

Výsledky sledování cizorodých látek v pevných maticích vodních ekosystémů

HEDVIKA ROZTOČILOVÁ, LIBUŠE BAREŠOVÁ, VÍT KODEŠ, MARKÉTA ACKERMANOVÁ, LIBOR MIKL, PAVEL STIERAND

Klíčová slova: POPs – rtuť – akumulace – pevné matrice – řeky ČR – biota – sediment

ABSTRAKT

Monitoring látek, jako jsou halogenované a další nebezpečné organické polutanty nebo těžké kovy, přináší důležité informace o znečištění životního prostředí. Jde o látky perzistentní, akumulující se v biotických i abiotických složkách a potravních řetězcích a z velké části také o lidské karcinogeny a endokrinní disruptory. Výsledky každoročního monitoringu prováděného Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ) ukazují dlouhodobé zatížení povrchových vod v České republice (ČR) těmito látkami. Téměř všudypřítomná je rtuť, která se v dospělých rybách nachází v koncentracích výrazně překračujících limit, a perfluorooktansulfonát (PFOS) s nadlimitními koncentracemi na polovině sledovaných profilů v rybím plůdku. Koncentrace dichlordifenyltrichlorethanu (DDT) a polychlorovaných bifenyly (PCB) v některých případech postupně klesají. Pro vybrané kontaminanty byla zhodnocena jejich distribuce v biotických (bentické organismy, ryby, nárost) a abiotických (sedimenty, sedimentovatelné plaveniny, plaveniny) maticích, dlouhodobé trendy a zatížení jednotlivých profilů. Zahrnuto bylo i porovnání s výsledky z pasivních vzorkovačů a povrchových vod.

ÚVOD

Perzistentní látky vznikají v důsledku řady různých průmyslových a jiných antropogenních činností. Některé z nich jsou nebo byly vyráběny cíleně (pesticidy, bromované zpomalovače hoření, polychlorované bifenyly – PCB, per/polyfluoroalkylované látky – PFAS), zatímco jiné vznikají jako nechtěné vedlejší produkty (polyaromatické uhlovodíky – PAU, dioxinové látky). Zdrojem je také řada spotřebního zboží, ze kterého se mohou tyto látky uvolňovat (zpomalovače hoření používané v nábytku, v domácích spotřebičích nebo textilích, nanomateriály, chemikálie tvořící nepřilnavé povrchy, plastifikátory, ftaláty atd.). Od místa vzniku se kontaminanty mohou přenášet v ovzduší, ze kterého jsou poté globálně distribuovány i do ostatních složek životního prostředí (ŽP). Významnou cestou jejich vstupu do ŽP jsou také odpadní vody, znečištěné půdy nebo skládky odpadů [1]. Vysoká chemická stabilita a lipofilní charakter těchto látek vede k jejich sorpci na pevné částice, akumulaci v organismech a následnému přenosu potravními řetězci. Vzhledem ke schopnosti transportu na velké vzdálenosti od zdroje znečištění mají některé perzistentní organické polutanty (POPs) tendenci kontaminovat i odlehlé ekosystémy a negativně ovlivňovat zdraví organismů v globálním měřítku. U ledních medvědů mohou např. narušovat hormonální procesy [2].

Ve vodním ekosystému dochází k distribuci kontaminantů mezi různé matrice. V závislosti na fyzikálně-chemických vlastnostech mají některé látky vyšší afinitu k organickému uhlíku, a ukládají se tak převážně v sedimentech nebo plaveninách, a jiné se spíše akumulují v tukových tkáních organismů, případně se vážou na bílkoviny – např. PFAS [3]. Ve vodě se většina POPs nachází pouze v minimálních koncentracích, jelikož jejich rozpustnost je velmi nízká. Z tohoto důvodu je pro posouzení stavu znečištění vodního ekosystému určitými kontaminanty (rtuť, ftaláty, DDT nebo PCB) vhodnější sledovat právě pevné matrice. Důležitou roli zde hrají také pasivní vzorkovače, jež koncentrují rozpustné látky přímo z vodního sloupce, a efektivně tak umožňují jejich detekci i při velmi nízkých koncentracích [4, 5].

Kromě již dobře charakterizovaných environmentálních kontaminantů (DDT, PCB, PAU) se do životního prostředí dostává i řada poměrně nových, tzv. emergentních polutantů, jejichž toxické účinky

nejdou dosud zcela prozkoumány. Tato skupina zahrnuje široké spektrum chemických látek, jako jsou např. léčiva, produkty osobní péče, pesticidy a jejich metabolity. Mnohé z těchto látek se vyznačují vysokou mobilitou v prostředí díky své rozpustnosti ve vodě, což může mít za následek jejich výskyt i v pitných vodách [6]. Je potřeba brát v úvahu i rozpadové produkty nebo synergické interakce mezi různými polutanty, které mohou vyvolávat toxické účinky i při koncentracích individuálně považovaných za bezpečné [7].

V rámci pravidelného každoročního monitoringu pevných matric ČHMÚ sleduje obsah více než 90 látek, jež mají potenciál akumulovat se v biotických i abiotických částech vodního ekosystému. Hlavním cílem příspěvku je komplexní hodnocení znečištění vodního prostředí nebezpečnými látkami z různých hledisek se zaměřením na rozdíly mezi jednotlivými matricemi, včetně dlouhodobých trendů nebo vlivu konkrétního profilu.

METODIKA

Pro hodnocení bylo vybráno celkem 43 profilů hlavních řek ČR, na nichž se dlouhodobě vzorkují všechny sledované matrice (obr. 1). V případě biotických matric jsou tyto profily rozděleny do dvou sad, které se pravidelně po třech letech střídají. Seznam monitorovaných matric, počet odběrů za rok a příslušné jednotky jsou uvedeny v tab. 1.

Pro analýzy bentických organismů se vzorkují převážně pijavky (*Erpobdella* spp.), chrostíci (*Hydropsyche* spp.) a blešivci (*Gammarus* spp.). U dospělých ryb jde o druh jelec tloušť (*Squalius cephalus*). Pasivní vzorkovače typu SPMD (Semipermeable Membrane Device) pro sledování nepolárních organických mikropolutantů jsou naplněny tukem trioleinem a ve vodách exponovány tři týdny, sedimentovatelné plaveniny se vzorkují po dobu čtyř až osmi týdnů dle konkrétní lokality pomocí sedimentačních pastí a plaveniny se odebírají aktivně mobilní odstředivkou.

