VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VTEI / 2026 / 1

4 / Potravinové odpady z pohledu municipalit – přístupy a opatření pro snižování produkce a předcházení jejich vzniku

14 / Současné přístupy ke stanovování povodňového nebezpečí v soutokových oblastech

60 / Rozhovor s doc. Ing. Davidem Stránským, Ph.D., vedoucím Katedry vodního hospodářství obcí Fakulty stavební ČVUT v Praze

Psali jsme před 60 lety

Ve VTEI č. 2 z roku 1966 vyšel článek „Informační technika", jehož autorem byl promovaný knihovník J. Krupička z VÚV v Praze.

Největší přitažlivost pro pracovníky VTEI na posledním brněnském veletrhu měly polygrafické a kancelářské stroje a zařízení. Jako novinka byl zde vystavován náš elektrický psací stroj CONSUL model 1551 B, jehož výrobcem je n. p. Závody Jana Švermy, Brno. Dodací lhůta je od 4. čtvrtletí 1965 a cena asi 6 000 Kčs. Stroj má rozměry 360 x 435 x 258 mm a váhu 22 kg. Poháněn je elektromotorem na střídavý proud 220 V nebo 120 V s příkonem 25 W a s trvale zapojeným pomocným kondenzátorem. Rychlost stroje je 1 200 úderů za minutu.

Jeho předností je pravidelný a stejnoměrný úder poskytující syté písmo Pica, což oceníme zejména při psaní rozmnožovacích blan. Při potřebě menšího počtu kopií nám může nahradit i ormig, neboť při dobrém průklepovém papíru lze obdržet až 20 kopií, ovšem dobře čitelných pouze 14–15 kopií.

Ze zahraničních výrobků bylo zde možno zhlédnout švýcarský elektrický psací a sázecí stroj VARITYPER model 660 F. Výrobcem je firma Robinco AG., Curych. Jeho rozměry jsou 336 x 495 x 686 mm. Je vhodný především pro polygrafické a reprodukční účely, neboť disponuje písmeny různé výšky a šířky i bohatým automatickým pomocným aparátem.

Pro knihovny a útvary VTEI má klíčový význam vystavovaný západoněmecký elektrický psací stroj FRIDEN-FLEXOWRITER a JUSTOWRITER, jehož výrobcem je Friden GMBH v Norimberku. Přibližná cena je asi 28 000 Kčs obch. par. Kromě výše uvedených výhod elektr. psacího stroje umožňuje psát i opticky kontrolovat text dokumentu a současně děrovat na 5–8stopou děrnou pásku v příslušném kódu. Pomocí snímače pak lze z pásky automaticky, prostřednictvím elektrických impulzů na klávesy, obdržet další kopie katalogizačních a dokumentačních záznamů, rešerší, překladů apod.

Další výhodou je možnost přenosu údajů z děrné pásky do děrného štítku. Vestavěný snímač, případně některé druhy přídavných snímačů mohou být vybaveny zařízením pro děrování a snímání okrajově děrovaných karet a děrných štítků.

Největší jeho přednost, která je nezbytná pro velkou mechanizaci, je možnost převedení dokumentačních záznamů s deskriptory (hesly) z pásky děrné na magnetickou a postupné ukládání informačního jádra do paměti samočinného počítače pro další vyhledávání záznamů podle uvedených deskriptorů, zejména pokud jde o komplikovanější rešeršní požadavky.

Systém Flexowriter umožňuje plné programování pomocí programové pásky, do níž jsou vkládány veškeré povely a funkční znaky, potřebné pro další zpracování děrné pásky.

Přídavné zařízení je bohaté – 16 různých snímačů a 9 děrovačů. JUSTOWRITER navíc začišťuje pravý okraj textu změnou vzdáleností mezi písmeny v řádce.

