C_{24}H_{34}Br_4O_4$
bis(2-ethylhexyl)tetrabromftalát	BEHTBP (BEH-TEBP)	$C_{24}H_{34}Br_4O_4$
1,2-Bis(2,4,6-tribromfenoxy)ethan	BTBPE	$C_{14}H_8Br_6O_2$
Dekabromdifenylethan	DBDPE	$C_{12}Br_{10}O$
syn-Dechloran Plus	syn-DP (s-DDC-CO; s-DP)	$C_{18}H_{12}Cl_{12}$
anti-Dechloran Plus	anti-DP (a-DDC-CO; a-DP)	$C_{18}H_{12}Cl_{12}$

Výsledky této studie jsou prezentovány v [mapách č. 40 - 45](#).

2.10 VÝSKYT ZHÁŠEČŮ HOŘENÍ V OVZDUŠÍ DOMÁCNOSTÍ ČESKÉ REPUBLIKY

Celkem 4 mapy; [Mapy 46 - 49](#)

Cílem studie bylo zjistit vztah mezi koncentracemi sledovaných látek (PBDEs, NFRs) v ovzduší z vnitřního a vnějšího prostředí, vliv stáří rezidenčních prostor a sezonnosti na koncentrace těchto látek a identifikovat jejich zdroje. Vzorkování probíhalo na dvaceti brněnských lokalitách (Česká republika) v obývaných prostorech s využitím pasivních vzorkovačů na bázi polyuretanové pěny (PUF- PAS) umístěných ve vnitřním a vnějším prostředí. Studie byla doplněna o dotazníkové

šetření zaměřené zejména na typ a stáří budovy, vybavení a využívání prostor. Vzorkování probíhalo 28 dní ve dvou cyklech: letní a zimní období.

Koncentrace NFRs a PBDEs v ovzduší napříč vzorkovanými lokalitami vykazovaly vysokou variabilitu. Koncentrace sledovaných látek naměřené ve vnějším prostředí byly nižší, než koncentrace naměřené ve vnitřním prostředí. To potvrzuje potřebu sledovat hladiny těchto látek zejména ve vnitřním prostředí. Nebyl prokázán statisticky významný rozdíl naměřených hladin PBDEs a NFRs ve vnitřním prostředí v letním a zimním období, a tedy vliv sezonnosti na jejich hladiny ve vnitřním prostředí se vyhodnotil jako minimální. Tento poznatek má zásadní vliv na plánování monitorovacích studií. Z výsledků studie je zřejmé, že materiály vnitřního prostředí, zejména elektronika, jsou významnými zdroji PBDEs, i když přesnější kvantifikace příspěvku různých materiálů je obtížná.

Tabulka 12. Analyzované zhášeče hoření

sloučenina	zkratka	molekulový vzorec
2,4,4'-tribromdifenyl ether	BDE 28	$C_{12}H_7Br_3O$
2,2',4,4'-tetrabromdifenyl ether	BDE 47	$C_{12}H_6Br_4O$
2,3',4,4'-tetrabromdifenyl ether	BDE 66	$C_{12}H_6Br_4O$
2,2',3,4,4'-pentabromdifenyl ether	BDE 85	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',5-pentabromdifenyl ether	BDE 99	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',6-pentabromdifenyl ether	BDE100	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',5,5'-hexabromdifenyl ether	BDE153	$C_{12}H_4Br_6O$
2,2',4,4',5,6'-hexabromdifenyl ether	BDE154	$C_{12}H_4Br_6O$
2,2',3,4,4',5',6-heptabromdifenyl ether	BDE183	$C_{12}H_4Br_8O$
Hexabrombenzen	HBB	C_6Br_6
2,3-Dibrompropyl-2,4,6-tribromfenyl ether	DPTE (TBP-DBPE)	$C_9H_7Br_5O$
2,3,5,6-Tetrabrom-p-xylen	pTBX (TBX)	$C_8H_6Br_4$
Pentabromethylbenzen	PBEB	$C_8H_5Br_5$
Pentabromtoluen	PBT	$C_7H_3Br_5$
1,2-Bis(2,4,6-tribromfenoxy)ethan	BTBPE	$C_{14}H_8Br_6O_2$
1,2-dibrom-4-(1,2-dibromethyl)cyclohexan	TBECH (DBE-DBCH)	$C_8H_{12}Br_4$
α -Tetrabromoethylcyclohexan	aTBECH (a-DBE-DBCH)	$C_8H_{12}Br_4$
β -Tetrabromoethylcyclohexan	bTBECH (b-DBE-DBCH)	$C_8H_{12}Br_4$
γ -Tetrabromoethylcyclohexan	gTBECH (g-DBE-DBCH)	$C_8H_{12}Br_4$
δ -Tetrabromoethylcyclohexan	dTBECH (d-DBE-DBCH)	$C_8H_{12}Br_4$
syn-Dechloran Plus	syn-DP (s-DDC-CO; s-DP)	$C_{18}H_{12}Cl_{12}$
anti-Dechloran Plus	anti-DP (a-DDC-CO; a-DP)	$C_{18}H_{12}Cl_{12}$