Mezi látky vybrané pro analýzu zatížení vodních ekosystémů patří: benzo(a)pyren (B(a)P) a fluoranten (FLU) jako zástupci polyaromatických uhlovodíků (PAU), di(2-ethylhexyl)ftalát (DEHP), polybromované difenylethery (PBDE), PCB, DDT a jeho metabolity, perfluorooktansulfonát (PFOS) a rtuť (Hg). V nárostech se z vybraných kontaminantů analyzují pouze PAU. V případě abiotických matric koncentrace nejsou normalizovány na obsah organického uhlíku. Chemické analýzy se provádějí v externích laboratořích v závislosti na matici a skupině sledovaných látek. Pro stanovení kovů a PFAS v adultních rybách byly použity vzorky svaloviny a ostatní organické látky byly analyzovány ve svalovině s kůží.

Pro interpretaci dat sloužily boxploty zahrnující data za období 2006–2023 v závislosti na typu matrice a sledované látce. Vybrané látky mají v nařízení vlády č. 401/2015 Sb., stanovenou limitní koncentraci, tzv. normu environmentální kvality (NEK) pro biotu, s níž se naměřené koncentrace porovnávají.

Tab. 1. Hodnocené matrice

Tab. 1. Evaluated matrices

Matrice:	Sedimenty	Plaveniny	Sed. plaveniny	Nárost	Bentické organismy	Ryba – plůdek	Ryba – dospělec	SPMD	Voda
Počet odběrů za rok:	2	2–4	6	1					12
Jednotky:	[μg·kg ⁻¹ sušiny]				[μg·kg ⁻¹ mokré váhy]			[μg·kg ⁻¹ trioleinu]	[μg·l ⁻¹]



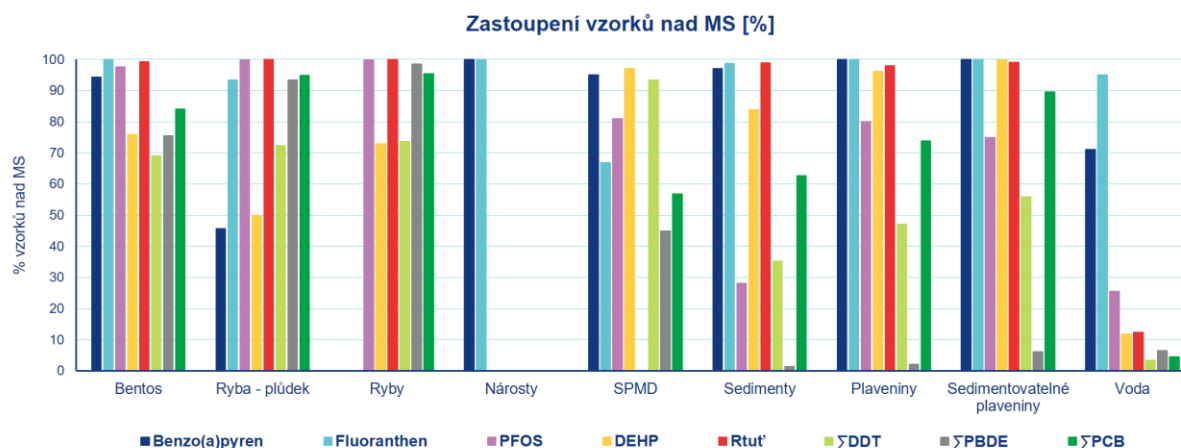
Obr. 1. Mapa sledovaných profilů
Fig. 2. Map of monitored profiles

VÝSLEDKY A DISKUZE

Výskyt vybraných kontaminantů ve sledovaných maticích

Rozložení látek se mezi jednotlivými zástupci biotických a abiotických matic liší (obr. 2). Specifické rozdíly v distribuci kontaminantů mezi jednotlivými maticemi odrážejí jejich různé fyzikálně-chemické vlastnosti a interakce s prostředím. Významnou roli mohou mít rovněž parametry analytické metody, jako např. mez stanovitelnosti (MS).

PAU se nacházely nad MS ve 100 % vzorků nárostů, plavenin a sedimentovatelných plavenin. V dospělých rybách se v současné době analýzy PAU neprovádějí, jelikož v rybím organismu může docházet ve významné míře k metabolizaci těchto látek [8]. To má částečně vliv i na výskyt PAU v rybím plůdku, kde byl např. B(a)P identifikován v méně než polovině vzorků. PBDE byly nalezeny ve více než 75 % vzorků bioty na rozdíl od abiotických matic a vody, kde se nad MS téměř vůbec nevyskytovaly. PFOS vykazoval téměř 100% zastoupení ve vzorcích bioty, o něco nižší v abiotických maticích, s výjimkou sedimentů, kde byl stejně jako ve vodě nalezen pouze v 25 % vzorků. Rtuť byla ve všech pevných maticích detekována v téměř 100 % vzorků, zatímco ve vodě byl její výskyt zaznamenán pouze v 10 % případů.



Obr. 3. Výskyt vybraných látek nad MS [%] v jednotlivých matricích za období 2006–2023 (dle konkrétní matrice a látky)

Fig. 4. Occurrence of selected substances above LOQ [%] in individual matrices for the period 2006–2023 (according to specific matrix and substance)