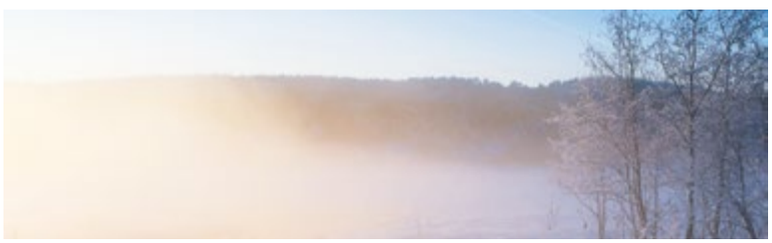
Z archivu VÚV TGM

Psací stroj Friden Flexowriter – model SPD
(zdroj: VTEI 2/1966, upraveno nástrojem Nano Banana Pro)

Obsah

3 Úvod

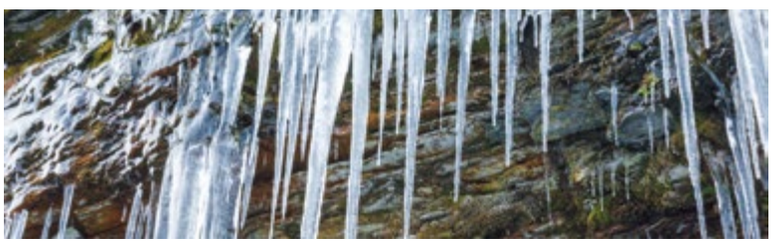
4 Potravinové odpady z pohledu municipalit — přístupy a opatření pro snižování produkce a předcházení jejich vzniku
Robert Kořínek, Dagmar Vološinová, Matěj Kožíšek, Lubor Hruška, Petr Proske



14 Současné přístupy ke stanovování povodňového nebezpečí v soutokových oblastech
Jiří Skokan, Aleš Dráb, Pavla Štěpánková

22 Atmosférická depozice polycyklických aromatických uhlovodíků v pilotním povodí Výrovky a městských oblastech Prahy a Ostravy
František Sýkora, Silvie Semerádová, Vít Kodeš, Julie Sucharová, Nikola Verlíková, Tomáš Mičaník, Hedvika Roztočilová

36 Environmentální cíle a limity vodního prostředí pro raka kamenáče
Hana Janovská, Jitka Svobodová, Pavel Rosendorf, Pavel Vlach



50 Využití termometrie pro vyhledávání minerálních pramenů — Mariánské Lázně a Karlovy Vary
David-Aaron Landa, Tomáš Vylita, Pavel Kalina, Jakub Mareš, Viktor Goliáš, Petr Nakládal

60 Rozhovor s doc. Ing. Davidem Stránským, Ph.D., vedoucím Katedry vodního hospodářství obcí Fakulty stavební ČVUT v Praze
Josef Nistler

64 Vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu — odborné poznatky z 5. konference *Centra Voda*
Josef Nistler

Foto: 123rf.com

Vážení čtenáři,

stránky únorového vydání VTEI otevíráte v období, kdy se voda – možná ještě více než jindy – ukazuje v celé své šíři: jako téma technické, environmentální, společenské i lidské. Zima je tradičně časem bilancování a plánování, ale zároveň i obdobím, kdy se naplno projevuje potřeba mít vodní hospodářství dobře „připravené" – nejen na běžný provoz, ale i na překvapení, která s sebou přináší proměnlivé počasí nebo důsledky dlouhodobé změny klimatu.

V lednu a únoru se také začal rýsovat rámec letošních klíčových debat. Do nich přirozeně vstupuje i motto Světového dne vody 2026: „Voda a rovnost pohlaví" – téma, jež připomíná, že přístup k vodě a hygieně není jen otázkou infrastruktury, ale také spravedlnosti a příležitosti. Zvláštní důraz klade na problémy, které se v mnoha částech světa nepoměrně více dotýkají žen a dívek, a současně otevírá prostor pro širší souvislosti od potravinové bezpečnosti přes klima až po správu věcí veřejných.

Propojení oborové preciznosti s širším kontextem je i ústřední myšlenkou tohoto vydání VTEI. V odborné části přinášíme pětici recenzovaných příspěvků, jež společně ukazují, jak pestré je „vodní" pole od komunální praxe až po velmi specifické environmentální cíle.

První příspěvek se věnuje tématu potravinových odpadů z pohledu municipalit a prakticky pojmenovává, co dnes obce a města řeší: preventivní opatření, ekonomiku odpadového hospodářství, kapacity pro nakládání s bioodpady, tlak na personální zajištění agendy i obtížně změnitelné návyky při třídění.

Následuje studie o stanovování povodňového nebezpečí v soutokových oblastech, která na modelových územích ukazuje, proč oddělené modelování toků může vést ke zkreslení a proč dává smysl komplexnější přístup (včetně doporučení pro metodické uchopení map povodňového nebezpečí a rizik).