Výsledky této studie jsou prezentovány v [mapách č. 46 - 49](#). Koncentrace nižší než příslušná mezní hodnota kvantifikace (LOQ) jsou v mapách označeny šedou barvou. V případě, že se měřené hodnoty v daném vzorku nacházely pod LOQ, byly výsledky měření pro účely zobrazení v mapách stanoveny na polovinu dané mezní hodnoty kvantifikace.

2.11 VÝSKYT ZHÁŠEČŮ HOŘENÍ V OVZDUŠÍ A V PRACHU VE VNITŘNÍM PROSTŘEDÍ POUŽITÍM RŮZNÝCH METOD VZORKOVÁNÍ

Celkem 2 mapy; [Mapy 50 - 51](#)

V rámci této studie byla monitorována ložnice obytného domu v České republice. Cílem této studie bylo ověřit metody odběru matric vnitřního prostředí. V rámci této studie bylo odebráno sedm typů vzorků z pěti různých matric vnitřního prostředí za účelem stanovení hladin semivolatilních látek. Cílem studie bylo mimo jiné stanovit vztah mezi koncentracemi cílových analytů ve vnitřním ovzduší, prachu a povrchových stěrech a to na základě znalosti různých zdrojů sledovaných látek a jejich fyzikálně-chemických vlastnostech.

Pro ověření pasivních vzorkovačů na bázi polyuretanové pěny (PUF) byl použit v místnosti nízkoobjemový aktivní vzorkovač (LVAAS). Jako další vzorkovače vnitřního prostředí byl použit kaskádový impaktor, odběr pomocí sběrného polyesterového vaku v trubici hadice vysavače. Dále byl proveden stěr ploch pomocí papírových utěrek. Během 28 dnů bylo volné ovzduší vnitřního prostředí paralelně vzorkováno PUF-PAS a pomocí LVAAS a pro záchyt prachových částic různých velikostí byl použit kaskádový impaktor. Po ukončení vzorkování ovzduší byl odebrán prach a stěry ploch pomocí přečištěných papírových utěrek.

Tabulka 13. Analyzované zhášeče hoření

sloučenina	zkratka	molekulový vzorec
2,4,4'-tribromdifenyl ether	BDE 28	C ₁₂ H ₇ Br ₃ O
2,2',4,4'-tetrabromdifenyl ether	BDE 47	C ₁₂ H ₆ Br ₄ O
2,3',4,4'-tetrabromdifenyl ether	BDE 66	C ₁₂ H ₆ Br ₄ O
2,2',3,4,4'-pentabromdifenyl ether	BDE 85	C ₁₂ H ₅ Br ₅ O
2,2',4,4',5-pentabromdifenyl ether	BDE 99	C ₁₂ H ₅ Br ₅ O
2,2',4,4',6-pentabromdifenyl ether	BDE100	C ₁₂ H ₅ Br ₅ O
2,2',4,4',5,5'-hexabromdifenyl ether	BDE 153	C ₁₂ H ₄ Br ₆ O
2,2',4,4',5,6'-hexabromdifenyl ether	BDE 154	C ₁₂ H ₄ Br ₆ O
2,2',3,4,4',5',6-heptabromdifenyl ether	BDE183	C ₁₂ H ₂ Br ₈ O
Dekabromdifenyl ether	BDE 209	C ₁₂ Br ₁₀ O
Hexabrombenzen	HBB	C ₆ Br ₆
1,2,5,6-tetrabromocyklooktan	TBCO	C ₈ H ₂ Br ₄ O
2,4,6-tribromofenyl allyl ether	ATE (TBP-AE)	C ₉ H ₇ Br ₃ O
2,3-Dibrompropyl-2,4,6-tribromfenyl ether	DPTE (TBP-DBPE)	C ₉ H ₇ Br ₅ O
2,3,5,6-Tetrabrom-p-xylen	pTBX (TBX)	C ₈ H ₆ Br ₄
2-BramoaNyl-2,4,6-tribromfenyl ether	BATE (TBP-BAE)	C ₆ H ₇ Br ₃ O
Pentabrommethylbenzen	PBEB	C ₈ H ₅ Br ₅
Pentabromtoluen	PBT	C ₇ H ₃ Br ₅
1,2-Bis(2,4,6-tribromfenoxy)ethan	BTBPE	C ₁₄ H ₈ Br ₆ O ₂
2-ethylhexyl-2,3,4,5,-tetrabromobenzoát	EHTBB (EH-TBB)	C ₁₅ H ₁₉ Br ₄ O ₂
Bis(e-ethyl-1-hexyl)tetrabromoftalát	BEH-TBP(BEHTBP)	C ₂₄ H ₃₄ Br ₄ O ₂
1,2-dibrom-4-(1,2-dibromethyl)cyclohexan	TBECH (DBE-DBCH)	C ₈ H ₁₂ Br ₄
α-Tetrabromoethylcyclohexan	aTBECH (a-DBE-DBCH)	C ₈ H ₁₂ Br ₄