Distribuce látek v pevných matricích povrchových vod

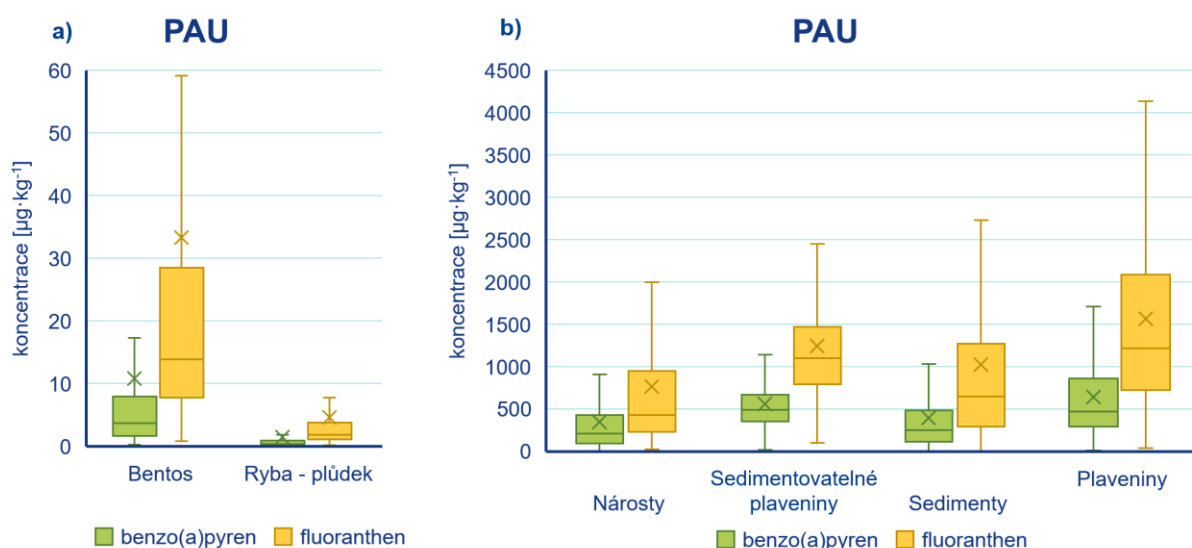
Jako zástupci PAU byly hodnoceny B(a)P a fluoranthen, u nichž se koncentrace v biotě pohybují o dva až tři řády níže než v abiotických matricích (obr. 3). Výjimku představují nárosty, které na rozdíl od většiny živočichů nemají mechanismus metabolické transformace PAU, a jejich koncentrace jsou tak srovnatelné s abiotickými matricemi. V nárostech však může být přítomno i určité množství neoddělitelné abiotické frakce, což může výsledné koncentrace ovlivňovat. V rybím plůdku jsou koncentrace PAU řádově nižší než v bentosu, což lze přisuzovat nejen rozdílné schopnosti metabolizace, ale i tomu, že bentické organismy jsou vystaveny významně vyšší expozici PAU ze sedimentů než ryby. Přestože u bentických organismů i plůdku ryb dochází k metabolizaci PAU podobným způsobem, a to prostřednictvím enzymatických systémů cytochromů P450, je u některých druhů bentosu tato schopnost značně limitována [9]. Nicméně nižší naměřené koncentrace původních PAU v organismech mohou být způsobeny právě jejich rychlou přeměnou na potenciálně toxičtější metabolity, jejichž koncentrace mohou být ve srovnání s výchozí látkou vyšší [9]. V abiotických matricích byly koncentrace B(a)P a FLU řádově srovnatelné, přičemž FLU byl detekován ve vyšších koncentracích ve všech matricích. Tento rozdíl lze vysvětlit větším množstvím FLU uvolňovaného při spalovacích procesech a jeho vyšší stabilitou v prostředí [10].

Další hodnocenou látkou byl DEHP, který se z bioty nejvíce kumuluje v bentických organismech (obr. 4). Jde zároveň o látku, která se v bentosu vyskytuje v nejvyšším množství ze všech sledovaných kontaminantů. V abiotických matricích jsou koncentrace DEHP nejvyšší v plaveninách a nejnižší v sedimentech, přímo úměrné obsahu celkového organického uhlíku. Podle Huang et al. [11] byla prokázána pozitivní korelace mezi určitými parametry vody, jako jsou chemická spotřeba kyslíku nebo koncentrace amonného dusíku, a koncentrací DEHP v sedimentech, naopak u teploty vody nebyl žádný vliv prokázán. Na rozdíl od našich výsledků ve zmíněné studii byla naměřena vyšší koncentrace DEHP v rybách než v bentických organismech, šlo ovšem o predátorské ryby (jelec tloušť je všežravec).

Koncentrace rtuti (obr. 5) vykazují v matricích odlišnou distribuci, než je tomu u DEHP. V rybách se rtuť dlouhodobě vyskytuje v řádově vyšších koncentracích než v ostatních biotických matricích. V dospělých rybách může být většina (až 95 %) z celkového množství Hg zastoupena ve formě neurotoxické methylrtuti (MeHg), která se silně váže především do svalové tkáně, kde dochází k její dlouhodobé akumulaci, zatímco anorganická rtuť Hg (II) se naopak ukládá spíše do trávicí soustavy a jater, odkud je snadněji eliminována [12]. Důležitou vlastností MeHg je biomagnifikace, kdy se její koncentrace zvyšují s trofickou úrovní organismu – proto se v bentických organismech, které se nacházejí na nižší úrovni potravního řetězce, akumuluje MeHg v prokazatelně nižších koncentracích v

porovnání s predátorskými druhy ryb. Na rozdíl od bioty, v abiotických matricích se většina Hg nachází v anorganické formě (MeHg reprezentuje maximálně jednotky % z celkové Hg [13]), což může vysvětlovat negativní korelaci s obsahem organického uhlíku, kterou potvrzují i naše výsledky.

Koncentrace DDT, PCB a PFOS se z dlouhodobého hlediska vyskytují ve všech matricích v řádově podobném rozsahu (obr. 6). Mírné rozdíly byly naměřeny v případě PCB, jež se nacházejí v nejvyšších koncentracích v sedimentovatelných plaveninách, a DDT, u kterého byla nejvyšší míra akumulace zaznamenána v pasivních vzorkovacích typu SPMD. U SPMD jsou koncentrace vztaženy pouze na tuk, což potvrzuje vysokou afinitu DDT k tukům. Nejvyšší koncentrace PFOS jsou z biotických matric pravidelně nalézány v rybím plůdku. To může být způsobeno tím, že na rozdíl od výše zmiňovaných látek má PFOS amfifilní charakter a kromě tukové tkáně a svaloviny se ve vysokých koncentracích nachází také v krvi, kde se váže především na bílkoviny krevní plazmy [3].

