

VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

# VTEI / 2023 / 4



4/ Vliv odpadních vod na mikrobiální kontaminaci Vltavy pod Prahou

14/ Aplikace pro parametrizaci a automatizaci srážkoodtokového modelu HEC-HMS

50/ Rozhovor s Dr. rer. nat. Slavomírem Vosikou, vedoucím sekretariátu Mezinárodní komise pro ochranu Labe v Magdeburku

# Psali jsme před 60 lety

Časopis TECHNICKÉ INFORMACE Z OBORU VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ ve svém 3. čísle roku 1959 řešil mimo jiné potrubí pro definitivní vystrojování vrtaných studní.

Při osazování definitivního vystrojování vrtaných studní se převážně používá ocelových trub, jež jsou perforovány v části, která je ponořena do podzemní vody. Ocelový materiál je vhodný pro vystrojení vrtaných studní s neagresivní vodou. U nás je však většina podzemních vod více nebo méně agresivní.

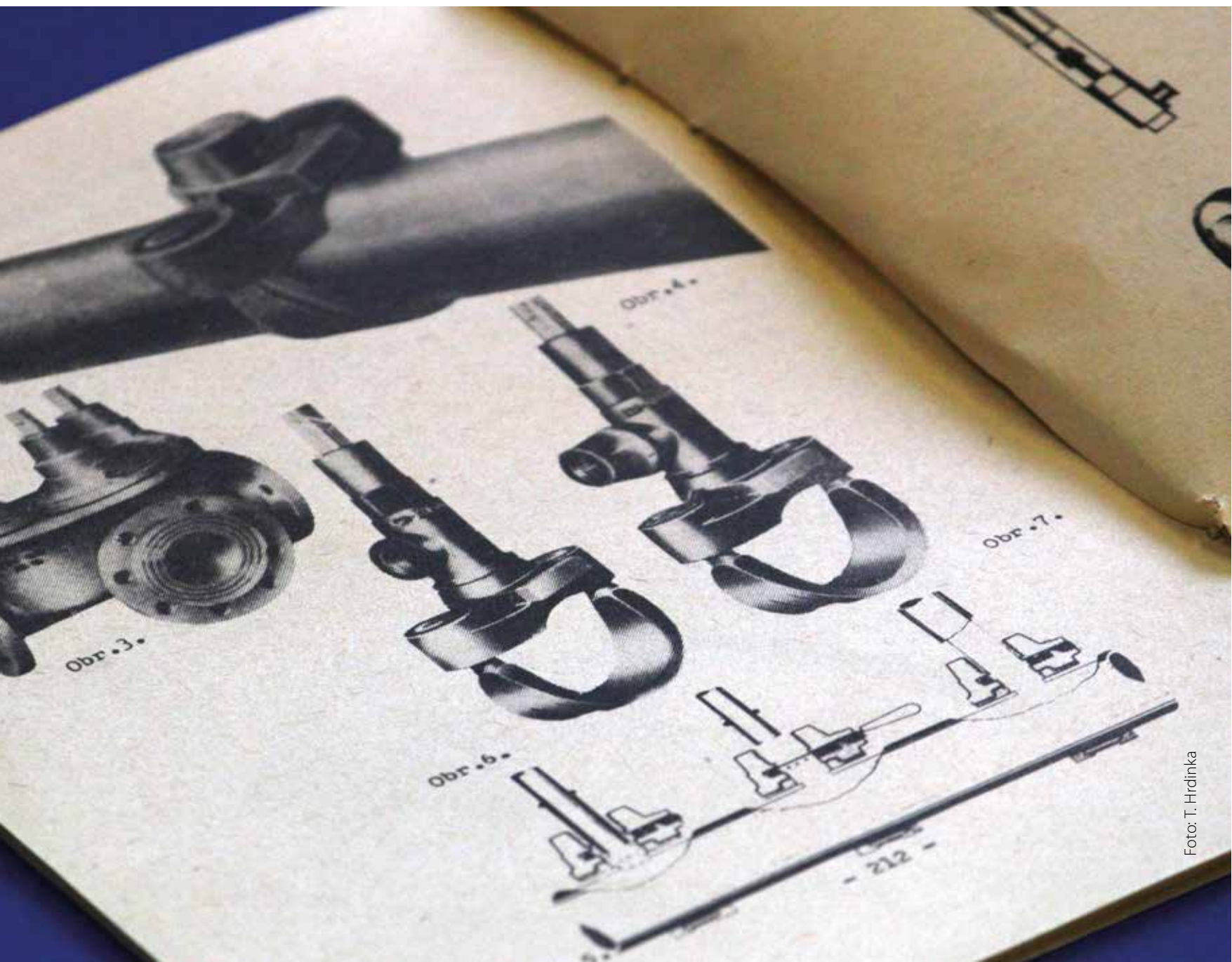
Ocelové stěny trub jsou jimi napadány a porušovány. Potrubí se chrání nátěry. Žádný nátěr ale v agresivním prostředí nevydrží bez obnovy déle než tři až pět let. U studní tato ochrana nevyhovuje, neboť požadavek na jejich životnost je daleko vyšší. Je nutno hledat nové materiály, na které by agresivní vody nepůsobily. Zavádí se proto potrubí kameninové a z dřevěných překližek spojovaných pryskyřičným lepidlem. Ve stadiu zkoušek je novodurové potrubí stáčené z desek a azbestocementové.

Bylo by možno pro tyto účely použít ještě dalších nekovových materiálů, které by bezpečně odolávaly agresivitě vody, vydržely by namáhání při spuštění a dosednutí celé kolony do hloubek až 150 m, nebyly by křehké a zdravotně závadné. Současně musí být vyřešeno vhodné spojování jednotlivých kusů trub.

Pro definitivní vystrojování vrtaných studní je nejčastěji používáno potrubí profilů mezi 200 až 650 mm.

Z archivu VÚV TGM

Redakce VTEI



# Obsah



## 3 Úvod

## 4 Vliv odpadních vod na mikrobiální kontaminaci Vltavy pod Prahou

Hana Zvěřinová Mlejnková, Adam Šmída, Vojtěch Valášek

## 14 Aplikace pro parametrizaci a automatizaci srážkoodtokového modelu HEC-HMS

Jan Unucka, Alena Kamínková



## 18 Atmosférická depozice jako možný zdroj znečištění povrchových vod

František Sýkora, Tomáš Mičaník, Silvie Semerádová, Ivan Suchara, Nikola Verlíková, Julie Sucharová

## 32 Vývoj lokalizace rybníků v Polabské nížině od poloviny 19. století – 2. část – Poděbradsko

Pavel Richter



## 40 Epidemiologický přístup k odpadním vodám, stanovení vybraných nezákoných látek a pandemie covidu-19

Věra Očenášková, Diana Marešová, Danica Pospíchalová, Eva Bohadlová

## 50 Rozhovor s Dr. rer. nat. Slavomírem Vosikou, vedoucím sekretariátu Mezinárodní komise pro ochranu Labe v Magdeburku

Josef Nistler

## 52 Zásadní revize směrnice o čištění městských odpadních vod vyvolává protichůdné reakce členských států Evropské unie

Tomáš Gremlica



## 54 Grafické využití AI

Josef Nistler, Tomáš Pojeta

## 58 Naši vs. invazní raci v České republice

Jitka Svobodová, Vojtěch Macháček, Pavel Kožený, Jiří Pícek



# Vážení čtenáři,

v rukou právě držíte srpnové číslo našeho odborného časopisu VTEI, které je co do obsahu pestré a plné zajímavých příspěvků. Autoři se v nich zaměřili na různé aspekty znečištění vodních toků, na vývoj rybníků v krajině Poděbradska, problematiku atmosférické depozice jako možného zdroje znečištění povrchových vod či na využití umělé inteligence v našem oboru se zaměřením na vizuální oblast.

Hned na úvod bychom vás rádi upozornili na příspěvek, který se zabývá mikrobiálním znečištěním Vltavy. Mikrobiologické ukazatele fekálního znečištění patří z pohledu ochrany lidského zdraví k nejdůležitějším při sledování jakosti povrchových vod. I přes zavádění nejlepších dostupných technologií jsou největším zdrojem fekálního znečištění čišťené i nečištěné komunální odpadní vody. Trend vývoje mikrobiální kontaminace Vltavy pod Prahou detailně popisuje článek Hany Zvěřinové Mlejnkové (VÚV TGM).

Dalším zajímavým příspěvkem je článek Jana Unucky (ČHMÚ Ostrava) zaměřený na aplikaci vyvinutou ČHMÚ pro podporu hydrologického modelování za primárního využití modelu HEC-HMS. Příspěvek stručně popisuje současný stav vývoje aplikace a její funkcionality, a to i pro čtenáře bez většího odborného zázemí.

Kolega Pavel Richter (VÚV TGM) vás ve svém příspěvku seznámí s výsledky výzkumu krajinných změn v Polabské nížině z oblasti Poděbradska, kde v průběhu staletí došlo k výrazným změnám lokalizace rybníků. Jeho studie přináší ucelený pohled na historický vývoj rybníků Poděbradska a jejich současný význam pro krajinu a navazuje na „Vývoj lokalizace rybníků v Polabské nížině od poloviny 19. století – 1. část – Pardubicko“ zveřejněný v předchozím čísle našeho časopisu.

Paní Věra Očenášková (VÚV TGM) přináší ve svém článku informace o výskytu vybraných drog v odpadních vodách v letech 2019–2022 se zvláštním přihlédnutím k období od propuknutí globálního stavu zdravotnické nouze způsobené nemocí covid-19. Jak tato situace ovlivnila spotřebu drog, se díky porovnání výsledků týdenních odběrových akcí dočtete právě v jejím odborném příspěvku.

Také bychom vás chtěli upozornit na informativní článek „Zásadní revize směrnice o čištění městských odpadních vod vyvolává protichůdné reakce členských států Evropské unie“, jež nám dodal Tomáš Gremlica (Ministerstvo zemědělství), nebo na rozhovor se Slavomírem Vosikou, vedoucím sekretariátu Mezinárodní komise pro ochranu Labe – zde pak zejména s ohledem na blížící se termín konání Magdeburského semináře o ochraně vod 2023, který pod názvem „Extrémní hydrologické jevy a jejich dopady v povodí Labe“ proběhne 11. a 12. října v Karlových Varech.

Nové číslo odborného časopisu VTEI vám přináší řadu aktuálních poznatků z výzkumu v oblasti vodního hospodářství. Doufáme, že vám příspěvky srpnového čísla VTEI poskytnou nejen nové a zajímavé informace, ale stanou se i podnětem pro další výzkum nebo odbornou diskuzi.

S přáním pohodového a příjemného zbytku prázdnin

Redakce VTEI

# Vliv odpadních vod na mikrobiální kontaminaci Vltavy pod Prahou

HANA ZVĚŘINOVÁ MLEJNKOVÁ, ADAM ŠMÍDA, VOJTĚCH VALÁŠEK

**Klíčová slova:** mikrobiální kontaminace – Vltava – ÚČOV – fekální znečištění

## ABSTRAKT

Mikrobiologické ukazatele fekálního znečištění patří z pohledu ochrany lidského zdraví k nejvýznamnějším při sledování jakosti povrchových vod. Jejich největším zdrojem jsou – i přes zavádění nejlepších dostupných technologií – čištěné i nečištěné komunální odpadní vody. V ČR je téměř 90 % obyvatel napojeno na lokální veřejné kanalizace, jež jsou zaústěny na ČOV, kde jsou čištěny tak, aby mohly být vypouštěny do recipientů. Pomocí sledování mikrobiální kontaminace Vltavy pod Ústřední čistírnou odpadních vod (ÚČOV) Praha byla určena míra zatížení vodního toku fekálním znečištěním v 10km úseku pod ústím odpadních vod v obdobích s různým průtokem. Jako další zdroje byly sledovány menší přítoky Vltavy, které do ní přináší čištěné odpadní vody z lokálních čistíren odpadních vod (ČOV). Od dubna 2022 do března 2023 byly na 10 profilech monitorovány počty indikátorů fekálního znečištění: *Escherichia coli*, intestinální enterokoky termotolerantní (fekální) koliformní bakterie a *Clostridium perfringens*. Výsledky monitoringu ukázaly na poměrně významné mikrobiální znečištění Vltavy v oblasti vyústění ÚČOV a zároveň bylo poukázáno na dobrou samočisticí schopnost toku Vltavy v nadcházejícím úseku, tedy na poměrně dobrý potenciál možného využití Vltavy v Praze i pod Prahou, s výjimkou úseku bezprostředně ovlivněného ústím čištěných odpadních vod z ÚČOV Praha. Obecně by bylo vhodné zaměřit se na zvýšení informovanosti prostřednictvím této i podobných studií, aby mohla být voda lépe využívána a naopak, aby neznamenala hygienicky významné riziko (možností přítomnosti patogenních mikroorganismů, včetně nositelů antibiotické rezistence) při jejím nevhodném využívání.

## ÚVOD

Vltava je významným vodním tokem, který je v celé své délce recipientem zaústění velkého objemu odpadních vod. Díky své velké vodnosti a kaskádám vodních nádrží dokáže přinášené znečištění poměrně účinně eliminovat. Největší zatížení Vltavy představuje oblast hlavního města Prahy, kde se stává recipientem nejen ÚČOV, ale i mnoha menších čistíren. Právě komunální odpadní vody jsou jedním z hlavních zdrojů znečištění povrchových toků mikrobiálním znečištěním, a to i přes povinnost používání nejlepších dostupných technologií čištění odpadních vod na ČOV. Některé hygienicky významné mikroorganismy nejsou čistírenskými procesy úplně eliminovány, a tak následně nepříznivě ovlivňují jakost vod v tocích, kde mohou představovat akutní (životaschopné mikroorganismy) nebo pasivní (např. šíření antibiotické rezistence) zdravotní riziko a snížení využitelnosti vody, např. pro rekreaci nebo závlahy. Přesto nejsou v současné době legislativou určeny mechanismy kontrolující mikrobiální znečištění odpadních vod z ČOV. Ke zvýšenému riziku navíc přispívá současné klimatické období s výskytem extrémních stavů – sucha a přívalových

srážek. Oba tyto jevy jsou kritické pro udržení dobré mikrobiální kvality povrchových vod. V období nízkých průtoků dochází v důsledku malého naředění odpadních vod z ČOV a jiných komunálních zdrojů ke zvýšené koncentraci mikrobiální kontaminace v tocích. Přívalové srážky představují ve městech riziko zvýšeného zatížení vodních toků odlehčovacemi kanály, jež přináší nečištěnou odpadní vodu, kterou kapacitně nezvládnou pojmout ČOV. Tyto skutečnosti výraznou měrou dlouhodobě přispívají ke zvýšené mikrobiální zátěži vodních toků [1, 2, 14]. Jakost vody ve Vltavě je pravidelně sledována správcem vodního toku v rámci státní sítě sledování jakosti povrchových vod pro ISVS – Evidence jakosti povrchových vod ČHMÚ. Řídká síť profilů (Vltava nad Prahou – Vrané nad Vltavou; Vltava pod Prahou – Zelčín) a omezený rozsah monitoringu však nedokáže zachytit rizika, spojená s mikrobiální kontaminací vodního toku.

V naší studii byla – pro účel bližšího poznání mikrobiální kontaminace a její přirozené eliminace ve velkém vodním toku – vybrána Vltava v Praze a pod ní. Fekální znečištění vody v recipientu bylo hodnoceno stanovením standardních indikátorových skupin mikroorganismů *Escherichia coli* (*E. coli*), termotolerantních (fekálních) koliformních bakterií, intestinálních enterokoků a *Clostridium perfringens*, jehož spory jsou vysoce rezistentní k vnějším faktorům prostředí a v odpadních i povrchových vodách přežívají dlouhou dobu [3, 4].

Cílem práce bylo charakterizovat mikrobiální znečištění v podélném profilu Vltavy pod Prahou a určit míru zvýšení hygienického rizika a snížení využitelnosti vody zatížené fekálním znečištěním vlivem zaústění odpadních vod z ČOV ve sledovaném úseku a posoudit trend vývoje při porovnání s historickými daty [5].



Obr. 1. Vltava v Podbábě – pod ústím odpadních vod ze stávající i nové vodní linky ÚČOV Praha

Fig. 1. Vltava in Podbaba under the waste water inflow from current and new water line WWTP Praha



Obr. 2. Ústí Klecanského potoka do Vltavy v Klecánkách  
Fig. 2. Inflow of the Klecanský stream into Vltava in Klecánkách



Obr. 3. Vltava v Řeži (poslední odběrový profil sledovaného úseku)  
Fig. 3. Vltava in Řež (the last sample site of the monitored section)

## METODIKA

Průzkum vlivu vypouštění čištěných odpadních vod z ČOV na jakost vody ve zkoumaném úseku podélného profilu Vltavy byl sledován v úseku Vltavy o délce cca 10 km od Trojské lávky po profil Vltava – Řež (obr. 1–3). Popis a lokalizace odběrových profilů jsou uvedeny v tab. 1 a na obr. 4. Do monitoringu byly vybrány profily řeky Vltavy, na nichž je možné zhodnotit ovlivnění její kvality přísunem čištěných odpadních vod z ÚČOV Praha a menších ČOV na přítocích. Charakteristika těchto ČOV je uvedena v tab. 2. Do monitoringu nebyly z technických důvodů zahrnuty profily, zachycující přísun znečištění z ČOV Praha – Bohnice, Nebušice a Roztoky. Do ostatních přítoků na sledovaném území nejsou zaústěny ČOV.

Tab. 1. Popis a lokalizace odběrových profilů

Tab. 1. Description and localisation of the sampling sites

Profil číslo	Název odběrového profilu	Popis odběrových profilů
1	Vltava – Trojská lávka	kontrolní profil nad ÚČOV Praha; odběr prováděn z Trojské lávky
2	Vltava – Podbaba	odběr pod oběma výpustěmi ÚČOV Praha z levého břehu na konci Císařského ostrova; voda pod výpustěmi není dostatečně promíchána
3	Vltava – Sedlec	odběr na levém břehu Vltavy v Sedlci poblíž malé pláže využívané k rekreaci cca 2 km pod ÚČOV
4	Vltava – Roztoky	odběr poblíž ústí ČOV Roztoky do Vltavy cca 5 km pod ÚČOV; není dostatečně reprezentativní z důvodu nepravidelného vypouštění OV
5	Vltava – Klecany	odběr ze středu vodního toku cca 6 km pod ÚČOV; prováděn z přívozu
6	Vltava – Řež	odběr ze středu vodního toku cca 10 km pod ÚČOV; prováděn z lávky pro pěší
7	Drahanský potok	pravostranný přítok Vltavy, zaústění ČOV Praha – Čimice; odběr prováděn cca 1 km od ústí do Vltavy
8	Přemýšlenský potok	pravostranný přítok Vltavy, zaústění ČOV Zdiby; odběr prováděn před ústím do Vltavy
9	Klecanský potok	pravostranný přítok Vltavy, zaústění ČOV Klecany; odběr prováděn před ústím do Vltavy
10	Podmoráňský potok	levostranný přítok Vltavy, zaústění ČOV Velké Přílepy; odběr prováděn před ústím do Vltavy
11	Únětický potok	levostranný přítok Vltavy, zaústění ČOV Horoměřice a Tuchoměřice; odběr prováděn ze silničního mostu cca 150 m před ústím do Vltavy



Obr. 4. Lokalizace odběrových profilů

Fig. 4. Sampling sites locations

Tab. 2. Základní charakteristika ČOV  
Tab. 2. Basic characteristic of the WWTP

Název ČOV	Kategorie podle EO	Recipient OV	Počet osob připojených na ČOV (2021)	Množství čištěných OV celkem [tis. m <sup>3</sup> /rok]
ÚČOV Praha SVL	nad 100 tis.	Vltava	491 633	44 989
ÚČOV Praha NVL	nad 100 tis.	Vltava	706 012	64 601
ČOV Roztoky	2 až 10 tis.	Vltava	7 869	773
ČOV Dolní Chabry	2 až 10 tis.	Drahanský potok	4 632	264
ČOV Zdiby	2 až 10 tis.	Přemyšlenský potok	3 000	166
ČOV Klecany	2 až 10 tis.	Klecanský potok	3 117	343
ČOV Velké Přílepy	2 až 10 tis.	Podmoráňský potok	2 935	190
ČOV Horoměřice	2 až 10 tis.	Horoměřický potok (Únětický potok)	3 450	274
ČOV Tuchoměřice	do 2 tis.	Únětický potok	1 816	149

Standardními kultivačními metodami byly stanovovány počty *E. coli*, intestinálních enterokoků, termotolerantních (fekálních) koliformních bakterií a *Clostridium perfringens*. Stanovení termotolerantních (fekálních) koliformních bakterií a *E. coli* bylo provedeno dle normy ČSN 75 7835, intestinálních enterokoků dle normy ČSN EN ISO 7899-2 a *Clostridium perfringens* podle Vyhlášky 252/2004 Sb., Příloha 6. Pro kultivační stanovení byly použity metody podle standardizovaných postupů [6–8]. Odběry prostých vzorků byly prováděny od dubna 2022 do března 2023 s měsíční frekvencí na výše uvedených profilech.

Výsledky byly zaříděny do jakostních kategorií podle ČSN 75 7221 [8] a porovnány s limity NEK (normy environmentální kvality) pro povrchové vody dle Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. [10]. Výsledky byly informativně porovnány s limity pro koupací vody podle Vyhlášky č. 238/2011 Sb. [11].

ČSN 75 7221 [8] využívá charakteristickou hodnotu C90 a podle ní řadí tekoucí povrchové vody dle kvality do pěti tříd (tab. 3). Norma povoluje tzv. účelovou

klasifikaci podle vlastního rozsahu ukazatelů, kdy je výsledná třída určena podle nejnepříznivějšího zatřídění. V našem případě byla klasifikace použita pro ukazatele termotolerantní (fekální) koliformní bakterie a intestinální enterokoky.

Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech z roku 2016 [10] udává pro mikrobiologické ukazatele hodnoty NEK jako P90 pro *E. coli*, intestinální enterokoky a termotolerantní (fekální) koliformní bakterie (tab. 3).

Vyhláška č. 238/2011 Sb., o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch z roku 2011 [11] rozlišuje pro ukazatele intestinální enterokoky a *E. coli* na základě P90 a P95 tři stupně jakosti (tab. 3).

Tab. 3. Klasifikace mikrobiologických ukazatelů  
Tab. 3. Classification of microbial parameters

	Termotolerantní (fekální) koliformní bakterie	Intestinální enterokoky	<i>Escherichia coli</i>
	[KTJ/100 ml]		
	ČSN 75 7221 (C90)		
<b>I. třída = neznečištěná voda</b>	< 2 000	< 600	-
<b>II. třída = mírně znečištěná voda</b>	< 10 000	< 1 300	-
<b>III. třída = znečištěná voda</b>	< 20 000	< 2 500	-
<b>IV. třída = silně znečištěná voda</b>	< 40 000	< 4 600	-
<b>V. třída = velmi silně znečištěná voda</b>	≥ 40 000	≥ 4 600	-
	Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.		
<b>NEK (P90)</b>	4 000	2 000	2 500
	Vyhláška č. 238/2011 Sb.		
<b>výborná jakost</b>	-	200 (P95)	500 (P95)
<b>dobrá jakost</b>	-	400 (P95)	1 000 (P95)
<b>přijatelná jakost</b>	-	330 (P90)	900 (P90)
<b>nevyhovující jakost</b>			

Poznámky: C90 = charakteristická hodnota (hodnota s pravděpodobností nepřekročení 90 %); P90 a P95 (95% a 90% percentil); NEK = norma environmentální kvality



## VÝSLEDKY

Výsledky monitoringu mikrobiálního znečištění v období od dubna 2022 do března 2023 jsou uvedeny v grafech na obr. 6–15.

Vyhodnocení podle ČSN 75 7221 (obr. 5) ukázalo nejlepší kvalitu na kontrolním profilu Vltava – Trojská lávka, který byl klasifikován jako mírně znečištěná voda (II. třída jakosti). Ústí čistěných odpadních vod z ÚČOV posunulo jakost vody ve Vltavě – Podbabě do V. třídy jakosti (velmi silně znečištěná voda). Díky intenzivnímu naředění mikrobiálního znečištění a aktivnímu samočištění vodního toku byla na dalších sledovaných místech podélného profilu Vltavy již voda odpovídající III. třídě jakosti (znečištěná voda). K významnému zhoršení mikrobiální jakosti vody nepříspělo ani zaústění – odpadními vodami z menších ČOV – silně znečištěných přítoků, tj. Dražanského, Klecanského, Podmoráňského a Únětického potoka. Ze sledovaných potoků vykazoval nejlepší kvalitu Přemyslský potok, na němž je umístěna zřejmě dobře fungující ČOV z obce Zdiby-Přemyslen.

Jakost vody na sledovaných odběrových profilech byla porovnána s NEK pro mikrobiologické ukazatele, vyjadřující stav povrchových vod (tab. 3). Výsledky pro všechny sledované ukazatele jsou uvedeny na obr. 6–13 a v tab. 4. Z grafů i tabulky jsou patrné významné rozdíly mezi jednotlivými odběrovými profily nejen ve Vltavě, ale i na jejich přítocích pod Prahou. Ukazatele termotolerantní (fekální) koliformní bakterie a *E. coli* byly ve Vltavě překročeny na 60 % profilů, na přítocích v 80 %, ukazatel intestinální enterokoky byl ve Vltavě překročen pouze na 20 % profilů, na přítocích však také v 80 %. Kontrolní profil Vltavy nad ÚČOV a profil Vltava – Klecany požadavky Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., splňovaly pro

všechny tři ukazatele. Výsledky ukázaly, že Vltava v Troji vykazuje – i přes přísun znečištění z mnoha zdrojů při průtoku Prahou (mj. jsou to výrazně znečištěné potoky Botič a Rokytka) – neočekávaně dobrou kvalitu vody. Podle původních předpokladů dochází v dalším úseku, kdy jsou do ní zaústěny odpadní vody čištěné na dvou vodních linkách ÚČOV Praha, k významnému zvýšení počtu mikrobiálních ukazatelů. A to i přes to, že ÚČOV je vybavena moderní čistírenskou technologií odpovídající požadavkům na nejlepší dostupné technologie čištění odpadních vod a aktivně provádí další kroky ke zlepšení jakosti vypouštěných vod, např. pomocí technologie dezinfekce vyčištěných odpadních vod UV zářením, která byla uvedena do zkušebního provozu v říjnu 2021. Jak ukazují grafy na obr. 6–14, dochází ve velmi vodné Vltavě k intenzivnímu naředění a samočištění, díky němuž je v úseku vodního toku od Sedlce, tj. cca 2 km pod ÚČOV, již řádově nižší fekální znečištění.

Překvapivé rozdíly byly zjištěny u mikrobiální kvality vody přítoků, do nichž jsou zaústěny odpadní vody z menších ČOV, Vltavy pod Prahou (obr. 6–14, tab. 4). Kritické znečištění bylo přinášeno Klecanským a Podmoráňským potokem, na něž jsou napojeny ČOV Klecany a Velké Přílepy, tj. cca 6 000 napojených obyvatel. Naopak nejnižší znečištění po celou dobu sledování vykazoval Přemyslský potok (ČOV Zdiby; 3 000 napojených obyvatel). Díky poměrně malé vodnosti znečištěných přítoků není ovlivnění Vltavy pod jejich zaústěním výrazné (obr. 14). Podle ČSN 75 7143 je vltavská voda na většině profilů „podmínečně vhodná“ pro závlahu, tj. počty termotolerantních (fekálních) koliformních bakterií a enterokoků se pohybují mezi 1 000 a 10 000 KTJ/100 ml [15].

Tab. 4. Výsledky klasifikace mikrobiologických ukazatelů

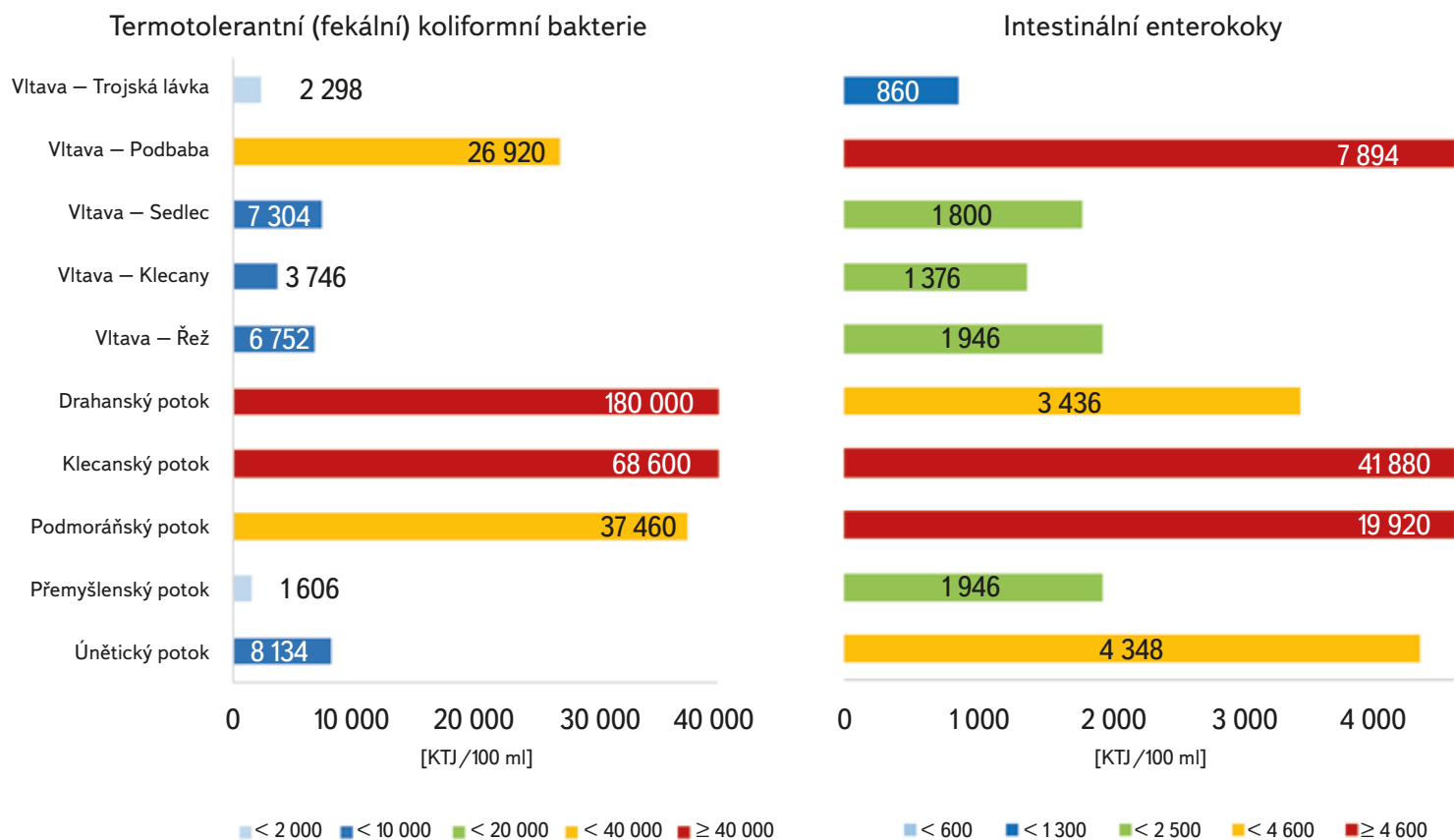
Tab. 4. Classification of microbiological parameters

Odběrový profil	Termotolerantní (fekální) koliformní bakterie		Intestinální enterokoky		<i>Escherichia coli</i>	
	P90/průměr [KTJ/100 ml]	min./max. [KTJ/100 ml]	P90/průměr [KTJ/100 ml]	min./max. [KTJ/100 ml]	P90/průměr [KTJ/100 ml]	min./max. [KTJ/100 ml]
Vltava – Trojská lávka	2 870/1252	60/5 400	1 300/567	48/4 800	1 940/992	50/5 400
Vltava – Podbaba	<b>27 800</b> /17 167	800/79 000	<b>9 610</b> /5 258	80/2 800	<b>19 800</b> /10 758	200/36 000
Vltava – Sedlec	<b>8 800</b> /4 145	600/20 000	1 800/1 045	130/5 200	<b>4 800</b> /2 655	400/13 000
Vltava – Klecany	3 790/2 575	130/11 000	1 640/691	90/2 100	2 490/1 668	110/6 000
Vltava – Řež	<b>7 820</b> /2 837	200/12 000	1 990/763	90/2 400	<b>4 540</b> /2 006	110/9 000
Dražanský potok	<b>12 000</b> /19 245	500/180 000	<b>3 700</b> /4 363	190/34 000	<b>12 000</b> /19 245	500/180 000
Únětický potok	<b>9 410</b> /5 981	110/32 000	<b>6 020</b> /2 177	200/7 400	<b>8 440</b> /4 501	990/22 000
Přemyslský potok	2 090/1 146	70/5 800	1 990/1 478	20/9 600	1 730/907	70/3 800
Klecanský potok	<b>117 000</b> /59 492	600/520 000	<b>76 200</b> /19 108	600/120 000	<b>93 600</b> /42 808	500/360 000
Podmoráňský potok	<b>37 900</b> /23 625	2 000/39 000	<b>20 800</b> /12 033	800/52 000	<b>27 700</b> /16 142	1 700/30 000

Poznámka: tučně jsou vyznačeny hodnoty P90 přesahující NEK Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.

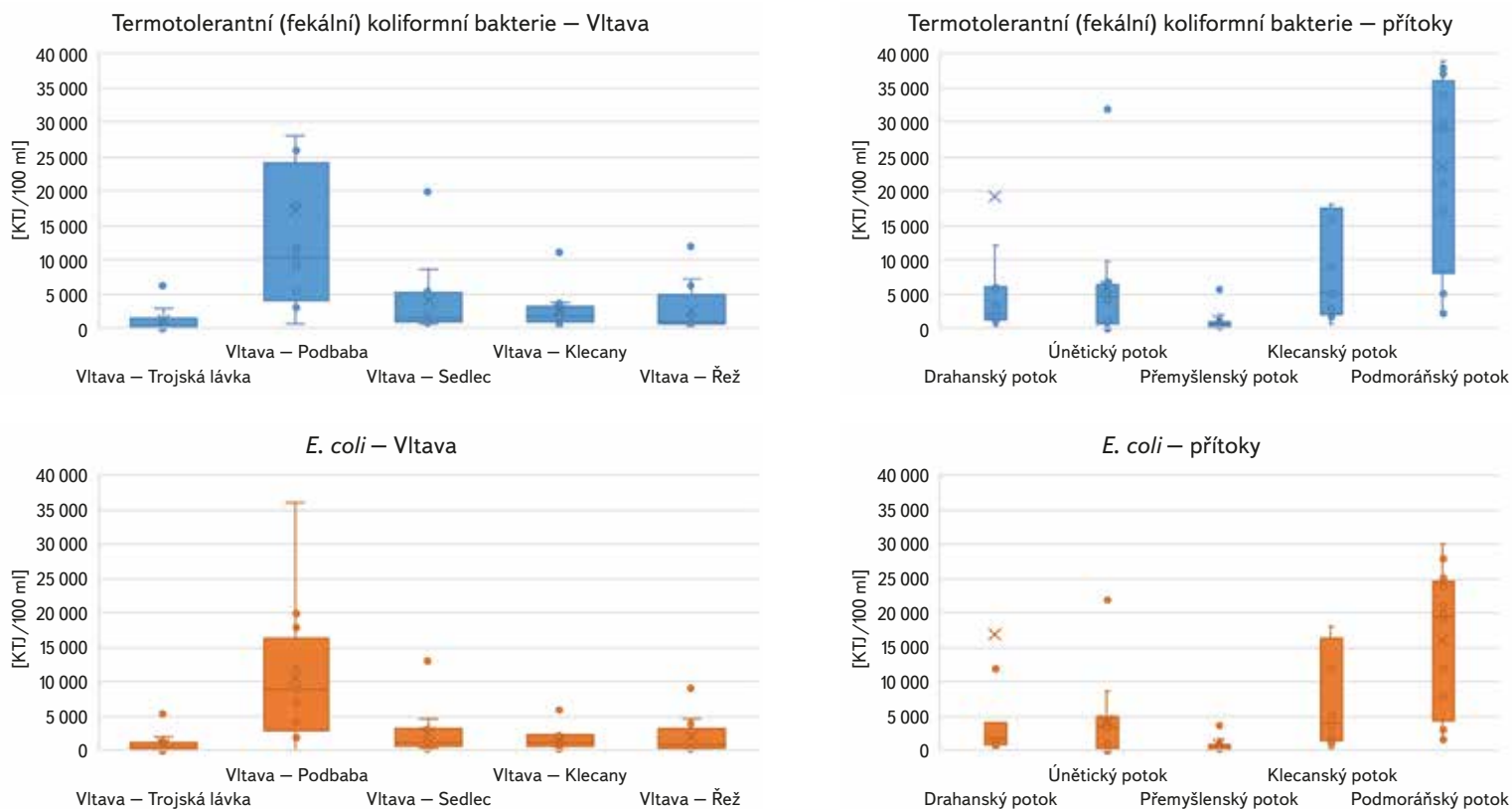
Výsledky byly dále hodnoceny podle Vyhlášky č. 238/2011 Sb., jež posuzuje jakost vody po ukončení koupacích sezon (ideálně 4) na základě jejího určení podle ukazatelů uvedených v tab. 3. Voda je klasifikována jako „nevyhovující“ ke koupání, jsou-li hodnoty některého z ukazatelů vyšší než hodnoty pro „přijatelnou“ jakost. Podle uvedeného hodnocení nebylo ve sledovaném období na žádném odběrovém profilu Vltavy dosaženo jakosti přijatelné ke koupání. Nicméně na profilu Vltava – Trojská lávka byly v období vhodném pro rekreaci, tj. od května do září, zjištěny počty KTJ v obou ukazatelích ve 100 % odpovídající

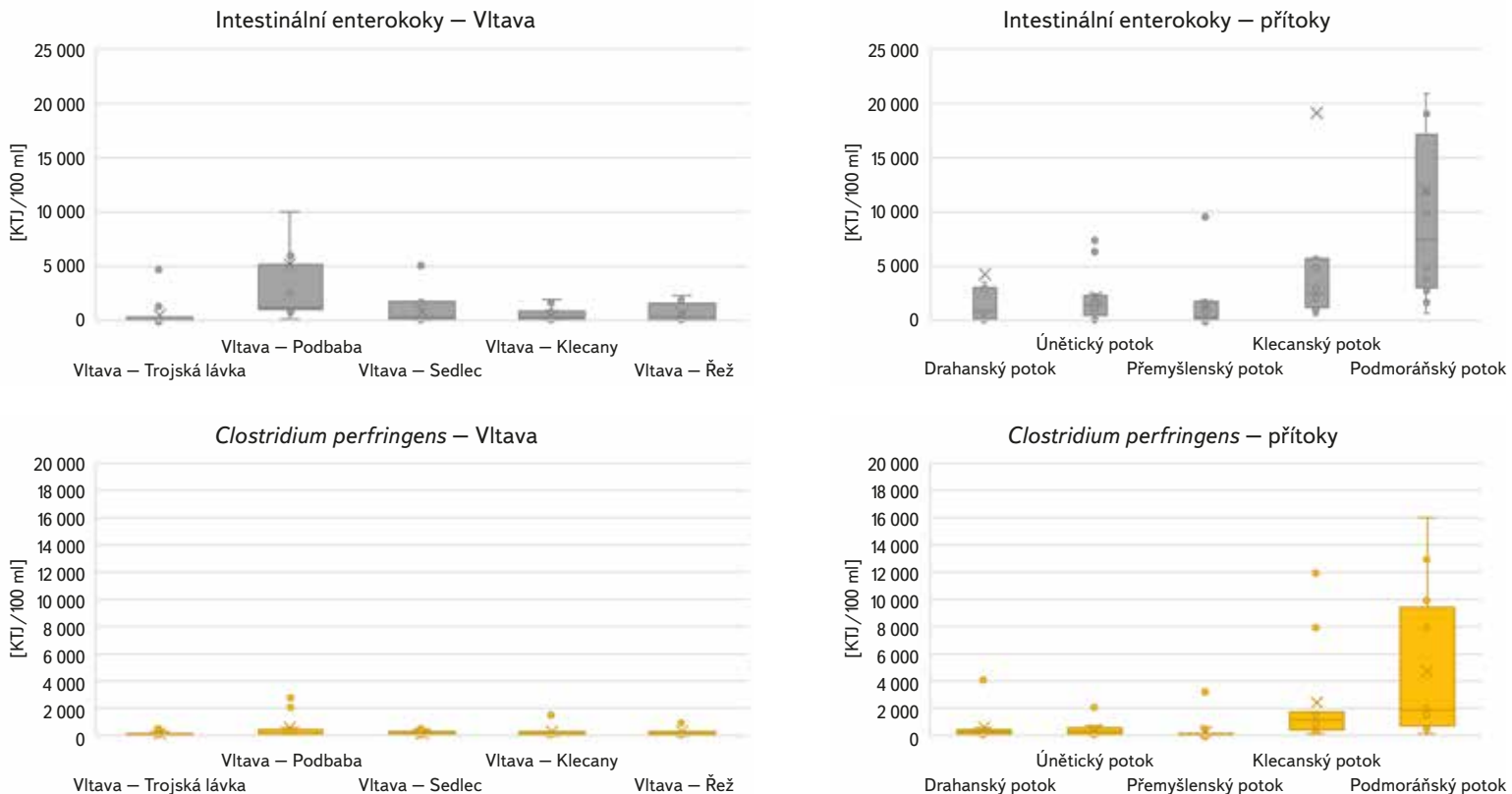
limitům pro „přijatelnou“ jakost. Profil je umístěn nedaleko slalomového kanálu Troja, kde dochází k častému kontaktu kanoistů s vodou. V dalším úseku vodního toku pod zaústěním ÚČOV se hodnoty pod limitem pro nepřijatelnou jakost objevovaly jen sporadicky. Lepší situace byla u intestinálních enterokoků. Na profilu Vltava – Řež vzdáleném cca 10 km od ÚČOV byly v období vhodném pro rekreaci, tj. od května do září, zjištěny počty KTJ v obou ukazatelích již v 70 % odpovídající limitům pro „přijatelnou“ jakost. Některé odběry byly prováděny po silných deštích, které negativně ovlivnily kvalitu vody (obr. 15).