β -Tetrabromoethylcyklohexan	bTBECH (b-DBE-DBCH)	$C_8H_{12}Br_4$
γ -Tetrabromoethylcyklohexan	gTBECH (g-DBE-DBCH)	$C_8H_{12}Br_4$
δ -Tetrabromoethylcyklohexan	dTBECH (d-DBE-DBCH)	$C_8H_{12}Br_4$
syn-Dechloran Plus	syn-DP (s-DDC-CO; s-DP)	$C_{18}H_{12}Cl_{12}$
anti-Dechloran Plus	anti-DP (a-DDC-CO; a-DP)	$C_{18}H_{12}Cl_{12}$
Hexachlorocyclopentenyl-dibromcyklooktan	HCDBCO (DBHCTD)	$C_{13}H_{12}Br_2Cl_6$

Výsledky této studie jsou prezentovány v [mapách č. 50 - 51](#).

2.12 VÝSKYT BROMOVANÝCH LÁTEK V OVZDUŠÍ VE VÝUKOVÝCH A KANCELÁŘSKÝCH MÍSTNOSTECH

Celkem 1 mapa; [Mapa 52](#)

Cílem studie bylo stanovení kontaminace polybromovaných difenyletherů (PBDEs, 9 kongenerů) v nově postavené budově v ČR a případně zjistit vliv nevybavení/vybavení nábytkem, elektronikou a koberci v různých typech místností.

Tabulka 14. Analyzované bromované zhášecí hoření

sloučenina	zkratka	molekulový vzorec
2,4,4'-tribromdifenyl ether	BDE 28	$C_{12}H_7Br_3O$
2,2',4,4'-tetrabromdifenyl ether	BDE 47	$C_{12}H_6Br_4O$
2,3',4,4'-tetrabromdifenyl ether	BDE 66	$C_{12}H_6Br_4O$
2,2',3,4,4'-pentabromdifenyl ether	BDE 85	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',5-pentabromdifenyl ether	BDE 99	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',6-pentabromdifenyl ether	BDE 100	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',5,5'-hexabromdifenyl ether	BDE 153	$C_{12}H_4Br_6O$
2,2',4,4',5,6'-hexabromdifenyl ether	BDE 154	$C_{12}H_4Br_6O$
2,2',3,4,4',5',6'-heptabromdifenyl ether	BDE 183	$C_{12}H_2Br_8O$

Výsledky této studie jsou prezentovány v [mapě č. 52](#).

2.13 PROSTOROVÁ VARIABILITA ZHÁŠEČŮ HOŘENÍ VE VZORCÍCH PRACHU VE VNITŘNÍM PROSTŘEDÍ

Celkem 10 map; [Mapy 53 - 62](#)

Tato práce je zaměřena na srovnání různých technik vzorkování a analýzy prachu s cílem najít nejvhodnější metodu pro monitorování vnitřního prostředí. Studie je věnována také popisu složení prachu a rozložení hladin koncentrací měřených polutantů v jednotlivých místnostech.