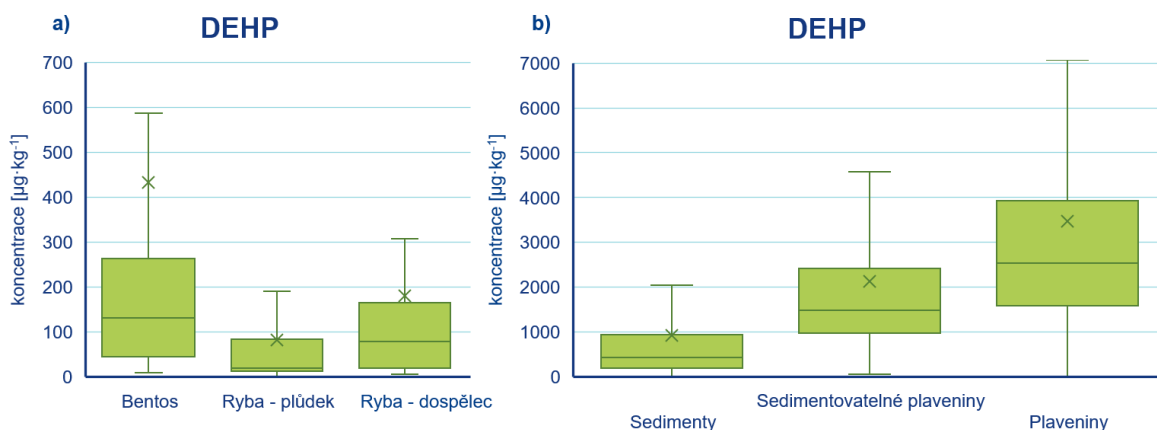


Obr. 5. [ŘZ1] Dlouhodobá koncentrace vybraných PAU: a) biotické matrice kromě nárostů; b) abiotické matrice, nárost

Jednotlivé boxy zahrnují data ze všech sledovaných profilů za vybrané roky (bentos: 2012–2023, ostatní: 2006–2023). Vyznačeny jsou mediány (—), průměry (x), kvartily (hranice boxů) a „maxima/minima“ (koncové body čar) bez odlehklých hodnot

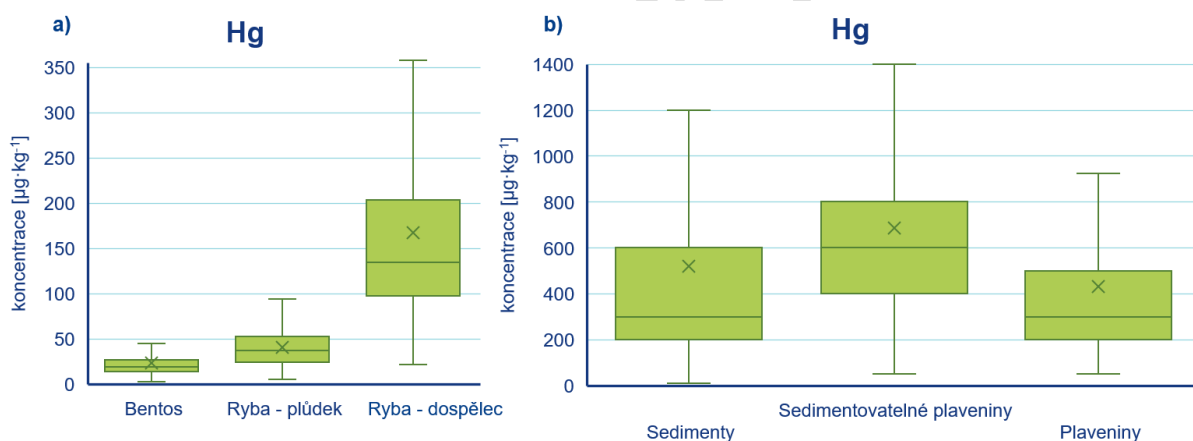
Fig. 6. Long-term concentration of selected PAHs: a) Biotic matrices without biofilm; b) Abiotic matrices, biofilm

Individual boxes include data from all monitored profiles for selected years (benthos: 2012–2023, others: 2006–2023). Medians (—), means (x), quartiles (box boundaries), and "maximum/minimum" (line endpoints) are indicated, excluding outliers



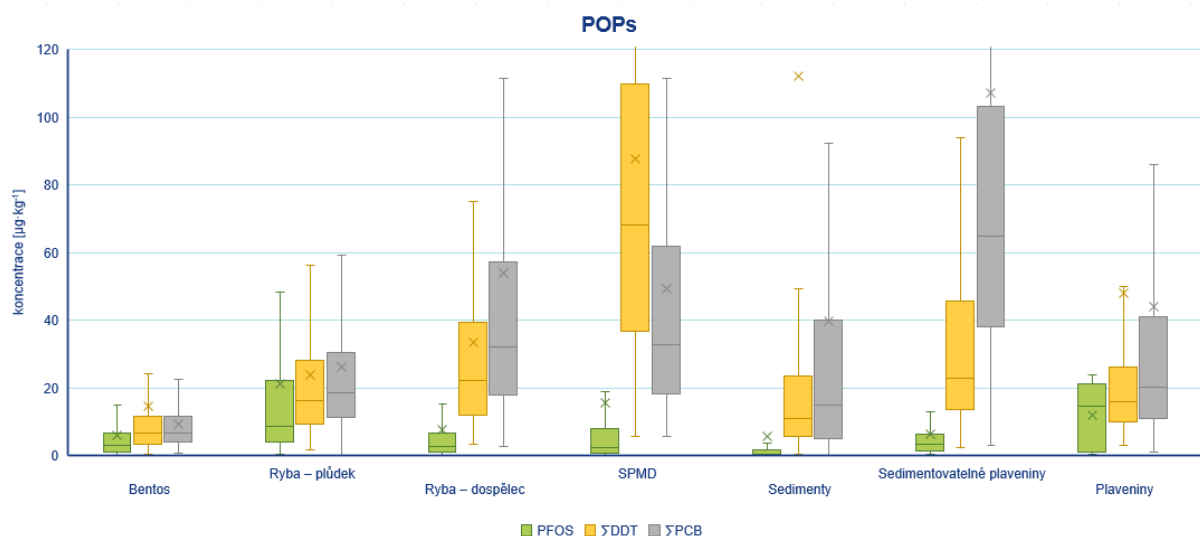
Obr. 4. [ŘZ2] Dlouhodobá koncentrace DEHP: a) biotické matrice; b) abiotické matrice
Jednotlivé boxy zahrnují data ze všech sledovaných profilů za vybrané roky (ryba – dospělec: 2012–2023, ostatní: 2010–2023). Vyznačeny jsou mediány (—), průměry (×), kvartily (hranice boxů) a "maxima/minima" (koncové body čar) bez odlehlých hodnot

Fig. 4. Long-term concentration of DEHP: a) Biotic matrices; b) Abiotic matrices
Individual boxes include data from all monitored profiles for selected years (adult fish: 2012–2023, others: 2010–2023). Medians (—), means (×), quartiles (box boundaries), and "maximum/minimum" (line endpoints) are indicated, excluding outliers



Obr. 5. [ŘZ3] Dlouhodobá koncentrace rtuti: a) biotické matrice; b) abiotické matrice
Jednotlivé boxy zahrnují data ze všech sledovaných profilů za vybrané roky (2006–2023). Vyznačeny jsou mediány (—), průměry (×), kvartily (hranice boxů) a "maxima/minima" (koncové body čar) bez odlehlých hodnot