Třetí odborný článek přibližuje atmosférickou depozici polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) jakožto významného zdroje zátěže povrchových vod a ukazuje komplexní pohled na problematiku od sledovaných matric až po využití „fingerprintingu" pro rozlišení zdrojů.

Čtvrtý článek se zaměřuje na zpřísnění environmentálních cílů pro raka kamenáče, jenž je u nás kriticky ohroženým druhem, a přináší důležitý metodický rámec i informace o konkrétních postupech při stanovování limitů nejdůležitějších ukazatelů jakosti vody za účelem maximální ochrany raka kamenáče v lokalitách jeho výskytu.

Pátý příspěvek pak představuje využití pozemní termometrie při vyhledávání minerálních pramenů – na kontrastních příkladech Mariánských Lázní a Karlových Varů názorně ukazuje, kdy může být termometrie mimořádně účinná a kdy je naopak nutné přizpůsobit metodiku specifickým podmínkám lokality.

Vedle odborných článků nechybí ani informativní část, v níž vám přinášíme rozhovor s doc. Ing. Davidem Stránským, Ph.D. Pan docent je vedoucím Katedry vodního hospodářství obcí Fakulty stavební ČVUT v Praze a v rozhovoru se ohlíží za svou profesní cestou a zároveň reflektuje posun témat i odpovědí od svého posledního rozhovoru ohledně hospodaření s vodou ve městech. Závěr únorového čísla se vrací k uskutečněné 5. konferenci projektu *„Centrum Voda"*, která proběhla 25. listopadu 2025 ve VÚV TGM a nabídla zhodnocení aktuálních výsledků výzkumu i prostor pro mezioborový dialog o adaptaci vodního hospodářství na měnící se klimatické podmínky.

Věříme, že si v tomto čísle každý z vás najde „své" téma – ať už je vám blízká komunální praxe, povodňová problematika, chemický stav vod, ochrana ohrožených druhů, nebo hydrogeologické aplikace. Přejeme inspirativní čtení a těšíme se na vaše případné podněty či zajímavou zpětnou vazbu.

Ing. Josef Nistler

Potravinové odpady z pohledu municipalit – přístupy a opatření pro snižování produkce a předcházení jejich vzniku

ROBERT KOŘÍNEK, DAGMAR VOLOŠINOVÁ, MATĚJ KOŽÍŠEK, LUBOR HRUŠKA, PETR PROSKE

Klíčová slova: potravinový odpad – municipality – předcházení vzniku odpadů

ABSTRAKT

Předložený příspěvek se zabývá současnými problémy v oblasti nakládání s potravinovými odpady produkovanými na úrovni měst a obcí České republiky a předcházení jejich vzniku. Shrnuje poznatky autorského kolektivu získané v rámci dlouhodobého řešení této problematiky, představuje různorodou škálu preventivních opatření, elementární ekonomický rozbor výdajů a příjmů municipalit v odpadovém hospodářství a poukazuje na aktuální problémy a úskalí pro vývoj v dalších letech. Mezi ty nejzásadnější patří rostoucí povinnosti sídel v rámci předcházení vzniku komunálních odpadů a nakládání s nimi a s tím spojený zvyšující se tlak na personální zajištění agendy cirkulární ekonomiky a odpadového hospodářství, nedostatečné kapacity pro nakládání s potravinovými odpady v blízké budoucnosti (při plánovaném plnění národních cílů), nedostatečný systém přenosu a výměny relevantních informací a stále se opakující nekázeň občanů při primárním třídění odpadů.