Pro účel této studie byly vybrány dva typy vnitřního prostředí v ČR. Rezidenční byt, kde byl vzorkován vstup do bytu, obývací pokoj a kuchyně, dále pak dvě výukové místnosti (počítačová učebna a přednášková místnost - bez počítačů).

Bylo odebráno 18 vzorků různého charakteru v rezidenčním bytě, 9 vzorků v přednáškové

místnosti bez počítačů a 14 vzorků v počítačové učebně. Prach byl odebírán pomocí stěrů z jednotlivých ploch v rezidenčním bytě pomocí papírových utěrek navlhčených propanolem. Pro následnou analýzu dat byly měřeny plochy odběrů a také vzdálenosti od potenciálních zdrojů polybromovaných difenyletherů (PBDEs) jako jsou televize, kuchyňská linka se spotřebiči, apod. Pro vzorkování prachu byl použit také sběrný polyesterový vak v hadici vysavače přečištěný propanolem. Prachové částice v pěti velikostních frakcích (2,5-10 μm; 1,0-2,5 μm; 0,5-1,0 μm; 0,25-0,5 μm; <0,25 μm) byly vzorkovány pomocí kaskádového impaktoru.

Byly popsány rozdíly koncentrací zhášečů hoření na třech různých vzorkovacích místech (byt, seminární místnost a počítačová učebna) a mapově popsána prostorová variabilita těchto látek na jednotlivých lokalitách.

Tabulka 15. Analyzované zhášeče hoření

sloučenina	zkratka	molekulový vzorec
2,4,4'-tribromdifenyl ether	BDE 28	$C_{12}H_7Br_3O$
2,2',4,4'-tetrabromdifenyl ether	BDE 47	$C_{12}H_6Br_4O$
2,3',4,4'-tetrabromdifenyl ether	BDE 66	$C_{12}H_6Br_4O$
2,2',3,4,4'-pentabromdifenyl ether	BDE 85	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',5-pentabromdifenyl ether	BDE 99	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',6-pentabromdifenyl ether	BDE100	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',5,5'-hexabromdifenyl ether	BDE153	$C_{12}H_4Br_6O$
2,2',4,4',5,6'-hexabromdifenyl ether	BDE154	$C_{12}H_4Br_6O$
2,2',3,4,4',5',6-heptabromdifenyl ether	BDE183	$C_{12}H_2Br_8O$
Dekabromdifenyl ether	BDE 209	$C_{12}Br_{10}O$
2,4,6-tribromfenyl allyl ether	ATE (TBP-AE)	$C_9H_7Br_3O$
Hexabrombenzen	HBB	C_6Br_6
Pentabrommethylbenzen	PBEB	$C_8H_5Br_5$
1,2,3,4,5-Pentabrombenzen	PBBZ	C_6HBr_5
Pentabromtoluen	PBT	$C_7H_3Br_5$
2-Ethylhexyl-2,3,4,5-tetrabrombenzoát	EHTBB (EH-TBB)	$C_{15}H_{19}Br_4O_2$
1,2-Bis(2,4,6-tribromfenoxy)ethan	BTBPE	$C_{14}H_8Br_6O_2$
Bis(2-ethyl-1-hexyl)tetrabromftalát	BEHTBP (BEH-TBP)	$C_{24}H_{34}Br_4O_4$
α-Tetrabromoethylcyklohexan	aTBECH (a-DBE-DBCH)	$C_8H_{12}Br_4$
β-Tetrabromoethylcyklohexan	bTBECH (b-DBE-DBCH)	$C_8H_{12}Br_4$
γ-Tetrabromoethylcyklohexan	gTBECH (g-DBE-DBCH)	$C_8H_{12}Br_4$
δ-Tetrabromoethylcyklohexan	dTBECH (d-DBE-DBCH)	$C_8H_{12}Br_4$
syn-Dechloran Plus	syn-DP (s-DDC-CO)	$C_{18}H_{12}Cl_{12}$
anti-Dechloran Plus	anti-DP (a-DDC-CO)	$C_{18}H_{12}Cl_{12}$
Dekabromdifenyloethan	DBDPE	$C_{12}Br_{10}O$
Hexachlorocyclopentenyl-dibromcyklooktan	HCDBCO (DBHCTD)	$C_{13}H_{12}Br_2Cl_6$

Tabulka 16. Specifikace odběrových míst v rezidenčním bytě.