Fig. 5. Long-term concentration of mercury: a) Biotic matrices; b) Abiotic matrices
Individual boxes include data from all monitored profiles for selected years (2006–2023). Medians (—), means (×), quartiles (box boundaries), and "maximum/minimum" (line endpoints) are indicated, excluding outliers



Obr. 6. [ŘZ4] Dlouhodobá koncentrace vybraných POPs
Jednotlivé boxy zahrnují data ze všech sledovaných profilů za vybrané roky (PCB, DDT: 2006–2023, PFOS biota: 2010–2023). Vyznačeny jsou mediány (—), průměry (×), kvartily (hranice boxů) a "maxima/minima" (koncové body čar) bez odlehlých hodnot

Fig. 6. Long-term concentration of selected POPs

Individual boxes include data from all monitored profiles for selected years (PCB, DDT: 2006–2023, PFOS biota: 2010–2023). Medians (—), means (×), quartiles (box boundaries), and "maximum/minimum" (line endpoints) are indicated, excluding outliers

Zatížení jednotlivých profilů

Z dlouhodobého hlediska jsou na sledovaných profilech patrné specifické trendy v koncentracích nebezpečných látek. Vliv na zatížení jednotlivých profilů má nejen současný průmysl, ale také staré ekologické zátěže, mezi něž je možné zařadit i říční sedimenty, při jejichž odtěžování může dojít k remobilizaci kontaminantů. V tab. 2 jsou shrnuty dlouhodobě nejzatíženější profily vybranými látkami. PAU se pravidelně nacházejí ve zvýšených koncentracích na profilech Moravskoslezského kraje v oblasti Ostravsko-karvinské uhelné pánve. DDT a PCB vykazovaly nejvyšší koncentrace na koncových profilech Labe, konkrétně v oblasti Děčína, což může naznačovat kumulativní transport těchto POPs z horních částí povodí. V Ústeckém kraji, na profilech řek Bíliny a Ohře, se v nejvyšších koncentracích nacházel PFOS. Ve vzorcích nejen bioty, ale i v ostatních maticích byly v porovnání s ostatními lokalitami naměřeny nejvyšší koncentrace DDT na profilu Bílina – Ústí nad Labem (obr. 7).

Pro detailnější hodnocení byla analyzována bioakumulace PFOS v rybím plůdku, kde koncentrace pravidelně překračovaly limitní hodnotu NEK stanovenou na $9,1 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (obr. 8). Mezi hodnocenými biotickými maticemi byla nejvyšší četnost překročení této hodnoty zaznamenána právě u vzorků rybího plůdku, kde se více než 50 % analyzovaných vzorků nacházelo nad NEK. Naproti tomu u bentických organismů a dospělých ryb bylo překročení NEK zaznamenáno pouze ve 20 % vzorků za sledované období.

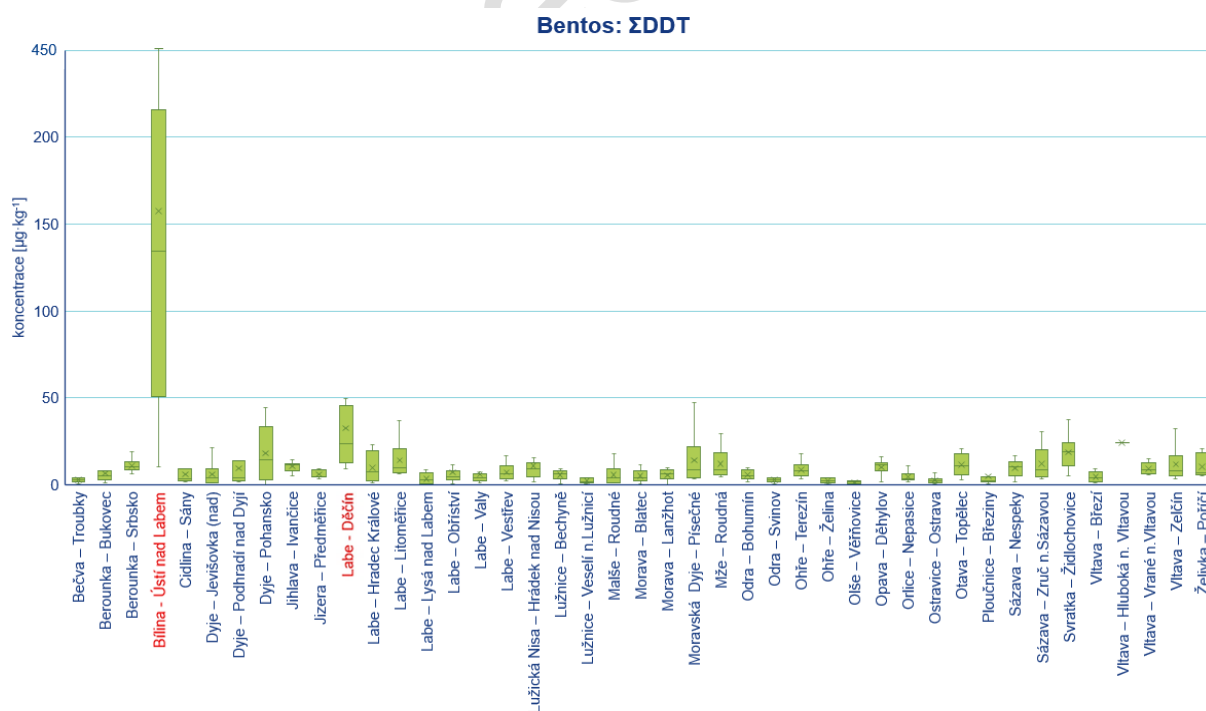
Přehled zatížení jednotlivých profilů Hg v rybách a porovnání s hodnotou NEK pro všechny biotické matrice shrnuje obr. 9. Norma environmentální kvality pro rtuť, stanovená na $20 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, byla v dospělých rybách překročena ve 100 % vzorků. Přesto ale v rámci evropského hodnocení povrchových vod ČR (obdobně jako řada dalších států), vzhledem k nestandardizovaným hodnotícím postupům, vykazuje z hlediska zatížení rtuť na většině profilů dobrý chemický stav, který byl ovšem vypočítán z koncentrací Hg ve vodě, nikoli v rybách. Naproti tomu např. ve Švédsku, které pro hodnocení chemického stavu využívá právě koncentrace rtuť získané z bioty, vychází na všech měřených profilech

špatný stav, přestože koncentrace Hg v rybách mohou být nižší než naše [14, 15].