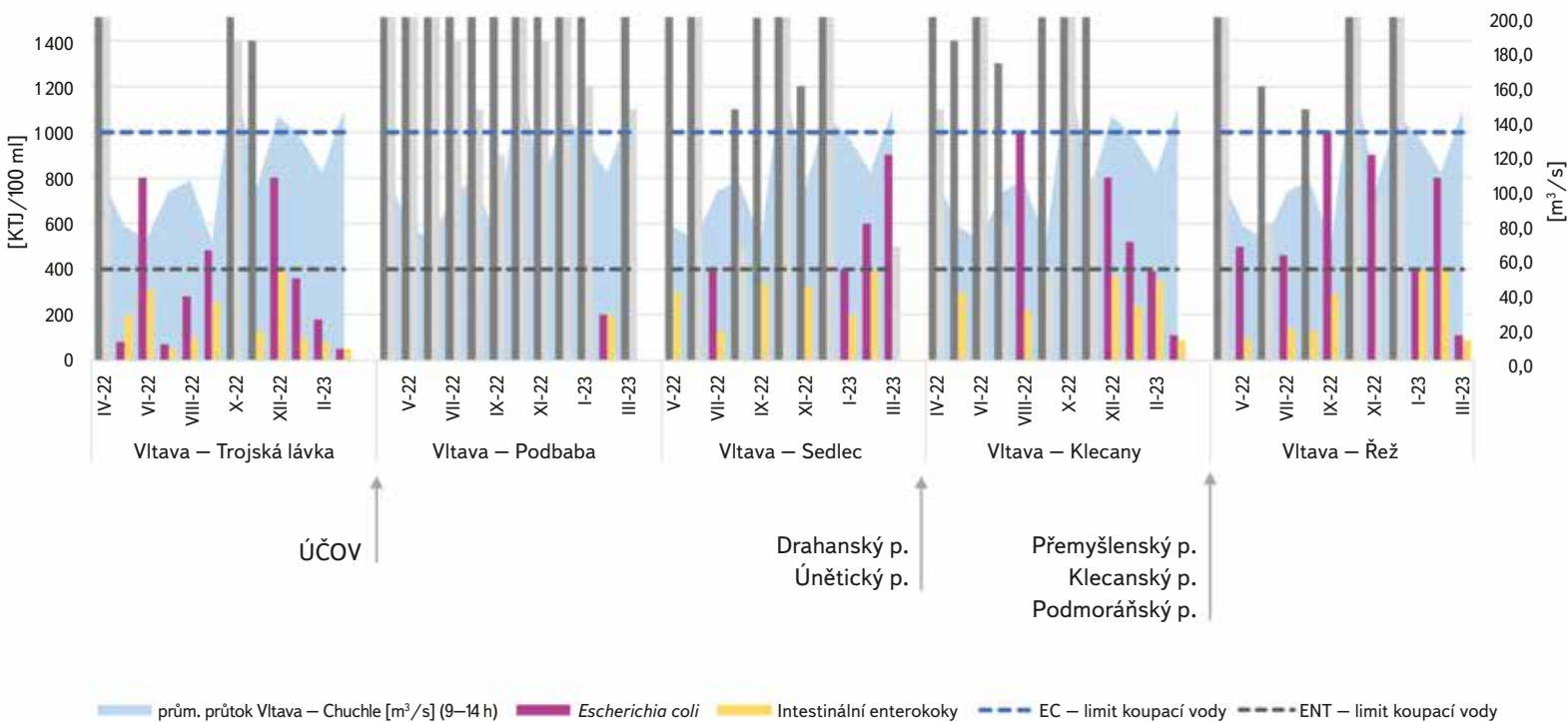
Obr. 5. Orientační určení kvality vody podle ČSN 75 7221 pro termotolerantní (fekální) koliformní bakterie a intestinální enterokoky

Fig. 5. Sampling sites pollution rate of thermotolerant (fecal) coliform bacteria and intestinal enterococci according to Czech technical norm ČSN 75 7221

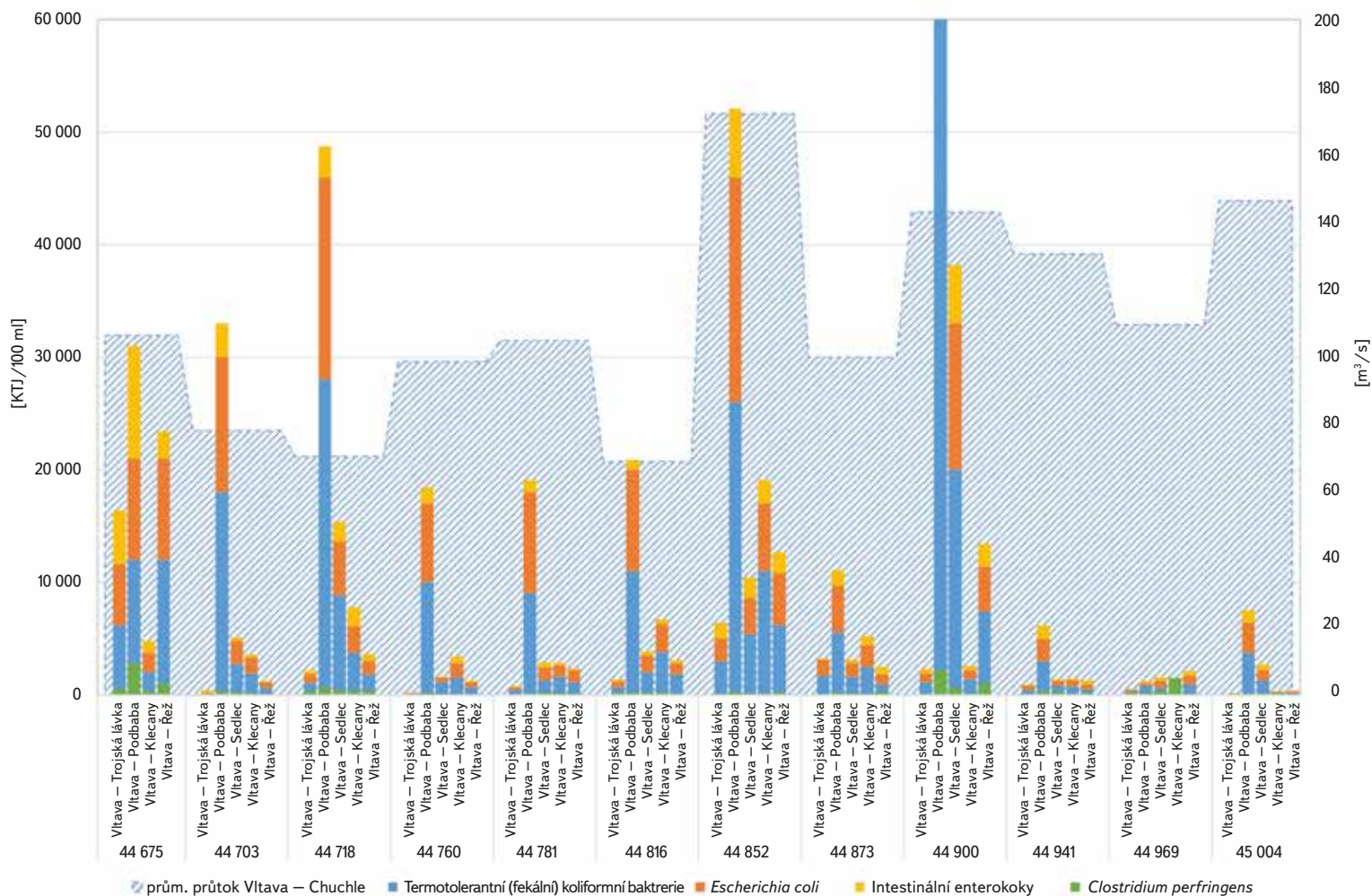




Obr. 6–13. Mikrobiální kvalita vody na sledovaných profilech Vltavy a přítoků  
 Fig. 6–13. Microbial water quality of monitored sites of the Vltava and its tributaries



Obr. 14. Sezonní průběh počtů vybraných mikrobiologických ukazatelů ve Vltavě; šedou barvou jsou vyznačeny sloupce s hodnotami přesahujícími limit koupací vody *E. coli* (tmavě šedá) a limit koupací vody u intestinálních enterokoků (světle šedá)  
 Fig. 14. Seasonal progress of selected microbial indicators in the Vltava; columns with values exceeding the bathing water limits are represented in gray color – dark gray for *E. coli*, light gray for enterococci



Obr. 15. Součet sledovaných mikrobiálních indikátorů v průběhu monitoringu v porovnání s průtoky Vltavy

Fig. 15. Sum of selected microbial indicators during the monitoring in comparison of Vltava's flow rate

## DISKUZE

Provedená studie měla za cíl zmonitorovat aktuální stav jakosti vody ve Vltavě od Trojské lávky po pěší lávku v Řeži, spolu s několika významnějšími přítoky, do nichž jsou zaústěny menší ČOV. Kvalita vody v této části Vltavy není systematicky sledována a nabízí předpoklad velmi silného znečištění jak z mnoha zdrojů po průtoku Prahou, tak zaústěním čistěných odpadních vod z ÚČOV Praha na Císařském ostrově. Roční monitoring této oblasti byl cílen na zjištění omezení využitelnosti vltavské vody pro její další užívání, např. pro rekreaci a závlahy. Výsledky ukázaly, že Vltava má obrovskou kapacitu příjmu znečištění a jeho eliminace. Nicméně využitelnost vody pro rekreaci je v relativně krátkém úseku pod ústím ÚČOV zcela omezena. Po několika kilometrech však dochází z pohledu mikrobiální kontaminace k regeneraci vodního toku, pravděpodobně díky silnému naředění, sedimentaci a aktivním samočisticím procesům. Přestože studie nebyla zaměřena na sledování změn vlivem klimatických epizod, bylo zjištěno, že oba extrémní stavy – sucho s nízkými průtoky a silné příválové deště – mají negativní vliv na aktuální jakost vody. Nízké průtoky omezí možnost naředění přinášeného znečištění, které bylo patrné již na kontrolním profilu v Troji, naopak příválové deště zhoršují kvalitu vody ve Vltavě i v přítocích vlivem splachů plošného znečištění a zaústěním dešťových odlehčovačů přímo do recipientů.

Mikrobiální jakost vody ve Vltavě pod Prahou nebyla v uplynulých letech systematicky sledována nebo data nebyla publikována. Profily sledované v rámci

programu monitoringu povrchových vod jsou v úseku Vltavy pod Prahou poměrně málo husté z důvodu větší velikosti vodních útvarů. Vltava je pravidelně monitorována v reprezentativních proflech Vrané nad Vltavou a Zelčín. Na území Prahy je podrobně sledována jakost vody na profilu Vltava – Podolí a základní fyzikálně-chemické a mikrobiologické ukazatele jsou sledovány na profilu Praha – Troja. Na profilu Praha – Podolí provádějí monitoring také Pražské zedárny a kanalizace, a. s.

První, zcela unikátní bakteriologická studie Vltavy byla provedena roku 1931 Křebou a Dvořákem [5, 12]. V rámci této studie došlo k jednorázovému sledování přítomnosti mikroorganismů. Odběry byly provedeny v krátkém časovém intervalu (3 dny) v dubnu, aby byly co nejméně ovlivněny klimatickými a jinými faktory. Ve vytyčeném úseku, který začínal nad Prahou zbraslavským mostem a končil pod Prahou pod jezem v Roztokách, byly odebrány vzorky z obou břehů. Odběrová místa byla volena tak, aby bylo možné zachytit každý zdroj znečištění. V souladu s tehdejšími metodami byly stanoveny „počty *bact. coli* v 1 l“ (modifikovaná Ficker-Partišova metoda na Endo agaru) a „počty zárodků v 1 ml“. Předpokládáme, že metoda stanovení *bact. coli* by mohla být srovnatelná s dnešní metodou stanovení koliformních bakterií na Endo agaru [4]. Porovnání historických a současných dat je uvedeno v tab. 5.

Dalším zdrojem starších dat byla studie Baudišové [13, 14], jež se v roce 1997 věnovala mikrobiální jakosti vody v Labi a dolní Vltavě. Studie byla zaměřena

na jakost vody před ústím Vltavy do Labe a byly v ní sledovány koliformní bakterie a termotolerantní (fekální) koliformní bakterie. Zjištěné hodnoty na profilech Podolí, Troja, Roztoky a Zelčín jsou uvedeny v tab. 5. Porovnání hodnot koliformních bakterií v 1 l vody z uvedených tří období ukázalo na řádový pokles mikrobiální kontaminace od roku 1931 na profilech Podbaba a Roztoky. Ve všech třech

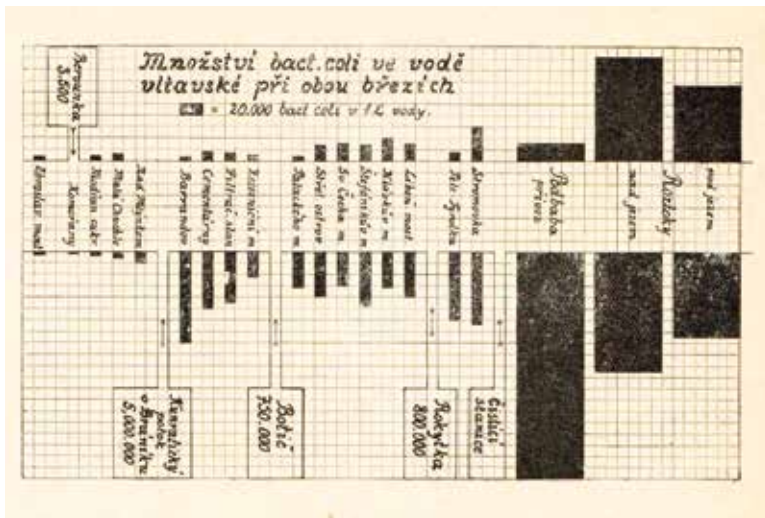
obdobích je patrné zvýšení mikrobiální kontaminace pod zaústěním ÚČOV, přičemž současný stav je díky pokročilým čistírenským technologiím nejpříznivější.

Tab. 5. Porovnání současného stavu s historickými údaji o fekálním znečištění Vltavy

Tab. 5. Comparison of present fecal pollution situation with historical data

	1931 (Kredba)	1996 (Baudišová)	2022–2023	
<b>Místo odběru</b>	<i>bact. coli</i> (levý/pravý břeh) – jednorázový odběr	Koliformní bakterie (roční průměr)	Termotolerantní (fekální) koliformní bakterie (roční průměr)	Termotolerantní (fekální) koliformní bakterie (roční průměr)
			[KTJ/1 000 ml]	
<b>Podolí</b>	-	77 000	22 000	-
<b>Troja</b>	-	57 000	23 000	12 500
<b>Stromovka přívoz</b>	30 000/64 000	-	-	-
<b>Podbaba</b>	94 000/1 200 000	-	-	171 670 (levý břeh)
<b>Roztoky nad jezem</b>	550 000/630 000	2 384 000	922 000	2 000*
<b>Roztoky pod jezem (Klecany)</b>	400 000/450 000	-	-	25 750 (levý břeh)
<b>Zelčín (před ústím do Labe)</b>	-	1 309 000	576 000	-

\*jednorázový odběr 25. dubna 2022



Obr. 16. Množství *bact. coli* ve Vltavě v roce 1931

Fig. 16. Amount of *bact. coli* in the Vltava river in 1931

## ZÁVĚRY

Aktualizace historických dat popisujících mikrobiální kontaminaci vody ve Vltavě pod Prahou ukázala na příznivý trend vývoje, který je důsledkem zlepšujících se technologických postupů čištění odpadních vod.

Bylo zjištěno, že fekální kontaminace kontrolního profilu Vltava – Troja je neočekávaně nízká, přestože získává znečištění z mnoha zdrojů na území hlavního města Prahy. Voda na tomto profilu vykazovala v období, kdy by mohla být rekreačně využívána, „přijatelnou“ jakost podle Vyhlášky č. 238/2011 Sb.

Jakost vody na ostatních profilech byla silně ovlivněna vypouštěnými čišťnými odpadními vodami z obou vodních linek ÚČOV a v oblasti poblíž

odběrového profilu byla silně snížena její další využitelnost, zejména pro rekreaci.

V dalším úseku vodního toku Vltavy však došlo díky nařazení, sedimentaci a čistícím procesům k rychlému zlepšení stavu a jakost vody na vzdálenějších profilech již při některých odběrech v období možné letní rekreace vykazovala „přijatelnou jakost“.

Přestože studie nebyla zaměřena na sledování změn vlivem klimatických epizod, bylo zjištěno, že oba extrémní stavy – sucho s nízkými průtoky a silné přivalové deště – mají negativní vliv na aktuální jakost vody. Nízké průtoky omezí možnost nařazení přinášeného znečištění, které bylo patrné již na kontrolním profilu v Troji, naopak přivalové deště zhoršují kvalitu vody ve Vltavě i v přítocích vlivem splachů plošného znečištění a zaústěním dešťových odlehčovačů přímo do recipientů.

Studie ukázala poměrně dobrý potenciál možného využití Vltavy v Praze i pod Prahou, s výjimkou úseku silně ovlivněného ústím čistěných odpadních vod z ÚČOV Praha. Obecně by bylo vhodné zaměřit se na zvýšení informovanosti prostřednictvím této i podobných studií, aby mohla být voda lépe využívána a naopak, aby neznamenala hygienicky významné riziko (možnost přítomnosti patogenních mikroorganismů, včetně nositelů antibiotické rezistence) při jejím nevhodném využívání.

S ohledem na rostoucí požadavky na ochranu zdraví lidské populace a zlepšování jakosti vody v tocích na úroveň standardů evropských směrnic je nezbytné zaměřit více pozornosti na monitoring mikrobiologických ukazatelů jakosti vody, než zabezpečuje současný rutinní systém sledování.

## Poděkování

Príspevek vznikl za podpory Institucionálních prostředků na rozvoj výzkumné organizace VÚV TGM v rámci interního grantu č. 3600.52.24/2022 a projektu SS02030008 „Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost“ (CEVOOH).

## Literatura

- [1] FUKSA, J. K., SMETANOVÁ, L. The Influence of the City of Prague on Pollution of Vltava and Czech Elbe. In: *Magdeburský seminář o ochraně vod MGS-2021. Sborník abstraktů*. Magdeburg: MKOL/IKSE, 2021, s. 133–134.
- [2] FUKSA, J. K., SMETANOVÁ, L. Vliv Prahy na jakost vody ve Vltavě a v českém Labi. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2022, 64(3), s. 4–14. DOI: 10.46555/VTEI.2022.03.002.
- [3] BAUDIŠOVÁ, D., BOBKOVÁ, Š., JAKUBŮ, V., JELIGOVÁ, H., KOŽÍŠEK, F. Bakterie z čeledi *Enterobacteriaceae* v recyklovaných vodách, metody jejich stanovení a citlivost na vybraná antibiotika. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2022, 64(4), s. 4–10. DOI: 10.46555/VTEI.2022.05.002.
- [4] BAUDIŠOVÁ, D. *Metody mikrobiologického rozboru vody (příručka pro analytické laboratoře)*. Praha: VÚV TGM, v. v. i., 2020. 124 s. Výzkum pro praxi, sešit 65.
- [5] KREDBA, M., DVOŘÁK, V. Znečištění Vltavy v Praze. Bakteriologická studie. *Časopis lékařů českých*. 1931. [6] ČSN 75 7835. *Jakost vod – Stanovení termotolerantních koliformních bakterií a Escherichia coli*, duben 2009, 12 s.
- [7] ČSN EN ISO 7899-2. *Stanovení fekálních streptokoků. Část 2: Metoda membránových filtrů*, květen 2001, 12 s.
- [8] Vyhláška č. 252/2004 Sb., Příloha 6 – Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, duben 2004, 18 s.
- [9] ČSN 75 7221. *Kvalita vod – Klasifikace kvality povrchových vod*, listopad 2017, 17 s.
- [10] Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., *Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitosti povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech*, leden 2016, 69 s.
- [11] Vyhláška č. 238/2011 Sb., *Vyhláška o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch*, srpen 2011, 87 s.
- [12] KREDBA, M., DVOŘÁK, V., BYČICHIN, A. Znečištění Vltavy a Labe pod Prahou. Bakteriologická studie. *Časopis lékařů českých*. 1932.
- [13] BAUDIŠOVÁ, D., FUKSA, J. Jakost vody v Labi a dolní Vltavě – mikrobiologické ukazatele. *Bulletin Projektu Labe*. 1997, 13.
- [14] BAUDIŠOVÁ, D. Mikrobiální zatížení Labe. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 1998, 40(11–12), s. 409–416. ISSN 0322-8916.
- [15] ČSN 75 7143 (757143). *Jakost vod. Jakost vody pro závlahu*.

## Autoři

### RNDr. Hana Zvěřinová Mlejnková, Ph.D.

✉ hana.mlejnkova@vuv.cz  
ORCID: 0000-0002-3892-6226

### Mgr. Adam Šmída

✉ adam.smida@vuv.cz  
ORCID: 0009-0008-8187-6966

### Ing. Vojtěch Valášek

ORCID: 0000-0002-8676-9288

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Príspevek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2023.05.002

## THE INFLUENCE OF WASTEWATER ON MICROBIAL CONTAMINATION OF THE VLTAVA UNDER PRAGUE

ZVĚŘINOVÁ MLEJNKOVÁ, H.; ŠMÍDA, A.; VALÁŠEK, V.

T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

**Keywords:** microbial contamination – Vltava – WWTP – fecal pollution

In terms of public health care the most important indicator in surface water surveillance is microbial fecal contamination. The most significant source of microbial contamination of surface water is waste water from WWTPs. Around 90 % population of CR use their local public sewage system which is linked to WWTP, cleaned and discharged to recipient waters. Monitoring of the microbial contamination of the Vltava river below the Prague WWTP showed the level of fecal pollution in the 10km section below the wastewater estuary in periods with different flow rates. Smaller tributaries of the Vltava, which bring treated wastewater from local WWTPs to the Vltava, were monitored as additional sources. From April 2022 to March 2023, the numbers of *Escherichia coli*, enterococci, thermotolerant coliform bacteria and *Clostridium perfringens* were monitored on 10 profiles. The monitoring results showed relatively significant microbial pollution of the Vltava river in the area of Prague WWTP discharge but simultaneously shows the river's substantial self-cleaning ability. This creates a good potential for the river's future utilization in the monitored area with the exception of the WWTP area. This study could be used to raise public awareness in order to minimize the health risk (possible presence of pathogenic microorganisms including the carriers of antimicrobial resistance) caused by the river's inappropriate utilization.



Foto: H. Zvěřinová Mlejnková

# Aplikace pro parametrizaci a automatizaci srážkoodtokového modelu HEC-HMS

JAN UNUCKA, ALENA KAMÍNKOVÁ

**Klíčová slova:** hydrologické modelování – HEC-HMS – HEC-RAS – GIS – automatizace spouštění – parametrizace modelů

## ABSTRAKT

V tomto příspěvku je prezentována aplikace vyvinutá v Českém hydrometeorologickém ústavu (ČHMÚ) pro podporu hydrologického modelování za primárního využití modelu HEC-HMS. Aplikace umožňuje hromadnou editaci vybraných parametrů schematizací modelu, automatické spouštění simulací, zobrazování vybraných výsledků simulací a komunikaci modelu HEC-HMS s GIS a dalšími vybranými modely, např. HEC-RAS nebo MIKE 11. Aplikace je koncipována tak, aby využívala pouze freeware a open source knihovny a je schopna provozu pod OS Windows i OS UNIX/Linux. Článek stručně popisuje současný stav vývoje aplikace a její funkcionality i pro čtenáře bez většího infromatického zázemí. Další vývoj je nastíněn v poslední části příspěvku. Budoucí rozvoj aplikace je směřován k vyšší podpoře hydraulického modelování na úrovni samotné komunikace mezi modely HEC-HMS a HEC-RAS a také na úrovni automatické parametrizace a spouštění modelu HEC-RAS a jeho komunikace s ostatními nástroji, např. hydraulickým modelem MIKE 11 nebo GIS postprocesingem výsledků.

## ÚVOD

Software pro srážkoodtokové modelování HEC-HMS (Hydrologic Engineering Centre Hydrologic Modelling System) patří k celosvětově nejrozšířenějším a jeho obliba vzrůstá. Jedním z hlavních důvodů je fakt, že je distribuován coby freeware včetně bohaté dokumentace [7]. Mezi další důvody můžeme zahrnout stále se rozšiřující paletu metod pro hydrologickou i hydraulickou transformaci v semi- i plně distribuovaném řešení (např. SCS-CN, Green-Ampt, SAC-SMA, kinematická vlnová aproximace, Muskingum-Cunge, lineární nádrž) a také to, že je validován a zařazen na seznam průmyslových standardů FEMA/NFIP [8]. V neposlední řadě je to i možnost komunikace s hydraulickým modelem HEC-RAS a modelem pro operativní simulaci a optimalizaci provozu vodohospodářských soustav HEC-ResSim, přičemž možnosti integrace výrazně zvyšují platformy HEC-WAT (Watershed Analysis Tool) a HEC-RTS (Real Time Simulation). Další nezanedbatelnou výhodou je i možnost provozu na více operačních systémech, konkrétně Windows, UNIX/Linux a macOS. Tento software je používán v ČHMÚ pro posudkovou činnost, hydrologické analýzy a na pobočce Ostrava spolu se srážkoodtokovým modelem HYDROG i pro operativní hydrologickou prognózu v rámci Hlásné a předpovědní povodňové služby (HPPS) ČR. Pro operativní hydrologickou prognózu jsou důležité i další aspekty, přičemž mezi ty nejdůležitější můžeme zařadit možnost automatické či poloautomatické úpravy vybraných parametrů, kalibrace a optimalizace a také automatického spouštění. Software HEC-HMS disponuje v nových verzích pokročilým API (Application Programming Interface) rozhraním založeným na jazycích Java, Python a Jython. Proto v ČHMÚ Ostrava postupně vznikala aplikace, která tyto automatické a poloautomatické funkcionality HEC-HMS

uživatelsky zpřístupňuje a rozšiřuje. Základní motivací bylo zkrácení doby zpracování vstupních a výstupních dat srážkoodtokového modelování a také plně nebo částečné zautomatizování některých kroků v rámci srážkoodtokového modelování samotného, např. update parametrů metod odtokové ztráty podle ukazatele předchozích srážek či konverze schematizací mezi metodami SCS-CN a Green-Ampt.

## Provoz modelu HEC-HMS na pobočce ČHMÚ Ostrava

Srážkoodtokový model HEC-HMS byl na pobočce ČHMÚ Ostrava postupně zaváděn a testován od roku 2013. Rutinně je provozován pro predikci průtoků na vybraných hlásných profilech na vodních tocích v územní působnosti pobočky od roku 2017 a slouží jako podpůrný systém, který je využíván během rozhodovacího procesu při vydávání výstražných informací o povodňových jevech v rámci Systému integrované výstražné služby [5]. Data pro srážkoodtokové modelování se exportují z databázového systému CLIDATA, konkrétně z modulu SOMDATA [3] v požadovaném formátu a struktuře a následně dochází k importu do databázového systému HEC-DSSVue [6], který využívá spolu s dalšími nástroji USACE/HEC i model HEC-HMS. Po samotném výpočtu v modelu HEC-HMS jsou pak výsledky exportovány z databáze HEC-DSSVue a opět v požadovaném formátu importovány zpět do databáze CLIDATA pro další využití v operativní praxi.

Pro vlastní predikci průtoků v modelu HEC-HMS je k dispozici modul Forecast Alternatives (dále Forecast), v němž se nastavuje datum a čas simulace a predikce, dále se modul napojuje na konkrétní model povodí (Basin), určí se meteorologický model a zadají se konfigurace, kterými lze upravovat (kalibrovat) parametry modelu (nastavené metody hydrologické a hydraulické transformace srážky a základního odtoku) [7]. Přednostmi používání v operativním provozu jsou přehledné uživatelské prostředí, rychlost samotného výpočtu a možnost kalibrace jednotlivých parametrů. Vzhledem k výše popsaným krokům se pro zefektivnění a zrychlení práce nabízí zautomatizování jednotlivých částí výpočtu. Výsledkem by mělo být urychlení exportu dat i zjednodušení a zrychlení samotného nastavení modulu Forecast, zejména změny parametrů pro kalibraci a automatické změny času simulace a predikce.

## Popis rozhraní a funkcionalit aplikace

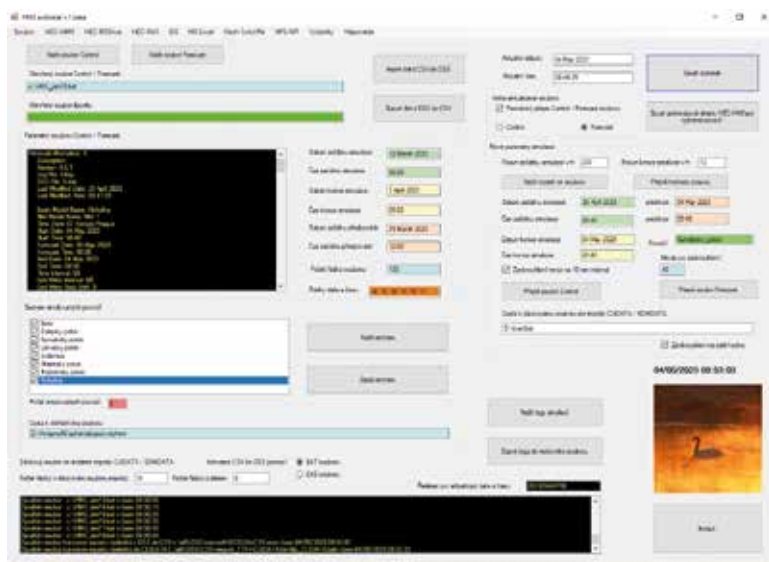
Jelikož HEC-HMS samotný je multiplatformní, aplikace vznikala rovněž ve variantě pro OS Windows a OS Linux (testováno na distribucích openSUSE, Mageia a Ubuntu). Dalším požadavkem byla modularita, kdy doplnění nebo změna funkcí nemusí znamenat zásah do základního kódu aplikace. Z programovacích jazyků



a vývojových prostředí byly využity Microsoft Visual Studio NET Enterprise 2022 (C++ a některé moduly Visual Basic), Java (Apache NetBeans), Python a Jython (Visual Studio Code nebo IronPython). Doprovodné skripty a dávkové soubory byly vytvořeny v prostředí Windows PowerShell nebo Bash (Bourne Again Shell) pro Linux.

Mezi základní funkcionality aplikace patří:

1. Automatické spuštění modelu HEC-HMS včetně automatického přepisu časových parametrů řídicích souborů (Control nebo Forecast).
2. Automatický update skriptů pro stahování dat z DBS ORACLE (CLIDATA) podle času vyvolání importů a simulace.
3. Automatická nebo poloautomatická úprava parametrů vybraných metod podle ukazatele předchozích srážek (v tuto chvíli pro metody SCS-CN a Green-Ampt).
4. Konverze schematizací modelu mezi metodami SCS-CN a Green-Ampt.
5. Automatická a hromadná úprava vybraných parametrů v souborech Forecast (tzn. nastavení parametrů, zón a alternativ předpovědi).
6. Prohlížení a základní editace GIS dat schematizací (za využití knihoven GDAL, SharpMap a MapWindow GIS).
7. Statistické vyhodnocení simulovaných hydrogramů (např. dle koeficientu Nash-Sutcliffe).
8. Zobrazování výsledků simulací (dispečerské okno pro vyvolání hydrogramů a hetogramů).
9. Propojení s hydraulickými modely HEC-RAS a DHI MIKE 11 (předávání hydrogramy pro zvolené výpočetní uzly a update časových parametrů simulace pro neustálení proudění).
10. Exporty dat do MS Excel či ASCII formátů (CSV).



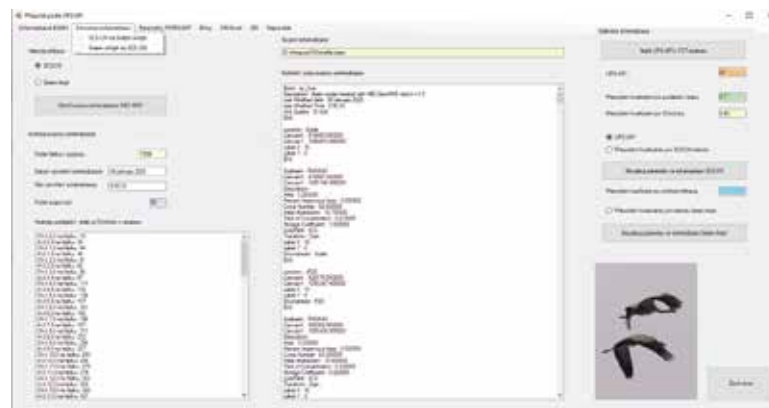
Obr. 1. Základní uživatelské rozhraní a hlavní okno aplikace  
Fig. 1. Basic user interface and the main window of the application

Základní rozhraní a hlavní okno aplikace je znázorněno na obr. 1, přičemž další funkcionality a okna se vyvolávají z hlavního menu.

Okno pro úpravu parametrů schematizací založených na metodách SCS-CN a Gren-Ampt ilustruje obr. 2. Funkce úpravy schematizace načítá klíčové parametry ze souboru Basin, např. v případě metody SCS-CN hodnoty počáteční ztráty a CN křivky pro jednotlivé povodí. Ty pak lze podle ukazatele předchozích srážek nebo přepočtením koeficientem upravit. U metody SCS-CN jde o úpravu dle AMC (Antecedent Moisture Conditions) [1, 4, 7], u metody Green-Ampt opět o parametr počáteční ztráty, sacího vztlaku a hydraulické vodivosti [1, 7]. Na těchto principech funguje i konverze schematizací mezi metodami SCS-CN a Green-Ampt. Tato konverze je nezávislá na použité metodě hydraulické transformace a základního odtoku, pracuje tedy jen s vybranými parametry odtokové ztráty (Loss method) [7].

Vzhledem k tomu, že HEC-HMS ve verzích 4.x disponuje silnou podporou GIS funkcí a datových typů (ESRI shapefile, ASCII rastr, GeoTIFF apod.) a lze očekávat, že schematizace modelů probíhá dominantně v GIS prostředí, aplikace jako taková disponuje prohlížečem vstupních GIS dat (podpora rastrů i ESRI shapefile). Pro tuto funkcionalitu je nutné mít nainstalovány knihovny GDAL, ostatní knihovny jsou zahrnuty přímo v aplikaci. Všechny knihovny pro podporu GIS jsou open source, není tedy nutná instalace komerčního GIS softwaru na daném počítači. Knihovny GDAL se pro OS Windows i OS Linux instalují spolu s HEC-HMS, popř. GRASS GIS či QGIS. Nastavení cest pro oba operační systémy probíhá nejčastěji automaticky, a tak není třeba dalších uživatelských zásahů. Skripty pro samotné spuštění simulací HEC-HMS používají tyto implicitní adresářové cesty.

Aplikace na úrovni automatického spuštění importů a konverzí dat a spuštění skriptů HEC-HMS umožňuje nepřetržitý provoz, kdy se jen uživatelsky nastaví, v jakých intervalech se jednotlivé kroky opakují. Během tohoto automatizovaného běhu je možné interaktivně pracovat v ostatních uživatelských oknech, jako jsou GIS, update schematizace, dispečerské okno pro výsledky simulací nebo statistické vyhodnocení simulací.