Vzorky prachu z papírových utěrek		Vzdálenost od zdroje [cm]	Plocha [m ²]
1	Povrch na televizi	0	0,80
2	Povrch na DVD přehrávači	0	0,06
3	Povrch pod televizí	5-10	0,51
4	Okenní parapet	500	0,33
5	Černé křeslo	240	1,70
6	Povrch na lednici	290	0,35
7	Povrch na kuchyňských skříňkách	340	1,02
8	Kuchyňská linka	390	0,97
9	Okno v kuchyni	550	2,86
10	Okno v jídelně	430	3,22

Vzorky prachu odebrané pomocí vysavače		Vzdálenost od zdroje [cm]	Plocha [m ²]
11	Podlaha pod televizním stolem	80	0,59
12	Koberec	210	1,40
13	Pohovka	310	1,54
14	Podlaha pod pohovkou	255	1,25
15	Podlaha - vstup	280	3,47
16	Podlaha za černým křeslem	250	3,26
17	Podlaha - jídelna	350	4,66
18	Podlaha - kuchyně	400	3,61

Tabulka 17. Specifikace odběrových míst v přednáškové místnosti.

Vzorky prachu z papírových utěrek		Plocha [m ²]
1	Stoly	6,26
2	Stoly	5,22
3	Stoly	4,18
4	Stoly	4,70
5	Stoly	5,22

Vzorky prachu odebrané pomocí vysavače		Plocha [m ²]
6	Koberec	3,04
7	Koberec	4,95
8	Koberec	8,70
9	Koberec	2,55

Tabulka 18. Specifikace odběrových míst v počítačové učebně.

Vzorky prachu z papírových utěrek		Počet jednotek
1	Klávesnice	6
2	Klávesnice	5
3	Klávesnice	5
4	Monitory	6
5	Monitory	5
6	Monitory	5
		Plocha [m ²]

7	Stoly	3,27
8	Stoly	2,73
9	Stoly	2,73
10	Stoly	1,70

Vzorky prachu odebrané pomocí vysavače		Plocha [m ²]
11	Koberec	3,45
12	Koberec	2,34
13	Koberec	2,34
14	Koberec	3,04

Výsledky této studie jsou zpracovány v [mapách č. 53 - 62](#). V případě, že se měřené hodnoty v daném vzorku nacházely pod LOQ, byly výsledky měření pro účely zobrazení v mapách stanoveny na polovinu dané mezní hodnoty kvantifikace.

2.14 APLIKACE OVĚŘENÉ METODIKY NA VZORKOVÁNÍ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

Celkem 19 map; [Mapy 63 - 81](#)

Pro vzorkování vnitřního prostředí bylo vybráno 8 lokalit. Při výběru byl kladen důraz na reprezentativnost a relevantnost z hlediska cílů studie. Byly vybrány kanceláře (lokalita 3, 4, 5) a přednáškové místnosti (lokalita 1, 2) v areálu Univerzitního kampusu Masarykovy univerzity v Brně, odrážející expozici pracujícího člověka, který v těchto prostorách tráví většinu dne. Dále pak domácí prostředí v Brně (lokalita 7), Březině (lokalita 6) a Ivani (lokalita 8). K odběru vzorků byl použit zcela nový postup monitorování sledovaných látek, který byl vyvinutý jako samostatný výstup projektu EMERTOX. Jedná se metodiku (Nmet) „Metodika vzorkování vnitřního prostředí pro analýzy vybraných emergentních polutantů“ (Čupr et al., 2016). V rámci studie byl použit na všech odběrových lokalitách nízko-objemový aktivní vzorkovač (LVAAS) ovzduší, pasivní vzorkovač ovzduší na bázi polyuretanové pěny (PUF-PAS), pasivní vzorkovač na bázi silikonové pryže, pasivní vzorkovač s XAD pryskyřicí (pro analýzu PFCs) a odběry prachu pomocí vzorkovací odběrové hlavice na hadici vysavače (viz certifikovaná metodika). Do každé místnosti byly umístěny 2 nízko-objemové aktivní vzorkovače s křemičitým filtrem (QM-A filtr) a sorbentem PUF/XAD/PUF pro následnou analýzu PFCs a 2 nízko-objemové aktivní vzorkovače s křemičitým filtrem (QM-A filtr) a sorbentem PUF pro následnou analýzu BFRs. Pasivní vzorkovače se sorbentem z polyuretanové pěny (PUF) v otevřené variantě pouze s vrchní nerezovou miskou zabraňující gravitačnímu usazování prachových částic na povrchu PUF disku [7] a pasivní vzorkovače na bázi silikonové pryže pro vzorkování semivolatilních polutantů byly umístěny do každé vzorkované místnosti. Po 28 dnech byly PUF filtry a silikonové pryže vyjmuty, zabaleny do alobalu a skladovány v lednici až po dobu dalšího zpracování pro analýzu BFRs látek a pro toxikologickou analýzu.