Tab. 2. Nejzatíženější profily vybranými látkami v jednotlivých maticích

Tab. 2. Profiles exhibiting maximal contamination by target substances in environmental matrices

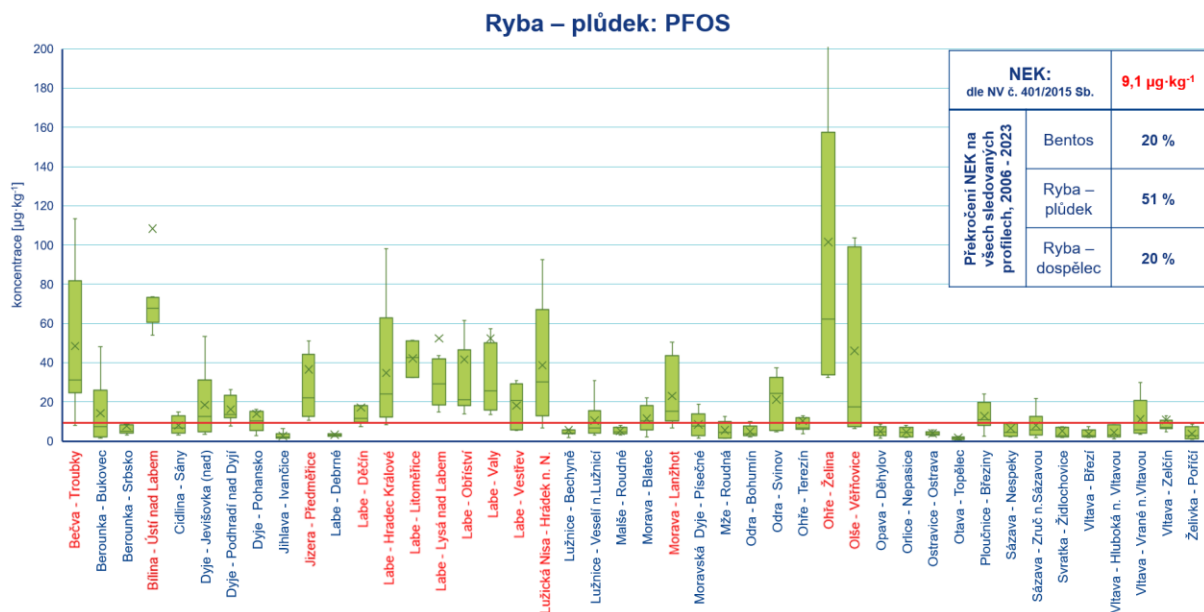
	Benzo(a)pyren	PFOS	Σ PCB	Σ DDT
Bentos	Odra – Bohumín	Bílina – Ústí n. L. Bečva – Troubky Ohře – Želina Labe – Obříství	Labe – Děčín Jizera – Předměřice	Bílina – Ústí n. L.
Ryba – plůdek	Morava – Blatec		Labe – Litoměřice Svratka – Židlochovice	Dyje – Pohansko Bílina – Ústí n. L.
Ryba – dospělec	neměřeno		Labe – Děčín	Labe – Děčín
SPMD	Odra – Bohumín	Bílina – Ústí n. L.	Labe – Valy	Dyje – Pohansko
Sedimenty	Odra – Bohumín	Bílina – Ústí n. L. Ohře – Želina Ohře – Terežín	Labe – Děčín	Bílina – Ústí n. L. Labe – Děčín
Plaveniny	Odra – Bohumín Bečva – Troubky	Labe Bílina – Ústí n. L.		
Sedimentovatelné plaveniny	Morava – Blatec L. Nisa – Hrádek			



Obr. 7. [ŘZ5] Koncentrace DDT v bentických organismech na jednotlivých profilech za období 2006–2023; červeně jsou označeny profily s nejvyššími naměřenými koncentracemi

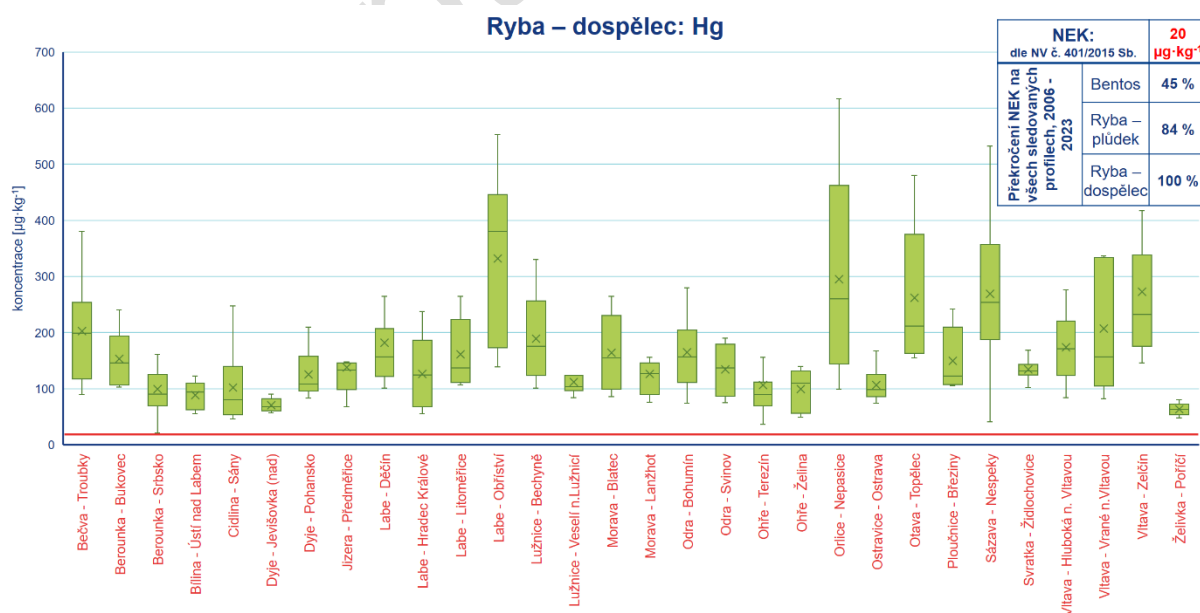
Fig. 7. DDT Concentrations in benthic organisms across monitored profiles for the Period 2006–2023;

profiles with the highest measured concentrations are marked in red



Obr. 8. [ŘZ6] Koncentrace PFOS v rybím plůdku na jednotlivých profilech za období 2010–2023; červeně jsou označeny profily, kde byla limitní hodnota NEK (červená linie) překročena u téměř všech vzorků (v tabulce je uvedeno zastoupení profilu [%] s překročenou NEK za sledované období v biotických maticích)