Obr. 2. Grafické rozhraní aplikace pro automatický update a konverze schematizací HEC-HMS  
Fig. 2. Graphical interface for the automatic update and conversion of HEC-HMS schematizations

## Další rozvoj aplikace

Cílem vývoje a následného provozu této aplikace není duplikovat funkce komplexních rozhraní typu FEWS nebo HEC-RTS, nýbrž podpora parametrizace a automatizace srážkoodtokového a hydraulického modelování pro uživatele, kteří nemají zkušenosti s programováním skriptů a mají pouze základní znalosti o struktuře dat a souborů modelů HEC-HMS a HEC-RAS. Jelikož se v tuto chvíli teprve rozvíjí podpora modelu HEC-RAS pro OS UNIX/Linux a jeho dosavadní možnosti skriptování byly založeny na jazyku VBA (Visual Basic for Applications) [2], další rozvoj

funkcionalit aplikace je plánován zejména tímto směrem. Dokumentaci podpory aktuální verze HEC-RAS pro OS Linux lze nalézt na jeho webových stránkách [9].

Další okruh proročkování představují samotné logy simulací modelu HEC-HMS a systém logování chyb (Error), upozornění (Warning) a notifikací (Note) [7]. To spolu se systémem reportů vytváří komplexní strukturu souborů a informací, jež se zejména začínajícím uživatelům může jevit jako nepřehledná.

Proto se aktuálně pracuje na funkci filtrování logů takovým způsobem, aby si uživatel mohl zvolit, které informace jsou pro něj relevantní, a ty se pak zobrazí buď v dialogovém okně, nebo budou exportovány do textového souboru.

Posledním hlavním okruhem je podpora hydraulického modelu MIKE 11/1D a modelu urbánní hydrologie EPA SWMM. Důvodem je aktuální absence možnosti simulace proudění v potrubích a uzavřených profílech na úrovni modelu HEC-HMS.



Obr. 3. Dispečerské okno aplikace pro zobrazování výsledků simulací HEC-HMS

Fig. 3. Window for the result viewing of HEC-HMS simulations for the decision making

Základní motivace tedy zůstává stejná – rozvoj funkční aplikace, která zjednoduší a urychlí práci s modely HEC-HMS a HEC-RAS a zefektivní jejich komunikaci se správcem datových sad HEC-DSSVue, databázovými systémy, GIS nebo dalšími modelovacími nástroji pro interaktivní uživatelskou práci i automatické spouštění simulací.

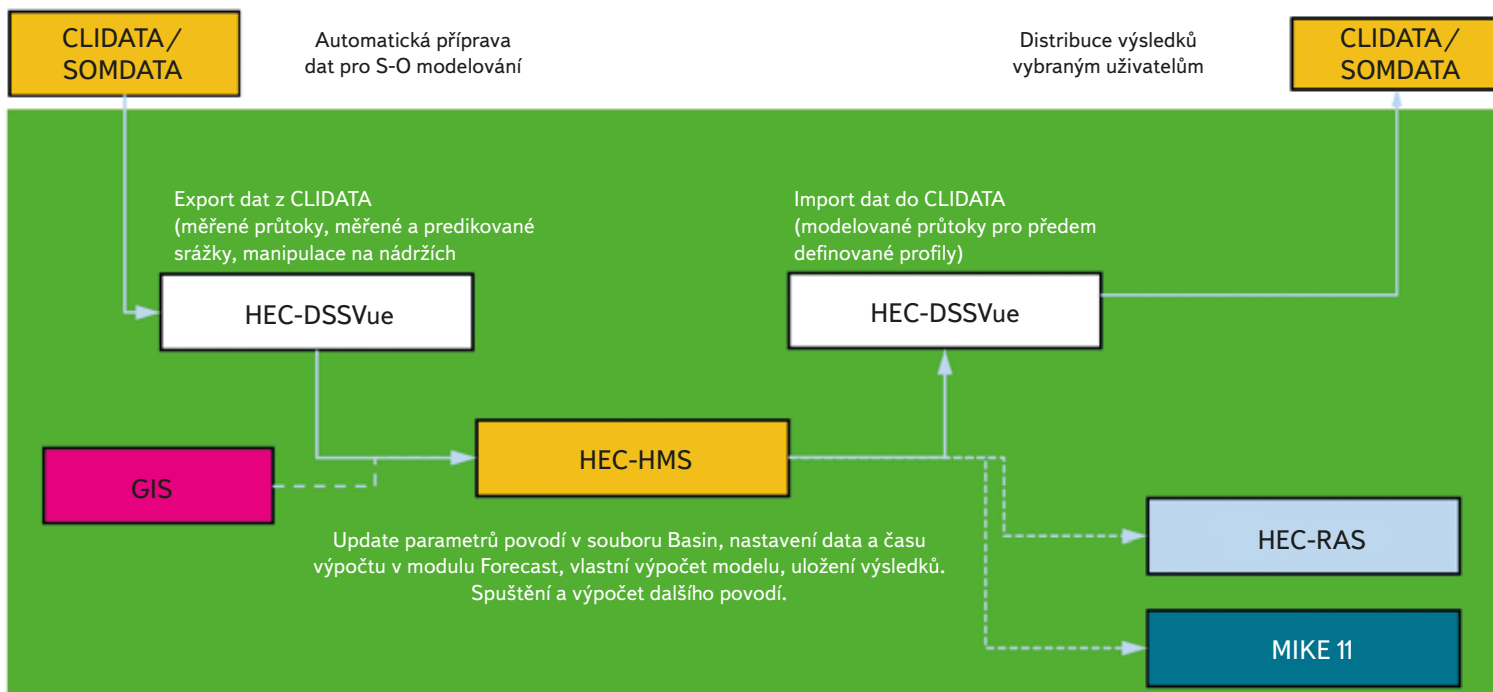
## ZÁVĚR

V tuto chvíli byl tedy naplněn cíl zefektivnění a urychlení dílčích kroků v rámci celé kaskády operativní hydrologické prognózy, včetně automatizace vybraných procesů na úrovni zpracování dat i samotného srážkoodtokového modelování s tím, že pokračuje vývoj dalších funkcionalit. Základní schéma toku dat v aplikaci ilustruje obr. 4. Spojnice s plnou čarou znázorňují základní toky dat, jež se opakují při každé iteraci výpočtu, spojnice s přerušovanou čarou pak volitelné toky dat, které jsou řízeny uživatelem ručně či v rámci parametrizace automatického výpočtu.

Aplikace vznikla pro potřeby operativní hydrologické prognózy ČHMÚ; jelikož jsou však modely HEC-HMS a HEC-RAS využívány v ČR dalšími institucemi a odborníky, základní verze pro OS Windows (s omezením vybraných funkcionalit pro potřeby operativní prognózy HPPS ČR) bude výhledově dostupná ke stažení, popř. je možné kontaktovat autory aplikace a článku.

## Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu „Predikce, hodnocení a výzkum citlivosti vybraných systémů, vlivu sucha a změny klimatu v Česku, PERUN“ (SS02030040), který je podporován Technologickou agenturou ČR.



Zautomatizování všech kroků výpočtu, zrychlení výpočtů řádově na minuty.

Obr. 4. Tok dat v aplikaci

Fig. 4. Data flow in the application

## Literatura

- [1] BEDIENT, P. B., HUBER, W. C., VIEUX, B. C. Hydrology and Floodplain Analysis. 4th edition. London: Prentice Hall, 2007. 795 s. ISBN 978-0131745896.
- [2] GOODSELL, CH. R. Breaking the HEC-RAS Code: A User's Guide to Automating HEC-RAS. H2LS, Portland 2014. 278 s. ISBN 978-0990891802.
- [3] KOSÍK, O., KRÍŽKA, F., WALDER, J., ŽIDEK, D. Využití databázového systému CLIDATA v hydrologii. Praha: ČHMÚ, 2017. ISBN 978-80-87577-71-4.
- [4] MISHRA, S. K., SINGH, V. P. Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology. Dordrecht: Kluwer Academic Press, 2003. 513 s. ISBN 1-4020-1132-6.
- [5] SIVS: Systém integrované výstražné služby (SIVS) a souvisejících výstupů ČHMÚ. 2023. [on-line] [vid. 28. duben 2023]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/informace-a-sluzby/prezentace-a-vyuka/SIVS>
- [6] USACE: *HEC-DSSVue User's Manual*. 2023 [on-line] [vid. 4. květen 2023]. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/dssdocs/dssvueum/hec-dssvue>
- [7] USACE: *HEC-HMS User's Manual*. 2021 [on-line] [vid. 4. květen 2023]. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.10>
- [8] FEMA/NFIP: *Hydrologic Numerical Models Meeting the Minimum Requirement of National Flood Insurance Program*. 2023 [on-line] [vid. 22. květen 2023]. Dostupné z: <https://www.fema.gov/flood-maps/products-tools/numerical-models/hydrologic>
- [9] [https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS\\_610\\_Linux\\_Build\\_Release\\_Notes.pdf](https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_610_Linux_Build_Release_Notes.pdf)

## Autoři

**doc. RNDr. Jan Unucka, Ph.D.**

✉ [jan.unucka@chmi.cz](mailto:jan.unucka@chmi.cz)

ORCID: 0000-0003-4339-0726

**Mgr. Alena Kamínková**

✉ [alena.kaminkova@chmi.cz](mailto:alena.kaminkova@chmi.cz)

ORCID: 0000-0003-3176-1331

Český hydrometeorologický ústav, Ostrava

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2023.05.001

## APPLICATION FOR THE PARAMETRIZATION AND AUTOMATIC RUNNING OF THE HEC-HMS RAINFALL-RUNOFF MODEL

**UNUCKA, J.; KAMÍNKOVÁ, A.**

Czech Hydrometeorological Institute, Ostrava

**Keywords:** hydrologic modelling – HEC-HMS – HEC-RAS – GIS – automatic launching – parametrization of models

This article presents an application developed in Czech Hydrometeorological Institute to support hydrologic modelling using the HEC-HMS model as the primary used rainfall-runoff model. The application enables group editing of selected parameters of the model schematization, automatic running of simulations, display of selected simulation results and communication of the HEC-HMS model with GIS and other selected models, e.g. HEC-RAS or MIKE 11. The application is designed to use only freeware and open source libraries and is capable of operating under both Windows OS and UNIX/Linux OS. This article briefly describes the current state of application development and its functionality even for readers without a major IT background. Further development is outlined in the last part of the paper. Further development of the application is aimed at higher support for hydraulic modelling at the level of communication between the HEC-HMS and HEC-RAS models, as well as at the level of automatic parameterization and launching of the HEC-RAS model and its communication with other tools, e.g. hydraulic model MIKE 11 or GIS post-processing of the results.



# Atmosférická depozice jako možný zdroj znečištění povrchových vod

(Výsledky projektu, část 2. – polycyklické aromatické uhlovodíky)

**FRANTIŠEK SÝKORA, TOMÁŠ MIČANÍK, SILVIE SEMERÁDOVÁ, IVAN SUCHARA, NIKOLA VERLÍKOVÁ, JULIE SUCHAROVÁ**

**Klíčová slova:** atmosférická depozice – povrchová voda – zdroje znečištění – polycyklické aromatické uhlovodíky

## ABSTRAKT

Ve dvou lesních mikropovodích na území České republiky byla od října 2020 do září 2021 sledována jakost mokré atmosférické depozice na volné ploše (bulk) a podkorunové depozice (throughfall) současně s jakostí povrchové vody v místní vodoteči, humusu a mechu travník Schreberův (*Pleurozium schreberi*). V tomto článku je prezentováno vyhodnocení zátěže výše uvedených matric 15 polycyklickými aromatickými uhlovodíky (PAU). První lokalita byla vybrána v Moravskoslezských Beskydách v oblasti významně ovlivněné průmyslovou činností – v Jablunkovské brázdě v katastru obce Bystřice v horní části povodí Suchého potoka (590 až 835 m n. m.), druhá lokalita byla zvolena jako referenční na Českomoravské vrchovině v blízkosti observatoře ČHMÚ Košetice (520 m n. m.). Byla potvrzena významná zátěž PAU v lokalitě Bystřice. Koncentrace  $\Sigma 15$  PAU za sledované období v mokré depozici na volné ploše činila  $0,785 \pm 0,579$  mg.l<sup>-1</sup> v lokalitě Bystřice a  $0,114 \pm 0,110$  mg.l<sup>-1</sup> v lokalitě Košetice. V podkorunové depozici byla koncentrace  $\Sigma 15$  PAU mírně vyšší:  $0,824 \pm 0,670$  mg.l<sup>-1</sup> v lokalitě Bystřice a  $0,203 \pm 0,141$  mg.l<sup>-1</sup> v lokalitě Košetice. Výrazně vyšší koncentrace PAU byly zjištěny ve spadech v chladné polovině roku. Úroveň atmosférického spadu  $\Sigma 15$  PAU v lokalitě Bystřice byla vypočtena na  $1\,098,7$  g.km<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup>, v lokalitě Košetice je 10 x nižší:  $102,7$  g.km<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup>. Svrchní vrstva půdy PAU a vegetační pokryv PAU sorbuje. Do povrchových vod se PAU dostávají erozním smyvem. Koncentrace  $\Sigma 15$  PAU v Suchém potoce v lokalitě Bystřice činila  $0,026 \pm 0,049$  mg.l<sup>-1</sup>, v Lesním potoce v lokalitě Košetice  $0,033 \pm 0,038$  mg.l<sup>-1</sup>. Látkový odtok z mikropovodí Suchého potoka tak tvořil jen 1 % atmosférického spadu mokrou depozicí a 2,8 % z povodí Lesního potoka. Poměr zastoupení fluoranthenu a pyrenu ve srážkách indikuje původ znečištění PAU ze spalovacích procesů (FLT/PYR > 1) v obou lokalitách. V depozici na volné ploše tento poměr činil v lokalitě Bystřice 1,6 a v lokalitě Košetice 1,5; v podkorunové depozici 1,5 (Bystřice) a 1,6 (Košetice). Říční sediment v Lesním potoce byl zatížen  $\Sigma 15$  PAU více ( $1,498 \pm 0,138$  mg.kg<sup>-1</sup>) než v Suchém potoce ( $0,340 \pm 0,109$  mg.kg<sup>-1</sup>) z důvodu odlišné zrnitosti dnových sedimentů s výrazně vyšším podílem jemných částic v Lesním potoce, ačkoli obsah  $\Sigma 15$  PAU ve svrchní vrstvě půdy byl v lokalitě Košetice 3,2 až 3,7x nižší než v lokalitě Bystřice. Obsah  $\Sigma 15$  PAU v mechu travník Schreberův byl v lokalitě Košetice 3x nižší než v exponované lokalitě Bystřice.

## ÚVOD

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) tvoří významnou skupinu látek, z nichž většina vykazuje nepříznivé účinky na vodní organismy i na člověka. Vzhledem k jejich perzistenci mají schopnost dlouho přetrvávat ve vodním prostředí.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES [1] ve znění směrnice 2013/39/EU [2] vybrané látky PAU zařadila na seznam prioritních látek, z nichž anthracen, benzo[a]pyren, benzo[b]fluoranthen, benzo[k]fluoranthen, benzo[g,h,i]perylene a indeno[1,2,3-cd]pyren jsou identifikovány jako prioritní nebezpečné látky. Podle Rámcové směrnice 2000/60/ES ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky [3], Článku 16 (Strategie proti znečišťování vod) je potřeba cíleně snižovat vypouštění, emise a úniky těchto látek, v případě prioritních nebezpečných látek jde dokonce o zastavení nebo postupné odstranění vnosu do životního prostředí. Požadavky výše uvedených směrnic byly implementovány do Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. [4].

Polycyklické aromatické uhlovodíky náleží k vsudyprítomným látkám, vyskytujícím se ve všech složkách životního prostředí. Jsou jednou z nejčastějších příčin nedosahování dobrého chemického i ekologického stavu povrchových vod (pozn.: PAU specifikované jako prioritní látky jsou v současné době předmětem hodnocení chemického stavu, ostatní PAU náleží do skupiny specifických znečišťujících látek, které jsou jednou ze složek hodnocení ekologického stavu útvarů povrchových vod). Norma environmentální kvality vyjádřená jako roční průměr je nejpřísnější pro benzo[a]pyren ( $0,17$  ng.l<sup>-1</sup>) a následně fluoranthen ( $6,3$  ng.l<sup>-1</sup>) [4].

To bylo také důvodem zařazení skupiny látek PAU do řešení projektu TA ČR SS01010231 „Dopady atmosférické depozice na vodní prostředí se zohledněním klimatických podmínek“, který byl realizován v období od března 2020 do prosince 2022. Cílem tohoto projektu bylo ověřit míru znečištění ve vytipovaných složkách životního prostředí, resp. zkoumat vazbu mezi nimi s dopadem na jakost povrchových vod, aby bylo možné v budoucnu lépe kvantifikovat tento dopad a navrhnout efektivní opatření pro dosahování dobrého chemického stavu povrchových vod z hlediska znečištění PAU. Pro řešení byly vybrány dvě odlišné lokality lesních minipovodí: jedna s významným antropogenním vlivem (horní část povodí Suchého potoka v katastru obce Bystřice v Moravskoslezských Beskydách) a druhá v referenční oblasti (Lesní potok v katastru obce Košetice nedaleko Národní atmosférické observatoře Košetice).

## POLYCYKICKÉ AROMATICKÉ UHLOVODÍKY V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ

Polycyklické aromatické uhlovodíky můžeme nalézt ve všech složkách životního prostředí. To je dáno tím, že dominantním zdrojem znečištění jsou spalovací procesy, jež jsou jak přirozeného, tak antropogenního původu. Nejvýznamnějším přirozeným zdrojem PAU jsou vulkanická činnost, požáry vegetačního pokryvu a některé sedimentované horniny. Antropogenní emise PAU neprůmyslového

charakteru vznikají cíleným vypalováním vegetace, z domácích topenišť či kouřením. V průmyslu jsou dominantním zdrojem znečištění výroba koksu, elektrické a tepelné energie, hutě, vybraná odvětví chemického průmyslu (zpracování dehtu, katalytické krakování, výroba sazí) a také potravinářský průmysl [5].

Míra produkce PAU závisí na procesu spalování a druhu použitého paliva. Nejvyšší je při nedokonalém spalování, což se děje většinou v lokálních domácích topeništích. Mechanismus vzniku PAU zahrnuje dva procesy: pyrolýzu a pyrosyntézu. Pyrolýzou vznikají prekurzory PAU, které se při teplotách 500 až 800 °C rekombinují za vzniku poměrně stabilních aromatických uhlovodíků [5]. Při nedokonalém spalování není vyloučena ani emise primárních PAU obsažených v palivu. Primární emise PAU do ovzduší převažují v plynné fázi, poměrně rychle však dochází k jejich kondenzaci a sorpci na jemné prachové částice při ochlazení spalin. Rychlost sorpce závisí na molekulové hmotnosti. Podle vybraných charakteristik fyzikálně-chemických vlastností (Henryho konstanta, rozdělovací koeficienty  $K_{ow}$ ,  $K_{oc}$ ) můžeme PAU rozdělit na:

- nízkomolekulární (152 až 178 g.mol<sup>-1</sup>) – acenaften, acenaftylen, anthracen, fenantren a fluoren (tvořená 2 až 3 aromatickými jádry),
- středněmolekulární (202 g.mol<sup>-1</sup>) – fluoranthen, pyren (tvořená 4 aromatickými jádry),
- vysokomolekulární (228 až 278 g.mol<sup>-1</sup>) – benzo[a]anthracen, benzo[b]-fluoranthen, benzo[k]fluoranthen, benzo[a]pyren, benzo[g,h,i]perylene, dibenzo[a,h]anthracen, chrysen, indeno[1,2,3-c,d]pyren (tvořená 5 a více aromatickými jádry) [6].

Toto rozdělení je důležité, protože výše uvedené skupiny PAU vykazují v prostředí rozličné chování. Rozdíly můžeme ukázat např. na Henryho konstantě, která uvádí parciální tlak plynu nad roztokem vyjádřený jednotkou Pa.m<sup>3</sup>.mol<sup>-1</sup>. Pro naftalen činí 43,00, acenaften 12,17, pyren 0,919 a benzo[k]fluoranthen 0,044 Pa.m<sup>3</sup>.mol<sup>-1</sup> [7]. Rozdíl je v rozmezí několika řádů. Čím vyšší molekulová hmotnost, tím snazší a rychlejší je vazba na jemné částice.

Při spalování uhlí vznikají především fenantren (přes 50 %), v menší míře anthracen a fluoranthen, v malém množství benzo[a]pyren (0,5 až 2,4 %) [6]. Produktem spalování jsou i deriváty PAU, zejména nitroaromáty.

V atmosféře dochází k rozkladu především nízkomolekulárních PAU slunečním zářením. Vysokomolekulární PAU jsou sorbovány na částice o různé velikosti. Čím menší částice, tím je potřeba delší degrační čas na rozložení PAU (až několik týdnů), a tím delší je i doba setrvání PAU v atmosféře. Z atmosféry jsou PAU suchou a mokrou depozicí vnášeny do dalších složek životního prostředí. Vysokomolekulární PAU vzhledem ke své delší životnosti jsou od zdroje přenášeny na velké vzdálenosti v závislosti na klimatických podmínkách a ročním období. V zimních měsících je koncentrace PAU v ovzduší výrazně vyšší než v letním období. To je dáno vyššími emisemi ze spalovacích procesů v kombinaci s nižší účinností fotodegradačních procesů v chladné polovině roku.

Z atmosféry se PAU suchou a mokrou depozicí dostávají na vegetaci a zemský povrch. Na zemědělsky obhospodařovaných půdách PAU pronikají vlivem orby do hlubších vrstev půdy, v ostatních případech zůstávají v povrchových vrstvách. Nízkomolekulární PAU částečně zpětně tékají do atmosféry nebo se rozkládají fotochemickými procesy. Přítomná je i biodegradace působením mikroorganismů, která je převládajícím faktorem rozkladu primárních PAU. Rychlost degradace závisí na typu půdy a obsahu organického uhlíku. S. Thiele-Bruhn studoval kinetiku degradace PAU v půdách kontaminovaných průmyslovou činností (plynárství, koksovny) [8]. Půdní jemnozem velikosti částic pod 2 mm z 11 lokalit s převahou hlinito-písčitých půd byla umístěna do Mitscherlichových nádob a přihnojena shodným množstvím fosforu a draslíku za účelem stimulace mikrobiálních procesů. Experiment probíhal po dobu 168 týdnů v přírodních podmínkách. Výsledkem bylo stanovení rychlostní konstanty degradace „k“ a úbytku jednotlivých PAU vyjádřeného jako DT<sub>50</sub> (disappearance time). V případě naftalenu a acenaftenu činil medián DT<sub>50</sub> jednotky týdnů (6,1, resp. 9,5), u anthracenu a fenantrenu desítky týdnů (70, resp. 92), u ostatních vysokomolekulárních PAU nad 100 týdnů s maximem 522 týdnů u benzo[k]fluoranthenu. Vysokomolekulární PAU tedy v půdě zůstávají po dlouhou dobu.

Do vegetace z půdy a z atmosféry přecházejí kořenovým systémem i listy zvláště nízkomolekulární PAU s 2 až 3 aromatickými jádry, jež tvoří až 80 % sumy PAU. Relativně vysoká koncentrace naftalenu v plodinách je dána jeho vyšší rozpustností ve vodě [9]. Vysokomolekulární PAU jsou sorbovány na povrchu vegetace. Erozními splachy z půd, vegetace a ze zpevněných povrchů komunikací a městských aglomerací se PAU dostávají do povrchových vod. Tento typ přenosu v terestrických systémech dominuje nad přímým spadem na volnou hladinu. Vysokomolekulární PAU se ve vodě přednostně vážou na jemné částice nerozpuštěných látek a na vhodných místech podle charakteru proudění sedimentují. V dobře prokysličených tocích je proces degradace PAU rychlejší, a to jak ve vodním sloupci, tak i v říčním sedimentu. Kladnou roli v procesu jejich degradace hraje i míra mikrobiálního oživení vodního prostředí. Přítomné rozpuštěné organické látky (DOM – Dissolved Organic Matter) urychlují fotodegradaci nízkomolekulárních PAU usnadněním tvorby reaktivních meziproductů a naopak inhibují fotodegradaci vysokomolekulárních PAU (např. benzo[a]pyrenu) vázáním jejich molekul [10].

V povrchových vodách jsou PAU dlouhodobě příčinou nedosahování dobrého chemického stavu. V posledním hodnoceném tříletí 2016 až 2018 nevyhovělo nebo nebylo klasifikováno celkem 54,7 % útvarů povrchových vod v ukazateli fluoranthen a 99,3 % v ukazateli benzo[a]pyren [11]. Posledně jmenovaný ukazatel je problematický také z hlediska obtížného dosažení dostatečně nízké meze stanovitelnosti laboratorními technikami ve vztahu k hodnotě normy environmentální kvality (NEK) vyjádřené jako roční průměr.

Všudypřítomnost PAU v životním prostředí, nedosahování dobrého stavu vod a nebezpečnost pro zdraví člověka jsou důvodem, proč je potřeba věnovat pozornost těmto látkám. Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny (IARC) zařadila 60 polycyklických aromatických uhlovodíků do skupin podle jejich potenciálních karcinogenních účinků pro člověka. Z 15 PAU sledovaných v rámci projektu ATMDEP náleží do skupiny 1 – „prokázaný karcinogen“ benzo[a]pyren. Do skupiny 2A – „pravděpodobně karcinogenní pro člověka“ náleží dibenzo[a,h]anthracen. Do skupiny 2B – „podezřelý karcinogen pro člověka“ náleží benzo[a]anthracen, benzo[b]fluoranthen, benzo[k]fluoranthen, chrysen, indeno[1,2,3-c,d]pyren. Do skupiny 3 – „neklasifikovatelný“ náleží acenaften, anthracen, benzo[g,h,i]perylene, fluoranthen, fluoren, fenantren a pyren. Benzo[a]pyren je v současnosti jediným zástupcem PAU v 1. skupině. V těle metabolizuje na PaP-7,8-diol 9,10-epoxid, který může poškodit DNA. U 3. skupiny nejsou ještě dostatečné důkazy o jejich karcinogenních účincích [12]. Nelze opomenout, že PAU působí ve směsi. Proto řada autorů vyvinula hodnoty toxických ekvivalentů (TEFs) pro jednotlivé PAU, které jsou vztahy k toxicitě benzo[a]pyrenu (BAP = 1). Nisbet a LaGoy tak učinili v roce 1992 [13]. Vyšší TEF než pro BAP uplatnili v případě DBA (TEF = 5). V případě dalších čtyř PAU (BAA, BBF, BKF, INP) TEF = 0,1. Pro ANT, BGP a CHRY uplatnili TEF = 0,01. U ostatních PAU se TEF rovná hodnotě 0,001. (Použití zkratky pro označení PAU jsou uvedeny v tab. 2) Vynásobením koncentrace každého stanoveného PAU tímto faktorem a jejich sečtením dostaneme ekvivalentní koncentraci s ohledem na toxický potenciál benzo[a]pyrenu.

## METODIKA

V rámci projektu byly zkoumány a hodnoceny PAU, jež způsobují nedosažení dobrého stavu vod a zároveň se u nich předpokládá významný přenos ovzduším i na velké vzdálenosti od zdrojů znečištění.

Pro porovnání přítomnosti polycyklických aromatických uhlovodíků v jednotlivých složkách životního prostředí byly ve vybraných dvou lokalitách zvoleny odběry těchto vybraných matic:

- mokrá depozice na volné ploše (bulk), (měsíční srážky\*),
- podkorunová depozice (throughfall), (měsíční srážky\*),
- povrchová voda (měsíčně),
- říční sediment (2x v průběhu roku),

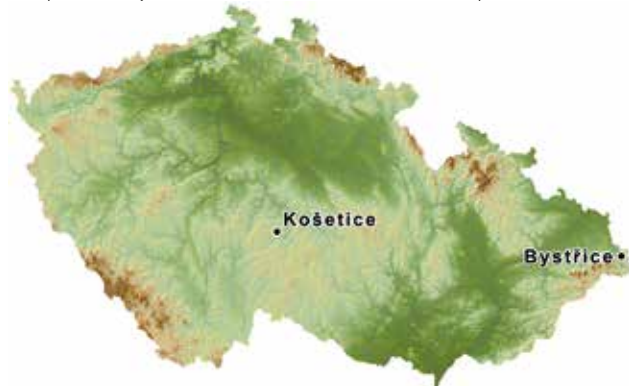
- humus – biologicky stabilní humifikační vrstva (H, Oh horizont), po odstranění opadu (Ol) a fermentačního horizontu (Of) v nadloží (2x v průběhu roku – vzorky reprezentují akumulované spady PAU za delší časové období – stáří lesa),
  - mech travník Schreberův (*Pleurozium schreberi*) (2x v průběhu roku – vzorky reprezentují průměrné spady PAU za poslední 3 roky růstu mechu).
- \* Pro analytické stanovení polycyklických aromatických uhlovodíků v atmosférické depozici bylo potřebné získat dostatečný objem vzorků. Na lokalitě Košetice došlo ke třem případům nedostatečného množství vzorku pro analytické stanovení vlivem slabého měsíčního srážkového úhrnu, proto byly v těchto případech vzorky srážek odebírány po dvouměsíční expozici.

Ve vodních vzorcích byly PAU analyzovány na kapalinovém chromatografu Agilent 1260 Infinity II s fluorescenční detekcí. K separaci byla použita kolona Pinnacle II PAH 4  $\mu\text{m}$ , 150  $\times$  4,6 mm (Restek), a mobilní fáze o složení A: methanol, B: voda + 5 % methanol. Sedimenty byly před extrakcí lyofilizovány a přesety přes síto o otvorech 2 mm.

Polycyklické aromatické uhlovodíky ve vzorcích mechu a humusu byly analyzovány na plynovém chromatografu EVOQ GC-TQ Bruker metodou MS/MS. Vzorky mechu travník Schreberův byly sbírány na podzim 2020 a 2021 na třech místech v horních partiích povodí Suchého a v okolí Lesního potoka na volné ploše (neovlivněny podkorunovou depozicí) do aluminiových sáčků. Po převezení v chladicím boxu do laboratoře byly vzorky mechu uchovávány v mrazicím boxu a po rozmrazení ručně očištěny od nežádoucích příměsí. Pro stanovení PAU byly odtrženy horní zelené části mechu. Takto upravený mech byl homogenizován ve vibračním mlýně za použití tekutého dusíku a vysušen lyofilizací. PAU byly extrahovány n-hexanem. Po odpaření byl extrakt přečištěn gelovou permeační chromatografií. Byl použit gel na bázi polymeru styrendivinylbenzenu Bio-Beads SX-3. Vzorky humusu byly souběžně odebrány do aluminiových sáčků z vizuálně nerozrušeného Oh horizontu na třech místech v každém mikropovodí a transportovány a uchovávány jako vzorky mechu. Po vysušení lyofilizací byly přesety na velikost 0,25 mm. PAU byly extrahovány dichlormethanem za přítomnosti  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a křemeliny. Extrakce PAU ze vzorků mechu i humusu byly provedeny za zvýšené teploty a tlaku extraktorem Dionex ASE 350.

Pro řešení projektu byla vybrána modelová lesní mikropovodí, která splňovala následující kritéria:

- blízkost monitorovacích míst ČHMÚ ke sledování množství srážek,
- dostatečné množství míst s výskytem mechu travník Schreberův,
- podchycení antropogenního vlivu na vybrané lokality,
- dostatečný vodní stav po celou dobu vzorkování (i v případě nízkých průtoků v letním období),
- minimalizace rizika zcizení nebo poškození srážkoměrů cizí osobou,
- vhodnost lokality z hlediska převládajícího směru větru a reliéfu krajiny,
- ucelené mikropovodí pro monitoring kvality atmosférických srážek, povrchových vod a dalších matric životního prostředí.



Obr. 1. Umístění vybraných pilotních lokalit  
Fig. 1. Location of the selected pilot localities

Jako pilotní území byla na základě výše uvedených kritérií vybrána následující mikropovodí:

- Modelové povodí Suchého potoka se nachází v Moravskoslezských Beskydech východně od ostravské a třinecké aglomerace (mezi Třincem a Jablunkovem) a je vzhledem k převládajícímu proudění vzduchu silně zatíženo expozicemi PAU z místního hutního a energetického průmyslu. V Jablunkovské brázdě jsou významným zdrojem emisí rovněž lokální topeniště ze soustředěné i rozptýlené zástavby. Podíl dálkového přenosu na celkové zátěži PAU v oblasti Třince charakterizovaný suspendovanými částicemi  $\text{PM}_{2,5}$  činí do 10 % [14]. Údolí Suchého potoka je v horní části sevřeno z jižní strany vrchem Javorový (627 m n. m.), který směrem na východ vytváří hřeben spojený s hlavním hřebenem tvořeným vrcholy Polední (672 m n. m.) – Hrbel (727 m n. m.) – Loučka (835 m n. m.) a Filipka (771 m n. m.). Údolí Suchého potoka je otevřené směrem na západ k aglomeraci Třinec a Bystřice. Horní část povodí Suchého potoka je z cca 70 % tvořeno lesy, zbytek připadá na louky. Převládají lesy smíšené, v nejvyšších partiích smrkové. Ve vybrané lokalitě a nad ní tvoří bukový porost až 85 %. V původní horní části modelového území Suchého potoka není žádný přímý zdroj znečištění. Rozloha modelové části povodí činí 0,462  $\text{km}^2$ . Suchý potok je součástí povodí vodního útvaru HOD\_750 – Hluchová od pramene po ústí do Olše, který ve třetím plánovacím cyklu nedosahuje dobrého stavu z důvodu vyšších koncentrací PAU. V textu je dále povodí Suchého potoka (obr. 2) označováno BY podle názvu nejbližší obce Bystřice.



Obr. 2. Lokalita Suchý potok, Bystřice (Zdroj: HEIS VÚV)  
Fig. 2. The locality Suchý stream, Bystřice (Source: HEIS VÚV)

- Modelové povodí Lesního potoka, nacházející se na Českomoravské vrchovině severozápadně od obce Košetice v lese Borek u prostřední části Anenského potoka, ř. km 0,7, který následně ústí do Martinického potoka na 23,1 ř. km. Povodí Lesního potoka je součástí dlouhodobého integrovaného monitoringu složek životního prostředí Národní atmosférické observatoře Košetice. Sledované povodí je situováno 1 km jižně od observatoře, jeho rozloha činí 0,292  $\text{km}^2$ . Přibližně 90 % povodí je zalesněno, zbytek tvoří zemědělsky využívaná půda. Zalesněná část povodí je pokrytá většinou smrkovými monokulturami, převažují porosty ve věku cca 90 let s příměsí borovice, buku, modřínu a břízy. Lesní potok

je jediným trvalým přítokem Anenského potoka. Potok je součástí povodí útvary DVL\_0440 Martinický potok, který dosahoval v druhém i třetím plánovacím cyklu dobrého chemického stavu a normy environmentální kvality podle Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., nebyly v ukazatelích PAU překročeny. Lokalita se nenalézá v oblasti s výrazným spadem PAU, leží mimo souvislé osídlení a mimo přímý dosah významných zdrojů znečištění. Proto byla zvolena jako vhodná referenční lokalita pro srovnání s vybranou více antropogenně zatíženou lokalitou Bystřice v rámci řešení tohoto projektu. V textu je dále povodí Lesního potoka (obr. 3) označováno KO podle nejbližší obce Košetice.



Obr. 3. Lokalita Lesní potok, Košetice (Zdroj: HEIS VÚV)  
Fig. 3. The locality Lesní stream, Košetice (Source: HEIS VÚV)

V říjnu 2020 byl v obou lokalitách zahájen monitoring atmosférických srážek v měsíčním kroku (tab. 1). V případě nedostatečných srážek byl použit vzorek srážek za období dvou měsíců (potřebný objem vzorku činil 2 000 ml). V lokalitách byly nainstalovány srážkoměry pro zachyt atmosférických srážek na volné ploše (bulk) a v lesním porostu pro zachyt podkorunových srážek (throughfall). Pro zachyt srážek pro stanovení PAU byl vyroben srážkoměr pro umístění nádoby z nerezové oceli o zachytné ploše 52,4 cm<sup>2</sup> (obr. 4). Svrchní část srážkoměru byla opatřena nerezovou mísou s otvory, aby se spad hrubých pevných částic ani hmyz nedostaly do jímaného vzorku srážek. Pro podkorunovou expozici (throughfall) byl vybrán jehličnan (v obou případech smrk), protože jímání srážek bylo prováděno i v zimním období. Objem srážek zachycených v jednotlivých kampaních byl měřen a srovnán s údajem o úhrnu srážek za stejné období z nejbližší klimatologické stanice Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Zároveň byl při odběru vzorku srážek proveden bodový odběr povrchové vody z blízkého vodního toku. Průměrný měsíční průtok pro Suchý potok byl odvozen podle průtoků na nejbližší vodoměrné stanici ČHMÚ z poměru ploch daných dílčích povodí. Průměrný měsíční průtok Lesního potoka byl převzat z pravidelných měření prováděných ČHMÚ.

Tab. 1. Množství srážek a průtoky ve vzorkovacích kampaních v lokalitách Bystřice a Košetice

Tab. 1. The monthly precipitation amount and flows in the sampling campaigns at the Bystřice and Košetice localities

Kampaň	Datum zahájení kampaně		Srážky [mm]		Průměrný měsíční průtok [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	
	BY	KO	BY	KO	BY	KO
1	06.10.2020	07.10.2020	197,3	85,2	0,0224	0,0009
2	05.11.2020	06.11.2020	22,1	9,2	0,0050	0,0007
3	07.12.2020	08.12.2020	59,5	25	0,0059	0,0004
4	06.01.2021	07.01.2021	149,9	70,2	0,0088	0,0010
5	05.02.2021	06.02.2021	90,3	14,3	0,0140	0,0021
6	05.03.2021	06.03.2021	96,3	23,5	0,0099	0,0010
7	06.04.2021	07.04.2021	148,1	42,2	0,0151	0,0007
8	06.05.2021	07.05.2021	179,2	86,2	0,0176	0,0029
9	07.06.2021	08.06.2021	75,4	100,7	0,0031	0,0008
10	07.07.2021	08.07.2021	198,8	126,3	0,0041	0,0014
11	06.08.2021	07.08.2021	224,8	30,1	0,0148	0,0007
12	06.09.2021	07.09.2021	83,4	32,1	0,0047	0,0003
Celkové srážky [mm]			1525,1	645,0	-	-
Průměrný průtok [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]			-	-	0,0105	0,0011



Obr. 4. Srážkoměr pro zachycení srážek pro analýzu PAU  
Fig. 4. The rain gauge for precipitation capture for PAH analysis



Obr. 5. Srážkoměry pro zachycení srážek typu bulk a throughfall na lokalitě Bystřice (5. listopad 2020)

Fig. 5. The rain gauges for capturing bulk and throughfall precipitations in Bystřice locality (5 November 2020)



Obr. 6. Srážkoměr pro zachycení srážek typu bulk na lokalitě Košetice (8. únor 2021)

Fig. 6. The rain gauge for capturing bulk precipitation in Košetice locality (8 February 2021)

Na základě terénních dat, tj. množství srážek a zjištěných koncentrací sledovaných parametrů 15 PAU ve srážkách, byl vypočten odhad celkového spadu pro dané experimentální povodí podle vzorce:

$$RS = \sum Sx * Cx$$

kde: RS je roční spad v daném povodí  
Sx množství srážek v daném měsíci přepočítané na plochu povodí  
Cx koncentrace znečišťující látky ve vzorku typu throughfall v daném měsíci

Do výpočtu byly použity výsledky koncentrací PAU v podkorunové depozici (z typu odběru throughfall), který je považován za nejlepší možný odhad celkové atmosférické depozice a je používán zejména pro určování vstupu látek při bilancování oběhu látek v malých povodích [15].