ÚVOD

Produkce potravinových odpadů představuje významný environmentální, ekonomický a sociálně-etický problém naší společnosti. Na mezinárodní i tuzemské úrovni je této problematice věnována stále intenzivnější pozornost, neboť se dotýká jak efektivity využívání přírodních zdrojů, tak principů oběhového hospodářství a potravinové bezpečnosti. Jde jednak o odpady, jejichž vhodnou separací můžeme získat zajímavý surovinový zdroj např. pro kompostování či bioplynové zpracování (místo toho, aby skončily na skládkách), jednak o potraviny určené stále ještě ke konzumaci, které se z různých důvodů nevyužijí a končí jako odpad. Potravinový odpad vzniká ve všech fázích komplexního potravinového řetězce. Počínaje prvovýrobou, kde dochází ke ztrátám v důsledku povětrnostních vlivů, napadení škůdci či nesplnění tržních standardů pro tvar a velikost, přes zpracovatelský průmysl, distribuci a maloobchod až po finální spotřebitele, mezi něž patří domácnosti, restaurace, školní jídelny či jiné veřejné stravovací provozy, kde bývá podíl produkce největší [1]. Problematika potravinových odpadů tedy zasahuje z pohledu potravinářského celou řadu různých oblastí a jde o mezioborovou záležitost týkající se resortů několika ministerstev České republiky (ČR).

Právě domácnosti jsou v Evropské unii identifikovány jako největší producent tohoto druhu odpadu, kde podle odhadů vzniká více než 50 % celkového objemu potravinového odpadu [2] (*obr. 1*) – a to především v důsledku špatného plánování nákupů, nesprávného skladování potravin, nepochopení označení „minimální trvanlivost" a „spotřebujte do", nevhodných porcí při vaření a dalších faktorů, jako je např. nechuť k využívání zbytků potravin. Další významná část potravinových odpadů vzniká ve veřejných gastroprovozech. Podstatná část těchto odpadů je přitom tvořena potravinami, jež by byly ještě konzumovatelné a využitelné. K jejich vyhazování dochází často z pohodlnosti, nedostatku času, kvůli nízkému povědomí o dopadech na životní prostředí či organizačním a provozním omezením.

Obr. 1. Produkce potravinových odpadů v Evropské unii v jednotlivých fázích potravinového řetězce v roce 2023 [2]
Fig. 1. Food waste production in the European Union at each stage of the food chain in 2023 [2]

Domácí potravinový odpad zatěžuje nejen ekonomiku domácností, ale i životní prostředí. Dopady jsou značné:

- **Environmentální** – zbytečně se spotřebovávají přírodní zdroje (voda, energie, půda a lidská práce). Odhaduje se, že globální uhlíková stopa potravinového odpadu činí přibližně 8–10 % celosvětových emisí skleníkových plynů [3]. Potravinový odpad uložený na skládkách navíc produkuje metan, plyn s výrazně vyšším potenciálem globálního oteplování než oxid uhličitý.
- **Ekonomické** – pro domácnosti představuje vyhozené jídlo přímou finanční ztrátu. Na makroekonomické úrovni jde o ztrátu hodnoty v celém dodavatelském řetězci a zvýšené náklady pro obce na odpadové hospodářství.

— **Sociálně-etické** – v globálním kontextu, kde stovky milionů lidí trpí podvýživou a nedostatkem potravin, představuje masivní plýtvání závažný etický paradox: zatímco část obyvatel trpí potravinovou nejistotou, značné množství potravin připravených ke konzumaci končí nevyužito.

Pro trvale udržitelné a z pohledu principů cirkulární ekonomiky správné nakládání s již vzniklým potravinovým odpadem – stejně jako s reálným uplatněním opatření pro předcházení vzniku těchto odpadů – je zapotřebí vytvářet odbornou podporu pro municipality ČR. Na ně je totiž přenášeno stále více povinností z oblasti cirkulární ekonomiky a odpadového hospodářství a pro mnohé z nich se orientace v tomto prostředí stává složitou a dlouhodobě nezvladatelnou. Potřebná metodická, datová a odborná podpora měst a obcí ČR je zásadní pro naplnění národních i evropských cílů v oblasti snižování produkce potravinových odpadů a pro úspěšný přechod k udržitelnějšímu modelu hospodaření se zdroji [4].

METODICKÝ POSTUP

Zpracování problematiky preventivních opatření pro předcházení vzniku potravinových odpadů na úrovni municipalit metodicky vycházelo z aktuálních strategických dokumentů v oblasti cirkulární ekonomiky a odpadového hospodářství, z dosavadních výsledků výzkumných projektů autorského kolektivu a z rešerše relevantních výstupů výzkumných projektů dalších subjektů i zkušeností z praxe.