Fig. 8. PFOS concentrations in juvenile fish across monitored profiles for the period 2010–2023; profiles marked in red indicate locations where the Environmental Quality Standard (EQS) limit (red line) was exceeded in almost all samples (the table presents the percentage of profiles exceeding the EQS during the monitored period in biotic matrices)



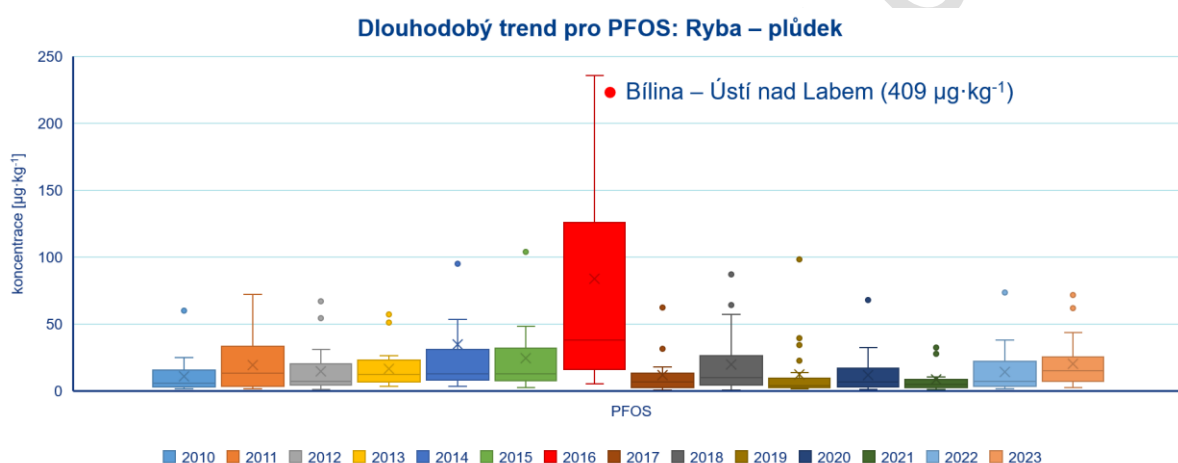
Obr. 9. [ŘZ7] Koncentrace Hg v dospělých rybách na jednotlivých profilech za období 2006–2023; červeně jsou označeny profily, kde byla limitní hodnota NEK (červená linie) překročena u téměř všech vzorků (v tabulce je uvedeno zastoupení profilu [%] s překročenou NEK za sledované období v

biotických matricích)

Fig. 9. Hg concentrations in adult fish across monitored profiles for the period 2006–2023; profiles marked in red indicate locations where the Environmental Quality Standard (EQS) limit (red line) was exceeded in almost all samples (the table presents the percentage of profiles exceeding the EQS during the monitored period in biotic matrices)

Dlouhodobý trend

Za sledované období byl dále hodnocen dlouhodobý vývoj koncentrací. Pro jednotlivé zástupce biotických a abiotických matric se trendy neliší, ovšem rozdíl mezi těmito dvěma skupinami byl u vybraných látek zaznamenán. Klesající trend byl identifikován na části profilů u biotických matric pouze v případě DDT a PBDE. Koncentrace rtuti ve všech matricích nebo B(a)P v abiotických matricích zůstávají v průběhu let řádově stabilní. Naopak B(a)P v biotě nebo PFOS v abiotických matricích vykazují spíše kolísající vývoj koncentrací bez zjevné systematické závislosti. Např. u koncentrace PFOS v rybím plůdku nebyl zaznamenán klesající trend, a to i přes jeho zařazení do Stockholmské úmluvy v roce 2009, jež výrazně omezila jeho produkci [16] (obr. 10). Historicky nejvyšší koncentrace PFOS ($409 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) byla naměřena na profilu Bílina – Ústí nad Labem v roce 2016 v rybím plůdku.



Obr. 10. [ŘZ8]Dlouhodobý trend pro PFOS v rybím plůdku s vyznačenou maximální koncentrací

Fig. 10. Long-term trend of PFOS in juvenile fish with indicated maximum concentration

ZÁVĚRY

Pro komplexní hodnocení znečištění vodních ekosystémů je třeba provádět systematický monitoring všech matric z důvodu nerovnoměrné distribuce kontaminantů mezi nimi. Z hlediska biotických matric byly v dospělých rybách naměřeny nejvyšší koncentrace rtuti, u níž je akumulace přímo úměrná trofické úrovni potravního řetězce. Naopak PAU a DEHP byly v nejvyšších koncentracích detekovány v bentických organismech, jež nedokážou tyto látky efektivně metabolizovat. V rybím plůdku dominoval PFOS, který se ve významné míře akumuluje nejen v tucích a svalovině, ale také v krvi. U abiotických matric byly zvýšené koncentrace látek detekovány v plaveninách (DEHP, PFOS) a v sedimentovatelných plaveninách (DDT, PCB). V sedimentech jsou koncentrace těchto POPs nižší, což může souviset i s nižším obsahem organického uhlíku v této matrici.

Kontinuální vývoj analytických metod umožňuje monitoring stále většího spektra cizorodých látek, což v kombinaci s perspektivními technologiemi pro eliminaci toxických látek, zelenými výrobními postupy

a průběžnou aktualizací environmentální legislativy může vést k postupné minimalizaci antropogenní zátěže. Problémem vyhodnocení současných výsledků ovšem zůstává, že i přes velký počet měřených ukazatelů jsou limity zajišťující dobrý stav vodních ekosystémů stanoveny pro biotu jen pro velmi omezené množství látek a pro abiotické pevné matrice vůbec.

Poděkování

Príspevek byl vytvořen za podpory projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum (NAZV) č. QL24010384 „Střednědobý trend v chování mikropolutantů pocházejících z odpadní vody nebo kalů z čistíren odpadních vod v půdním prostředí“ a v rámci DKRVO (Dlouhodobá koncepce rozvoje výzkumné organizace) ČHMÚ na období 2023–2027 financované MŽP ČR.