Odhad ročního látkového odnosu vodotečí pro danou znečišťující látku byl vypočten na základě odvozeného průtoku a zjištěných koncentrací podle vzorce:

$$LOD = \sum Qx * Cx * d$$

kde: LOD je látkový odnos  
Qx průměrný průtok v kampani  
Cx koncentrace látky v bodovém vzorku  
D délka období

Hodnoty pod mezí stanovitelnosti nebyly do průměru započítány.

Pozn.: Obvyklý postup použití poloviny meze stanovitelnosti nebyl zvolen, protože výsledky obou postupů vykazují velké rozdíly.

## VÝSLEDKY

V následujících tabulkách a grafech jsou pro jednotlivé sloučeniny PAU použity zkratky uvedené v tab. 2.

Tab. 2. Použité zkratky pro označení jednotlivých sloučenin PAU  
Tab. 2. Abbreviations used to designate individual PAH compounds

Sloučenina	Zkratka	Sloučenina	Zkratka
Naftalen	NAP	Chrysen	CHRY
Acenaftalen	ACN	Benzo[b]fluoranthen	BBF
Fluoren	FLU	Benzo[k]fluoranthen	BKF
Fenanthren	FEN	Benzo[a]pyren	BAP
Anthracen	ANT	Dibenzo[a,h]anthracen	DBA
Fluoranthen	FLT	Benzo[g,h,i]perylene	BGP
Pyren	PYR	Indeno[1,2,3-c,d]pyren	INP
Benzo[a]anthracen	BAA		

Informativně jsou výsledky PAU ve srážkách a v povrchové vodě srovnány s limity dobrého stavu povrchových vod dle Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. [4]. Těmito limity jsou normy environmentální kvality (NEK) vyjádřené jako roční průměrná hodnota NEK-RP a jako nejvyšší přípustná koncentrace NPK-NEK. V tab. 3 je uveden výsledek hodnocení útvarů povrchových vod, u nichž nebyl dosažen dobrý chemický nebo ekologický stav v jednotlivých ukazatelích PAU. Hodnocení bylo realizováno v období 2016–2018 pro třetí plány povodí. Z celkového počtu 1 118 útvarů povrchových vod byly PAU hodnoceny v 53 až 65 % útvarů. Počet nevyhovujících vodních útvarů vypovídá o významu těchto látek z hlediska stanovení opatření k dosažení dobrého stavu povrchových vod.

V tab. 4 a 5 jsou zobrazeny výsledky měření PAU v povrchové vodě a ve srážkách (bulk a throughfall) na lokalitách Bystřice a Košetice. Červeně jsou označeny hodnoty, které jsou vyšší než hodnoty norem environmentální kvality pro dobrý stav povrchových vod. Výsledky měření v jednotlivých vzorkovacích kampaních jsou porovnány s hodnotou NPK-NEK, vypočtená průměrná roční hodnota je porovnávána s hodnotou RP-NEK. Výsledky jsou graficky znázorněny na obr. 5–10. Z nich vyplývá vysoká zátěž PAU ve srážkách na lokalitě Bystřice.

Na obr. 7, 8, 10 a 11 lze sledovat trend znečištění PAU ve srážkách v zimním a letním období. Na nárůst koncentrací v zimním období mají s největší pravděpodobností vliv lokální topeniště a meteorologické podmínky (teplotní inverze?) během chladnější části roku. Z jednotlivých sloučenin PAU převládají v atmosférických srážkách v lokalitě Suchý potok – Bystřice koncentrace v pořadí



fluoranthen, pyren, benzo[a]antracen, fenanthren, chrysen a benzo[b]fluoranthen a v lokalitě Lesní potok – Košetice koncentrace v pořadí fluoranthen, fenanthren, pyren, benzo[a]antracen, chrysen a benzo[b]fluoranthen.

Ačkoli se vysokomolekulární PAU snadněji sorbují na jemné prachové částice v ovzduší, nebylo potvrzeno, že by obsah těchto PAU v podkorunové mokré depozici v lokalitě Bystřice jednoznačně převládal – byl pozorován především v zimních a jarních měsících. Naopak v minimálně zatížené lokalitě Košetice byla vyšší zátěž PAU v podkorunové depozici pravidlem.

Pro porovnání nejvyšší koncentrace fluoranthenu ve srážkách typu through-fall v lokalitě Bystřice dosahovala hodnoty  $0,306 \mu\text{g.l}^{-1}$  a v lokalitě Košetice  $0,076 \mu\text{g.l}^{-1}$ .

Zastoupení PAU v povrchové vodě je ve srovnání s atmosférickou depozicí výrazně nižší. Svrchní vrstvy půdy a vegetační pokryv zachycují převážnou část těchto nepolárních organických látek, které se snadno sorbují na jemné prachové a humusové částice.

Nejvyšší koncentrace ze sledovaných PAU v povrchové vodě Suchého potoka v lokalitě Bystřice (obr. 9) byla zjištěna u naftalenu (leden a září). Větší spektrum PAU se vyskytuje v důsledku velkých srážkových epizod. V zimním období dominují koncentrace naftalenu, fenanthrenu, fluoranthenu a pyrenu. V období říjen, listopad, prosinec, duben a srpen byly hodnoty PAU pod mezí stanovitelnosti. V Lesním potoce v lokalitě Košetice (obr. 12) byla zjištěna nejvyšší koncentrace u naftalenu v měsíci dubnu. V zimním období dominují koncentrace fluoranthenu, fenanthrenu, pyrenu a benzo[a]anthracenu. Skladba jednotlivých PAU v povrchové vodě taktéž koreluje s vyššími srážkovými epizodami.

Tab. 6 zobrazuje výsledky naměřených hodnot PAU ve sledovaných pevných maticích. Jde o průměrné hodnoty ze dvou až tří měření v případě potočního sedimentu a ze tří lokalit v každém mikropovodí v případě mechu a humusu. Zjištěný obsah PAU je v sedimentu vyšší než v povrchové vodě. Obsah jemné frakce sedimentu Suchého potoka byl velice nízký, neboť morfologie dna, sklon koryta horského potoka a dynamika proudění neumožňují deponování jemné frakce jako v případě Lesního potoka. Proto je obsah PAU v potočním

sedimentu Lesního potoka násobně vyšší i přesto, že jde o málo exponovanou referenční oblast. Přitom obsah PAU v humusu byl v lokalitě Bystřice vlivem vysoké zátěže z atmosférické depozice více než třikrát vyšší než v lokalitě Košetice. Vysoce exponovaná zátěž PAU lokality Bystřice se projevila i v mechu travník Schreberův, který živiny pro svůj růst přijímá výhradně z atmosféry (proto je používán jako vhodný marker zátěže z ovzduší). Analyzované části mechu reprezentují přibližně tříleté období expozice PAU. Poměr koncentrace sumy PAU mezi oběma sledovanými lokalitami v mechu a humusu je přibližně shodný (3,0, resp. 3,5).

Tab. 7 a obr. 13 uvádějí přehled vypočteného atmosférického spadu a látkového odnosu absolutně i relativně na jednotku plochy v obou experimentálních lokalitách.

Vypočtené výsledky potvrzují (tab. 7), že znečištění srážek je v případě PAU mnohonásobně vyšší než znečištění povrchových vod (obr. 13). Ostravsko-třinecká průmyslová aglomerace náleží v České republice k nejvíce zatíženým územím PAU. To potvrzují i výsledky z lokality Bystřice.

Pro velikosti koncentrací jednotlivých sloučenin PAU v atmosférickém spadu na plochu ( $\text{g.km}^{-2}.\text{rok}^{-1}$ ) platí pořadí:

Bystřice: FLT > FEN > PYR > BAA > INP > CHR > BBF > BGP > BAP > FLU > NAP > BKF > ANT > DBA > ACN

Košetice: FLT > FEN > PYR > BAA > CHR > INP > BBF > NAP > BGP > BAP > BKF > FLU > DBA > ANT > ACN

Pro velikosti koncentrací jednotlivých sloučenin PAU v látkovém odnosu na plochu ( $\text{g.km}^{-2}.\text{rok}^{-1}$ ) platí pořadí:

Bystřice: NAP > FEN > FLT > PYR > BAA > BBF > BAP > CHR > BGP > INP > BKF > ACN, FLU, ANT, DBA

Košetice: NAP > FLT > PYR > BAA > FEN > BGP > BBF > BAP > INP > CHR > BKF > ACN, FLU, ANT, DBA

Tab. 3. Hodnocení útvarů povrchových vod za období 2016–2018 v ukazatelích PAU pro třetí plánovací cyklus

Tab. 3. The assessment of surface water body status in the 2016–2018 period in PAH parameters for the third planning cycle

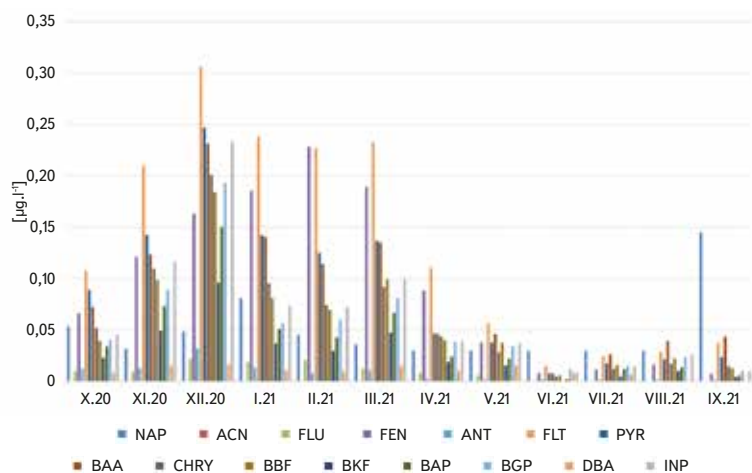
Sloučenina	NEK [ $\mu\text{g.l}^{-1}$ ]		Počet vodních útvarů		
	RP	NPK	Hodnocených	Nevyhovujících	Neklasifikovaných
Naftalen	2	130	728	0	50
Fluoren	0,1	-	601	5	0
Fenanthren	0,03	-	601	37	0
Anthracen	0,1	0,1	688	3	49
Fluoranthen	0,0063	0,12	690	351	48
Pyren	0,024	-	601	59	0
Benzo[a]anthracen	0,03	-	601	7	0
Chrysen	0,024	-	601	59	0
Benzo[b]fluoranthen	-	0,017	689	167	45
Benzo[k]fluoranthen	-	0,017	689	68	46
Benzo[a]pyren	0,00017	0,27	689	274	413
Dibenzo[a,h]anthracen	0,016	-	601	1	0
Benzo[g,h,i]perlylen	-	0,0082	689	223	40

Tab. 4. Výsledky měření jednotlivých PAU v povrchové vodě a ve srážkách, lokalita Bystřice  
 Tab. 4. The results of measurements of individual PAHs in surface water and precipitation, Bystřice locality

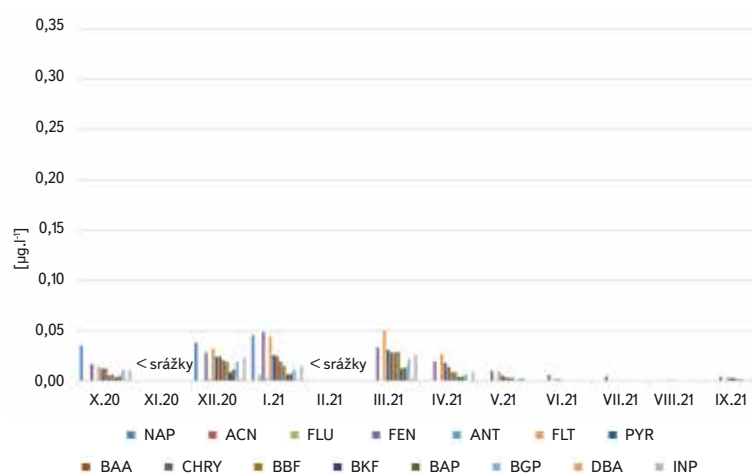
Kampaň		Sloučenina PAU [ $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ]														15 PAU	
		NAP	ACN	FLU	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHRY	BBF	BKF	BAP	BGP	DBA		INP
1	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	<0,0030	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0050	< MS
	bulk	0,0535	<0,0050	0,0098	0,0662	0,0124	0,1077	0,0888	0,0725	0,0521	0,0399	0,0231	0,0339	0,0405	0,0084	0,0455	0,6543
	throughfall	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0339	0,0049	0,0608	0,0503	0,0563	0,0316	0,0365	0,0201	0,0359	0,0452	0,0048	0,0559	0,4361
2	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	<0,0030	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0050	< MS
	bulk	0,0317	<0,0050	0,0097	0,1214	0,0133	0,2096	0,1425	0,1236	0,1098	0,0986	0,0491	0,0729	0,0890	0,0154	0,1170	1,2036
	throughfall	0,0496	<0,0050	0,0057	0,0645	0,0087	0,1102	0,0805	0,0836	0,0593	0,0540	0,0320	0,0531	0,0777	0,0074	0,0809	0,7671
3	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	<0,0030	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0050	< MS
	bulk	0,0482	<0,0050	0,0218	0,1633	0,0321	0,3062	0,2470	0,2314	0,2010	0,1836	0,0961	0,1504	0,1929	0,0167	0,2332	2,1238
	throughfall	0,1193	<0,0050	0,0092	0,1465	0,0253	0,2735	0,2185	0,2068	0,1659	0,1545	0,0803	0,1233	0,1631	0,0133	0,2040	1,9036
4	tok	0,0387	<0,0050	<0,0050	0,0058	<0,0020	0,0024	0,0016	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0050	0,0485
	bulk	0,0811	<0,0050	0,0191	0,1855	0,0136	0,2383	0,1427	0,1405	0,0953	0,0812	0,0370	0,0509	0,0565	0,0106	0,0735	1,2258
	throughfall	0,0671	<0,0050	0,0245	0,2530	0,0300	0,3510	0,2420	0,1692	0,1545	0,1355	0,0641	0,0955	0,1086	0,0107	0,1465	1,8521
5	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0078	<0,0020	0,0028	0,0019	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0050	0,0125
	bulk	0,0451	<0,0050	0,0211	0,2281	0,0077	0,2269	0,1252	0,1144	0,0741	0,0697	0,0298	0,0429	0,0602	0,0103	0,0723	1,1278
	throughfall	0,0624	<0,0050	0,0215	0,3160	0,0158	0,3150	0,1782	0,1569	0,0884	0,0802	0,0357	0,0497	0,0678	0,0068	0,0825	1,4769
6	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0063	<0,0020	0,0018	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0050	0,0081
	bulk	0,0360	<0,0050	0,0127	0,1893	0,0107	0,2328	0,1368	0,1352	0,0919	0,0993	0,0474	0,0668	0,0812	0,0155	0,1000	1,2555
	throughfall	0,0591	<0,0050	0,0106	0,1960	0,0171	0,3066	0,2023	0,1899	0,1123	0,1171	0,0587	0,0880	0,0956	0,0106	0,1213	1,5849
7	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	<0,0030	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0050	< MS
	bulk	0,0300	<0,0050	0,0084	0,0883	0,0023	0,1106	0,0468	0,0463	0,0437	0,0400	0,0190	0,0240	0,0388	0,0105	0,0397	0,5483
	throughfall	0,0349	<0,0050	0,0142	0,1422	0,0077	0,1822	0,1030	0,0927	0,0615	0,0524	0,0253	0,0354	0,0483	0,0072	0,0570	0,8640
8	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0045	<0,0020	0,0018	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0050	0,0063
	bulk	0,0300	<0,0050	0,0059	0,0381	0,0017	0,0569	0,0378	0,0461	0,0281	0,0376	0,0157	0,0224	0,0343	0,0152	0,0369	0,4065
	throughfall	<0,0300	<0,0050	0,0059	0,0424	<0,0020	0,0699	0,0438	0,0441	0,0309	0,0438	0,0194	0,0247	0,0410	0,0250	0,0413	0,4319
9	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0051	<0,0020	0,0018	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0050	0,0070
	bulk	0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0081	0,0017	0,0152	0,0079	0,0075	0,0047	0,0059	<0,0020	0,0020	0,0119	0,0084	0,0088	0,1121
	throughfall	0,0330	<0,0050	<0,0050	0,0153	<0,0020	0,0390	0,0227	0,0190	0,0134	0,0129	0,0023	0,0077	0,0125	0,0057	0,0112	0,1947
10	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0090	<0,0020	0,0094	0,0068	0,0058	0,0040	0,0053	0,0021	0,0040	0,0037	<0,0020	<0,0050	0,0502
	bulk	0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0119	0,0017	0,0245	0,0173	0,0263	0,0122	0,0162	0,0048	0,0119	0,0151	0,0067	0,0142	0,1927
	throughfall	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0143	<0,0020	0,0197	0,0141	0,0169	0,0088	0,0111	0,0048	0,0113	0,0099	0,0025	0,0111	0,1243
11	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	<0,0030	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0050	< MS
	bulk	0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0164	0,0017	0,0289	0,0216	0,0394	0,0172	0,0224	0,0100	0,0136	0,0236	<0,0020	0,0261	0,2508
	throughfall	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0097	<0,0020	0,0131	0,0101	0,0160	0,0067	0,0123	0,0068	0,0122	0,0139	<0,0020	0,0167	0,1177
12	tok	0,1138	<0,0050	<0,0050	0,0050	<0,0020	0,0111	0,0090	0,0081	0,0052	0,0064	0,0034	0,0056	0,0050	<0,0020	0,0066	0,1791
	bulk	0,1449	<0,0050	<0,0050	0,0073	0,0017	0,0375	0,0236	0,0436	0,0146	0,0127	0,0040	0,0057	0,0098	<0,0020	0,0100	0,3154
	throughfall	0,1102	<0,0050	<0,0050	0,0058	<0,0020	0,0055	0,0035	0,0037	0,0067	0,0018	<0,0020	<0,0020	0,0020	<0,0020	<0,0050	0,1392
Průměr	tok	0,0127	<0,0050	<0,0050	0,0036	<0,0020	0,0026	0,0016	0,0012	0,0008	0,0058	0,0005	0,0008	0,0007	<0,0020	0,0006	0,0309
	bulk	0,0492	<0,0050	0,0090	0,0937	0,0084	0,1329	0,0865	0,0856	0,0620	0,0589	0,0305	0,0414	0,0545	0,0098	0,0648	0,7872
	throughfall	0,0446	<0,0050	0,0076	0,1030	0,0091	0,1455	0,0974	0,0879	0,0617	0,0593	0,0318	0,0447	0,0571	0,0078	0,0690	0,8265

Tab. 5. Výsledky měření jednotlivých PAU v povrchové vodě a ve srážkách, lokalita Košetice  
 Tab. 5. The results of measurements of individual PAHs in surface water and precipitation, Košetice locality

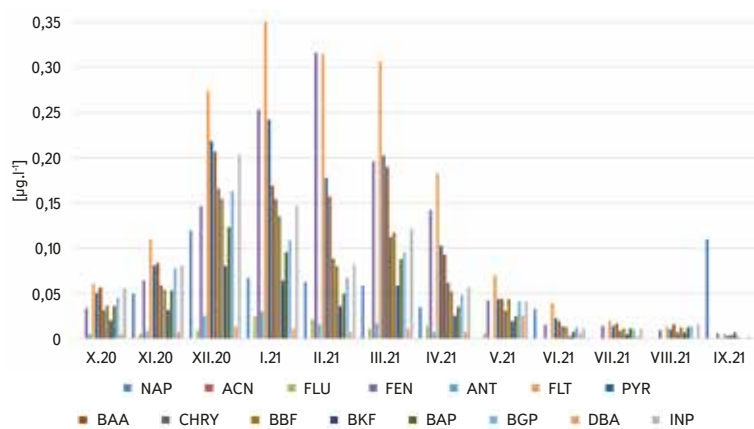
Kampaň		Sloučenina PAU [ $\mu\text{g.l}^{-1}$ ]														15 PAU	
		NAP	ACN	FLU	FEN	ANT	FLT	PYR	BAA	CHRY	BBF	BKF	BAP	BGP	DBA		INP
1	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0056	<0,0020	0,0170	0,0134	0,0106	0,0063	0,0062	0,0039	0,0078	0,0069	<0,0020	0,0091	0,0866
	bulk	0,0354	<0,0050	<0,0050	0,0167	<0,0020	0,0143	0,0124	0,0126	0,0059	0,0064	0,0036	0,0050	0,0110	0,0018	0,0105	0,1356
	throughfall	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0172	<0,0020	0,0179	0,0138	0,0120	0,0074	0,0067	0,0038	0,0055	0,0083	0,0019	0,0094	0,1039
2	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0050	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0050	0,0050
	bulk	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	throughfall	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	<0,003	<0,0020	0,0038	0,0032	0,0030	0,0018	0,0025	<0,0020	0,0020	0,0024	<0,0020	<0,0050	0,0187
	bulk	0,0382	<0,0050	<0,0050	0,0283	0,0015	0,0325	0,0244	0,0244	0,0209	0,0189	0,0087	0,0116	0,0189	0,0021	0,0233	0,2536
	throughfall	0,0422	<0,0050	<0,0050	0,0455	0,0035	0,0575	0,0448	0,0427	0,0351	0,0267	0,0133	0,0187	0,0283	0,0022	0,0334	0,3939
4	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0068	<0,0020	0,0039	0,0030	0,0027	<0,0020	0,0017	<0,0020	0,0015	0,0020	<0,0020	<0,0050	0,0218
	bulk	0,0458	<0,0050	0,0063	0,0488	0,0020	0,0441	0,0258	0,0244	0,0194	0,0147	0,0067	0,0073	0,0112	0,0018	0,0148	0,2731
	throughfall	0,0443	<0,0050	0,0061	0,0603	0,0028	0,0584	0,0371	0,0350	0,0249	0,0192	0,0091	0,0125	0,0161	0,0020	0,0216	0,3492
5	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0054	<0,0020	0,0019	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0050	0,0073
	bulk	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	throughfall	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	<0,003	<0,0020	0,0022	0,0016	0,0017	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0050	0,0056
	bulk	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0337	<0,0020	0,0506	0,0310	0,0285	0,0283	0,0289	0,0125	0,0134	0,0215	0,0023	0,0261	0,2767
	throughfall	<0,0300	<0,0050	0,0121	0,0720	0,0024	0,0789	0,0512	0,0465	0,0330	0,0352	0,0147	0,0192	0,0263	0,0023	0,0339	0,4276
7	tok	0,1260	<0,0050	<0,0050	<0,003	<0,0020	0,0023	0,0017	0,0020	<0,0020	0,0017	<0,0020	<0,0020	0,0017	<0,0020	<0,0050	0,1355
	bulk	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0196	<0,0020	0,0269	0,0183	0,0141	0,0091	0,0089	0,0038	0,0046	0,0070	<0,0020	0,0093	0,1216
	throughfall	<0,0300	<0,0050	0,0100	0,0390	<0,0020	0,0430	0,0265	0,0190	0,0136	0,0141	0,0066	0,0088	0,0128	0,0019	0,0170	0,2123
8	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	<0,003	<0,0020	0,0023	0,0017	<0,0020	<0,0020	0,0018	<0,0020	<0,0020	0,0018	<0,0020	<0,0050	0,0075
	bulk	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0104	<0,0020	0,0094	0,0055	0,0040	0,0032	0,0032	<0,0020	0,0016	0,0025	<0,0020	<0,0050	0,0399
	throughfall	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0104	<0,0020	0,0316	0,0190	0,0166	0,0107	0,0110	0,0053	0,0081	0,0093	<0,0020	0,0107	0,1326
9	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0054	<0,0020	0,0023	0,0017	0,0015	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0050	0,0110
	bulk	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0061	<0,0020	0,0027	0,0018	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0050	0,0106
	throughfall	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0103	<0,0020	0,0119	0,0067	0,0032	0,0029	0,0025	<0,0020	0,0018	0,0023	<0,0020	<0,0050	0,0414
10	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0047	<0,0020	0,0029	0,0024	0,0021	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0050	0,0121
	bulk	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0050	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0050	0,0050
	throughfall	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0087	<0,0020	0,0170	0,0108	0,0082	0,0074	0,0054	0,0025	0,0045	0,0046	<0,0020	0,0054	0,0747
11	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	<0,003	<0,0020	0,0077	0,0064	0,0061	0,0032	0,0042	0,0021	0,0042	0,0038	<0,0020	0,0046	0,0422
	bulk	<0,0300	<0,0050	<0,0050	<0,003	<0,0020	0,0015	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0050	0,0015
	throughfall	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	tok	<0,0300	<0,0050	<0,0050	<0,003	<0,0020	0,0090	0,0070	0,0080	0,0030	0,0030	0,0020	0,0030	0,0030	<0,0020	0,0050	0,0430
	bulk	<0,0300	<0,0050	<0,0050	0,0047	<0,0020	0,0041	0,0028	0,0026	0,0015	0,0016	<0,0020	<0,0020	0,0016	<0,0020	<0,0050	0,0189
	throughfall	0,0297	<0,0050	<0,0050	0,0093	<0,0020	0,0147	0,0090	0,0060	0,0047	0,0041	0,0018	0,0045	0,0038	<0,0020	0,0045	0,0921
Průměr	tok	0,0105	<0,0050	<0,0050	0,0027	<0,0020	0,0046	0,0035	0,0031	0,0012	0,0018	0,0007	0,0072	0,0018	<0,0020	0,0016	0,0387
	bulk	0,0099	<0,0050	0,0005	0,0144	0,0003	0,0155	0,0102	0,0092	0,0074	0,0069	0,0029	0,0036	0,0061	0,0007	0,0070	0,0946
	throughfall	0,0097	<0,0050	0,0024	0,0227	0,0007	0,0276	0,0182	0,0158	0,0116	0,0104	0,0048	0,0070	0,0093	0,0009	0,0113	0,1524



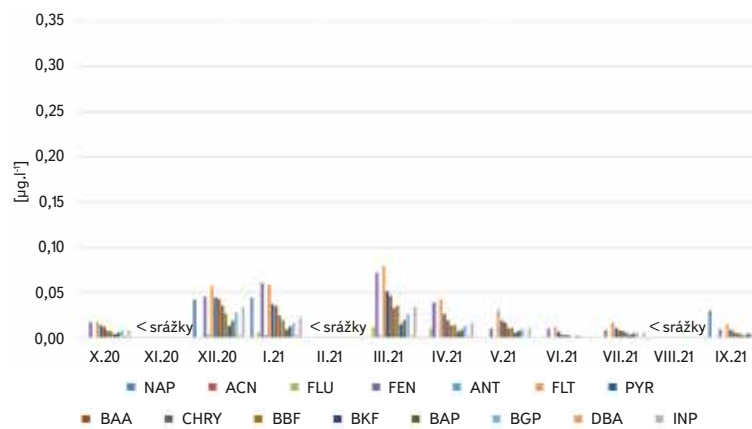
Obr. 7. Suchý potok, Bystřice – koncentrace PAU ve srážkách: BULK  
 Fig. 7. Suchý stream, Bystřice – PAHs concentration in precipitation: BULK



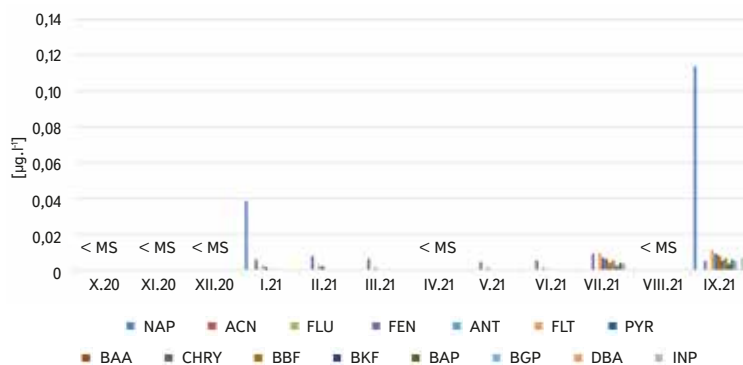
Obr. 10. Lesní potok, Košetice – koncentrace PAU ve srážkách: BULK  
 Fig. 10. Lesní stream, Košetice – PAHs concentration in precipitation: BULK



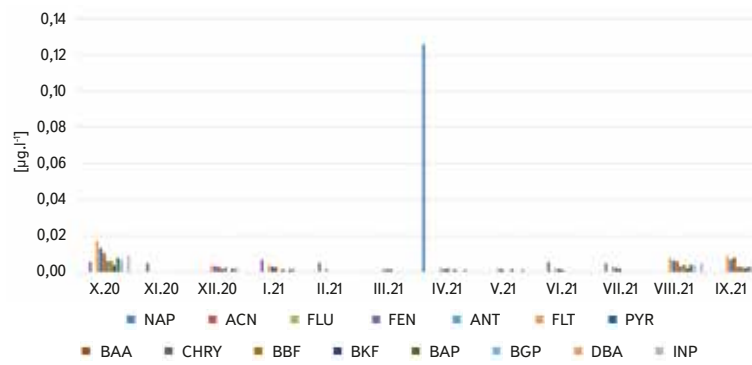
Obr. 8. Suchý potok, Bystřice – koncentrace PAU ve srážkách: THROUGHFALL  
 Fig. 8. Suchý stream, Bystřice – PAHs concentration in precipitation: THROUGHFALL



Obr. 11. Lesní potok, Košetice – koncentrace PAU ve srážkách: THROUGHFALL  
 Fig. 11. Lesní stream, Košetice – PAHs concentration in precipitation: THROUGHFALL



Obr. 9. Suchý potok, Bystřice – koncentrace PAU v povrchové vodě  
 Fig. 9. Suchý stream, Bystřice – PAHs concentration in surface water



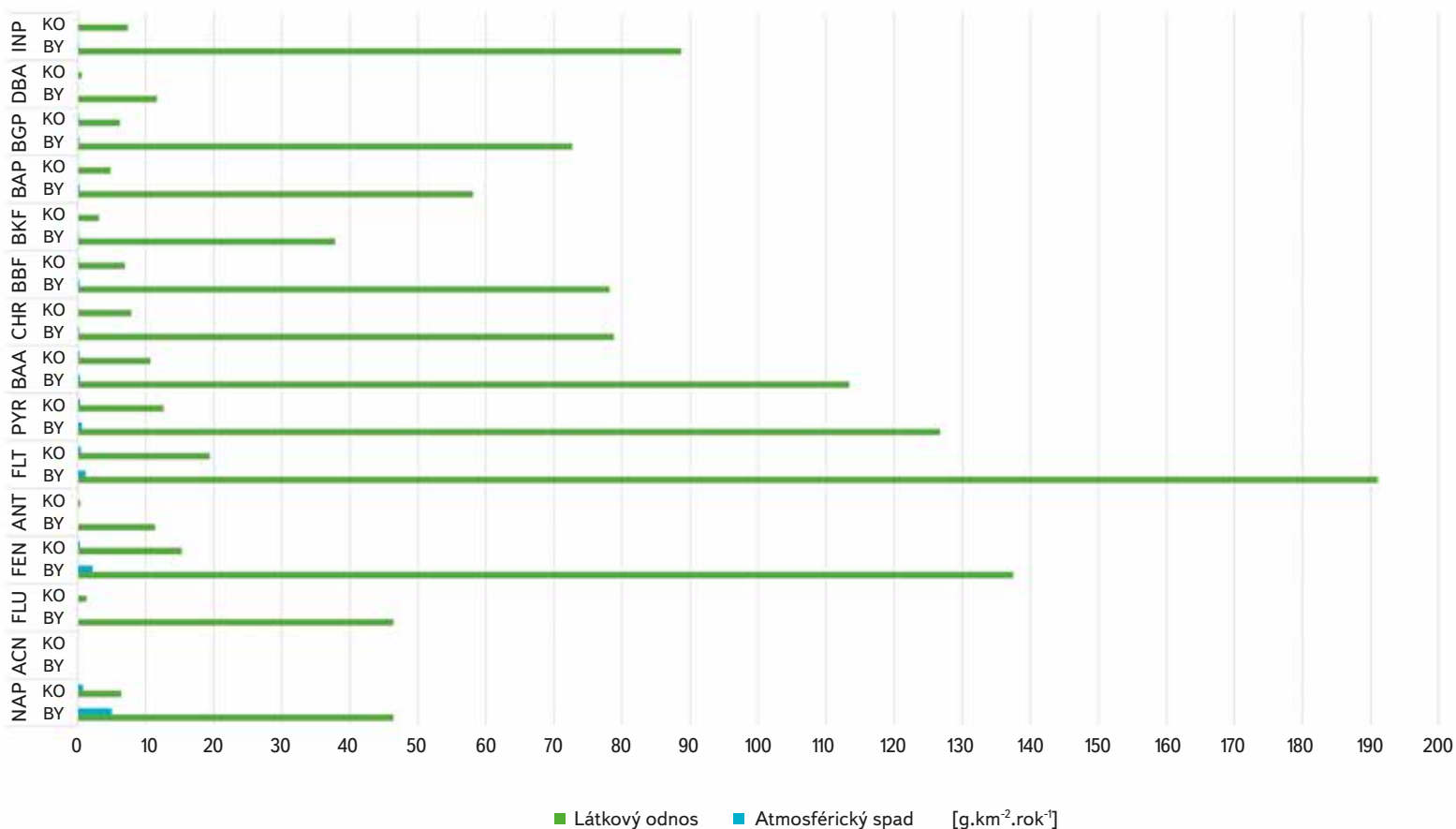
Obr. 12. Lesní potok, Košetice – koncentrace PAU v povrchové vodě  
 Fig. 12. Lesní stream, Košetice – PAHs concentration in surface water

Tab. 6. Orientační srovnání koncentrací PAU v dalších sledovaných maticích v letech 2020 a 2021  
 Tab. 6. Indicative comparison of PAH concentrations in other monitored matrices in 2020 and 2021

Látka [mg.kg <sup>-1</sup> ]	Lokalita – rok											
	Potoční sediment				Mech				Humus			
	BY – 2020	BY – 2021	KO – 2020	KO – 2021	BY – 2020	BY – 2021	KO – 2020	KO – 2021	BY – 2020	BY – 2021	KO – 2020	KO – 2021
Naftalen	0,0130	0,0140	0,0410	0,0910	0,0755	0,0664	0,0507	0,0527	0,1580	0,1710	0,1120	0,1060
Acenaftalen	< 0,0020	0,0040	0,0060	0,0080	0,0037	0,0054	0,0025	0,0034	0,0169	0,0314	0,0123	0,0143
Fluoren	< 0,0020	0,0040	0,0070	0,0080	0,0094	0,0088	0,0056	0,0061	0,0315	0,0482	0,0135	0,0199
Fenantren	0,0160	0,0340	0,0810	0,1010	0,0326	0,0389	0,0103	0,0216	0,4000	0,5020	0,1400	0,1440
Anthracen	0,0020	0,0040	0,0130	0,0080	0,0028	0,0025	0,0018	0,0016	0,0403	0,0509	0,0124	0,0201
Fluoranthen	0,0390	0,0700	0,2100	0,2670	0,0560	0,0754	0,0120	0,0256	0,7130	0,8680	0,2850	0,2770
Pyren	0,0280	0,0500	0,1660	0,2060	0,0360	0,0517	0,0113	0,0178	0,4850	0,5740	0,2100	0,1990
Benzo[a]anthracen	0,0330	0,0720	0,1770	0,2600	0,0178	0,0228	0,0040	0,0052	0,3350	0,3520	0,0915	0,0782
Chrysen	0,0160	0,0320	0,0760	0,1070	0,0330	0,0523	0,0088	0,0112	0,6670	0,8930	0,1160	0,1550
Benzo[b]fluoranthen	0,0210	0,0390	0,1110	0,1120	0,0736	0,1105	0,0088	0,0181	0,7920	1,0551	0,1770	0,1959
Benzo[k]fluoranthen	0,0100	0,0170	0,0640	0,0690	0,0195	0,0367	0,0056	0,0059	0,2510	0,3690	0,0723	0,0849
Benzo[a]pyren	0,0160	0,0310	0,1320	0,1280	0,0185	0,0363	0,0058	0,0078	0,3760	0,3900	0,1260	0,1250
Dibenzo[a,h]anthracen	0,0160	0,0310	0,1160	0,1180	0,0091	0,0090	0,0053	0,0015	0,1144	0,1093	0,0299	0,0268
Benzo[g,h,i]perylene	0,0020	0,0040	0,0230	0,0110	0,0243	0,0309	0,0082	0,0080	0,4470	0,4100	0,1450	0,1160
Indeno[1,2,3-c,d]pyren	0,0190	0,0430	0,1370	0,1420	0,0239	0,0345	0,0077	0,0082	0,6010	0,5530	0,1440	0,1380
15 PAU	0,2310	0,4490	1,3600	1,6360	0,4355	0,5822	0,1481	0,1946	5,4281	6,3769	1,6869	1,7001

Tab. 7. Výpočet celkového spadu a látkového odnosu v daných lokalitách  
 Tab. 7. Calculation of the atmospheric fallout and riverine load in pilot localities

Látka	Atmosférický spad [g.rok <sup>-1</sup> ]		Atmosférický spad na jednotku plochy [g.km <sup>-2</sup> .rok <sup>-1</sup> ]		Látkový odnos [g.rok <sup>-1</sup> ]		Látkový odnos na jednotku plochy [g.km <sup>-2</sup> .rok <sup>-1</sup> ]		Poměr odnosu a spadu [%]	
	Lokalita									
	BY	KO	BY	KO	BY	KO	BY	KO	BY	KO
Naftalen	21,443	1,868	46,414	6,396	2,309	0,232	4,998	0,794	10,8	12,4
Acenaftalen	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Fluoren	4,832	0,382	46,414	1,308	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Fenantren	65,513	4,448	137,475	15,231	1,001	0,099	2,166	0,340	1,5	2,2
Anthracen	5,254	0,120	11,372	0,410	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Fluoranthen	88,267	5,655	191,055	19,367	0,547	0,132	1,185	0,451	0,6	2,3
Pyren	58,552	3,678	126,735	12,595	0,290	0,095	0,628	0,326	0,5	2,6
Benzo[a]anthracen	52,394	3,115	113,407	10,666	0,164	0,074	0,355	0,253	0,3	2,4
Chrysen	36,414	2,291	78,818	7,846	0,109	0,026	0,235	0,089	0,3	1,1
Benzo[b]fluoranthen	36,083	2,011	78,101	6,888	0,137	0,050	0,297	0,170	0,4	2,5
Benzo[k]fluoranthen	17,471	0,915	37,816	3,132	0,064	0,015	0,140	0,052	0,4	1,6
Benzo[a]pyren	26,837	1,404	58,088	4,809	0,113	0,036	0,254	0,122	0,4	2,6
Dibenzo[a,h]anthracen	5,369	0,158	11,621	0,542	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0
Benzo[g,h,i]perylene	33,561	1,808	72,642	6,191	0,103	0,052	0,223	0,176	0,3	2,9
Indeno[1,2,3-c,d]pyren	40,976	2,142	88,693	7,334	0,081	0,035	0,176	0,120	0,2	1,6
15 PAU	492,966	29,995	1 098,651	102,715	4,918	0,846	10,657	2,893	1,0	2,8



Obr. 13. Výpočet atmosférického spadu a látkového odnosu PAU na jednotku plochy

Fig. 13. Calculation of atmospheric fallout and riverine load per area

## DISKUZE A ZÁVĚR

Provedená terénní měření ve vybraných lesních mikropovodích Bystřice a Košetice potvrzují, že znečištění srážek PAU je mnohonásobně vyšší než znečištění povrchových vod. Příspěvek PAU atmosférickými srážkami je bilančně významnější než povrchovými vodami, což potvrzuje např. Lipiatou [16]. Byla zaznamenána významná sezonní variace koncentrací PAU ve srážkách s maximy v zimních měsících. Z atmosféry jsou PAU odstraňovány suchým a mokřím spadem. Rozsah koncentrací je přímo závislý na meteorologických podmínkách. Sezonní změny koncentrací PAU vykazují maximum v zimním a minimum v letním období. Maxima v chladném období roku v souvislosti s častým spalováním fosilních paliv a atmosférickými podmínkami nemusejí vždy vést ke zvýšenému obsahu PAU v toku. Významným zdrojem PAU v letních měsících jsou v důsledku prohlubující se klimatické změny také lesní požáry [17]. Vyšší teploty přispívají k účinnější oxidaci atmosférickými stopovými plyny ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ), takže jejich degradace v létě probíhá rychleji než v zimě. Jejich regionální distribuce je závislá na lokálních zdrojích, přičemž hlavními zdroji jsou procesy spalování fosilních paliv, domácí vytápění a automobilová doprava.