Strategické dokumenty

Na mezinárodní úrovni je stěžejním dokumentem Agenda 2030 pro udržitelný rozvoj OSN, konkrétně Cíl udržitelného rozvoje OSN č. 12.3, jenž má za úkol do roku 2030 snížit na polovinu globální objem potravinového odpadu na obyvatele. K jeho naplnění byla zřízena iniciativa Champions 12.3, která sdružuje vlády, firmy a neziskové organizace.

Na evropské úrovni se téma stalo prioritou v rámci Akčního plánu pro oběhové hospodářství. Zásadní legislativní rámec představuje revidovaná směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/851 [5], kterou se mění rámcová směrnice o odpadech (2008/98/ES). Tato novela zavazuje členské státy k přijetí specifických programů prevence potravinových odpadů, ale také stanovuje cíl jeho snížení o 50 % do roku 2030, a to v souladu s cílem 12.3 Agendy OSN pro udržitelný rozvoj. Pro zajištění srovnatelných dat napříč EU bylo přijato prováděcí nařízení Komise (EU) 2019/1597 [6], jež definuje jednotnou metodiku pro měření množství potravinového odpadu. Vědecké poznání v oblasti potravinových odpadů je dále rozvíjeno projekty jako FUSIONS a REFRESH financovanými z programu Horizont 2020 [7, 8]. Oba projekty přinesly metodiky měření potravinových odpadů, scénáře prevence a návrhy politik. Na jejich poznatky navazují současné evropské aktivity včetně podpory redistribuce potravin nebo zdanění plýtvání.

ČR implementovala evropské požadavky ohledně potravinových odpadů do své národní legislativy a strategických dokumentů. Klíčovým je Plán odpadového hospodářství ČR na období 2025–2035, který v kapitole 3.4 obsahuje Program předcházení vzniku potravinového odpadu [4]. Tento program stanovuje tři specifické národní cíle.

A. Předcházet vzniku potravinového odpadu a snižovat jeho produkci v prvovýrobě, při zpracovávání, distribuci a spotřebě potravin.

B. Do konce roku 2030 snížit produkci potravinového odpadu o 10 % při zpracování a výrobě ve srovnání s množstvím vyprodukovaným v roce 2020.

C. Do konce roku 2030 snížit produkci potravinového odpadu na obyvatele společně v maloobchodě a jiných způsobech distribuce potravin, v restauracích a stravovacích službách a v domácnostech o 30 % ve srovnání s množstvím vyprodukovaným v roce 2020.

Shrnuto, legislativní a strategický rámec na úrovni EU je dnes relativně robustní. ČR tyto požadavky transponuje do národní politiky a výzkumných aktivit, avšak dosud chybí komplexní a podrobnější strategie, která by efektivněji integrovala jednotlivé aktéry potravinového řetězce a poskytla municipalitám konkrétní, daty podložené nástroje pro naplnění stanovených cílů. Do budoucna proto bude zásadní posílit meziresortní spolupráci, rozšířit cílená opatření na úrovni obcí, škol a potravinářských provozů a vytvořit důvěryhodný systém sdílení dat a monitoringu.

Výsledky výzkumu a zkušeností z praxe

Pro tvorbu konkrétních a v praxi aplikovatelných návrhů preventivních opatření byly stěžejní empirické poznatky, výsledky a znalosti získané prostřednictvím výzkumných projektů autorského kolektivu i jiných subjektů.

V rámci činnosti Centra environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH; TA ČR, č. SS02030008) je v sekci 1.C Biologicky rozložitelné odpady kolektivem VÚV TGM dlouhodobě řešena problematika potravinových odpadů. Cílem řešení v předchozích letech byla tvorba národní metodiky pro potřeby ohlašovacích povinností produkce potravinových odpadů v ČR na celostátní úrovni pro orgány Evropské unie [9]. Metodika zahrnuje všechny fáze potravinového řetězce (prvovýrobu, zpracování a výrobu, maloobchodní prodej a jiné způsoby distribuce potravin, restaurace a stravovací služby, domácnosti) a je založena na typu výpočtů, který vychází striktně z požadavků EU a katalogu odpadů. Metodika se stala hlavním podnětem pro mezioborové samostatné řešení přesného vykazování a reportingu produkce odpadů u segmentů prvovýroby a zpracování potravin.