V této studii byly použity XAD-PAS pasivní vzorkovače PFCs (průměr 2 cm a délka 20 cm, 28 dní).

V závěru kampaně byly odebrány prachové částice pomocí vzorkovací odběrové hlavice na hadici vysavače.

Tabulka 19. Analyzované zhášeče hoření

sloučenina	zkratka	molekulový vzorec
α -hexabromcyklododekan	α -HBCD	$C_{12}H_{18}Br_6$

β -hexabromcyklododekan	β -HBCD	$C_{12}H_{18}Br_6$
γ -hexabromcyklododekan	γ -HBCD	$C_{12}H_{18}Br_6$
2,4,4'-tribromdifenyl ether	BDE 28	$C_{12}H_7Br_3O$
2,2',4,4'-tetrabromdifenyl ether	BDE 47	$C_{12}H_6Br_4O$
2,3',4,4'-tetrabromdifenyl ether	BDE 66	$C_{12}H_6Br_4O$
2,2',3,4,4'-pentabromdifenyl ether	BDE 85	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',5-pentabromdifenyl ether	BDE 99	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',6-pentabromdifenyl ether	BDE100	$C_{12}H_5Br_5O$
2,2',4,4',5,5'-hexabromdifenyl ether	BDE153	$C_{12}H_4Br_6O$
2,2',4,4',5,6'-hexabromdifenyl ether	BDE154	$C_{12}H_4Br_6O$
2,2',3,4,4',5',6-heptabromdifenyl ether	BDE183	$C_{12}H_2Br_8O$
2,3,5,6-Tetrabrom-p-xylen	pTBX (TBX)	$C_8H_6Br_4$
2-BramoaNyl-2,4,6-tribromfenyl ether	BATE (TBP-BAE)	$C_6H_7Br_3O$
1,2,3,4,5-Pentabrombenzen	PBBZ	C_6HBr_5
3,4,5,6-Tetrabrom-2-chlortoluen	TBCT	$C_7H_3Br_4Cl$
Pentabromtoluen	PBT	$C_7H_3Br_5$
Pentabromethylbenzen	PBEb	$C_8H_5Br_5$
2,3-Dibrompropyl-2,4,6-tribromfenyl ether	DPTE (TBP-DBPE)	$C_9H_7Br_5O$
Hexabrombenzen	HBB	C_6Br_6
1,2-Bis(2,4,6-tribromfenoxy)ethan	BTBPE	$C_{14}H_8Br_6O_2$
syn-Dechloran Plus	synDP (s-DDC-CO)	$C_{18}H_{12}Cl_{12}$
anti-Dechloran Plus	antiDP (a-DDC-CO)	$C_{18}H_{12}Cl_{12}$
α -Tetrabromoethylcyklohexan	alphaTBECH (a-DBE-DBCH)	$C_8H_{12}Br_4$
β -Tetrabromoethylcyklohexan	betaTBECH (b-DBE-DBCH)	$C_8H_{12}Br_4$
α -1,2,5,6-Tetrabromocyklooktan	alphaTBCO	$C_6H_2Br_4O$
β -1,2,5,6-Tetrabromocyklooktan	betaTBCO	$C_6H_2Br_4O$
Hexachlorocyclopentenyl-dibromcyklooktan	HCDBCO (DBHCTD)	$C_{13}H_{12}Br_2Cl_6$
1,3,5-Tns(2,3-dibromoprapyl)-1,3,5-triazmane-2,4,6-tnon	T23BPIC (TDBP-TAZTO)	$C_{12}H_{15}Br_6N_3O_3$