Obsah PAU ve srážkách závisí na rozpustnosti ve vodě. PAU s nízkou molekulovou hmotností jsou rozpustné v rozmezí  $\text{mg.l}^{-1}$ , vyšší PAU pak v rozmezí  $\text{ng.l}^{-1}$ . PAU s nižší molekulovou hmotností se v atmosféře nacházejí na tuhých částicích i v plynné fázi, s rostoucí molekulovou hmotností jsou PAU více sorbovány na tuhých částicích a pouze malá část je v rozpustné frakci.

PAU v plynné fázi se stávají součástí mokré atmosférické depozice prostřednictvím mezifázové výměny plyn-kapalina v procesu podoblačného vymývání, zatímco PAU asociované s tuhými částicemi jsou efektivněji vymývány procesy vnitrooblačného vymývání jako důsledek difuze, impaktu a záchytu [18].

Částice s navázanými sloučeninami PAU ze spalovacích procesů mohou být v atmosféře transportovány na velké vzdálenosti, a mohou se tak dostávat do oblastí bez zřejmých zdrojů. Tento mechanismus dálkového transportu závisí na velikosti částic atmosférického aerosolu. Aerosolové částice menších rozměrů ( $< 1 \mu\text{m}$ ), které nejsou účinně odstraňovány z atmosféry procesy suché a mokré depozice, setrvávají v atmosféře delší dobu, a mohou být tedy důvodem jejich přítomnosti ve vzdálených oblastech. Větší atmosférické aerosoly ( $> 5 \mu\text{m}$ ) jsou účinněji odstraňovány srážkami a jsou deponovány blíže svým zdrojům, což je právě případ lokality Bystřice v povodí Suchého potoka.

Velikost atmosférického spadu  $\Sigma_{15}$  PAU v lokalitě Bystřice byla vypočtena na  $1098,7 \text{ g.km}^{-2}.\text{rok}^{-1}$ , v lokalitě Košetice je 10x nižší  $102,7 \text{ g.km}^{-2}.\text{rok}^{-1}$ . Na tomto spadu se nejvíce podílejí fluoranthen (18 %), fenanthren (13 %) a pyren (12 %). Pro srovnání s již publikovanými daty byl spad převeden na  $\text{ng.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ :  $3\,010 \text{ ng.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  (BY) a  $102 \text{ ng.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  (KO). Ve venkovských oblastech je uváděn atmosférický spad (bulk)  $38\text{--}2\,000 \text{ ng.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ , v městském prostředí  $36\text{--}20\,000 \text{ ng.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  [17]. Při normalizaci velikosti atmosférického spadu  $\Sigma_{15}$  PAU v lokalitě Bystřice na velikost srážky v lokalitě Košetice vychází, že zátěž PAU v lokalitě Bystřice je 4,5x vyšší než v referenční lokalitě Košetice.

Svrchní vrstva půdy a vegetační pokryv PAU sorbuje. Do povrchových vod se PAU dostávají erozním smyvem. Koncentrace  $\Sigma_{15}$  PAU v Suchém potoce v lokalitě Bystřice činila  $0,026 \pm 0,049 \text{ mg.l}^{-1}$ , v Lesním potoce v lokalitě Košetice

0,033 ± 0,038 mg.l<sup>-1</sup>. Látkový odtok z mikropovodí Suchého potoka tak tvořil jen 1 % atmosférického spadu mokrou depozicí v lokalitě Bystřice a 2,8 % z mikropovodí Lesního potoka v lokalitě Košetice.

Vysokomolekulární PAU se díky extrémně nízké těkavosti a malé rozpustnosti v povrchové vodě vyskytují ve velmi malých koncentracích. Jejich dotace do povrchových vod je však významná během vyšších srážkových epizod, kdy se uplatňuje eroze a splach ze zpevněných ploch. Přesnost bilance látkového odtoku PAU povrchovými vodami je ovlivněna: časem vzorkování povrchové vody ve vztahu ke srážkám v předcházejícím období, podílem jemných částic v říčním sedimentu, průtokovými poměry v době vzorkování, kdy při vyšších průtocích dochází ke vznosu jemné frakce sedimentu ve vodním sloupci.

Vzhledem k tomu, že jen některé bodové odběry povrchových vod v experimentálních mikropovodích Suchého potoka a Lesního potoka byly provedeny bezprostředně po srážkoodtokové události s možným erozním smyvem, skutečný podíl látkového odtoku PAU povrchovou vodou k bilanci atmosférického spadu mokrou depozicí bude patrně vyšší než výše uvedené hodnoty 1 %, resp. 2,8 %. Další zpřesnění vlivu atmosférické depozice PAU na jakost povrchových vod si vyžádá další výzkum, a to i kvůli významnému podílu útvarů povrchových vod nedosahujících dobrého chemického stavu ve většině ukazatelů PAU.

Původ PAU lze odvodit z poměru fluoranthenu k pyrenu [např. 19]. Pokud je tento poměr větší než 1, původem jsou spalovací procesy; pokud je nižší než 1, původem jsou petrochemické produkty. Jak v lokalitě Bystřice, tak Košetice byl tento poměr větší než 1. Konkrétně v celkové mokré depozici (bulk) činil v lokalitě Bystřice 1,6 a v lokalitě Košetice 1,5. V případě podkorunové depozice byl téměř shodný: 1,5, resp. 1,55 v Košetících. V chladnější polovině roku byl tento poměr v lokalitě Bystřice mírně vyšší (1,7 bulk) než v letním období. V Suchém potoce poměr fluoranthenu k pyrenu činil 1,4, v Lesním potoce 1,3. Obdobné poměry byly potvrzeny v pevných matricích vyjma humusu: v povodí Suchého potoka byl poměr 1,5, avšak v povodí Lesního potoka 2,4. V mechu travník Schreberův poměr obou PAU činil 1,5 v lokalitě Bystřice, v Košetících byl mírně nižší – 1,25.

Podrobnější popis zastoupení PAU ve sledovaných matricích a vazeb mezi znečištěním jednotlivých složek životního prostředí je dostupný na webových stránkách projektu [20].

Na podzim 2022 byl Evropskou komisí zveřejněn návrh novely směrnice 2008/105/ES, v němž se norma environmentální kvality NEK-RP pro fluoranthen významně zpřísňuje. Problematika znečištění životního prostředí a vod PAU tak nabývá na významu.

## Poděkování

Tento příspěvek byl podpořen grantem Technologické agentury ČR SS01010231 „Dopady atmosférické depozice na vodní prostředí se zohledněním klimatických podmínek“.

## Literatura

- [1] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES ze dne 16. prosince 2008 o normách environmentální kvality v oblasti vodní politiky, změně a následném zrušení směrnic Rady 82/176/EHS, 83/513/EHS, 84/156/EHS, 84/491/EHS a 86/280/EHS a změně směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES.*
- [2] *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.*
- [3] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky.*
- [4] *Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostí povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.*
- [5] TOMANIOVÁ, M., KOCOUREK, V., HAJŠLOVÁ, J. Polycyklické aromatické uhlovodíky v potravinách. *Chemické Listy*. 1997, 91, s. 357–366.
- [6] HOLOUBEK, I. *Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs) v prostředí*. Praha: Český ekologický ústav a Odbor environmentálních rizik a monitoringu MŽP ČR, 1996, s. 136. ISBN 800-85087-44-8.
- [7] AMEI, J. P., HAMBALI, H. U., OGADIMMA, A. Prediction of Henry's Law Constant of Aromatic Hydrocarbons through Quantitative Structure Property Relationship Modelling. *Journal of Computational Methods in Molecular Design*. 2015, 5(4), s. 129–141.
- [8] THIELE-BRUHN, S., BRÜMMER, G. W. Kinetics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Degradation in Long-Term Polluted Soils during Bioremediation. *Plant and Soil*. 2005, 275(1), s. 31–42. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11014-004-0265-9>
- [9] LIA, J., SHANGA, X., ZHAO, Z., TANGUAYA, R. L., DONGA, X., HUANGA, CH. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water, Sediment, Soil, and Plants of the Aojiang River Waterway in Wenzhou, China. *Journal of Hazardous Materials*. 2010, 173(1–3), s. 75–81. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/w8080334>
- [10] SHANG, J., CHEN, J., SHEN, Z., XIAO, X., YANG, H., WANG, Y., RUAN, A. Photochemical Degradation of PAHs in Estuarine Surface Water: Effects of DOM, Salinity, and Suspended Particulate Matter. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015, 22, s. 12 374–12 383. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4543-2>
- [11] MIČANÍK, T., VYSKOC, P., PRCHALOVÁ, H., POLÁŠEK, M., NĚMEJCOVÁ, D., DURČÁK, M., RICHTER, P. Hodnocení stavu útvarů povrchových vod v České republice pro 3. plánovací období. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2020, 62(6), s. 4–18. ISSN 0322-8916.
- [12] JAMESON, CH. W. Part 1 Chapter 7 Polycyclic aromatic hydrocarbons and associated occupational exposures. Tumour Site Concordance and Mechanisms of Carcinogenesis. *IARC Scientific Publications*. 2019, 165. ISBN-13: 978-92-832-2217-0. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK570325/>
- [13] NISBET, I. C. T., LAGOY, P. K. Toxic Equivalency Factors (TEFs) for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 1992, 16, s. 290–300. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0273-2300\(92\)90009-X](https://doi.org/10.1016/0273-2300(92)90009-X)
- [14] SEIBERT, R., KREJČÍ, B., VOLNÁ, V., HLADKÝ, D. *Identifikace zdrojů znečišťování ovzduší – souhrnná zpráva za oblast 1 (Třinecko)*. Český hydrometeorologický ústav. 2022, s. 59. Dostupné z: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/nakladatelstvi/assets/td\\_147.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/nakladatelstvi/assets/td_147.pdf)
- [15] BRANIŠ, M., HŮNOVÁ, I. a kol. *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší*. Praha: Karolinum, 2011, s. 165. ISBN 978-80-246-1598-1.
- [16] LIPIATOU, E., TOLOSA, I., SIMÓ, R., BOULOUBASSI, I., DACHS, J., MARTI, S., SICRE, M. A., BAYONA, J. M., GRIMALT, J. O., SALIOT, A., ALBAIGÉS, J. Mass Budget and Dynamics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research II*. 1997, 44(3–4), s. 881–905. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(96\)00093-8](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(96)00093-8)
- [17] NEŽIKOVÁ, B., DEGRENDELE, C., ČUPR, P., HOHENBLUM, P., MOCHE, W., PROKEŠ, R., VAŇKOVÁ, L., KUKUČKA, P., MARTINÍK, J., AUDY, O., PŘIBYLOVÁ, P., HOLOUBEK, I., WEISS, P., KLÁNOVÁ, J., LAMMEL, G. Bulk Atmospheric Deposition of Persistent Organic Pollutants and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Central Europe. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019, (26)23, s. 23 429–23 441. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05464-9>
- [18] HOLOUBEK, I. *Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs) v prostředí*. Praha: Český ekologický ústav a Odbor environmentálních rizik a monitoringu MŽP ČR, 1996, s. 63. ISBN 800-85087-44-8.
- [19] ZHU, L. Z., CHEN, Y. Y., ZHOU, R. B. Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water, Sediment and Soil in Drinking Water Resource of Zhejiang Province, China. *Journal of Hazardous Materials*. 2008, 150(2), s. 308–316. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.04.102>
- [20] *Stránky projektu „Dopady atmosférické depozice na vodní prostředí se zohledněním klimatických podmínek“ (vid. 4. květen 2023)*. Dostupné z <https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/projekty/atmosferickadepozice/default.asp?tab=0&wmap=>

## Autoři

### Ing. František Sýkora<sup>1</sup>

✉ frantisek.sykora@vuv.cz  
ORCID: 0000-0003-1003-0935

### Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.<sup>1</sup>

✉ tomas.micanik@vuv.cz  
ORCID: 0000-0002-5867-0985

### Mgr. Silvie Semerádová<sup>1</sup>

✉ silvie.semeradova@vuv.cz  
ORCID: 0000-0002-6633-9424

### doc. RNDr. Ivan Suchara, CSc.<sup>2</sup>

✉ suchara@vukoz.cz  
ORCID: 0000-0003-2027-4503

### Ing. Nikola Verlíková<sup>1</sup>

✉ nikola.verlikova@vuv.cz  
ORCID: 0000-0003-4323-3579

### Ing. Julie Sucharová, Ph.D.<sup>2</sup>

✉ julie.sucharova@vukoz.cz  
ORCID: 0000-0002-1370-6681

<sup>1</sup> Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Ostrava, Praha

<sup>2</sup> Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, Praha

Príspevek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2023.05.003

## ATMOSPHERIC DEPOSITION AS A POSSIBLE SOURCE OF SURFACE WATER POLLUTION

(Preliminary results of the project, part 2. – polycyclic aromatic hydrocarbons)

**SÝKORA, F.<sup>1</sup>; MIČANÍK, T.<sup>1</sup>; SEMERÁDOVÁ, S.<sup>1</sup>; SUCHARA, I.<sup>2</sup>; VERLÍKOVÁ, N.<sup>1</sup>; SUCHAROVÁ, J.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>T. G. Masaryk Water Research Institute, Ostrava, Prague

<sup>2</sup>The Silva Tarouca Research Institute for Landscape and Ornamental Gardening, Prague

**Keywords:** atmospheric deposition – surface water – pollution sources – polycyclic aromatic hydrocarbons

From October 2020 to September 2021, in two forest microcatchments in the Czech Republic, the quality of wet atmospheric deposition (bulk and throughfall) was monitored simultaneously with the surface water quality in the local watercourse, soil and moss *Pleurozium schreberi*. An evaluation of the 15 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) burden of the above-mentioned matrices is presented. The first location was chosen in Beskid Mountains in the Moravian-Silesian region in the cadastre of the village of Bystřice in the upper basin of the Suchý stream (altitude 590 to 835 m a.s.l.). This area is affected by industrial activities. The second reference location was chosen in the Bohemian-Moravian Highlands near the Košetice observatory (altitude 520 m a.s.l.). A significant PAHs burden was confirmed in the Bystřice locality. The concentration of  $\Sigma 15$  PAH during the monitored period in the bulk deposition was  $0.785 \pm 0.579$  mg.l<sup>-1</sup> in the Bystřice locality and  $0.114 \pm 0.110$  mg.l<sup>-1</sup> in the Košetice locality. In the throughfall deposition, the concentration of  $\Sigma 15$  PAHs was slightly higher:  $0.824 \pm 0.670$  mg.l<sup>-1</sup> in the Bystřice locality and  $0.203 \pm 0.141$  mg.l<sup>-1</sup> in the Košetice locality. Significantly higher PAHs concentrations were found in the cold half of the year. The amount of atmospheric fallout of  $\Sigma 15$  PAHs in the Bystřice locality was calculated at  $1,098.7$  g.km<sup>-2</sup>.year<sup>-1</sup>, in the Košetice locality it is 10 times lower at  $102.7$  g.km<sup>-2</sup>.year<sup>-1</sup>. The topsoil and vegetation cover PAHs sorb. PAHs enter surface waters through erosion. The concentration of  $\Sigma 15$  PAHs in Suchý stream in the Bystřice locality was  $0.026 \pm 0.049$  mg.l<sup>-1</sup>, in Lesní stream in the Košetice locality  $0.033 \pm 0.038$  mg.l<sup>-1</sup>. Total  $\Sigma 15$  PAHs flux by the Suchý stream (upper basin) accounts only 1 % of the atmospheric fallout bulk deposition in the Bystřice locality and 2.8 % by the Lesní stream in the Košetice locality. The ratio of fluoranthene and pyrene in the precipitation indicates the origin of PAHs pollution from combustion processes (FLT/PYR > 1) in both locations. In bulk deposition, this FLT/PYR ratio was 1.6 in the Bystřice locality and 1.5 in the Košetice locality, and 1.5 (Bystřice) and 1.6 (Košetice) in the throughfall. The river sediment burden with  $\Sigma 15$  PAHs in Lesní stream ( $1.498 \pm 0.138$  mg.kg<sup>-1</sup>) was more than in Suchý stream ( $0.340 \pm 0.109$  mg.kg<sup>-1</sup>) due to the different granularity with a significantly higher proportion of fine soil particles, although the content of  $\Sigma 15$  PAHs in the upper soil layer was 3.2 to 3.7x lower in the Košetice locality than in the Bystřice locality. Similarly, the content of  $\Sigma 15$  PAHs in the moss *Pleurozium schreberi* was 3 times lower in the Košetice locality than in the exposed Bystřice locality.





# Vývoj lokalizace rybníků v Polabské nížině od poloviny 19. století – 2. část – Poděbradsko

PAVEL RICHTER

**Klíčová slova:** rybníky – archivní mapy – krajinné změny – zadržování vody v krajině – GIS

## ABSTRAKT

V článku jsou prezentovány výsledky výzkumu krajinných změn v Polabské nížině v oblasti Poděbradska, kde došlo k výrazným změnám lokalizace rybníků. Plocha všech typů rybníků (podle stability) tvoří 3,17 % řešené plochy v oblasti Poděbradska. Podle výskytu na území v letech 1836/1852–2022 se rybníky, resp. jejich části, dělily na zaniklé, zachovalé a nové. Nejvíce zastoupeny, bezmála 60 % celkové plochy rybníků podle stability, jsou zaniklé rybníky, následují rybníky zachovalé a minimální zastoupení mají nové rybníky. Historické, nebo přesněji zaniklé rybníky byly robustnější než ty současné, měly tedy větší průměrnou velikost. Analýzy ukazují, že zaniklé rybníky na Poděbradsku byly nahrazeny téměř ze tří čtvrtin ornou půdou.

## ÚVOD

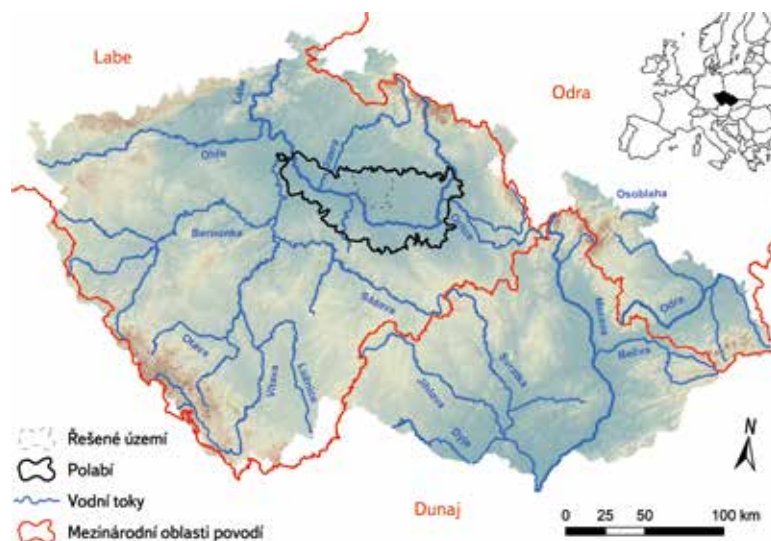
Zde uvedené výsledky jsou součástí širšího výzkumu týkajícího se Polabské nížiny, kde byly vytipovány oblasti s největšími změnami výskytu mokřadů, rybníků (jako jednoho z typů mokřadů), maloplošných chráněných území a zachovalých úseků vodních toků.

Jako lokality s největším zastoupením historických, resp. současných rybníků v rámci Polabské nížiny, jsou na základě stavu krajiny zaznamenaného na mapách II. vojenského mapování a na současných podkladech určeny oblasti Pardubicka a Poděbradska. V tomto článku jsou uvedeny výsledky pro oblast Poděbradska, a navazují tak na výzkum oblasti Pardubicka, jehož výsledky byly prezentovány v článku uveřejněném v minulém čísle časopisu VTEI [1].

## Řešené území

Řešené území, které se nachází v Polabské nížině v oblasti Poděbradska, bylo vymezeno hranicemi hydrologických povodí 4. řádu [2] v kombinaci s typologií současné krajiny ČR [3]. V úvahu však byla brána pouze hydrologická povodí 4. řádu patřící podle uvedené typologie do teplé krajiny nížin.

Řešená oblast Poděbradsko se nalézá na okraji Poděbrad a zahrnuje okolí Městce Králové a Rožďalovic. Vymezená oblast Poděbradska (obr. 1) se skládá ze 46 hydrologických povodí 4. řádu o celkové rozloze 48 969,6 ha a zaujímá téměř stejnou rozlohu jako oblast Pardubicka (50 104,5 ha). Tato povodí 4. řádu patří do následujících povodí 3. řádu: 1-04-04 Cidlina od Bystřice po ústí a Labe od Cidliny po Mrlinu, 1-04-05 Mrlina a Labe od Mrliny po Výrovku a 1-04-07 Labe od Výrovky po Jizeru [2].



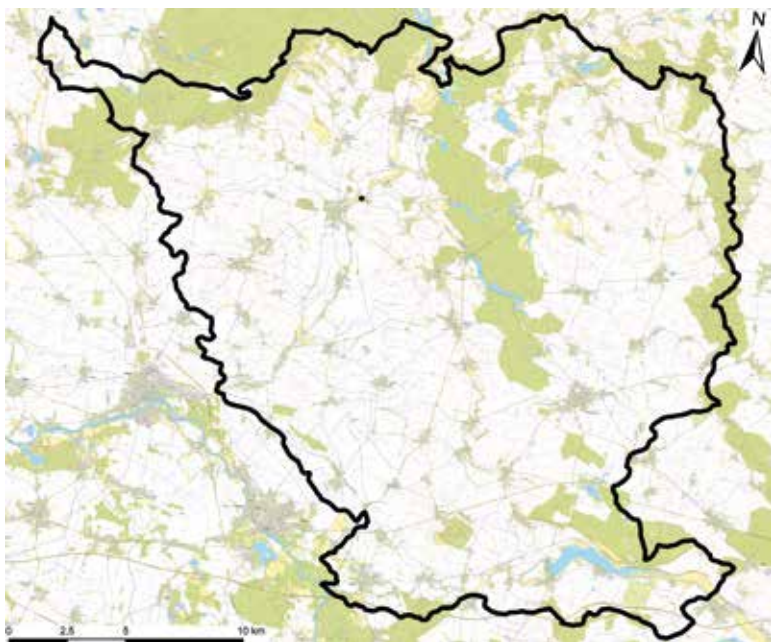
Obr. 1. Zobrazení řešeného území v oblasti Poděbradska v kontextu vymezení Polabské nížiny

Fig. 1. Location of Poděbrady region within Polabí lowland

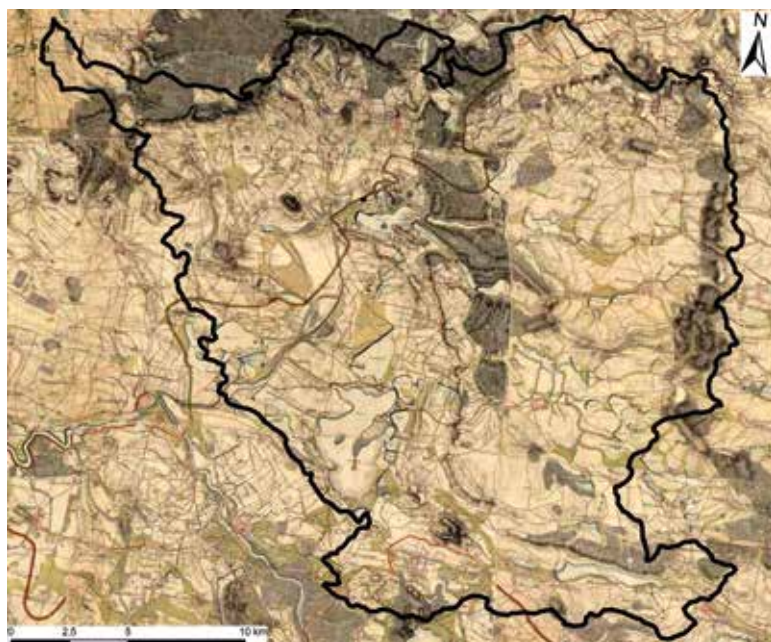
## METODIKA A POUŽITÉ MAPOVÉ PODKLADY

Oblast Poděbradska sousedí s Pardubickem, obě lokality patří do Polabské nížiny. V obou řešených oblastech byla použita shodná metodika. Prvním krokem byl výběr a následné porovnání současného a historického stavu lokalit současných i historických rybníků na základě interpretace mapových podkladů. Následoval terénní průzkum lokalit s největším podílem historických i současných rybníků pro ověření jejich aktuálního stavu, resp. stavu lokalit zaniklých rybníků. Pro primární detekci výskytu rybníků byla vybrána mapa II. vojenského mapování dostupná na Geoportálu CENIA jako WMS služba [4]. Pro přiblížení stavu krajiny před II. vojenským mapováním byla použita mapa I. vojenského mapování, dostupná v mapové prohlížečce na stránkách Arcanum Maps – The Historical Map Portal [5] a Müllerova mapa Čech z roku 1720, dostupná v rámci mapové prohlížečky Archivu Zeměměřického úřadu [6].

Pro zobrazení současného stavu rybníků a ostatních vodních ploch byly primárně použity aktuální Základní mapa ČR 1 : 10 000 (ZM 10) a aktuální ortofotomapa ČR dostupné na Geoportálu ČÚZK [7] jako WMS služba. Podrobnější informace o metodice, použitých mapových podkladech a vymezení území Polabské nížiny jsou uvedeny v předchozím článku zabývajícím se rybníky na Pardubicku [1].



Obr. 2. Zobrazení řešeného území Poděbradska na současné ZM 10  
Fig. 2. The researched area in the Poděbrady region on current BM 10



Obr. 4. Zobrazení řešeného území Poděbradska na mapě I. vojenského mapování  
Fig. 4. The researched area in the Poděbrady region on a map of the 1st military mapping



Obr. 3. Zobrazení řešeného území Poděbradska na mapě II. vojenského mapování  
Fig. 3. The researched area in the Poděbrady region on a map of the 2nd military mapping



Obr. 5. Zobrazení řešeného území Poděbradska na podkladě Müllerova mapování  
Fig. 5. The researched area in the Poděbrady region on Müller's mapping

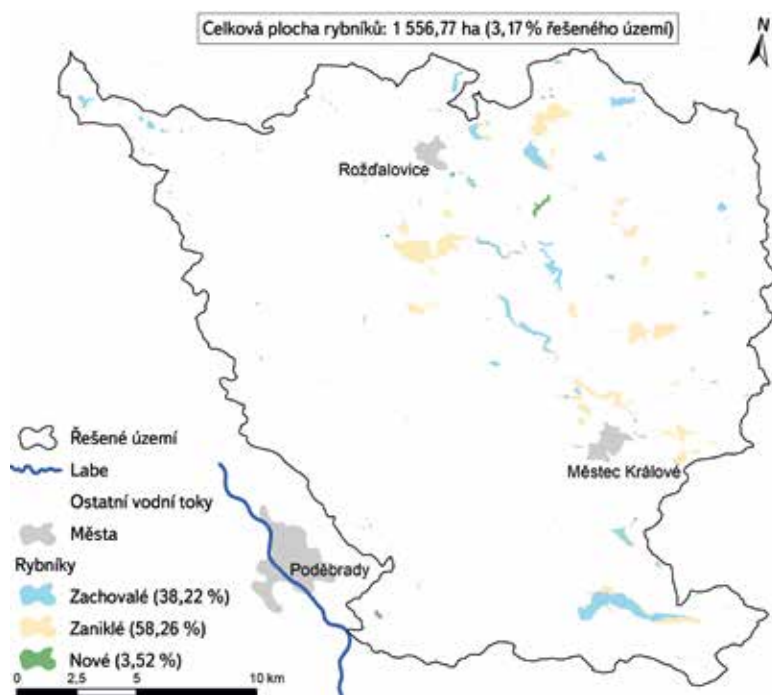
## VÝSLEDKY

Při prvotní vizuální detekci a následné analýze změn lokalizace rybníků v Polabské nížině na základě map II. vojenského mapování a současných podkladů byla vytipována dvě území s největším podílem historických a současných rybníků, a to v oblasti Pardubicka a Poděbradska.

Výsledky pro Poděbradsko, prezentované v tomto článku, jsou v další části textu porovnány s výsledky z Pardubicka. Při zběžném pohledu na řešené území Poděbradska na mapě II. vojenského mapování a současné ZM 10 je

zřejmé, že došlo k úbytku plochy rybníků a zejména k zániku nebo redukcii větších rybníčních ploch (obr. 2 a 3). Při pohledu na podklady Müllerova mapování a I. vojenského mapování je zjevné, že v oblasti Poděbradska bylo v průběhu 18. století větší zastoupení rybníků nežli v polovině 19. století. Za zmínku stojí rozlehlý rybník Blato u Poděbrad, který se na mapě II. vojenského mapování již nenalézá (obr. 4 a 5). Rybník Blato patřil – spolu s rybníkem Čeperka na Pardubicku a Rožmberkem na Třeboňsku – k největším rybníkům v Čechách [4, 5, 8].

Plocha všech typů rybníků podle stability tvoří 3,17 % řešené plochy v oblasti Poděbradska. Největší zastoupení mají zaniklé rybníky – 58,26 % rozlohy všech rybníků podle stability (906,96 ha). Následují zachovalé rybníky s 38,22 % (595 ha) a nejmenší výměru mají nové rybníky 3,52 % (54,81 ha) (obr. 6, tab. 1). Průměrná plocha zaniklých rybníků je 15,91 ha, zachovalých rybníků 9,15 ha a nových rybníků pouze 0,9 ha. Minimální velikost plochy nových rybníků je totožná s minimální velikostí, která byla při analýze dat uvažována, u zachovalých rybníků je to 0,03 ha a u zaniklých rybníků pak 0,41 ha. Pro maximální velikosti plošky platí, že největší byly rybníky historické (zaniklé a zachovalé), nejmenší pak jsou rybníky nové (tab. 1).



Obr. 6. Vývoj lokalizace rybníků v oblasti Poděbrad

Fig. 6. The development of the localisation of ponds in the Poděbrady region

Tab. 1. Krajinně ekologické charakteristiky vývoje rybníků podle stability v oblasti Poděbrad

Tab. 1. Landscape-ecological characteristics of pond development according to stability in Poděbrady region

<b>Poděbradsko (48 968,9 ha)</b>			
Rybníky 1836/52–2022	zaniklé	zachovalé	nové
Výměra [ha]	906,96	595,00	54,81
Počet plošek [ks]	57	65	61
Minimální velikost plošky [ha]	0,41	0,03	0,01
Maximální velikost plošky [ha]	188,02	185,87	19,73
Průměrná velikost plošky [ha]	15,91	9,15	0,90
Podíl na celkové ploše rybníků [%]	58,26	38,22	3,52
Poměr k celkové ploše území [%]	1,85	1,22	0,11

Orná půda v současnosti pokrývá 74,45 % plochy zaniklých rybníků, významný je též podíl trvalých travnatých porostů (TTP) (11,79 %). Bažiny a močály nahradily 7,77 % plochy zaniklých rybníků a les 3,85 % jejich plochy. Ostatní *land use* typy na místě zaniklých rybníků nepřekračují 1 % jejich celkové rozlohy (tab. 2).

Tab. 2. Současné *land use* typy na místě zaniklých rybníků v oblasti Poděbrad  
Tab. 2. Current *land use* types in places of disappeared ponds in Poděbrady region

<b>Land use</b>	<b>[ha]</b>	<b>[%]</b>
orná půda	675,21	74,45
TTP	106,94	11,79
bažiny, močály	70,51	7,77
les	34,96	3,85
zástavba	2,10	0,23
sady, parky a zahrady	8,09	0,89
křoviny	6,50	0,72
vodní toky	2,55	0,28
lomy, skládky a ostatní plochy	0,10	0,01

Porovnáme-li výše uvedené výsledky s údaji z Pardubicka [1], je zřejmé, že v době II. vojenského mapování byla na Pardubicku dvakrát větší celková plocha historických (tj. zaniklých a zachovalých) a šestkrát větší celková plocha nových rybníků; a obdobně také větší průměrná velikost jejich plochy. Ovšem z hlediska maximální velikosti ploch rybníků jsou na Pardubicku větší rybníky zaniklé a nové, na Poděbradsku naopak rybníky zachovalé.

Pardubicko a Poděbradsko zaujímají společně 99 073,4 ha, což je 23,33 % vymezeného území Polabí. Ovšem v obou těchto oblastech se nachází 77,91 % plochy zaniklých, 72,84 % zachovalých a 30,55 % nových rybníků. V Polabí jsou historické a nové rybníky na 1,71 % území, na Poděbradsku na 3,17 % a na Pardubicku na 6,83 % území. Na Pardubicku a Poděbradsku se vyskytují také největší plochy rybníků historických i nových.

Tab. 3. Krajinně ekologické charakteristiky vývoje rybníků podle stability v Polabí

Tab. 3. Landscape-ecological characteristics of pond development according to stability in Polabí lowland

<b>Polabí (424 615,7 ha)</b>			
Rybníky 1836/52–2022	zaniklé	zachovalé	nové
Výměra [ha]	4 068,03	1 970,76	1 224,48
Počet plošek [ks]	310	304	594
Minimální velikost plošky [ha]	0,10	0,01	0,01
Maximální velikost plošky [ha]	520,45	185,87	63,84
Průměrná velikost plošky [ha]	13,12	6,48	2,06
Podíl na celkové ploše rybníků [%]	56,01	27,13	16,86
Poměr k celkové ploše území [%]	0,96	0,46	0,29

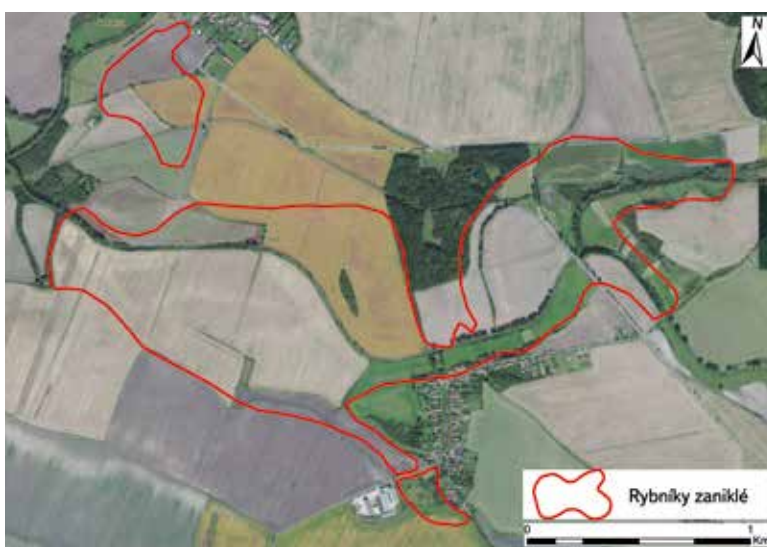
Tab. 4. Současné land use typy na místě zaniklých rybníků v Polabí  
 Tab. 4. Current land use types in places of disappeared ponds in Polabí lowland

Land use	[ha]	[%]
orná půda	2 210,15	54,33
les	791,46	19,46
TTP	630,15	15,49
bažiny, močály	169,12	4,16
zástavba	158,64	3,90
sady, parky a zahrady	56,15	1,38
křoviny	38,53	0,95
vodní toky	8,48	0,21
lomy, skládky a ostatní plochy	5,35	0,13

Z terénního průzkumu z května roku 2023 jsou níže prezentovány lokality zaniklých rybníků Nepokoj, Krčský, Štítarský, Záhorský a Kněžický.

Současný stav v lokalitě zaniklého rybníka Nepokoj u Svidnice je znázorněn na obr. 7–9. V této lokalitě jsou na orné půdě patrné známky sezonního podmáčení na místě zaniklého rybníka. Nachází se zde též napřímený a zahloubený vodní tok Štítarského potoka.

Současný stav v lokalitách zaniklých, resp. současných rybníků Krčského a Štítarského mezi Městcem Králové a Vinicemi je na obr. 10–14. Na místě obou historických rybníků jsou v současnosti stejnojmenné mnohem menší vodní plochy; obzvláště to platí o Štítarském rybníce. Mezi oběma současnými rybníky se rozkládá přírodní památka (PP) Dymokursko [7]. V této lokalitě se vyskytují rákosové porosty a na místě zaniklého rybníka je opět napřímený a zahloubený vodní tok Štítarského potoka. U Vinice je podél takto „upraveného“ vodního toku několikametrový travnatý pás a až za ním je území využíváno jako orná půda. U levo-břežního přítoku Štítarského potoka sahá orná půda až k vodnímu toku a jsou zde patrné jak známky sezonního podmáčení, tak zaplavení orné půdy.