Literatura [NJ9]

- [1] OCHS, C., GARRISON, K., SAXENA, P., ROMME, K., SARKAR, A. Contamination of Aquatic Ecosystems by Persistent Organic Pollutants (POPs) Originating from Landfills in Canada and the United States: A Rapid Scoping Review. *Science of The Total Environment*. 2024, 924, 171490. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2024.171490>
- [2] OSKAM, I. et al. Organochlorines Affect the Steroid Hormone Cortisol in Free-Ranging Polar Bears (*Ursus maritimus*) at Svalbard, Norway. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*. 2004, 67, s. 959–977. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/15287390490443731>
- [3] ZHANG, X., CHEN, L. FEI, X. C., MA, Y. S., GAO, H. W. Binding of PFOS to Serum Albumin and DNA: Insight into the Molecular Toxicity of Perfluorochemicals. *BMC Molecular Biology*. 2009, 10, 16. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/1471-2199-10-16>
- [4] GRABIC, R. *Využití pasivních vzorkovačů POCIS pro monitoring farmak a pesticidů v povrchových vodách*. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2018.
- [5] GRABIC, R. *Metodika sledování kontaminace povrchových vod organickými cizorodými látkami pomocí pasivních vzorkovačů*. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2015.
- [6] MARUMURE, J. et al. Emerging Organic Contaminants in Drinking Water Systems: Human Intake, Emerging Health Risks, and Future Research Directions. *Chemosphere*. 2024, 356, 141699. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2024.141699>
- [7] LAGUNAS-RANGEL, F. A., LINNEA-NIEMI, J. V., KUDLAK, B., WILLIAMS, M. J., JÖNSSON, J., SCHIÖTH, H. B. Role of the Synergistic Interactions of Environmental Pollutants in the Development of Cancer. *Geohealth*. 2022, 6(4), e2021GH000552. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/2021GH000552>
- [8] WOO, S. J., CHUNG, J. K. Cytochrome P450 1 Enzymes in Black Rockfish, *Sebastes Schlegelii*: Molecular Characterization and Expression Patterns after Exposure to Benzo[a]pyrene. *Aquatic Toxicology*. 2020, 226, 105566. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/J.AQUATOX.2020.105566>
- [9] RUST, A., BURGESS, R., BROWNAWELL, B., MCELROY, A. Relationship between Metabolism and Bioaccumulation of Benzo[a]pyrene in Benthic Invertebrates. *Environmental Toxicology and Chemistry / SETAC*. 2004, 23, s. 2 587–2 593. Dostupné z: <https://doi.org/10.1897/03-354>
- [10] STOGIANNIDIS, E., LAANE, R. Source Characterization of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Using Their Molecular Indices: An Overview of Possibilities. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. 2015, 234, s. 49–133. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-319-10638-0_2
- [11] HUANG, P. C., TIEN, C. J., SUN, Y. M., HSIEH, C. Y., LEE, C. C. Occurrence of Phthalates in Sediment and Biota: Relationship to Aquatic Factors and the Biota-Sediment Accumulation Factor,” *Chemosphere*. 2008, 73(4), s. 539–544. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2008.06.019>

- [12] LESCORD, G. L., JOHNSTON, T. A., BRANFIREUM, B. A., GUNN, J. M. Percentage of Methylmercury in the Muscle Tissue of Freshwater Fish Varies with Body Size and Age and Among Species. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2018, 37, s. 2 682–2 691. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/etc.4233>
- [13] MANCINI, L. et al. Mercury (Hg) and Methylmercury (MeHg) in Sediment and Biota: A Case Study in a Lagoon in Central Italy. *Mar Pollut Bull.* 2022, 175, 113308. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2021.113308>
- [14] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. *European Waters – Assessment of Status and Pressures*. 2012. Dostupné z: <https://doi.org/10.2800/63266>
- [15] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. *European Waters – Assessment of Status and Pressures*. 2018. Dostupné z: <https://doi.org/10.2800/303664>
- [16] McGACHY, L., KROUŽEK, J., ŠKAROHLÍD, R. Perzistentní organické látky PFAS: výzvy, dopady a legislativní opatření. *Chemické Listy*. 2024, 118(12), s. 639–644.

Autoři

Ing. Hedvika Roztočilová
hedvika.roztocilova@chmi.cz
ORCID: 0000-0002-8198-4894

Mgr. Libuše Barešová
libuse.baresova@chmi.cz
ORCID: 0000-0003-2646-8579

Mgr. Vít Kodeš, Ph.D.
vit.kodes@chmi.cz
ORCID: 0000-0001-9637-6237

Mgr. Markéta Ackermanová
marketa.ackermanova@chmi.cz

Mgr. Libor Mikl, Ph.D.
libor.mikl@chmi.cz
ORCID: 0009-0000-0593-5225

RNDr. Pavel Stierand
pavel.stierand@chmi.cz
ORCID: 0009-0004-6899-8556

Český hydrometeorologický ústav, Praha (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.03.003

ISSN 0322-8916/© 2025 Autoři. Tuto práci je kdokoli oprávněn šířit a využívat za podmínek licence CC BY-NC 4.0

XENOBIOTIC SUBSTANCES IN SOLID MATRICES OF AQUATIC ECOSYSTEMS

ROZTOČILOVÁ, H.; BAREŠOVÁ, L.; KODEŠ, V.; ACKERMANOVÁ, M.; MIKL, L.; STIERAND, P.

Czech Hydrometeorological Institute, Prague (Czech Republic)

Keywords: POPs – mercury – accumulation – solid matrices – rivers of the Czech Republic – biota – sediment

Monitoring of substances such as halogenated and other hazardous organic pollutants or heavy metals provides important information about environmental pollution. These persistent substances accumulate in both biotic and abiotic compartments, as well as in food chains, and many of them act as human carcinogens and endocrine disruptors. The Czech Hydrometeorological Institute's annual monitoring results show long-term contamination of surface water ecosystem in the Czech Republic by these substances. Mercury contamination was documented practically in all evaluated samples with consistently elevated concentrations exceeding environmental quality standard (EQS) in adult fish. Perfluorooctane sulfonate (PFOS) was identified at above EQS concentrations in 50 % of monitored profiles in juvenile fish. Concentrations of dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) and polychlorinated biphenyls (PCB) show a slightly declining trend in some cases. For selected contaminants, their distribution in biotic (benthic organisms, fish, biofilm) and abiotic (sediments, suspended particulate matter) matrices was evaluated. In addition, results from passive samplers and surface water were also included.