Tabulka 20. Analyzované perfluorované látky

sloučenina	zkratka	molekulový vzorec
Perfluorobutanová kyselina	PFBA	$C_4HF_7O_2$
perfluoropentanová kyselina	PFPA	$C_5HF_9O_2$
perfluorohexanová kyselina	PFHxA	$QHf_{11}O_2$
perfluoroheptanová kyselina	PFHpA	$C_7HF_{13}O_2$
perfluorooktanová kyselina	PFOA	$C_8HF_{15}O_2$
perfluorononanová kyselina	PFNA	$C_9HF_{17}O_2$
perfluorodekanová kyselina	PFDA	$C_{10}HF_{19}O_2$
perfluoroundekanová kyselina	PFUnDA	$C_{11}HF_{21}O_2$
perfluorododekanová kyselina	PFDoDA	$C_{12}HF_{23}O_2$
perfluorotridekanová kyselina	PFTTrDA	$C_{13}HF_{25}O_2$

perfluorotetradekanová kyselina	PFTeDA	C ₁₄ HF ₂₇ O ₂
perfluorobutansulfonan	PFBS	C ₄ F ₉ SO ₃ H
perfluorohaxandusulfonan	PFHxS	C ₆ F ₁₃ SO ₃ H
perfluoroheptansulfonan	PFHpS	C ₇ F ₁₅ SO ₃ H
perfluorooktansulfonan	PFOS	C ₈ F ₁₇ SO ₃ H
perfluorodekansulfonan	PFDS	C ₁₀ F ₂₁ SO ₃ H
Perfluorooktansulfonamid	FOSA	C ₈ F ₁₇ SO ₂ NH ₂
N-methylperfluorooktansulfonamid	MeFOSA	C ₉ F ₁₇ SO ₂ NH ₄
N-ethylperfluorooktansulfonamid	EtFOSA	C ₁₀ F ₁₇ SO ₂ NH ₆
N-methylperfluorooktansulfonamidoethanol	MeFOSE	C ₁₁ F ₁₇ SO ₃ NH ₈
N-ethylperfluorooktansulfonamidoethanol	EtFOSE	C ₁₂ F ₁₇ SO ₃ NH ₁₀

Výsledky této studie jsou zpracovány v [mapách č. 63 - 81](#). V případě, že se měřené hodnoty v daném vzorku nacházely pod LOQ, byly výsledky měření pro účely zobrazení v mapách stanoveny na polovinu dané mezní hodnoty kvantifikace.

SEZNAM ODBORNÝCH PODKLADŮ

- Bečanová, J., Komprdová, K., Vrana, B., Klánová, J., 2016. Annual dynamics of perfluorinated compounds in sediment: A case study in the Morava River in Zlin district, Czech Republic. *Chemosphere* 151, 225-233. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.02.081
- Bohlin, P., Audy, O., Škrdlíková, L., Kukučka, P., Vojta, Š., Přibyllová, P., Prokeš, R., Čupr, P., Klánová, J., 2014. Evaluation and guidelines for using polyurethane foam (PUF) passive air samplers in double-dome chambers to assess semi-volatile organic compounds (SVOCs) in non-industrial indoor environments. *Environ. Sci. Process. Impacts* 16, 2617-26. doi:10.1039/c4em00305e
- Čupr, P., Hilscherová, K., Vrana, B., Melymuk, L., Bányiová, K., Sharma, A., Chropeňová, M., Prokeš, R., Smedes, F., Borůvková, J., Bečanová, J., Novák, J., Bittner, M., Sáňka, O., Vojta, Š., Mikeš, O., Šebková, K., Urík, J., Karásková, P., Audy, O., Přibyllová, P., Kohoutek, J., Feixová, B., Klánová, J., 2016. Metodika vzorkování vnitřního prostředí pro analýzy vybraných emergentních polutantů. Masarykova univerzita, RECETOX. RECETOX REPORT No. 599. Listopad 2016.
- Čupr, P., Prokeš, R., Přibyllová, P., Chropeňová, M., Vaňková, L., Kalina, J., Šebková, K., Holoubek, I., Klánová, J., 2015. Pasivní vzorkování volného ovzduší - certifikovaná metodika (Nmet). Masaryk. univerzita, RECETOX. RECETOX Rep. No. 547.
- Englert, B., 2007. Method 1694: Pharmaceuticals and Personal Care Products in Water, Soil, Sediment, and Biosolids by HPLC/MS/MS. Washington DC.
- Evropská_unie, 2013. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2013/39/EU ze dne 12. srpna 2013, kterou se mění směrnice 2000/60/ES a 2008/105/ES, pokud jde o prioritní látky v oblasti vodní politiky. Úřední věstník Evr. unie L226, 1-17.
- Evropská_unie, 2000. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. Úřední věstník Evr. unie L 327, 275-346.
- Grabic, R., Jurcikova, J., Tomsejova, S., Ocelka, T., Halirova, J., Hypr, D., Kodes, V., 2010.