Obr. 7. Lokalita zaniklého rybníka Nepokoj na podkladě současné ortofotomapy ČR  
 Fig. 7. Places of historical pond Nepokoj based on the current orthophoto map of the Czech Republic



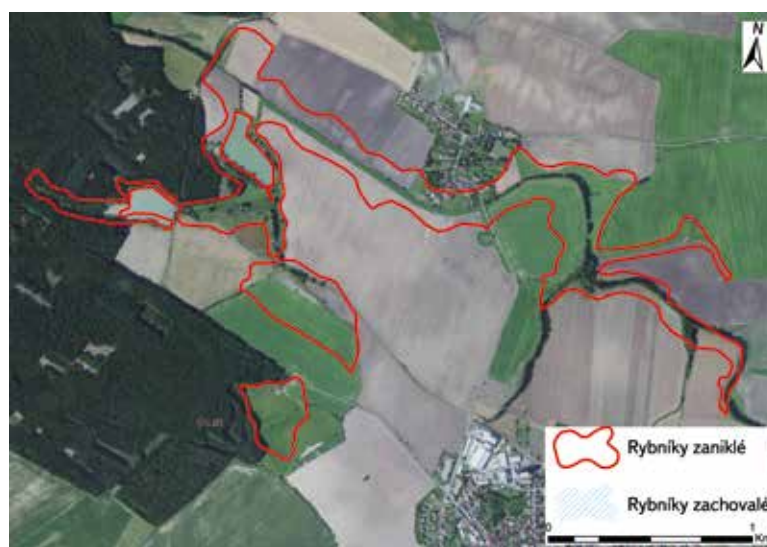
Obr. 8. Současný stav krajiny na místě zaniklého rybníka Nepokoj u Svidnice (květen 2023)

Fig. 8. The current state of the landscape in the disappeared pond Nepokoj near Svidnice village (May 2023)



Obr. 9. Podmáčená orná půda v lokalitě zaniklého rybníka Nepokoj u Svidnice (květen 2023)

Fig. 9. Waterlogged arable land in the locality of the disappeared pond Nepokoj near Svidnice village (May 2023)



Obr. 10. Lokalita zaniklého a současného Krčského rybníka a zaniklého a současného Štítarského rybníka na podkladě současné ortofotomapy ČR

Fig. 10. Places of historical ponds Krčský and Štítarský based on the current orthophoto map of the Czech Republic



Obr. 11. Současný stav krajiny na místě zaniklého Štítarského rybníka u Městce Králové v PP Dymokursko (květen 2023)

Fig. 11. The current state of the landscape in the disappeared pond Štítarský near Městec Králové town (May 2023)



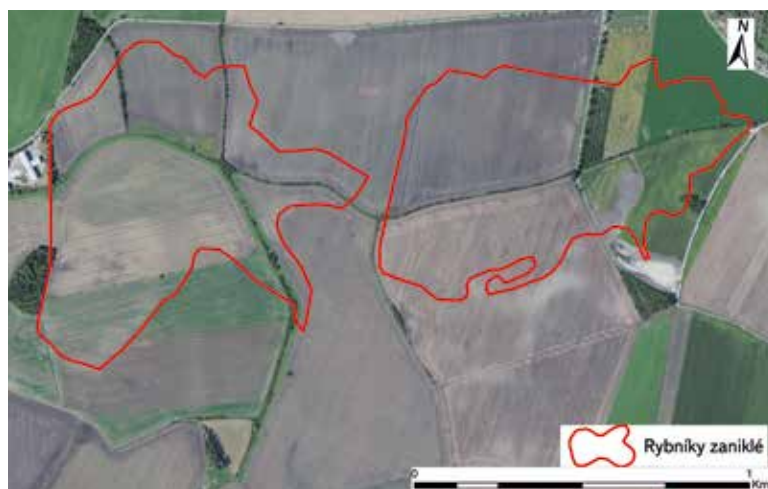
Obr. 14. Travnatý pás podél Štítarského potoka v oblasti zaniklého Štítarského rybníka u Vinice (květen 2023)

Fig. 14. The grassy strip along Štítarský creek in the disappeared pond Štítarský near Vinice village (May 2023)



Obr. 12. Krčský rybník (květen 2023)

Fig. 12. Krčský pond (May 2022)



Obr. 15. Lokalita zaniklých rybníků Záhorského a Kněžického na podkladě současné ortofotomapy ČR

Fig. 15. Places of historical ponds Záhorský and Kněžický based on the current orthophoto map of the Czech Republic



Obr. 13. Orná půda, včetně podmáčených lokalit u Štítarského potoka v oblasti zaniklého Štítarského rybníka u Městce Králové (květen 2023)

Fig. 13. Arable land, including waterlogged sites along Štítarský creek in the disappeared pond Štítarský near Městec Králové town (May 2023)



Obr. 16. Současný stav krajiny na místě zaniklého Kněžického rybníka, pohled směrem k zaniklému Záhorskému rybníku (květen 2023)

Fig. 16. The current state of the landscape at the site of the disappeared Kněžický pond, view towards the disappeared Záhorský pond (May 2023)



Obr. 17. Silně podmáčená lokalita využívaná jako orná půda v lokalitě zaniklého Kněžického rybníka (květen 2023)

Fig. 17. The Waterlogged site used as arable land in the site of the disappeared Kněžický pond (May 2023)

Současný stav v lokalitě zaniklých rybníků Záhorského a Kněžického mezi Záhornicí a Kněžicemi je prezentován na obr. 15–17. V této lokalitě se na místě zaniklých rybníků nalézá napřímený a zahloubený vodní tok Záhornického potoka, zde ovšem s dřevinným břehovým porostem. Jde o jednu z lokalit, kde byly rybníky nahrazeny převážně ornou půdou. Jsou tu patrné jak známky sezonního podmáčení, tak zaplavení orné půdy takového charakteru, že prakticky znemožňuje její smysluplné využití pro pěstování plodin.

## DISKUZE

Výsledky z Poděbradska týkající se rozlohy rybníků podle stability nekorespondují s údaji pro celou ČR, podobně jako na Pardubicku [1]. Na Poděbradsku od poloviny 19. století do současnosti mají největší zastoupení zaniklé rybníky – 58,26 % rozlohy všech rybníků podle stability (906,96 ha), následují zachovalé rybníky s 38,22 % (595 ha) a nejmenší výměru zaujímají nové rybníky 3,52 % (54,81 ha). Na Pardubicku od poloviny 19. století do současnosti mají rovněž největší zastoupení zaniklé rybníky – 66,11 % rozlohy všech rybníků podle stability (2 262,57 ha), následují zachovalé rybníky s 36,56 % (840,51 ha) a nejmenší výměru představují nové rybníky 13,4 % (319,29 ha). Naopak údaje za celou ČR uvádějí nejmenší rozlohu rybníků v polovině 19. století; od té doby se už mírně zvyšovala. Tento rozdíl je zřejmě dán tím, že v nížinách byl obecně tlak na další vlnu rušení rybníků až ve druhé polovině 19. století, ačkoli jejich velká část zde zanikla již dříve [1, 4–6, 9–11]. To je patrné zejména z podkladů I. vojenského mapování a Müllerova mapování. Na obr. 3, 4 a 5 je tento trend potvrzen i pro Poděbradsko, stejně jako předtím pro Pardubicko [1].

Nicméně oproti Poděbradsku je tu viditelná změna. Zatímco na Pardubicku byly největší rybníky, tedy Velká Čeperka, Oplatil, Rozkoš aj. (s výjimkou rybníka Rutvas), zaznamenány ještě na mapách II. vojenského mapování, na Poděbradsku největší rybník Blato již na mapách II. vojenského mapování zanesen není. Týká se to i ostatních rybníků historické Poděbradské a Nymburské rybníční soustavy (Šumberk, Bobnický, Chlebský, Vestec aj.) [4–6, 9, 10, 12]. Na obr. 6 je tato skutečnost také patrná, protože v západní části řešeného území, u Poděbrad a Nymburka, se nevyskytují žádné větší plochy historických rybníků analyzovaných podle zde uvedených metodiky (tedy od II. vojenského mapování). Na obr. 4 a 5 jsou pak plochy velkých rybníků zakresleny jak v řešeném území, tak i těsně za jeho hranicemi. Kdyby tedy bylo hodnoceno pouze území mezi Rožďalovicemi a Městcem Králové (obr. 6), vycházela by rozloha historických rybníků podobně jako na Pardubicku [1].

V rámci vyhodnocení zastoupení historických rybníků v Polabí byla vybrána část mezi Pardubicemi a Poděbrady jako ta, kde bylo jejich zastoupení nejvyšší. Poté byla tato plocha rozdělena na dvě přibližně stejné části, jež byly vyhodnoceny samostatně. Z hlediska hydrologického však toto rozdělení nebylo nejideálnější – část povodí 4. řádu na Cidlině patří k Poděbradsku a část k Pardubicku. Nicméně pokud by byla brána v potaz lokalizace řeky Cidliny, muselo by být území s největším zastoupením rybníků v Polabí rozděleno na tři části: Pardubicko (Opatovický kanál), Chlumecko (Cidlina) a Poděbradsko/Nymbursko (Mrlina). Toto rozdělení ovšem komplikuje Sánský kanál, který Cidlinu s Mrlinou propojuje. Vzhledem k velikosti obou nyní řešených území a lokalizací příslušných povodí 4. řádu by toto rozdělení nenabízelo území přibližně stejná, což by znesnadňovalo vzájemné porovnání výsledků. V lokalitách zaniklých rybníků se nachází převážně orná půda, významněji zastoupeny jsou TTP a na Pardubicku i les. Zároveň se v místech historických rybníků kromě podmáčených lokalit na současné orné půdě vyskytují maloplošná chráněná území, jež ukazují cestu, kterou by se mohla ubírat snaha o přeměnu současné krajiny na krajinu ekologicky stabilnější, reflektující její aktuální stav. Kromě již zmíněné PP Dymokursko jde na Poděbradsku (alespoň částečně) např. o národní přírodní památku (NPP) Žehuňský rybník, Dlouhopolsko, Kopicácký rybník a PP Louky u Choťánek nebo Rybník Kojetín; na Pardubicku pak o národní přírodní rezervaci (NPR) Bohdanečský rybník nebo PP U Podhránovského rybníka [2, 7].

## ZÁVĚR

Vzhledem k současnému stavu krajiny a probíhající klimatické změně by bylo vhodné využít pro krajinné plánování data o lokalizaci zaniklých rybníků. Nabízí se využití této studie pro obnovu rybníků na místech jejich historického výskytu, protože lze důvodně předpokládat, že takové lokality jsou optimální z hlediska funkčních parametrů krajiny a managementu rybníků. Opodstatnění by to mělo zejména tam, kde dochází k periodickému zamokření či zaplavení lokalit v současnosti využívaných jako orná půda, a tudíž není zcela smysluplné – a někde ani možné – sklídit vysazenou plodinu. Samozřejmě by nešlo o obnovu původních rozsáhlých rybníků. Bylo by zde možné vybudovat soustavy drobných vodních ploch splňujících definici rybníka jako jednoho z typů mokřadu, zahrnující výskyt litorálního pásma a odpovídající maximální hloubku [13–15]. Další možností je na podmáčených místech alespoň vysadit vlhkomilné dřeviny či ponechat tyto lokality sukcesí.

## Poděkování

*Příspěvek vznikl v rámci řešení interního grantu VÚV TGM č. 3600.54 .03/2022 Voda v krajině jako indikátor změn území v Polabské nížině a výzkumu Centra pro krajinu a biodiverzitu (Technologická agentura ČR SS02030018).*

## Literatura

- [1] RICHTER, P. Vývoj lokalizace rybníků v Polabské nížině od poloviny 19. století – 1. část – Pardubicko. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2023, 65(3), s. 32–38. ISSN 0322-8916.
- [2] Hydroekologický informační systém (HEIS VÚV): *Mapa Vodní hospodářství a ochrana vod* [on-line] [vid. 23. duben 2023]. Dostupné z: <https://heis.vuv.cz/>
- [3] ROMPORTL, D., CHUMAN, T., LIPSKÝ, Z. New Method of Landscape Typology in the Czech Republic. *Landscape Classification – Theory and Practice, The Problems of Landscape. Ecology*. 2018, 20, s. 315–320.
- [4] Národní geoportál INSPIRE: *WMS služby* [on-line] [vid. 30. duben 2023]. Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/wms>
- [5] *Arcanum Maps: The Historical Map Portal* [on-line] [vid. 1. květen 2023]. Dostupné z: <https://maps.arcanum.com/en/>
- [6] *Archivní mapy Ústředního archivu zeměměřictví a katastru* [on-line] [vid. 7. květen 2023]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/archiv/>

[7] Geoportál ČÚZK: *Prohlížeč služby – WMS* [on-line] [vid. 8. květen 2023]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(lcsguqwsq1my1rvbg3qy5suw\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.verejne&text=WMS.verejne.uvod&head\\_tab=sekce-03-gp&menu=311](https://geoportal.cuzk.cz/(S(lcsguqwsq1my1rvbg3qy5suw))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.verejne&text=WMS.verejne.uvod&head_tab=sekce-03-gp&menu=311)

[8] Národní památkový ústav: *Památkový katalog – Rybník Blato* [on-line] [vid. 13. květen 2023]. Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/rybnik-blato-13878707>

[9] PAVELKOVÁ, R., FRAJER, J., NETOPIIL, P. a kol. *Historické rybníky České republiky: srovnání se stavem v 2. polovině 19. století*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., 2014. 167 s.

[10] Hydroekologický informační systém (HEIS VÚV): *Hodnocení území na bývalých rybníčních soustavách (vodních plochách) s cílem posílení udržitelného hospodaření s vodními a půdními zdroji v ČR* [on-line] [vid. 15. květen 2023]. Dostupné z: <https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/projekty/HistorickeRybniky/default.asp>

[11] HAVLÍČEK, M., PAVELKOVÁ CHMELOVÁ, R., FRAJER, J., NETOPIIL, P. Vývoj využití krajiny a vodních ploch v povodí Kyjovky od roku 1763 po současnost. *Acta Pruhoniciana*. 2013, 104, s. 39–48.

[12] ELLEDER, L., ŠÍROVÁ, J., DAVID, V., KAŠPÁREK, L., KLETETSCHKA, G., DRAGOUN, Z. Vzestup a úpadek poděbradského a nymburského rybníkářství pohledem historické hydrologie. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2020, 62(1), s. 18–31. ISSN 0322-8916.

[13] RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS. *Ramsar – Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat* [on-line] [vid. 17. květen 2023]. Dostupné z: [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current\\_convention\\_text\\_e.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current_convention_text_e.pdf)

[14] AOPK ČR: *Mokřady* [on-line] [vid. 23. květen 2023]. Dostupné z: <https://mokrady.ochranaprirody.cz/o-mokradech-mokrady/>

[15] DURAS, J. Rybníky – co všechno umí a k čemu jsou dobré. *Veronica*, 2015, 2, s. 4–7. ISSN 1213-0699.

## Autor

**Ing. Pavel Richter, Ph.D.**

✉ [pavel.richter@vuv.cz](mailto:pavel.richter@vuv.cz)

ORCID: 0000-0001-6338-3481

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2023.05.004

## DEVELOPMENT OF THE PONDS LOCATION IN THE POLABÍ LOWLAND SINCE THE MID-19TH CENTURY – PART 2 – PODĚBRADY REGION

**RICHTER, P.**

T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

**Keywords:** ponds – archival maps – landscape changes – water retention in the landscape – GIS

This article presents the results of research on landscape changes in the Poděbrady region as part of the Polabí lowland, where there have been significant changes in the location of ponds. The area of all types of ponds (according to stability) makes up 3.17 % of the Poděbrady area. According to their occurrence in the territory in 1836/1852–2022, the ponds were divided into disappeared, continuous and new. Disappeared ponds have the largest representation, approximately 60 % of the total pond area according to stability. They are followed by continuous ponds and the minimum area is represented by new ponds. The historical, or more precisely, disappeared ponds were more robust than the present ones, i.e. they had a larger average size. Analyses show that almost three-quarters of the disappeared ponds area have been replaced by arable land.





# Epidemiologický přístup k odpadním vodám, stanovení vybraných nezákonných látek a pandemie covidu-19

VĚRA OČENÁŠKOVÁ, DIANA MAREŠOVÁ, DANICA POSPÍCHALOVÁ, EVA BOHADLOVÁ

**Klíčová slova:** epidemiologie odpadních vod – nezákonné látky – THC – metamfetamin – amfetamin – MDMA – kokain – pandemie covidu-19

## ABSTRAKT

Světová zdravotnická organizace (WHO) dne 30. ledna 2020 vyhlásila propuknutí globálního stavu zdravotnické nouze a v březnu téhož roku pandemie způsobené nemocí covid-19. V našem příspěvku jsme se pokusili zjistit, zda a jak tato situace ovlivnila spotřebu drog z pohledu analýzy odpadních vod. Porovnali jsme výsledky týdenních odběrových akcí z let 2019, 2020, 2021 a 2022, které probíhaly přibližně ve stejném období roku, ale v letech 2020, 2021 a 2022 byly ovlivněny nouzovým stavem a dalšími opatřeními souvisejícími s pandemií. Sledovali jsme koncentraci vybraných drog (tetrahydrokanabinolu (THC), metamfetaminu, extáze (MDMA), kokainu a vybraných metabolitů, tj. amfetaminu a benzoylgoninu) ve vzorcích odpadní vody odebraných na nátok do čistíren odpadních vod (ČOV). Prakticky u všech monitorovaných drog došlo podle našich měření ke změnám jejich spotřeby.

## ÚVOD

Od vyslovení hypotézy, že k odpadní vodě lze přistupovat jako k velmi zředěnému vzorku moči, uplynulo již téměř 25 let [1, 2]. Postupně vznikl nový interdisciplinární vědní obor – epidemiologický přístup k odpadním vodám (WBE – Wastewater Based Epidemiology), který byl zpočátku zaměřen především na zákonné i nezákonné drogy [3] a postupně se rozšiřoval o další skupiny látek a markerů vylučovaných populací do odpadních vod. Komunální odpadní vody tedy obsahují komplexní směs chemických látek včetně humánních metabolitů – biomarkerů. Kvantitativní měření těchto specifických látek poskytne informaci např. o způsobu stravování, zdravotním stavu obyvatelstva, výskytu chorob, spotřebě alkoholu i léků a expozici populace environmentálními kontaminanty [4].

Vzhledem k tomu, že virové částice SARS-CoV-2 byly infikovanou populací vylučovány močí a stolicí do komunálních odpadních vod, a to ještě před propuknutím příznaků choroby, přispěla pandemie nemoci covid-19 velmi výrazně k povýšení významu epidemiologického přístupu k odpadním vodám [5, 6], jež mohou být využity rovněž jako nástroj včasného varování před nástupem nemoci.

Stanovení vybraných drog v komunálních odpadních vodách je již dlouhodobě využíváno na evropské i celosvětové úrovni pro monitoring spotřeby drog ve sledovaných městských aglomeracích a výsledky monitoringu jsou pravidelně publikovány na webových stránkách Evropského monitorovacího centra pro drogy a drogové závislosti (EMCDDA – European Monitoring Centre for Drug and Drug Addiction) [7, 8].

## METODIKA

Stanovením nezákonných látek v odpadních vodách se hydrochemická laboratoř VÚV TGM zabývá více než 10 let. Škála stanovovaných zákonných i nezákonných drog se postupně rozšiřuje a do analýz jsou zařazovány nové látky podle aktuální situace na drogové scéně. Metoda stanovení byla vypracována dle postupu, který publikovali Postigo a kol. [9]. Jde o plně automatizovanou on-line SPE a LC-MS/MS (ESI) metodu stanovení drog. Metody stanovení v ESI+ či ESI- módu jsou akreditovány, laboratoř se každoročně zúčastňuje mezinárodního porovnání zkoušek. Toto testování probíhá v rámci celosvětového monitorování drogové situace organizovaného SCORE-network [14]. Týdenní monitorovací odběrová kampaň je realizována v jarních měsících, obvykle v dubnu až květnu, a nebyla přerušena ani v době pandemie onemocnění covid-19. Výsledků získaných v rámci těchto odběrových kampaní jsme využili při sledování dopadu pandemie na užívání drog z pohledu epidemiologického přístupu k odpadním vodám, neboť jsme měli k dispozici výsledky měření jak za „normální“ situace před pandemií, tak v době ovlivněné nemocí covid-19 a s ní souvisejícími opatřeními. Tato opatření dopadala i na provoz ČOV, jež fungovaly ve speciálním režimu.

## Historie nouzových opatření v České republice

Od počátku března 2020 až do roku 2022 včetně byla postupně vyhlášována, rozšiřována a rušena nejrůznější nařízení a opatření ovlivněná aktuální pandemickou situací především v souvislosti s počtem infikovaných a hospitalizovaných osob. V následujícím přehledu jsou stručně uvedena data vyhlášení vybraných opatření, a to zejména těch, jež byla v platnosti v době týdenních monitorovacích kampaní pro stanovení nezákonných látek. Celkový detailní přehled vládních usnesení souvisejících s bojem proti koronaviru je k dispozici na webových stránkách Vlády ČR [10].

*Stručný přehled vybraných opatření souvisejících s pandemií covidu-19:*

- 2019 – v prosinci byl covid-19 poprvé identifikován v čínském Wu-chanu
- 2020
  - 1. března – první případ v ČR
  - 12. března – nouzový stav, uzavření škol, restaurací, státních hranic atd.
  - 18. května – konec nouzového stavu, stále platí mimořádná opatření, postupné rozvolňování
  - podzim – opět nouzový stav

- 2021
  - postupně je prodloužován nouzový stav
  - 11. dubna – konec nouzového stavu, navazují opatření podle pandemického zákona
  - 23. dubna – byla přijata další opatření umožňující částečné rozvolnění
- 2022
  - stále přetrvávají nejrůznější nouzová opatření související s epidemií covidu-19
  - vyhlášení nouzového stavu na 30 dní od 4. března do 2. dubna 2022
  - prodloužení nouzového stavu do 31. dubna 2022
  - 11. dubna – vzhledem k zásadnímu zlepšení epidemické situace byla většina celostátně platných mimořádných opatření Ministerstva zdravotnictví zrušena. V platnosti zůstávají dílčí opatření pro segment zdravotnictví a sociální péče.

## Odběry a analýza odpadních vod

Pro porovnání byly zvoleny odběry a analýzy odpadních vod z pražské Ústřední čistírny odpadních vod (ÚČOV), z nátok do stávající (SVL) a nové (NVL) vodní linky. Na SVL jsou čistěny vody z kmenových stok B, D, E a F, na NVL ze stok A, C a K. Stoková síť hlavního města Prahy je znázorněna na *obr. 1*. Odběrová kampaň začínala vždy v úterý nebo ve středu a končila o týden později. Byly odebrány 24hodinové kompozitní vzorky, odběr byl realizován každých 15 minut, na přítoku na ČOV, za česly (po hrubém předčištění). Vzorky byly chlazené na teplotu 4–8 °C; pokud je nebylo možno zpracovat do 48 hodin nebo v nejnepříhodnějších případech do 72 hodin, byly až do analýzy uchovávány zmrazené na -20 °C. Termíny odběrů v jednotlivých letech nejsou zcela shodné, ale vždy byly realizovány v jarních měsících dubnu a květnu. V letech ovlivněných pandemií souvisely odběry i s možnostmi ÚČOV, která pracovala ve speciálním režimu. V roce 2019 probíhaly odběry od 2. do 8. dubna, v roce 2020 od 20. do 26. května, v roce 2021 od 20. do 26. dubna a v roce 2022 od 6. do 12. dubna.



Obr. 1. Stoková síť hlavního města Prahy

Fig. 1. Sewer network of the capital city of Prague

Porovnávány byly výsledky pro MDMA (extáze, 3,4-methylendioxy-N-metamfetamin), metamfetamin a jeho metabolit amfetamin, kokain a jeho hlavní metabolit benzoylkegonin a metabolit tetrahydrokanabinolu (THC), kterým je 11-nor-9-karboxy-delta-9-THC (nor-THC), tedy pro nejužívanější drogy. Amfetamin je v řadě zemí užíván jako droga spíše než metamfetamin, v prostředí České republiky (ČR) je v odpadních vodách považován za metabolit metamfetaminu. Extáze a kokain patří mezi „party“ drogy, tedy mezi drogy často užívané na večířkách a tanečních akcích.

Metody stanovení výše zmíněných analytů jsou podrobně popsány v publikaci Pospíchalové a kol. [11]. Vzorky byly před vlastní analýzou kondicionovány na laboratorní teplotu, pro odstranění pevných nečistot přefiltrovány přes membránové filtry, k filtrátu byl přidán směsný roztok vnitřních standardů včetně izotopově značených. Poté následovala on-line SPE-LC-MS/MS stanovení, podle analytu v ESI+ (MDMA, metamfetamin, amfetamin, kokain, benzoylkegonin), nebo ESI- módu (nor-THC), a vyhodnocení naměřených výsledků.

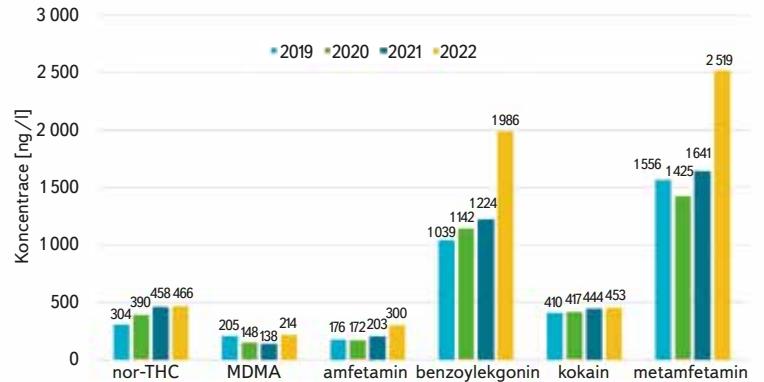
## VÝSLEDKY A DISKUZE

Po uzavření hranic v důsledku pandemie covidu-19 byly v ČR hůře dostupné prekurzory pro výrobu pervitinu, neboť tyto substance se ve velké většině pašují ze zahraničí, kde jejich prodej není přísně omežován legislativou. Uzavření hranic ovlivnilo i dostupnost kokainu a heroinu, což vedlo také k nárůstu cen jednotlivých drog. Situace na drogové scéně se v průběhu roku 2020 postupně „normalizovala“ a v letech 2021 a 2022 se s největší pravděpodobností dobře přizpůsobila aktuálnímu stavu. Podrobnější informace o situaci na drogové scéně v době nouzového stavu jsou k dispozici na internetových stránkách Národního monitorovacího střediska pro drogy a závislosti [12].

V tomto příspěvku jsme se pokusili drogovou situaci v ČR hodnotit z pohledu analýzy komunálních odpadních vod, tedy využít epidemiologický přístup k odpadním vodám, který má podle našich zkušeností velkou vypovídací schopnost o chování populace připojené ke kanalizaci v monitorované oblasti.

Na *obr. 2* jsou porovnány průměrné hodnoty koncentrací jednotlivých drog ve srovnávaných letech. Zprůměrovány jsou všechny hodnoty pro daný analyt získané z analýz vzorků odebraných na obou vodních linkách.

Porovnání potřeby vybraných drog v letech 2019–2022



Obr. 2. Průměrné hodnoty koncentrací jednotlivých drog a jejich metabolitů ve srovnávaných letech

Fig. 2. Average concentration values of individual drugs and their metabolites in the compared years

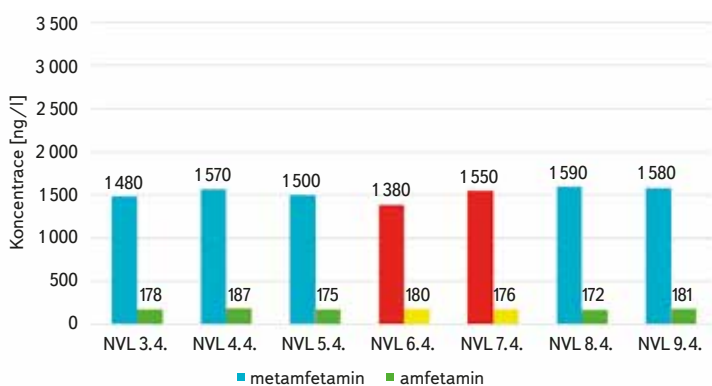
Je zřejmé, že v prvním pandemickém roce, tj. v roce 2020, došlo z pohledu analýzy odpadních vod k částečnému snížení spotřeby metamfetaminu a extáze (MDMA). U metamfetaminu bylo toto snížení pravděpodobně způsobeno horší dostupností prekurzorů pro výrobu drogy, v roce 2021 se situace na drogovém trhu s metamfetaminem zřejmě normalizovala a v posledním pandemickém roce, alespoň v době trvání odběrové kampaně, spotřeba dokonce vzrostla. U extáze, typické „party“ drogy, se nejspíše jednalo o dopad zákazu pořádání nejrůznějších akcí, na nichž je extáze užívána, a tento trend přetrvával i v roce 2021. V roce 2022 došlo v průběhu vzorkování ke zrušení většiny celostátních opatření. Na tuto skutečnost drogová scéna velmi rychle a citlivě reagovala.

U marihuany, resp. jejího metabolitu nor-THC, jenž je v odpadní vodě stanovován, a u hlavního metabolitu kokainu benzoylekgoninu, který je pro sledování spotřeby kokainu rozhodující, docházelo v průběhu srovnávaných let k nárůstu výskytu. Velmi vysoké hodnoty u benzoylekgoninu v roce 2022 pravděpodobně opět souvisejí se zrušením restriktivních opatření a možností opět organizovat taneční a jiné party. Na následujících obrázcích jsou v grafické podobě prezentovány naměřené výsledky u jednotlivých drog a jejich metabolitů v porovnávaných letech. Je zde vždy uvedena koncentrace analytu, datum odběru a vodní linka, na níž byl odběr pro danou látku proveden. Červenou, případně žlutou barvou sloupců jsou označeny víkendové dny.

Jsou tu dobře vidět právě změny v průběhu týdenního sledování. Je třeba zdůraznit, že jsou porovnávány koncentrace sledovaných látek v odpadní vodě. Denní průtoky odpadní vody čistírnou se v jednotlivých dnech příliš neliší. Vyšší průtoky jsou způsobeny především srážkami, kdy dochází k naředění odpadní vody, a tím i k případnému snížení koncentrací sledovaných látek.

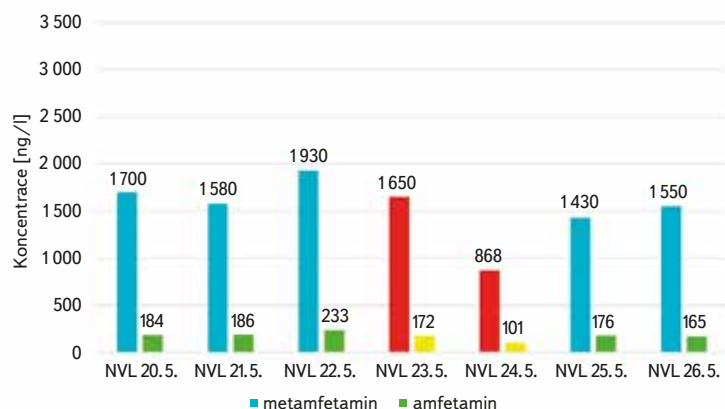
## Metamfetamin

Na obr. 3 až 6 jsou uvedeny stanovené koncentrace metamfetaminu a amfetaminu, který, jak již bylo zmíněno výše, je v ČR především metabolitem metamfetaminu.



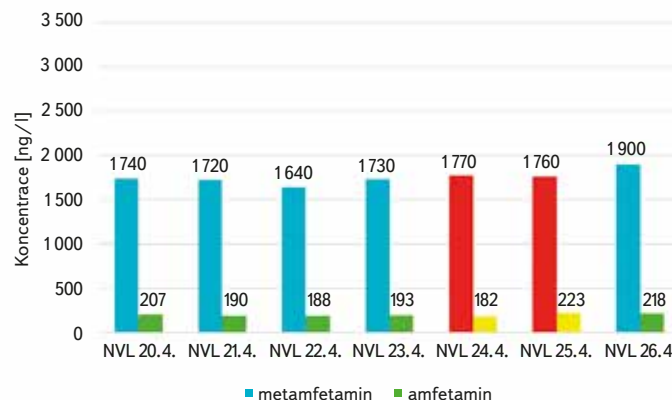
Obr. 3. Koncentrace metamfetaminu a amfetaminu v odpadní vodě odebrané na přítoku do NVL v roce 2019 ve dnech 3. až 9. dubna

Fig. 3. Concentration of methamphetamine and amphetamine in wastewater sampled at the inflow to NVL from April 3 to 9, 2019



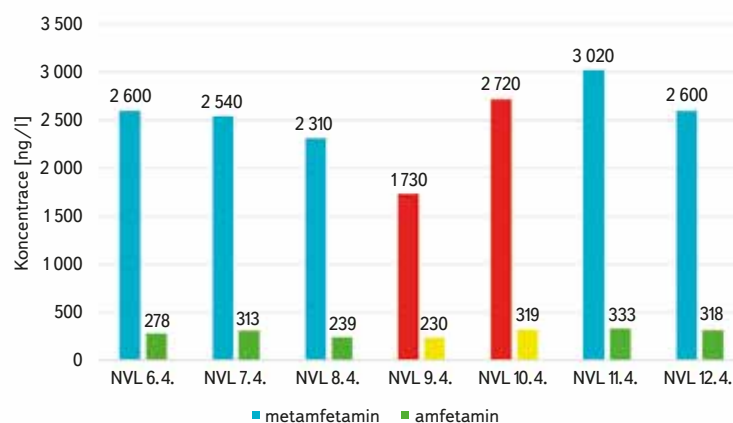
Obr. 4. Koncentrace metamfetaminu a amfetaminu v odpadní vodě odebrané na přítoku do NVL v roce 2020 ve dnech 20. až 26. května

Fig. 4. Concentration of methamphetamine and amphetamine in wastewater sampled at the inflow to NVL from May 20 to 26, 2020



Obr. 5. Koncentrace metamfetaminu a amfetaminu v odpadní vodě odebrané na přítoku do NVL v roce 2021 ve dnech 20. až 26. dubna

Fig. 5. Concentration of methamphetamine and amphetamine in wastewater sampled at the inflow to NVL from April 20 to 26, 2021



Obr. 6. Koncentrace metamfetaminu a amfetaminu v odpadní vodě odebrané na přítoku do NVL v roce 2022 ve dnech 6. až 12. dubna

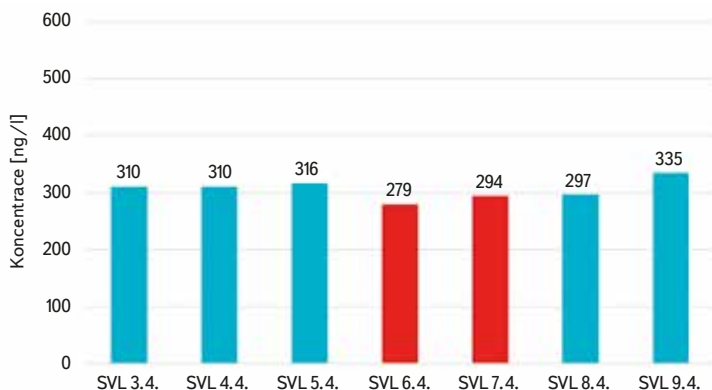
Fig. 6. Concentration of methamphetamine and amphetamine in wastewater sampled at the inflow to NVL from April 6 to 12, 2022

Spotřeba metamfetaminu se v jednotlivých dnech týdne příliš neliší, velmi dobře je to vidět na obr. 3 a 5. Na obr. 6 byla nižší koncentrace dne 9. dubna způsobena pravděpodobně vysokou srážkovou činností, a tím i naředěním vzorku odebrané vody. V následujících dnech došlo i u této drogy k vyšší spotřebě, jež mohla být způsobena zrušením nouzových opatření ke dni 11. dubna. Tento nárůst je velmi dobře patrný též na obr. 2.

## Marihuana

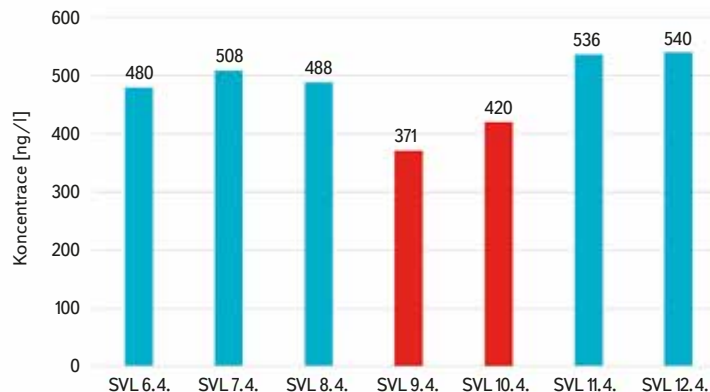
Spotřeba marihuany je monitorována sledováním míry výskytu jejího stabilního metabolitu nor-THC (11-nor-9-karboxy-delta-9-THC). I u této drogy, stejně jako u metamfetaminu, spotřeba na konkrétních dnech v týdnu nezávisí. Její spotřebu dokumentují obr. 7 až 10.

Spotřeba marihuany se podle analýzy odpadních vod v letech 2019 až 2022 postupně zvyšovala, pro tuto drogu platí prakticky totéž, co je uvedeno v případě metamfetaminu.



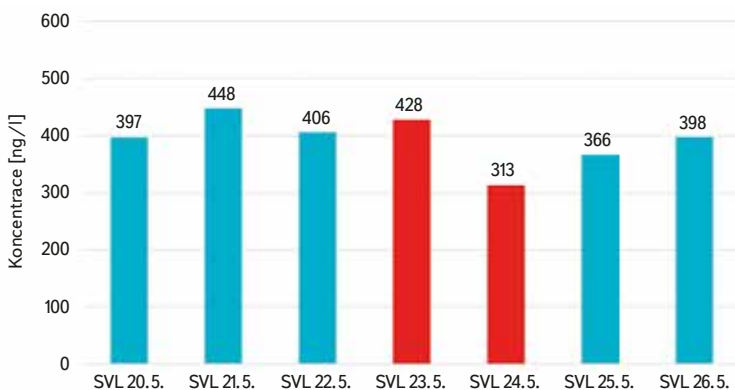
Obr. 7. Koncentrace nor-THC (11-nor-9-karboxy-delta-9-THC) v odpadní vodě odebrané na přítoku do SVL v roce 2019 ve dnech 3. až 9. dubna

Fig. 7. Concentration of nor-THC (11-nor-9-carboxy-delta-9-THC) in wastewater sampled at the inflow to the SVL from April 3 to 9, 2019



Obr. 10. Koncentrace nor-THC (11-nor-9-karboxy-delta-9-THC) v odpadní vodě odebrané na přítoku do SVL v roce 2022 ve dnech 6. až 12. dubna

Fig. 10. Concentration of nor-THC (11-nor-9-carboxy-delta-9-THC) in wastewater sampled at the inflow to the SVL from April 6 to 12, 2022



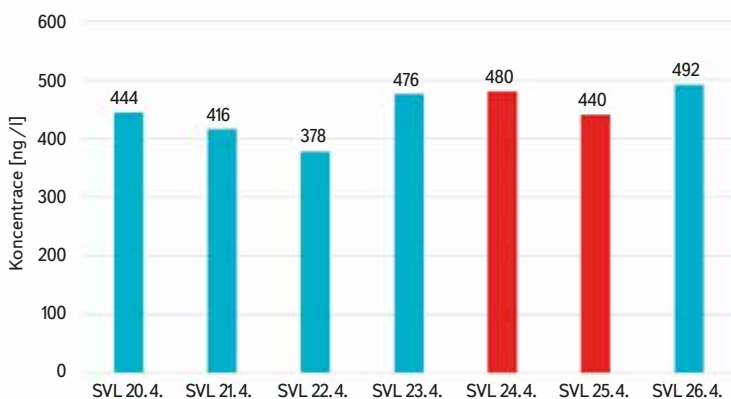
Obr. 8. Koncentrace nor-THC (11-nor-9-karboxy-delta-9-THC) v odpadní vodě odebrané na přítoku do SVL v roce 2020 ve dnech 20. až 26. května

Fig. 8. Concentration of nor-THC (11-nor-9-carboxy-delta-9-THC) in wastewater sampled at the inflow to the SVL from May 20 to 26, 2020

## Extáze (MDMA, 3,4-methylenedioxy-N-metamfetamin)

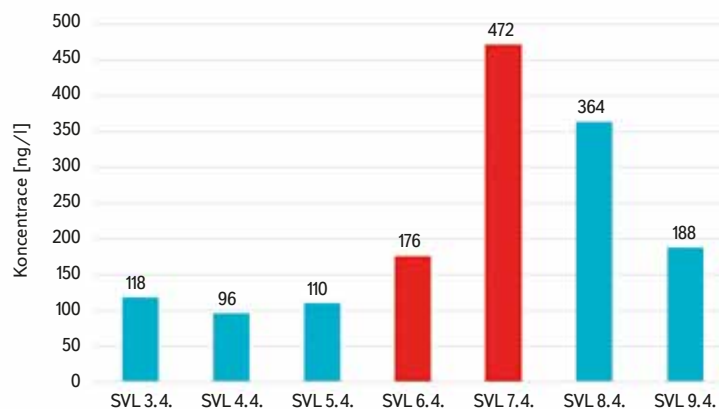
Stanovená koncentrace extáze v odpadních komunálních vodách je prezentována na obr. 11 až 14. U této drogy došlo právě vzhledem k jejímu charakteru ke snížení spotřeby v průběhu pandemie nemoci covid-19.