- Passive sampling methods for monitoring endocrine disruptors in the Svatka and Svitava Rivers in the Czech Republic. *Environ. Toxicol. Chem.* 29, 550-555.
- Huckins, J.N., Petty, J.D., Booij, K., 2006. *Monitors of Organic Chemicals in the Environment: Semipermeable Membrane Devices*. Springer, New York, USA.
- Jálová, V., Jarošová, B., Bláha, L., Giesy, J.P., Ocelka, T., Grabic, R., Jurčíková, J., Vrana, B., Hilscherová, K., 2013. Estrogen-, androgen- and aryl hydrocarbon receptor mediated activities in passive and composite samples from municipal waste and surface waters. *Environ. Int.* 59, 372-383. doi:10.1016/j.envint.2013.06.024
- Jarosova, B., Blaha, L., Vrana, B., Randak, T., Grabic, R., Giesy, J.P., Hilscherova, K., 2012. Changes in concentrations of hydrophilic organic contaminants and of endocrine-disrupting potential downstream of small communities located adjacent to headwaters. *Environ. Int.* 45, 22-31. doi:10.1016/j.envint.2012.04.001
- Karásková, P., Venier, M., Melymuk, L., Bečanová, J., Vojta, Š., Prokeš, R., Diamond, M.L., Klánová, J., 2016. Perfluorinated alkyl substances (PFASs) in household dust in Central Europe and North America. *Environ. Int.* 94, 315-324. doi:10.1016/j.envint.2016.05.031
- Kukučka, P., Audy, O., Kohoutek, J., Holt, E., Kalábová, T., Holoubek, I., Klánová, J., 2015. Source identification, spatio-temporal distribution and ecological risk of persistent organic pollutants in sediments from the upper Danube catchment. *Chemosphere* 138, 777-783. doi:10.1016/j.chemosphere.2015.08.001
- Melymuk, L., Bohlin-Nizzetto, P., Kukučka, P., Vojta, Š., Kalina, J., Čupr, P., Klánová, J., 2016a. Seasonality and indoor/outdoor relationships of flame retardants and PCBs in residential air. *Environ. Pollut.* doi:10.1016/j.envpol.2016.07.018
- Melymuk, L., Bohlin-Nizzetto, P., Vojta, Š., Krátká, M., Kukučka, P., Audy, O., Příbylová, P., Klánová, J., 2016b. Distribution of legacy and emerging semivolatile organic compounds in five indoor matrices in a residential environment. *Chemosphere* 153, 179-186. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.03.012
- UNEP, 2016. Stockholm Convention on persistent organic pollutants (POPs). Retrieved October 24, 2016, from <http://chm.pops.int>.
- Venier, M., Audy, O., Vojta, Š., Bečanová, J., Romanak, K., Melymuk, L., Krátká, M., Kukučka, P., Okeme, J., Saini, A., Diamond, M.L., Klánová, J., 2016. Brominated flame retardants in the indoor environment - Comparative study of indoor contamination from three countries. *Environ. Int.* 94, 150-160. doi:10.1016/j.envint.2016.04.029
- Vrana, B., Čupr, P., Prokeš, R., Borůvková, J., Bečanová, J., Smedes, F., Hilscherová, K., Novák, J., Bittner, M., Sáňka, O., Vojta, Š., Mikeš, O., Sharma, A., Bányiová, K., Šebková, K., Urík, J., Feixová, B., Klánová, J., 2016a. Certifikovaná metodika (Nmet). Ověřená metodika pasivního vzorkování pro sledování polybromovaných difenyletherů a jiných hydrofobních kontaminantů ve vodním prostředí. Masarykova univerzita, RECETOX. RECETOX REPORT No. 597. Listopad 2016.
- Vrana, B., Čupr, P., Prokeš, R., Borůvková, J., Bečanová, J., Smedes, F., Hilscherová, K., Novák, J., Bittner, M., Sáňka, O., Vojta, Š., Mikeš, O., Sharma, A., Bányiová, K., Šebková, K., Urík, J., Feixová, B., Klánová, J., 2016b. Certifikovaná metodika (Nmet). Metodika pasivního vzorkování perfluoroktansulfonátu PFOS, PFOA a vybraných farmak ve vodním

prostředí. Masarykova univerzita, RECETOX. RECETOX REPORT No. 598. Listopad 2016.

EPIS