Níže uvedená grafická znázornění potvrzují zejména víkendovou konzumaci extáze. Na obr. 11, kde jsou výsledky z roku neovlivněného pandemicou situací, je patrný až čtyřnásobný nárůst spotřeby o víkendy proti běžnému pracovnímu dni. V roce 2020 v průběhu monitorovací akce byla restriktivní opatření stále v platnosti, včetně nouzového stavu. Docházelo však již ke snižování počtu infikovaných osob, a tím i k uvolňování napjaté situace v populaci. Nouzový stav byl zrušen v polovině května 2020. V roce 2021 byla situace obdobná, 11. dubna byl ukončen nouzový stav, v platnosti zůstala opatření dle pandemického zákona. Dne 23. dubna nastalo další rozvolnění, na které drogová scéna okamžitě reagovala, neboť bylo opět možno organizovat společenské akce. Nejvýrazněji je vše vidět na obr. 14 pro rok 2022. Reakce na informaci, že od 11. dubna bude zrušena většina mimořádných opatření, byla okamžitá, spotřeba extáze vzrostla více než třikrát.



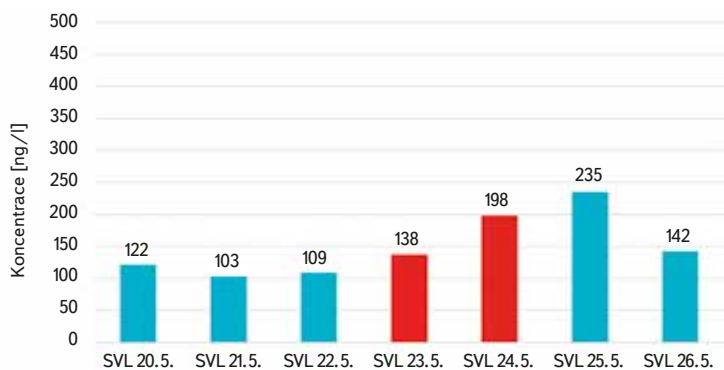
Obr. 9. Koncentrace nor-THC (11-nor-9-karboxy-delta-9-THC) v odpadní vodě odebrané na přítoku do SVL v roce 2021 ve dnech 20. až 26. dubna

Fig. 9. Concentration of nor-THC (11-nor-9-carboxy-delta-9-THC) in wastewater sampled at the inflow to the SVL from April 20 to 26, 2021



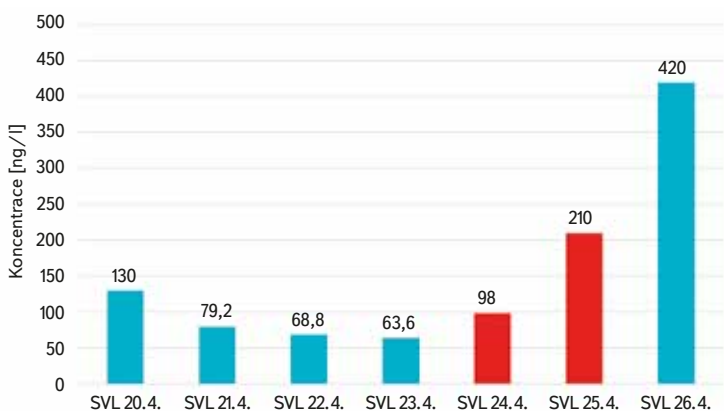
Obr. 11. Koncentrace extáze (MDMA, 3,4-methylenedioxy-N-metamfetamin) v odpadní vodě odebrané na přítoku do SVL v roce 2019 ve dnech 3. až 9. dubna

Fig. 11. Concentration of ecstasy (MDMA, 3,4-methylenedioxy-N-methamphetamine) in wastewater sampled at the inflow to SVL from April 3 to 9, 2019



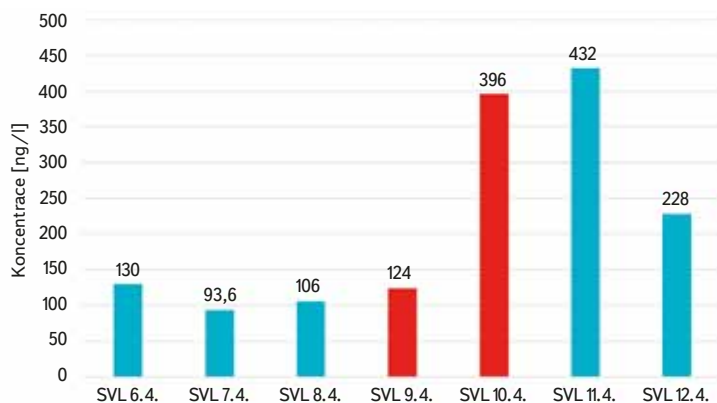
Obr. 12. Koncentrace extáze (MDMA, 3,4-methylendioxy-N-metamfetamin) v odpadní vodě odebrané na přítoku do SVL v roce 2020 ve dnech 20. až 26. května

Fig. 12. Concentration of ecstasy (MDMA, 3,4-methylene-dioxy-methamphetamine) in wastewater sampled at the inflow to SVL from May 20 to 26, 2020



Obr. 13. Koncentrace extáze (MDMA, 3,4-methylendioxy-N-metamfetamin) v odpadní vodě odebrané na přítoku do SVL v roce 2021 ve dnech 20. až 26. dubna

Fig. 13. Concentration of ecstasy (MDMA, 3,4-methylendioxy-N-methamphetamine) in wastewater sampled at the inflow to SVL from April 20 to 26, 2021



Obr. 14. Koncentrace extáze (MDMA, 3,4-methylendioxy-N-metamfetamin) v odpadní vodě odebrané na přítoku do SVL v roce 2022 ve dnech 6. až 12. dubna

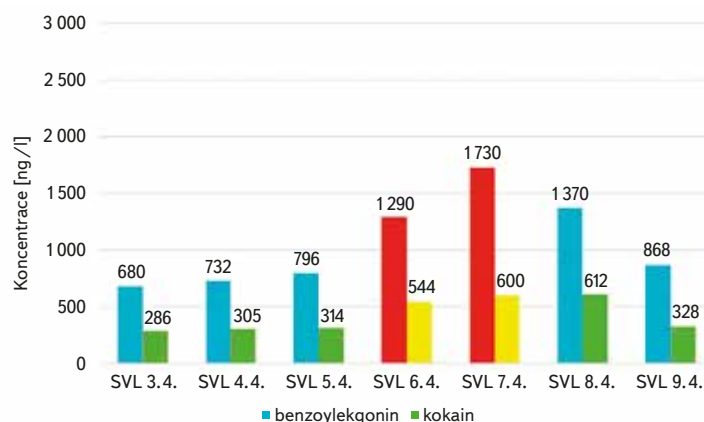
Fig. 14. Concentration of ecstasy (MDMA, 3,4-methylene-dioxy-methamphetamine) in wastewater sampled at the inflow to SVL from April 6 to 12, 2022

## Kokain

Kokain je monitorován prostřednictvím stanovení jeho nejvýznamnějšího metabolitu benzoyllecgoninu. Jde o drahou drogu užívanou především na večírcích skupiny obyvatel s vyššími příjmy. Ke sledování jsme v tomto případě cíleně vybrali nátok na stávající vodní linku (SVL), kam jsou odváděny i vody z kmenové stoky B. Koncentrace kokainu, resp. jeho metabolitu benzoyllecgoninu, je zde nejvyšší z celé Prahy a převažuje nad metamfetaminem, který je pro ČR typickou dominantní drogou [13].

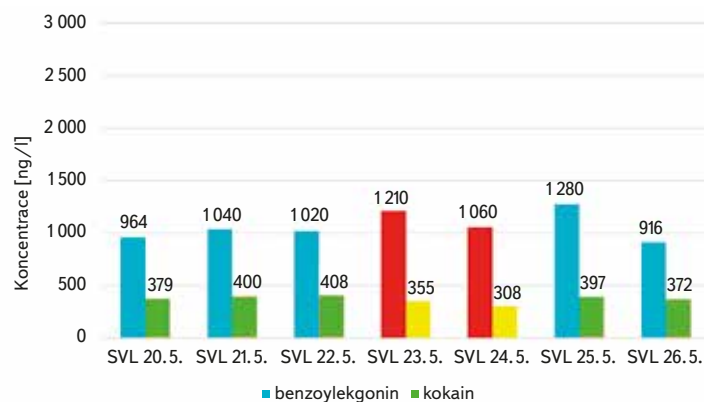
Získané výsledky pro kokain jsou patrné z obr. 15 až 18.

Pro kokain platí v podstatě totéž co pro extázi. V grafu na obr. 15 (rok 2019) je opět typický nárůst koncentrace sledované drogy, a to především jejího metabolitu o víkendových dnech. V roce 2020 (obr. 16) je koncentrace přibližně stejná po celý týden, neboť v důsledku omezení daných nouzovým stavem je zakázáno organizovat společenské akce, očekávání určitého rozvolnění se však u kokainu neprojevovalo. V roce 2021 (obr. 17) se dopad uvolnění nouzových opatření již částečně projevilo. Nejvýraznější změna je však na obr. 18 (rok 2022), kdy je znovu zřejmá rychlá reakce již na pouhé oznámení, že mimořádná opatření budou ke dni 11. dubna zrušena.



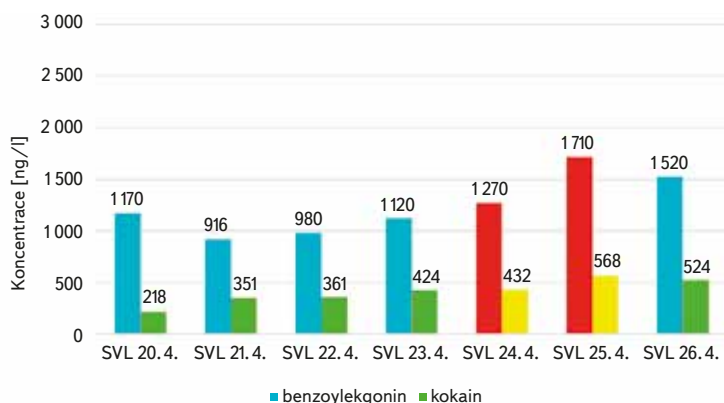
Obr. 15. Koncentrace kokainu a benzoyllecgoninu v odpadní vodě odebrané na přítoku do SVL v roce 2019 ve dnech 3. až 9. dubna

Fig. 15. Concentration of cocaine and benzoyllecgonine in wastewater sampled at the inflow to SVL from April 3 to 9, 2019



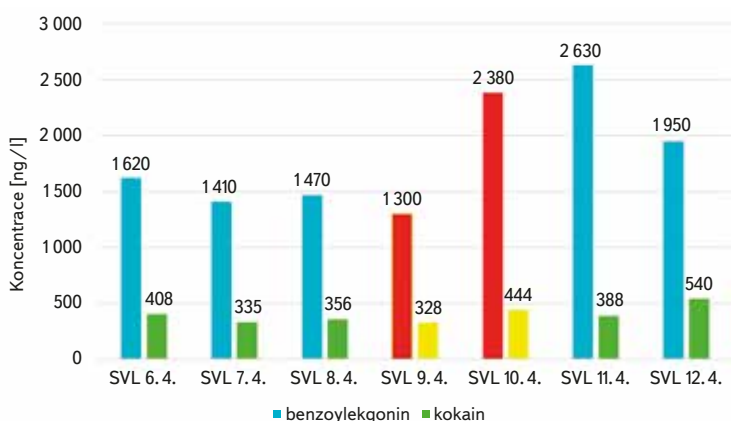
Obr. 16. Koncentrace kokainu a benzoyllecgoninu v odpadní vodě odebrané na přítoku do SVL v roce 2020 ve dnech 20. až 26. května

Fig. 16. Concentration of cocaine and benzoyllecgonine in wastewater sampled at the inflow do SVL from May 20 to 26, 2020



Obr. 17. Koncentrace kokainu a benzoylgoninu v odpadní vodě odebrané na přítoku do SVL v roce 2021 ve dnech 20. až 26. dubna

Fig. 17. Concentration of cocaine and benzoylgonine in wastewater sampled at the inflow to SVL from April 20 to 26, 2021



Obr. 18. Koncentrace kokainu a benzoylgoninu v odpadní vodě odebrané na přítoku do SVL v roce 2022 ve dnech 6. až 12. dubna

Fig. 18. Concentration of cocaine and benzoylgonine in wastewater sampled at the inflow to SVL from April 6 to 12, 2022

## ZÁVĚR

Pokusili jsme se zjistit, zda a jak pandemická situace ovlivnila spotřebu drog z pohledu analýzy odpadních vod. Porovnali jsme výsledky týdenních odběrových akcí z let 2019, 2020, 2021 a 2022, jež probíhaly přibližně ve stejném období roku, ale v letech 2020, 2021 a 2022 byly ovlivněny nouzovým stavem a dalšími opatřeními souvisejícími s pandemií. Sledovali jsme koncentraci vybraných drog (THC, metamfetaminu, MDMA, kokainu a jejich významných metabolitů amfetaminu a benzoylgoninu). Prakticky u všech monitorovaných drog podle našich měření došlo ke změnám spotřeby a je vidět, jak rychle drogová scéna reagovala na vyhlášení především pozitivních změn souvisejících s nouzovým stavem a nejrůznějšími opatřeními, jako např. na opětovné povolení pořádání tanečních a jiných hromadných akcí. Podle našeho názoru se tak potvrdila vysoká vypovídací hodnota výsledků analýzy odpadních vod a stále se zvyšující význam epidemiologického přístupu k těmto vodám, který výrazně ovlivnila a vyzdvihla právě pandemie nemoci covid-19. Právě vzhledem k velmi vysoké vypovídací hodnotě a predikční schopnosti komunálních odpadních vod by bylo velmi vhodné ve výzkumech využívajících epidemiologický přístup k odpadním vodám i nadále pokračovat a podle možností jej dále rozšiřovat také o další skupiny látek a biomarkerů, jež se v komunální odpadní vodě mohou vyskytovat [15].

## Poděkování

Měření použitá v příspěvku byla součástí projektu „Čistá voda – Zdravé město“, konceptu „Komunální odpadní voda jako diagnostické médium hlavního města Prahy“, financovaného z prostředků hlavního města Prahy v rámci Operačního programu Praha – pól růstu ČR, registrační číslo: CZ.07.1.02/0.0/0.0/16\_040/0000378 a interních grantů 3600.54.05/2021 a 3600.54.05/2022 VÚV TGM, v. i. i., podpořených z institucionálních prostředků MŽP.

Odběry by rovněž nebylo možné realizovat bez úzké spolupráce se společnostmi VEOLIA, a. s., a Pražské vodovody a kanalizace, a. s.

## Literatura

- [1] DAUGHTON, C. G., TERNES, T. A. Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Environment: Agents of Subtle Change?. *Environmental Health Perspectives*. 1999, 107(suppl. 6), s. 907–938. ISSN 0091-6765. Dostupné z: doi: 10.1289/ehp.99107s6907
- [2] DAUGHTON, C. G. Illicit Drugs in Municipal Sewage. *Pharmaceuticals and Care Products in the Environment*. Washington, DC: American Chemical Society, 2001, s. 348–364. ACS Symposium Series. ISBN 9780841237391. Dostupné z: doi: 10.1021/bk-2001-0791.ch020
- [3] ZUCCATO, E., CHIABRANDO, Ch., CASTIGLIONI, S., CALAMARI, D., BAGNATI, R., SCHIAREA, S., FANELLI, R. Cocaine in Surface Waters: A New Evidence-Based Tool to Monitor Community Drug Abuse. *Environmental Health*. 2005, 4, 15. ISSN 1476-069X. Dostupné z: doi: 10.1186/1476-069X-4-14
- [4] KASPRZYK-HORDERN, B., BIJLSMA, L., CASTIGLIONI, S. a kol. Wastewater-Based Epidemiology for Public Health Monitoring. *Water and Sewerage Journal*. 2014, 4, s. 25–26.
- [5] MEDEMA, G., HEIJNEN, L., ELSINGA, G., ITALIAANDER, R., BROUWER, A. Presence of SARS-Coronavirus-2 RNA in Sewage and Correlation with Reported COVID-19 Prevalence in the Early Stage of the Epidemic in the Netherlands. *Environmental Science and Technology Letters*. 2020, 7(7), s. 511–516. ISSN 2328-8930. Dostupné z: doi: 10.1021/acs.estlett.0c00357
- [6] LUNDY, L., FATTA-KASSINOS, D., SLOBODNIK, J. a kol. Making Waves: Collaboration in the Time of SARS-CoV-2 – Rapid Development of an International Co-operation and Wastewater Surveillance Database to Support Public Health Decision-Making. *Water Research*. 2021, 199, 117167. ISSN 00431354. Dostupné z: doi: 10.1016/j.watres.2021.117167
- [7] *Assessing Illicit Drugs in Wastewater. Potential and Limitation of a New Monitoring Approach*, EMCDDA Insights No 9, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2008. ISBN 978-92-9168-317-8.
- [8] *Wastewater Analysis and Drugs A European Multi-City study*. [www.emcdda.europa.eu](http://www.emcdda.europa.eu) [on-line] [vid. 10. květen 2023]. Dostupné z: [https://www.emcdda.europa.eu/publications/html/pods/waste-water-analysis\\_en](https://www.emcdda.europa.eu/publications/html/pods/waste-water-analysis_en)
- [9] POSTIGO, C., LOPEZ DE ALDA, M. J., BARCELÓ, D. Fully Automated Determination in the Low Nanogram per Liter Level of Different Classes of Drugs of Abuse in Sewage Water by On-Line Solid-Phase Extraction – Liquid Chromatography – Electrospray – Tandem Mass Spectrometry. *Analytical Chemistry*. 2008, 80(9), s. 3 123–3 134. ISSN 0003-2700. Dostupné z: doi: 10.1021/ac702060j
- [10] *Vládní usnesení související s bojem proti epidemii – www.vlada.cz* [on-line]. c2009-2023 [vid. 10. květen 2023]. Dostupné z: <https://www.vlada.cz/cz/epidemie-koronaviru/dulezite-informace/prehled-vladnich-usneseni-od-vyhlaseni-nouzoveho-stavu-180608/>
- [11] POSPÍCHALOVÁ, D., MAREŠOVÁ, D., OČENÁŠKOVÁ, V., ŠAFRÁNKOVÁ, T., BOHADLOVÁ, E. Stanovení vybraných drog a jejich metabolitů v odpadních vodách metodou kapalinové chromatografie. *Vodohospodářská a technicko-ekonomické informace*. 2020, 62(2), s. 42–47. ISSN 1805-6555 [on-line]. Dostupné také z: <https://www.vtei.cz/>
- [12] *Drogová scéna, uživatelé drog a adiktologické služby v době nouzového stavu covid-19 (Rapid Assessment)* [on-line]. C2015 [vid. 16. květen 2023]. Dostupné z: <https://www.drogy-info.cz/nms/vyzkum-nms/drogova-scena-uzivatele-drog-a-adiktologicke-sluzby-v-dobe-nouzoveho-stavu-covid-19-rapid-assessment>
- [13] OČENÁŠKOVÁ, V., TUŠIL, P., POSPÍCHALOVÁ, D., MAREŠOVÁ, D., ŠAFRÁNKOVÁ, T., BOHADLOVÁ, E., CHRASTINA, D. Čistá voda – zdravé město. Komunální odpadní voda jako diagnostické médium hlavního města Prahy. *SOVAK: Časopis oboru vodohospodářství a kanalizací*. 2019, 28(12), s. 5–8. ISSN 1210-3039.
- [14] <https://score-network.eu/>
- [15] SIMS, N., KASPRZYK-HORDERN, B. Future Perspectives of Wastewater-based Epidemiology: Monitoring Infectious Disease Spread and Resistance to the Community Level. *Environment International*. 2020, 139. ISSN 01604120. Dostupné z: doi: 10.1016/j.envint.2020.105689

## Autorky

**Ing. Věra Očenášková**

✉ vera.ocenaskova@vuv.cz

ORCID: 0000-0001-8692-2417

**RNDr. Diana Marešová, Ph.D.**

✉ diana.maresova@vuv.cz

ORCID: 0000-0001-9047-6747

**Ing. Danica Pospíchalová**

✉ danica.pospichalov@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-5803-3302

**Ing. Eva Bohadlová**

✉ eva.bohadlova@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-0518-4705

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2023.05.005

---

## WASTEWATER BASED EPIDEMIOLOGY, DETERMINATION OF SELECTED ILLICIT DRUGS AND COVID-19 PANDEMIC

**OČENÁŠKOVÁ, V.; MAREŠOVÁ, D.; POSPÍCHALOVÁ, D.;  
BOHADLOVÁ, E.**

T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

**Keywords:** Wastewater Based Epidemiology – WBE – illicit drugs –  
THC – methamphetamine– MDMA – cocaine – pandemy Covid-19

The World Health Organization (WHO) declared an outbreak of a global health emergency on 30 January 2020 and a pandemic caused by Covid-19 in March of the same year. In our paper, we tried to find out if and how this situation affected drug consumption from the perspective of wastewater analysis. We compared the results of weekly sampling events from 2019, 2020, 2021 and 2022, which took place approximately in the same period of the year, but in 2020, 2021 and 2022 were affected by the state of emergency and other pandemic-related measures. We monitored the concentration of selected drugs (THC, methamphetamine, MDMA, cocaine and some their metabolites amphetamine and benzoylecgonine) in wastewater samples taken at the influent to the wastewater treatment plant. According to our measurements, virtually all monitored drugs experienced changes in their consumption.





Generováno umělou inteligencí (Midjourney)



# Autoři VTEI

## RNDr. Hana Zvěřinová Mlejnková, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ hana.mlejnkova@vuv.cz

www.vuv.cz



RNDr. Hana Zvěřinová Mlejnková, Ph.D., vystudovala Přírodovědeckou fakultu Masarykovy univerzity v Brně (dříve Universita J. E. Purkyně), obor Obecná biologie, specializace Mikrobiologie. Od roku 1992 byla zaměstnána ve VÚV TGM, v. v. i., v Brně v Oddělení hydrobiologie. V roce 2016 se přesunula na pražské pracoviště VÚV TGM, v. v. i., kde působila v Oddělení ochrany jakosti vod a od roku 2018 pak v Odboru analýz a hodnocení složek životního prostředí jako vedoucí Oddělení mikrobiologie vody a hydrobiologie. V rámci svých výzkumných a odborných aktivit se věnuje řešení projektů v oblastech týkajících se hodnocení jakosti vod, mikrobiologie a hydrobiologie, expertní činnosti v Česko-rakouské komisi pro hraniční vody, konzultační, posudkové a pedagogické činnosti. Je autorkou a spoluautorkou řady publikací v mezinárodních i tuzemských odborných časopisech, několika monografií, certifikovaných metodik a specializovaných map. V současné době se věnuje problematice využití odpadních vod jako diagnostického média pro monitoring epidemiologických situací a mikrobiálnímu znečištění povrchových a odpadních vod se zaměřením na rizikové faktory, jako je např. antibiotická rezistence.

## Ing. Pavel Richter, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ pavel.richter@vuv.cz

www.vuv.cz



Ing. Pavel Richter, Ph.D., je zaměstnancem Odboru ochrany vod a informatiky ve VÚV TGM, v. v. i., od roku 2007. V roce 2008 dokončil v magisterském studijním programu Krajinné inženýrství studijní obor Regionální environmentální správa na Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze. V roce 2015 pak tamtéž úspěšně ukončil v doktorském studijním programu Environmentální vědy studijní obor Aplikovaná a krajinná ekologie. Na České zemědělské univerzitě v Praze se v současnosti podílí na výuce předmětů Krajinná ekologie a Základy krajinné ekologie a působí jako vedoucí bakalářských a diplomových prací. Zaměřuje se na problematiku zadržování vody v krajině a na vývoj krajiny na základě interpretace archivních mapových podkladů, zejména na krajinné změny v oblasti mokřadů, vodních ploch a vodních toků včetně jejich niv. V rámci provozu Hydroekologického informačního systému se zabývá především evidencemi ISVS-VODA a evidencemi správního členění, chráněných území, vodních toků, vodních ploch a hydrologických povodí.

## doc. RNDr. Jan Unucka, Ph.D.

Český hydrometeorologický ústav, Ostrava

✉ jan.unucka@chmi.cz

www.chmi.cz



Doc. RNDr. Jan Unucka, Ph.D., v současnosti pracuje na ostravské pobožce ČHMÚ jako vedoucí Oddělení hydrologie a pracovník vědy a výzkumu. Studoval obory Fyzická geografie a geoekologie a Environmentální geografie na Přírodovědecké fakultě Ostravské univerzity v magisterském a následně doktorském studijním programu. Poté se habilitoval na Vysoké škole báňské – Technické univerzitě v Ostravě v oboru Geoinformatika. Profesně se zaměřuje zejména na problematiku lesnické hydrologie, využití GIS v hydrologii a hydroinformatiku. Podílel se a podílí na řešení výzkumných projektů a také provozu experimentálních povodí v Beskydech, Jeseníkách a Orlických horách ve spolupráci s Výzkumným ústavem lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i. Mezi hlavní koníčky patří příroda a její fotografování, hudba a pastevecká plemena psů.

## Ing. František Sýkora

VÚV TGM, v. v. i., Ostrava

✉ frantisek.sykora@vuv.cz

www.vuv.cz



Ing. František Sýkora vystudoval Vysokou školu báňskou – Technickou univerzitu v Ostravě, obor Technologie a hospodaření s vodou. Do VÚV TGM, v. v. i., pobočky Ostrava, nastoupil v roce 2006 jako manažer kvality zkušební laboratoře hydrochemických a hydrobiologických analýz a řešitel výzkumných projektů v oddělení ochrany jakosti vod. Zabývá se zejména problematikou nebezpečných látek v hydrosféře, posuzováním vlivu vypouštění odpadních vod na kvalitu a stav povrchových vod, včetně problematiky určení mísicí zóny. V letech 2008–2019 byl expertem pro fyzikálně-chemické aspekty v pracovní skupině Monitoring (GM) Mezinárodní komise pro ochranu Odry před znečištěním se sídlem ve Wroclawi. Roku 2019 byl jmenován do pozice člena pracovní skupiny Monitoring (GM). V současnosti je řešitelem výzkumných projektů zaměřených na zjišťování a hodnocení emisí emergentních polutantů do vodního prostředí.

## Ing. Věra Očenášková

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ vera.ocenaskova@vuv.cz

www.vuv.cz



Ing. Věra Očenášková je dlouholetým zaměstnancem Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v. v. i. Absolvovala Vysokou školu chemicko-technologickou v Praze, Fakultu potravinářských a biochemických technologií. Pracuje v hydrochemické laboratoři odboru Referenční laboratoř složek životního prostředí a odpadů, jehož vedoucí byla v letech 2008–2013. Dlouhodobě spolupracovala s mezinárodní asociací NORMAN a zastupovala Českou republiku v pracovní skupině CMPE (Chemical Monitoring and Emerging Polutants) spadající pod Common Implementation Strategy WFD. Věnuje se především sledování kontaminantů životního prostředí, zejména složek hydrosféry. Je řešitelkou několika projektů a autorkou řady publikací. V posledních letech se zabývá problematikou epidemiologického přístupu k odpadním vodám.



Foto: archiv S. Vosíky

## Rozhovor s Dr. rer. nat. Slavomírem Vosíkem, vedoucím sekretariátu Mezinárodní komise pro ochranu Labe v Magdeburku

**Pane Vosíko, proč právě voda a jaké byly vaše začátky v oblasti vodního hospodářství? Co bylo impulzem ucházet se o místo na sekretariátu MKOL, respektive o místo jejího šéfa?**

K vodě a vodnímu hospodářství jsem se dostal přes práci v sekretariátu Mezinárodní komise pro ochranu Labe – MKOL. Koncem roku 1990 MKOL hledala pracovníky pro svůj sekretariát v Magdeburku. Byla to pro mne možnost využít jak odborné, tak i jazykové znalosti. Vystudoval jsem chemii se zaměřením na analytickou chemii na Vysoké škole technické v Merseburgu, zhruba 30 kilometrů západně od Lipska. V srpnu 1991 jsem nastoupil v sekretariátu na místo referenta, v říjnu 1995 jsem převzal funkci vědeckého pracovníka a 1. ledna 2004 funkci vedoucího sekretariátu MKOL.

**Pokud se nepletu, Dohoda o MKOL byla pro Spolkovou republiku Německo první sjednanou mezinárodní dohodou po sjednocení. Dohoda tak má mimo vodařský obor i zvláštní význam pro samotné Německo.**

Ano, je to tak. Dohoda o MKOL, podepsaná dne 8. října 1990 v Magdeburku, byla první mezinárodní smlouvou, kterou Německo po svém sjednocení dne 3. října 1990 uzavřelo.

**Pamatujete si na první úkol, který jste na sekretariátu řešil?**

Jedním z mých prvních úkolů byla podpora činnosti pracovní skupiny „Havarijní znečištění vod“ (H) MKOL a příprava přestěhování sekretariátu z budovy bývalého Ředitelství vodního hospodářství Střední Labe, o niž projevil zájem

zemský sněm spolkové země Sasko-Anhaltsko, do prostor Vodního a plavebního úřadu Magdeburk, kde sekretariát sídlí dodnes.

### **Během více než třiceti let existence MKOL prošlo přes sekretariát mnoho projektů. Který vám nejméně utkvěl v paměti?**

Projektů s vazbou na Labe byla především v devadesátých letech minulého století opravdu spousta. Evropská unie i Německo významně podporovaly financování těchto projektů. Gesce projektů byla vždy u příslušných ministerstev nebo výzkumných institucí. Snahou pracovních skupin a sekretariátu MKOL bylo implementovat výstupy z těchto projektů do doporučení MKOL. Pokud bych měl vzpomenout jednu z aktivit za všechny, pak by to bylo zlepšení kvality vody v Labi. Koncem osmdesátých let 20. století patřilo Labe k nejméně znečištěným řekám v Evropě. Pro zlepšení tohoto stavu bylo počátkem devadesátých let rozhodnuto sledovat jakost vody v povodí Labe na základě dohodnutého mezinárodního programu měření. Základním kamenem sledování vývoje jakosti vody v Labi a jeho přítocích byla a je síť měřicích stanic jakosti vody. Důležitým předpokladem společné interpretace naměřených hodnot je porovnatelnost používaných metod měření.

### **Na webu MKOL je možné se dočíst o fungování jednotlivých pracovních skupin MKOL nebo jejich prezidentů. Důležitou součástí MKOL je i jeho sekretariát, o němž se však nikde nic nedočteme, mimo jiné ani o vás, což je škoda.**

Sekretariát MKOL podporuje činnost Komise po odborné, jazykové a organizačně technické stránce. Osmičlenný tým tvoří tři vědeckí pracovníci, dvě překladatelky-tlumočnice, dvě administrativní pracovnice a vedoucí sekretariátu.

### **Jaká jsou aktuální témata, která MKOL a jeho sekretariát v současné době řeší?**

Byla dokončena analýza málo vodného období 2014–2020 v povodí Labe. Ve spolupráci s předpovědními povodňovými centrály v Praze, Drážďanech a Magdeburku probíhá prověření a aktualizace informačních kanálů s přeshraničním významem mezi předpovědními povodňovými centrály na Labi. Přípravuje se Mezinárodní program měření Labe na rok 2024 a Mezinárodní program měření Labe pro sledování jakosti vody v případě extrémních hydrologických situací. Také se chystá aktualizace Mezinárodní varovného a poplachového plánu Labe. Pokračují práce na rozšíření Poplachového modelu Labe (ALAMO), tedy modelu pro prognózu šíření vln škodlivých látek v Labi, o přítok Bílinu. Podporujeme hlavního organizátora, státní podnik Povodí Ohře, při přípravě 20. Magdeburského semináře o ochraně vod, který se uskuteční ve dnech 11. a 12. října 2023 v Karlových Varech.

### **Právě sekretariát MKOL se na přípravě Magdeburského semináře dlouhodobě spolupodílí. Vzpomenete si na první z nich a můžete krátce popsat vývoj této významné vodohospodářské akce?**

Tradice Magdeburských seminářů o ochraně vod vznikla v roce 1988 v Magdeburku. První česko-německý Magdeburský seminář o ochraně vod, na jehož organizaci se poprvé podílela i MKOL, se uskutečnil v září 1992 ve Špindlerově Mlýně. Od roku 1992 je seminář pořádán střídavě v České republice a v Německu a v průběhu let si získal pověst jedné z nejvýznamnějších odborných a vědeckých akcí v oblasti ochrany vod v povodí Labe. Pro zástupce z oblasti vědy, praxe a orgánů státní správy se stal platformou k výměně nejnovějších poznatků a zkušeností. Svou vazbou na povodí Labe je seminář jedinečný a nemá v kontextu velkých evropských říčních povodí obdoby.

### **Letošní ročník Magdeburského semináře se uskuteční pod názvem „Extrémní hydrologické jevy a jejich dopady v povodí Labe“. Na co se můžeme těšit?**

V rámci již 20. ročníku Magdeburského semináře o ochraně vod ve dnech 11. a 12. října 2023 v Karlových Varech zazní v pěti odborných blocích celkem 26 přednášek. Součástí semináře jsou i prezentace přibližně 30 posterů a tři exkurze.

### **Jaká je podle vás budoucnost MKOL, respektive jak bude podle vás vypadat MKOL v roce 2050?**

Princip koordinovaného přeshraničního postupu při řešení otázek ochrany vod v říčních povodích je základem česko-německé spolupráce v rámci MKOL od jejího založení. Tento princip je nedílnou součástí evropské legislativy, například Rámcové směrnice o vodách nebo Povodňové směrnice. S ohledem na budoucí výzvy, před nimiž stojí říční povodí, se na tomto přístupu v zásadě nic nezmění. Komise pro ochranu vod v říčních povodích jako osvědčené nástroje mezinárodní spolupráce budou určitě významnou součástí i jeho budoucí implementace.

*Pane doktore, děkuji za čas, který jste věnoval našemu rozhovoru.*

**Ing. Josef Nistler**

### **Dr. rer. nat. Slavomír Vosika**

Dr. rer. nat. Slavomír Vosika, vedoucí sekretariátu Mezinárodní komise pro ochranu Labe (MKOL) v Magdeburku, studoval chemii se zaměřením na analytickou chemii na Vysoké škole technické v Merseburgu. V srpnu 1991 nastoupil na místo referenta v sekretariátu Mezinárodní komise pro ochranu Labe (MKOL) se sídlem v Magdeburku, v říjnu 1995 převzal funkci vědeckého pracovníka a v lednu 2004 funkci vedoucího sekretariátu MKOL.



✉ vosika@ikse-mkol.org  
www.ikse-mkol.org

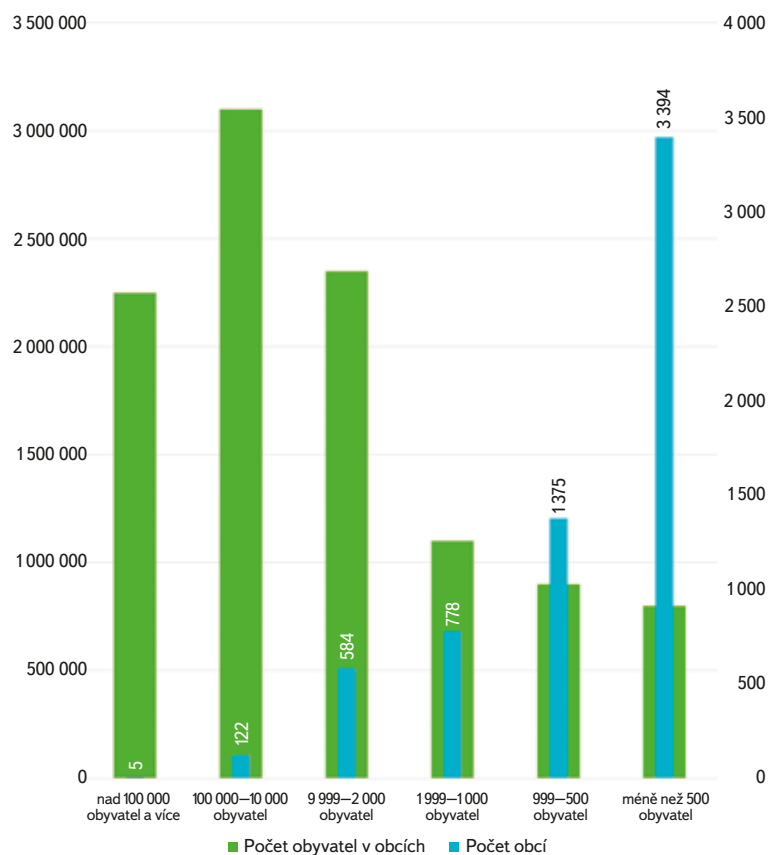
# Zásadní revize směrnice o čištění městských odpadních vod vyvolává protichůdné reakce členských států Evropské unie

Směrnice Rady 91/271/EHS ze dne 21. května 1991 o čištění městských odpadních vod (Urban Waste Water Treatment Directive – UWWTD) vstoupila v platnost před 32 lety, což je na právní předpis úctyhodný věk. V průběhu účinnosti směrnice bylo důsledným uplatňováním jejích požadavků v praxi dosaženo dobrých výsledků v ochraně vod. V období 1990–2014 došlo ke snížení množství znečišťujících látek ve vyčištěných a vypouštěných městských odpadních vodách u organického znečištění vyjádřeného BSK<sub>5</sub> o 61 %, u celkového dusíku o 32 % a u celkového fosforu o 44 %. Rozsáhlá podpora poskytovaná městům a obcím z finančních nástrojů EU i z národních zdrojů a poměrně přísné uplatňování sankcí vedly podle údajů publikovaných Evropskou komisí (EK) k tomu, že v současnosti je 98 % odpadních vod v EU efektivně shromažďováno a odváděno a 92 % náležitě čištěno. Požadavky směrnice byly dosud primárně zaměřeny na centralizované systémy shromažďování, odvádění a čištění odpadních vod v aglomeracích produkujících zátěž na úrovni 2 000 ekvivalentních obyvatel (EO) a více.

Jelikož se po 32 letech přece jen projevila určitá zastaralost tohoto právního předpisu, EU dospěla k rozhodnutí o jeho rozsáhlé novelizaci, pro kterou uvedla pět hlavních důvodů:

- Rozhodujícím EK uváděným důvodem bylo značné zbývající znečištění v odpadních vodách vypouštěných z aglomerací pod 2 000 EO, ve srážkových vodách odtékajících z urbanizovaných území, ve vodách odtékajících z přeпадů odlehčovacích komor při přívalových a dlouho trvajících silných srážkách a kontaminace produkovaná individuálními systémy čištění odpadních vod.
- Druhým EK uváděným důvodem bylo nedostatečné sladění směrnice s cíli politiky EU stanovenými Zelenou dohodou pro Evropu (European Green Deal), zejména v oblasti snižování produkce emisí skleníkových plynů, snižování velké energetické náročnosti procesů čištění odpadních vod, opětovného využívání vyčištěných odpadních vod a využívání surovinového a energetického potenciálu kalů z čištění odpadních vod.
- Třetím EK uváděným důvodem byla přetrvávající nedostatečná a velmi rozdílná úroveň managementu v jednotlivých členských státech při provozování stokových sítí a ČOV, při prosazování principu „znečišťovatel platí“ a při řízení úrovně a efektivity monitoringu a předávání výsledků ve zprávách s využíváním moderních systémů digitalizace.
- Čtvrtým EK uváděným důvodem byla nutnost řešení nových problémů, jako je vysoký obsah mikropolutantů v odpadních vodách (především výrobků farmaceutického průmyslu a prostředků pro osobní péči), zavedení efektivního monitoringu přítomnosti a množství epidemických i pandemických faktorů v odpadních vodách a implementace schématu rozšířené odpovědnosti výrobců a dovozců (Extended Producer Responsibility – EPR).
- Pátým EK uváděným důvodem bylo nedostatečné sladění směrnice s aktuálními poznatky vědy a s technologickým vývojem.

Postup legislativního procesu revize směrnice o čištění městských odpadních vod je poměrně zdoluhavý a komplikovaný. V roce 2019 bylo dokončeno podrobné hodnocení tohoto právního předpisu v rámci programu REFIT [1], které zveřejnila EK. Ta 26. října 2023 předložila členským státům první návrh revize směrnice Rady 91/271/EHS ze dne 21. května 1991 o čištění městských odpadních vod. Jejich text byl rozšířen z původních 20 článků a tří příloh na



Obr. 1. Počet obyvatel v obcích a počet obcí v České republice (Zdroj: Český statistický úřad)

35 článků a osm příloh. Kromě cílů v původní primární oblasti ochrany životního prostředí byly nově zavedeny cíle v oblastech ochrany veřejného zdraví, snižování emisí skleníkových plynů, správy a transparentnosti vodohospodářského sektoru, přístupu občanů členských států EU k hygienickým a sanitárním zařízením a monitoringu shromažďování, odvádění a čištění odpadních vod. V návrhu EK požádala o pravomoc pro vydání celkem 16 předpisů v přenesené pravomoci (delegate acts, implementation acts).

Návrh revize směrnice byl následně projednáván v Bruselu Pracovní skupinou Rady EU J.1 pro životní prostředí složenou ze zástupců EK a jednotlivých členských států v průběhu českého předsednictví Radě EU (4. listopadu 2022 a 2. prosince 2022) a následně za švédského předsednictví (13. ledna 2023, 27. ledna 2023, 6. února 2023 a 21. března 2023). Návrh byl rovněž jedním z bodů programu neformálního jednání vodních ředitelů členských států zemí EU, zástupců EK, států Evropského sdružení volného obchodu (ESVO) a kandidátských zemí, které proběhlo 20.–22. listopadu 2022 v Praze. Tématu revize a jejích politických souvislostí a důsledků se také věnovali ministři životního prostředí na zasedání Rady ENVI konaném 16. března 2023 v Bruselu. Dne 26. dubna 2023



Obr. 2. Obec Ledce – ČOV 1 000 EO s kanalizací (Foto: T. Homola)



Obr. 3. Hlavní město Praha – v popředí VÚV TGM, vlevo Ústřední ČOV 1 400 000 EO (Foto: I. Ibrahimovič)

návrh projednal Výbor pro životní prostředí, veřejné zdraví a bezpečnost potravin Evropského parlamentu. Podle předběžného programu legislativního procesu by měl 24. října 2023 Evropský parlament jednat o návrhu zprávy a 20. listopadu 2023 by mělo proběhnout hlasování na plénu.

Dosud však není zcela jisté, zda se legislativní proces ve výše uvedeném termínu podaří dokončit, protože se v průběhu jednání objevila řada problémů a kontroverzních témat, jež jednotlivé členské státy reflektovaly a následně EK připomínkovaly. Pro část z nich je velmi problematické rozšíření působnosti směrnice na všechny aglomerace nad 1 000 EO v případě požadavku na zajištění centralizovaného sběru, odvádění a sekundárního čištění odpadních vod do 31. prosince 2030. U tohoto cíle může situaci ještě výrazně zkomplikovat projednávání revidované směrnice v Evropském parlamentu, kde se již objevil pozměňovací návrh na zahrnutí všech aglomerací nad 500 EO. Přijetí tohoto pozměňovacího návrhu by pro Českou republiku znamenalo rozšíření působnosti směrnice na dalších 1 375 obcí (obr. 1).

Sporné jsou rovněž navrhované limity obsahu celkového fosforu a dusíku ve vyčištěných městských odpadních vodách vypouštěných do vodních toků. U celkového fosforu je nereálné navrhované snížení produkovaného znečištění o 90 % v termínu do 31. prosince 2035 a o 95 % do 31. prosince 2040. Energetická neutralita čistíren městských odpadních vod bude pro členské státy s malou rozlohou území a s malým počtem velkých ČOV nerealizovatelná. I pro středně velké a velké členské státy bude v podstatě nedosažitelná v případě navrhované podmínky produkce energie pouze z obnovitelných zdrojů jednotlivých ČOV. Opětovné využívání přečištěných odpadních vod k zavlažování v zemědělství vítají země z mediteránní oblasti s dlouhodobým nedostatkem vody, které toto opatření již více let praktikují. Naopak státy ve středních a vyšších zeměpisných šířkách toto opatření odmítají z důvodu reálného rizika kontaminace půd a podzemních vod. Využívání živin z čistírenských kalů v zemědělství pro některé členské státy představuje riziko ohrožení vody a půdy. Kontroverzním tématem je zavedení kvartérního čištění u ČOV od 10 000 do 100 000 EO do 31. prosince 2040 v oblastech, kde koncentrace nebo kumulace mikropolutantů představuje riziko pro lidské zdraví nebo životní prostředí. EK má základní požadavek, aby výrobci a dovozci farmaceutických produktů a přípravků pro osobní péči pokryli 100 % nákladů na kvartérní čištění, jež se bude týkat produktů umístěných na trh EU (producenti, dovozci, distributoři) a bude zahrnovat rezidua látek v odpadních vodách (mikropolutanty

z farmaceutického a kosmetického průmyslu). Všechny členské státy EU se obávají extrémně vysokých nákladů spojených s realizací všech opatření ke splnění požadavků předloženého návrhu revize směrnice a většina stanovených termínů je podle nich nereálná. Příkladem časově a finančně náročných investic do čištění odpadních vod malého i velkého rozsahu v ČR může být výstavba kanalizace a ČOV v obci Ledce v Plzeňském kraji (obr. 2) i modernizace a intenzifikace Ústřední ČOV v hlavním městě Praze (obr. 3).

Vzhledem k důležitosti směrnice o čištění městských odpadních vod pro sektor vodního hospodářství i k – odbornými argumenty prokázané – nutnosti ji zásadní revizí přizpůsobit poznatkům a potřebám třetí dekády 21. století, je nezbytné, aby další jednání legislativního procesu byla konstruktivní a aby novelizovaná směrnice byla schválena v podobě optimální jak pro vlastníky a provozovatele, tak i pro ochranu vod a vodních ekosystémů.

## Literatura

[1] Pracovní dokument útvarů EK, „Souhrn hodnocení směrnice Rady 91/271/EHS ze dne 21. května 1991 o čištění městských odpadních vod“ (SWD 2019, 700 final).

## Autor

**Mgr. Tomáš Gremlica**

✉ [tomas.gremlica@mze.cz](mailto:tomas.gremlica@mze.cz)

Ministerstvo zemědělství ČR

# Grafické využití AI

V červnovém čísle VTEI jsme se formou „rozhovoru“ seznámili s AI nástrojem ChatGPT. Na téma umělé inteligence přinášíme pokračování a představujeme zkušenosti s nástrojem více „obrázkovým“. Naším záměrem bylo pomocí textového zadání, tzv. „promptu“, nebo z předlohy fotografie vytvořit různé vizualizace, např. revitalizace vodního toku či návrhů podoby vodárenské věže v krajině. Než se však dostaneme k samotným ukázkám, řekneme si na toto téma pár slov.

Existuje několik AI nástrojů, jež umožňují uživatelům vygenerovat požadované obrázky na základě textových zadání, nazývaných prompty. Tyto nástroje využívají pokročilých technologií strojového učení a generativních modelů a dokážou vytvářet realistické obrázky podle popisu, který uživatel poskytne. Mezi takové nástroje patří např. DALL-E od společnosti OpenAI nebo MidJourney od stejnojmenné americké společnosti Davida Holze. Tyto nástroje mají potenciál být využity pro různé aplikace, včetně tvorby vizuálního obsahu, vizuálního designu, či dokonce návrhu nových produktů.

Pro naše účely jsme si vybrali nástroj MidJourney, což je služba pro generování grafiky pomocí umělé inteligence. Nástroj byl spuštěn na začátku roku 2022 a uživatelé vytvářejí grafiku pomocí příkazů zadaných chatbotu v aplikaci Discord.

Funkce MidJourney spočívá v rozpoznávání vztahu mezi obrazem a textem, kdy se strojově učící se algoritmus trénuje na velkém množství obrázků s textovými popisy. Pokud uživatel zadá svůj požadavek/výzvu neboli tzv. prompt do chatovacího okna, umělá inteligence mu umožní vytvořit obrázek, který odpovídá jeho popisu.

Fungování/využití AI nástroje MidJourney jsme si ověřili na čtyřech příkladech.

## Návrh revitalizace vodního toku Jezerka

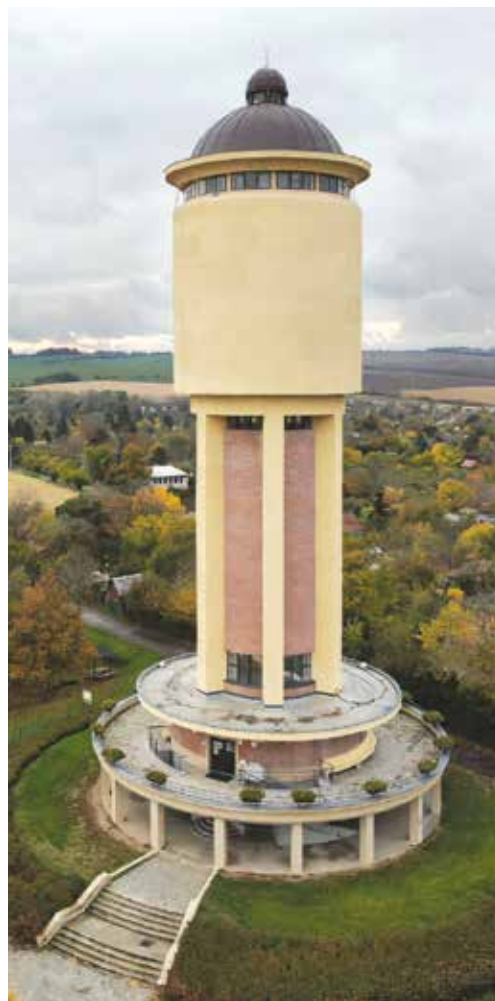
Základem byl v tomto případě obrázek vizualizace revitalizace přítoku do nádrže s mostem a mokřadní vegetací uveřejněný v letošním dubnovém vydání VTEI [1]. Celý proces vygenerování výsledku probíhal v následujícím pořadí – nahrání reálné fotografie parku před revitalizací (obr. 1a), vygenerování mostu přes vodní tok (v pořadí až cca 20. prompt s uspokojivým výsledkem, obr. 1b), propojení obou výstupů (obr. 1c) a doladění výsledného obrázku (obr. 1d). Časová náročnost tohoto procesu byla cca tři hodiny.

## Vodárenská věž

V dalším případě bylo naším záměrem vykreslit stavbu vodárenské věže. Také zde byl zdrojem snímek z článku o vodárenských věžích publikovaný ve VTEI



Obr. 1a, b, c, d. Vodní tok Jezerka, situace vyústění drenáže podzemní vody jakožto občasného přítoku do vodní nádrže (Foto: T. Hrdinka, následná úprava nástrojem MidJourney)



Obr. 2a, b. Věžový vodojem v Kolíně navržený architektem Františkem Jandou ve funkcionalistickém stylu (Foto: O. Civiň, následná úprava nástrojem MidJourney)

6/2022 (obr. 2a) [2]. Použitý prompt sepsaný ve tvaru „a tall concrete tower with a metal dome of the tower, featured on cg society, danube school, arial shot, water-tank, germany, low pressure system, awe – inspiring award – winning, watedrops, manufactured in the 1920s, aquiline features, parks and monuments, brenizer method --v 5“ pak vykreslil náhledový obrázek čtyř variant (obr. 2b). Jednotlivé varianty lze poté vytvořit samostatně ve vyšším rozlišení. Časová náročnost procesu byla cca 10 minut.





Obr. 3a. Výsledek zadání „rak“ – první pokusy MidJourney



Obr. 3b, c. Finální výsledek zadání „rak“ nástrojem MidJourney



## Vodní živočich

Kreativitu a schopnosti AI nástroje MidJourney jsme vyzkoušeli i na tvorbě vyobrazení živých organismů. Pomocí textového zadání jsme nástroj nechali vykreslit raka (obr. 3a). Ukázalo se, že nástroj MidJourney raky generuje s obtížemi – přidává jim nesprávnou anatomii. Sestavení promptu vyžadovalo cca 10 pokusů. Ukázka neúspěšného promptu:

*„A captivating, hyper-realistic underwater photograph of a crayfish with two antennae, gracefully navigating the crystal-clear waters of a mountain creek, showing the intricate details and beauty of this fascinating aquatic creature. This stunning image is skillfully captured using a Nikon D850 DSLR camera, equipped with a NIKKOR AF-S 105mm f/2.8G IF-ED VR Micro lens, renowned for its exceptional sharpness and ability to render vivid, lifelike colors, even in challenging underwater environments. The camera settings are meticulously chosen to highlight the delicate features of the crayfish and the serene ambiance of its habitat, with an aperture of f/11, ISO 800, and a shutter speed of 1/125 sec. The composition is taken from a close perspective, immersing the viewer in the aquatic world of the crayfish as it scuttles among the rocks and submerged plants that line the creek bed. The scene is softly illuminated by natural sunlight filtering through the water's surface, casting shimmering patterns that dance across the crayfish's intricate exoskeleton and the surrounding environment. This awe-inspiring, high-resolution photograph transports viewers beneath the surface of the mountain creek, offering a rare and privileged glimpse into the secret underwater realm of the crayfish. --ar 4:3 --q 2 --v 5.“*

Po tomto „neúspěchu“ byl nakonec použit jednoduchý prompt: *„A crayfish, captivating, hyper-realistic photograph --ar 4:3 --q 2 --v 5“*. Srovnání prvního, rozsáhlého zadání a finální podoby dobře demonstruje rčení, že někdy méně znamená více :- (obr. 3b, c). Časová náročnost procesu byla cca jedna hodina.

## Budova VÚV TGM

Posledním příkladem, na němž jsme zjišťovali schopnosti AI, bylo zadání vizualizace budovy pražské centrály VÚV TGM, a to nejen v reálné podobě (obr. 4a, b), ale např. i v „lego“ podobě (obr. 4c, d). Předlohou byla fotografie budovy VÚV TGM, která byla nahrána do AI nástroje s příkazem „image to text“. Některé z prvků z popisu „image to text“ byly využity a doplněny o popis osvětlení, fotografických a výtvarných stylů a barev. Výsledný prompt *„a large red and white brick building, in the style of agfa vista, dark bronze and blue, vray, school of london, computer-aided manufacturing, dark brown and navy, lively and energetic --ar 31:22 --v 5“* pak vytvořil následující výsledek.



Obr. 4a. Budova VÚV TGM (foto: archiv VÚV TGM)



Obr. 4b. Budova VUV TGM (vizualizace pomocí nástroje MidJourney)



Obr. 4c, d. Budova VUV TGM v lego stylu – náhledový obrázek vizualizace a jejich variant pomocí nástroje MidJourney



Vytvořit budovu VUV TGM z lego kostek si vyžadovalo úpravu promptu do tvaru „a large red and white brick building, in the style of agfa vista, dark bronze and blue, vray, school of london, computer-aided manufacturing, dark brown and navy, lively and energetic, as lego. --ar 31:22 --v 5“. Výsledkem bylo vygenerování náhledového obrázku (obr. 4c). Jednotlivé varianty lze pak opět vytvořit samostatně ve vyšším rozlišení (obr. 4d). Časová náročnost procesu byla cca 15 minut.

## Závěr

Nástroj MidJourney dokáže úspěšně generovat opravdu hezké obrázky, v některých případech až kýchovité. Ukázalo se však, že umělá inteligence neví, co na fotce přesně je. Objekty sice pozná (řeknete jí to), ale nedokáže posoudit, zda vytvořený obraz je v souladu s námi vnímanou realitou. Příkladem může být vizualizace písma (v našem případě název naší instituce na fasádě nástrojem vygenerované budovy), kdy AI nástroj zatím neumí z dotazů vzít písmo/nápisy jako parametry. Ovšem např. Stable Diffusion si již s texty poradí.

Vzhledem k poměrně dynamickému vývoji v oblasti umělé inteligence se i funkcionality a kvalita výstupu v AI aplikacích neustále posouvají. Např. současná verze MidJourney generuje již vysoce realistické obrázky ve velkém rozlišení s mnoha detaily oproti předchozím verzím. Na druhou stranu není k dispozici podrobná dokumentace modelu, na němž MidJourney běží, proto se výsledné grafické výstupy liší v závislosti na podobě promptu, který uživatelé „vybrušují“ na základě zkušenosti práce s tímto nástrojem, a pomocí „reverzního inženýrství“ tak objevují možnosti a skrytá nastavení modelu. K tvorbě takového promptu se hojně používají další AI ve formě webových aplikací, jež dovolují sestavit výzvu „na míru“ požadované představy výstupu. Velmi dobře k tomuto účelu poslouží např. ChatGPT.

Konkrétně MidJourney nyní disponuje nejen funkcí vytváření obrázků, ale umí i jiné vygenerované obrázky po vložení do nástroje textově popsat a nabídnout vlastní verzi. Lze v něm rovněž míchat několik obrázkových vstupů, výsledek je pak jejich složeninou. Též má četné volby stylů, v nichž grafiku generuje (od napodobenin stylů různých umělců přes animované a anime výstupy až po fotorealistické grafiky, např. ve fantasy prostředí). Umožňuje také téměř libovolně variovat nabízené výstupy.

Nutno podotknout, že v současné době je využití tohoto nástroje zpoplatněno a vyžaduje registraci a přihlášení přes službu Discord.

## Literatura

[1] HRDINKA, T. Plánované revitalizace vodních ekosystémů v Praze 4. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2023, 65(2), s. 50. Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2023/04/planovane-revitalizace-vodnich-ekosystemu-v-praze-4/>

[2] KORÍNEK, R., HORÁČEK, M. Představení některých výsledků výzkumného projektu mapující vývoj staveb věžových vodojemů na území České republiky. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2022, 64(6), s. 8. Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2022/12/predstaveni-nekterych-vysledku-vyzkumneho-projektu-mapujici-vyvoj-staveb-vezovych-vodojemu-na-uzemi-ceske-republiky-2/>

## Autoři

**Ing. Josef Nistler**  
✉ [josef.nistler@vuv.cz](mailto:josef.nistler@vuv.cz)

**Tomáš Pojeta**  
✉ [tomas.pojeta@vuv.cz](mailto:tomas.pojeta@vuv.cz)

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha



Generováno umělou inteligencí (Midjourney)

# Naši vs. invazní raci v České republice

Negativním důsledkem mnoha lidských aktivit je pokles druhové diversity. Klesá množství původních druhů živočichů a rostlin, zmenšují se či úplně mizí jejich populace, zvyšuje se počet druhů ohrožených a šíří se druhy nepůvodní. Globální problémy jsou snad nejvíce patrné na příkladu sladkovodních ekosystémů.

Právě invaze nepůvodních druhů jsou v současné době považovány za jeden z nejvýznamnějších faktorů poklesu druhové diversity a jsou doprovázeny vysokými kulturně-sociologickými a ekonomickými ztrátami. Z těchto důvodů je problematika nepůvodních druhů celosvětově věnována značná pozornost.

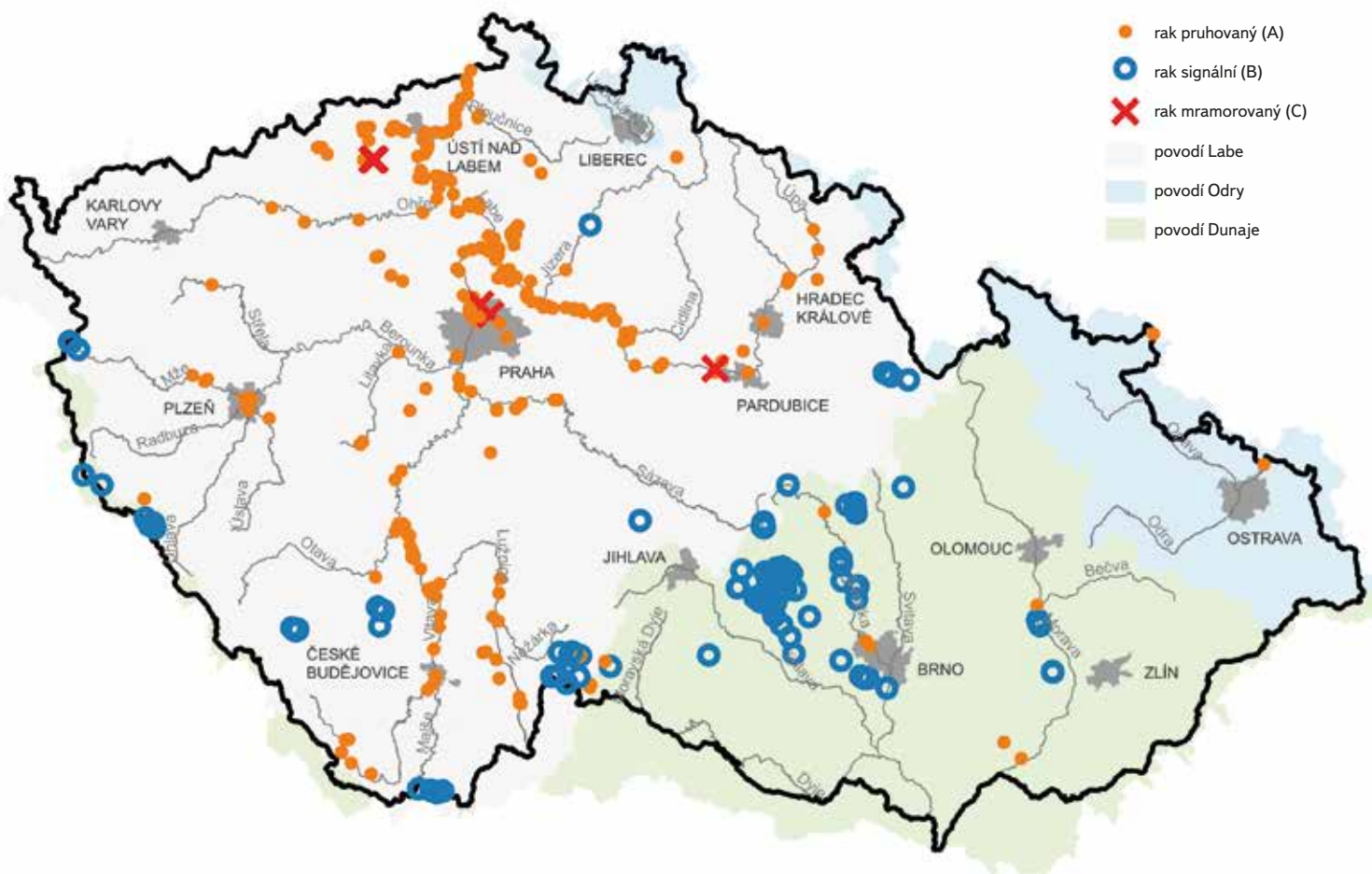
V ČR žije aktuálně ve volné přírodě šest druhů raků, z nichž pouze dva jsou zde původní, a to rak říční (*Astacus astacus*) a rak kamenáč (*Austropotamobius torrentium*). Rak bahenní (*Astacus leptodactylus*) patří mezi druhy evropské, v ČR však není původní. Ostatní druhy – rak signální (*Pacifastacus leniusculus*), rak pruhovaný (*Orconectes limosus*) a rak mramorovaný (*Procambarus fallax*) pocházejí ze severní Ameriky a patří mezi invazní druhy [1, 3].

Naši raci jsou zde takřka odjakživa. Jejich současné rozšíření pochází již z období po poslední době ledové, přičemž významnou roli v něm sehrál i člověk. Raci říční nebo bahenní jsou totiž dostatečně velcí na to, aby byli využíváni jako potrava, a lidem tedy stálo za to je přemísťovat na nové lokality. Za rozšířením invazních raků stojí pravděpodobně lodní doprava, s níž byli do Evropy

náhodně dovezeni v 19. století. Ve druhé polovině 20. století už byli američtí raci vysazováni v Evropě záměrně – jednak jako náhrada za račím morem zdecimované původní raky, zejména však jako oblíbená kulinářská lahůdka. Problémem přetrvávajícím do dnešní doby jsou akvaristé, kteří do Evropy zavlekli řadu dalších druhů raků z celého světa.

Zatímco raka kamenáče najdeme zejména v drobných a středních tocích, rak říční, jenž je mnohem hojnější, se vyskytuje i ve velkých tocích, v rybnících a nádržích. Rak bahenní preferuje také různé typy stojatých vod, kam byl v minulosti vysazován. Invazní raci jsou velmi přizpůsobiví a mají zároveň mnohem nižší nároky na čistotu vody, šíří se tak v podstatě do všech míst, kde se vyskytují nebo mohou vyskytovat i naši původní raci. Najdeme je tedy jak v malých potůčcích a rybnících (rak signální), tak ve velkých tocích (rak pruhovaný) i v nádržích a rybnících (rak mramorovaný a pruhovaný). Jejich výskyt je zobrazen na mapě.

Na rozdíl od invazních raků, kteří jsou přenašeči račího moru, přičemž sami jsou vůči němu rezistentní, původní raky toto onemocnění zabíjí. V zasažených tocích sice na račí mor naštěstí obvykle neuhynou všichni raci, pokaždé však zanikne velká část populace. Původcem nemoci je plíseň podobný mikroskopický patogen *Aphanomyces astaci*, který žije v krunyři raků.



Mapa výskytu invazních druhů raků v ČR, Jiří Pícek, Jitka Svobodová a Silvie Semerádová, VÚV TGM, v. v. i., květen 2023.

Podklady: Lokality nálezů a výskyt raků: AOPK ČR, VÚV TGM, v. v. i., data poskytnutá studenty vysokých škol a uživateli mobilní a internetové aplikace „Raci v ČR“

Další výhodou mají invazní raci při rozmnožování. Zatímco naši původní raci mají obvykle desítky až stovky vajíček (do 100 vajíček rak kamenáč, do 250 rak říční a rak bahenní), invazní raci mohou mít najednou i přes 800 vajíček. Někteří se pak mohou rozmnožovat i dvakrát za sezonu. Rak mramorovaný je navíc schopen rozmnožovat se partenogeneticky, tj. jedna jediná samička dokáže i bez přítomnosti samečka (bez nutnosti oplození) klást vajíčka, produkovat mláďata a založit celou početnou populaci. Nepůvodní raci, stejně jako ostatní invazní druhy, jsou schopni narušit rovnováhu sladkovodního ekosystému a zároveň likvidovat ostatní (zejména původní) druhy v podstatě všech živočichů a rostlin.

## Jak se invazním rakům bránit?

Základní a zároveň nejlevnější metodou zamezení šíření invazních raků je informování veřejnosti o škodlivosti invazních druhů s cílem maximálního možného omezení přenosu invazních raků na nové lokality. Pokud se invazní raci někde objeví, není již na většině lokalit jejich úplné vyhubení možné. Jedinou cestou ochrany před nimi je pravidelně a opakovaně redukovat jejich početnost. Nejpoužívanější metodou regulace invazních druhů raků je ruční sběr a odchyt do vrší. Tato metoda však s sebou nese jedno významné riziko. Může se totiž stát, že z populace selektivně vysbíráme velké jedince, tím snížíme tlak na mladší vývojová stadia, což následně vede k větší úspěšnosti jejich přežívání. Pak může paradoxně nastat situace, kdy snaha o snížení populace bude mít ve svém důsledku opačný efekt. Metodu odchyty raků je proto nutné kombinovat s dalšími postupy, např. s vysazováním jejich predátorů. Mezi nejvhodnější predátory patří ryby, jež si na invazních racích rády pochutnají. S raky si dokáže poradit úhoř, mník, candát, sumec, jelec tloušť, ale i larva vážky, která úspěšně zlikviduje juvenilní raky. Další metodou obrany proti invazním rakům je sterilizace jejich samců, kteří po následném zpětném vypuštění soutěží o samice s ostatními samci, což může významně snížit počet úspěšně oplodněných samic a zároveň udržovat predanční tlak na mladší vývojová stadia. Tam, kde to je možné, lze také vypustit nádrž, raky vysbírat a poté nechat na zimu lokalitu vymrznout či v létě letněním vyschnout. V kombinaci s aplikací např. chlorového vápna je tato metoda poměrně účinná. Po opětovném napuštění nádrže je pak vhodné znovu vysadit predátory raků. Za extrémní metodu lze považovat

vytrávení lokality jedy. Tuto metodu však lze použít pouze omezeně v bezodtokých a málo biologicky významných lokalitách, neboť jed usmrtí kromě invazních raků i všechny ostatní živé organismy. Další možností je populaci invazních raků prostě od okolí oddělit vytvořením dostatečně vysokých a pro raky nepřekročitelných bariér [2].

Rak jako rak, řekne si možná někdo. Čemu to vadí, když cizí raci vystírají ty naše? Na první pohled to vypadá, že ničemu. Ve skutečnosti však jde o závažný problém. Původní druhy raků dlouhodobě žijí spolu s ostatními obyvateli našich vodních toků v harmonii. Naopak přítomností invazních raků ostatní složky vodních ekosystémů trpí, protože tyto raci likvidují jak vodní makrozoobentos, tak také naše původní druhy ryb (zvláště jikry a plůdek). Dokážou též zlikvidovat vodní rostliny, včetně kriticky ohrožených druhů, a troufnou si i na další druhy živočichů, např. na kriticky ohroženou perlorodku říční nebo velevruba tupého.

Text byl s úpravami převzat z letáku: VLACH, P. *Naši vs. invazní raci v Česku* (2023), který slouží k informování veřejnosti o druzích raků a jejich vlivu na vodní ekosystém.

## Poděkování

Tento projekt byl podpořen grantem z Norských fondů. Jeho výsledky jsou dostupné na <https://crayfish2022.vuv.cz>



Používejte naši aplikaci Raci v ČR a zaznamenávejte a odesílejte svá pozorování výskytu raků. Pomůžete nám tím v ochraně našich původních druhů raků.



Rak říční



Rak kamenáč



Rak bahenní



Rak signální



Rak pruhovaný



Rak mramorovaný

## Literatura

[1] SOUTY-GROSSET, C., HOLDICH, D. M., NOËL, P. Y., REYNOLDS, J. D., HAFFNER, P. (eds). *Atlas of Crayfish in Europe*. Paris: Muséum National d'Histoire Naturelle, 2006. 187 s. Patrimoines Naturels, 64.

[2] SVOBODOVÁ, J., KOZUBÍKOVÁ BALCAROVÁ, E., FISCHER, D., VLACH, P., ŠTAMBERGOVÁ, M., PICEK, J., SEMERÁDOVÁ, S., ŠTRUNCOVÁ, E. *Metodika regulace a eradikace invazních druhů raků: výběr vhodných metod v závislosti na charakteru vodního útvaru*. Praha: VÚVTGM, v. v. i., 2020. 118 s.

[3] ŠTAMBERGOVÁ, M., SVOBODOVÁ, J., KOZUBÍKOVÁ, E. *Raci v České republice*. Praha: AOPK ČR, 2009. 255 s.

## Autoři

**RNDr. Jitka Svobodová**

✉ [jitka.svobodova@vuv.cz](mailto:jitka.svobodova@vuv.cz)

**Mgr. Vojtěch Macháček**

✉ [vojtech.machacek@vuv.cz](mailto:vojtech.machacek@vuv.cz)

**Mgr. Pavel Kožený**

✉ [pavel.kozeny@vuv.cz](mailto:pavel.kozeny@vuv.cz)

**Ing. Jiří Píček**

✉ [jiri.picek@vuv.cz](mailto:jiri.picek@vuv.cz)

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha



# VTEI/2023/4

*Od roku 1959*

VODOHOSPODÁŘSKÉ  
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE  
WATER MANAGEMENT  
TECHNICAL AND ECONOMICAL INFORMATION

Odborný dvouměsíčník specializovaný na výzkum v oblasti vodního hospodářství.  
Je uveden v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR.

**Ročník 65**



VTEI.cz

**Vydává:** Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka,  
veřejná výzkumná instituce, Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6

**Redakční rada:**

RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D., doc. Ing. Michaela Danáčová, Ph.D., doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur,  
doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D., Mgr. Róbert Chriaštel, Mgr. Vít Kodeš, Ph.D.,  
Ing. Jiří Kučera, PharmD. Markéta Marvanová, Ph.D., BCGP, BCPP, FASCP,  
Ing. Martin Pavel, Ing. Jana Poórová, Ph.D., Mgr. Hana Sezimová, Ph.D.,  
Dr. Ing. Antonín Tůma, Mgr. Lukáš Záruba, Ing. Marcela Zrubková, Ph.D.

**Vědecká rada:**

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D., prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.,  
prof. Ing. Radka Kodešová, CSc., RNDr. Petr Kubala, Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.,  
Ing. Michael Trnka, CSc., Dr. rer. nat. Slavomír Vosika

**Šéfredaktor:**

Ing. Josef Nistler (josef.nistler@vuv.cz)

**Odborné redaktorky:**

Mgr. Zuzana Řehořová (zuzana.rehorova@vuv.cz)  
Mgr. Hana Beránková (web) (hana.berankova@vuv.cz)

**Zdroje fotografií tohoto čísla:**

VÚV TGM, 123RF.com, RNDr. Tomáš Hrdinka, Ph.D., doc. RNDr. Jan Unucka, Ph.D.,  
RNDr. Hana Zvěřinová Mlejnková, Ph.D., Ibra Ibrahimovič, Tomáš Homola,  
Mgr. Michaela Ryšková

**Grafická úprava, sazba, tisk:**

ABALON s. r. o., [www.abalon.cz](http://www.abalon.cz)

Náklad 700 ks. Časopis VTEI vychází od roku 2022 v anglické mutaci,  
která je k dispozici na <https://www.vtei.cz/en/>

Příští číslo časopisu vyjde v říjnu. Pokyny autorům časopisu jsou uvedeny na [www.vtei.cz](http://www.vtei.cz)

**CC BY-NC 4.0**  
**ISSN 0322-8916**  
**ISSN 1805-6555 (on-line)**  
**MK ČR E 6365**



## MALÁ VODNÍ ELEKTRÁRNA SPÁLOV

Vodní elektrárna Spálov se nachází mezi městy Železný Brod a Semily, na řece Jizeře, nad jejím soutokem s Kamenicí. Je příkladem derivačního typu elektráren.

Byla postavena v letech 1921–1926 jako součást elektrizační soustavy východních Čech. Projektem celého areálu byli pověřeni Dr. Ing. Antonín Jílek, zemský vrchní stavitelský rada, a významný architekt své doby Emil Králíček, představitel geometrické secese a později kubismu. Pro stavbu elektrárny byly využity vhodné místní přírodní podmínky – soutěska Jizery o délce 3,2 km se spádem 25 m. Od vzduť pevného jezu na Jizeře vede štola ražená ve skalním masivu o délce 1 323 m a pokračuje 437 m dlouhým zakrytým železobetonovým úbočným kanálem, který ústí do vyrovnávací komory nad strojovnou elektrárny. Z vyrovnávací komory je voda přiváděna tlakovým potrubím k turbínám ve strojovně. Ta byla původně osazena dvěma soustrojími s Francisovou horizontální spirálovou turbínou. Po rekonstrukci v letech 1998–1999 bylo původní soustrojí nahrazeno Kaplanovými vertikálními turbínami. Jedna z původních Francisových turbín je umístěna před elektrárnou. V interiéru strojovny je ve štítu nad galerií provedena malba akademického malíře Ferdinanda Rubeše symbolizující výrobu elektřiny na Jizeře ve Spálově a ve VD Les Království. Průčelí strojovny, rozvodny i vyrovnávací komory jsou opatřeny výraznými geometrickými prvky.

Kvalitně architektonicky ztvárněný soubor budov elektrárny a jejího vodního díla je významným krajinným prvkem a místní dominantou. Elektrárna není památkově chráněna, od roku 2013 je součástí přírodní rezervace Údolí Jizery.

*Text dodaly Ing. Miriam Dzuráková a Mgr. Michaela Ryšková, fotografii Mgr. Michaela Ryšková.*

**VÝZKUMNÝ ÚSTAV  
VODOHOSPODÁŘSKÝ  
T.G. MASARYKA**

veřejná výzkumná instituce

**VTEI.cz**