Hlavním indikátorem pro oblast municipalit je produkce potravinových odpadů v domácnostech, stanovená na základě údajů z Informačního systému odpadového hospodářství (ISOH). Do výpočtu vstupují odpady z vybraných katalogových položek (20 01 08, 20 01 25, 20 02 01, 20 03 01) s kódy nakládání A00, AN60 a BN30. Výsledná hodnota představuje roční množství potravinových odpadů vzniklých v domácnostech zapojených do obecního systému. Cílem sledování indikátoru je vyhodnocovat, zda dochází ke snižování produkce potravinových odpadů. Trendová analýza umožňuje obcím posuzovat účinnost opatření v oblasti optimalizace sběru, redistribuce potravin a osvěty obyvatel.

Doplňkový indikátor I.KO vyjadřuje množství vyhnutelných potravinových odpadů, tedy těch, které mohly být spotřebovány, ale byly vyhozeny. Využívá data z ISOH a přepočítávací koeficienty stanovené pro jednotlivé složky komunálních odpadů (SKO, BRO, odpady z tržišť). Kombinace obou indikátorů poskytuje obcím komplexní nástroj pro plánování, hodnocení účinnosti opatření a sledování pokroku v prevenci potravinových odpadů.

Pro detailní znalost množství a složení biologicky rozložitelné složky směsného komunálního odpadu a na to navazující tvorbu reálných návrhů opatření jsou zásadní poznatky z rozborů SKO. Tyto analýzy se uskutečnily v několika projektech, jednak v rámci výzkumného projektu *„Odpady a předcházení jejich vzniku – praktické postupy a činnosti při realizaci závazků Krajského Plánu odpadového hospodářství hlavního města Prahy"* (program Pól růstu; CZ.07.1.02/0.0/0.0/16_040/0000379, *obr. 2*), jednak aktuálně řešeného projektu *„Efektivní a udržitelné nakládání s potravinovými odpady v obcích"* (akronym NAPO, Program Prostředí pro život 2, TA ČR č. SS07010095, 2024–2026). Hlavním cílem druhého projektu je nastavení dosud nerealizovaného systematického přístupu a vývoje komplexního nástroje pro trvale udržitelné řešení otázky potravinových odpadů pro samosprávy obcí a jejich svazků v ČR. Desítky provedených rozborů SKO

se zvláštním zaměřením na potravinový odpad umožnily získat podrobné informace o skladbě těchto odpadů a identifikovat části s největším potenciálem pro prevenci vzniku odpadů. Stejně tak je důležitý vysoce aktivní přístup zástupců vybraných spolupracujících měst a obcí, s nimiž byly návrhy preventivních opatření ve vazbě na průběžné výsledky rozborů SKO a provozní zkušenosti zástupců pověřených řízením odpadového hospodářství konzultovány. Dosavadní průběžné výsledky rozborů SKO jednoznačně potvrzují, že potravinových odpadů, které nabízejí potenciál k využití a předejití jejich vzniku, je v komunálních odpadech dostatečné množství (*obr. 3*); kompletní výsledky rozborů SKO budou publikovány do konce roku 2026.

Obr. 2. Jednou ze stěžejních činností při identifikaci potravinových odpadů a získávání potřebných dat jsou prováděné rozbory SKO v obcích (foto: archiv autorů)
Fig. 2. One of the key activities in identifying food waste and obtaining the necessary data is the analysis of MSW in municipalities (photo: authors' archive)

Obr. 3. Potravinové odpady jsou po vytřídění z SKO fotodokumentovány a opatřeny popisem ohledně jejich stavu, prošlé záruční lhůty a podobně (foto: archiv autorů)
Fig. 3. After being sorted from the MSW, food waste is photo-documented and provided with a description of its condition, expired warranty period, etc. (photo: authors' archive)

V rámci výzkumu a osvěty hraje významnou roli iniciativa *Zachraň jídlo*, která prostřednictvím kampaní a spolupráce s obchodníky, školami a výrobci zviditelňuje rozsah plýtvání a poskytuje konkrétní doporučení, jak mu předcházet [10]. V roce 2022 byl publikován rozsáhlý výzkum Potravinové banky Praha a Mendelovy univerzity v Brně, který kvantifikoval rozsah potravinových přebytků v maloobchodu a navrhl zlepšení systému darování potravin [11]. Ve spolupráci Pedagogické fakulty Univerzity Karlovy a Provozně ekonomické fakulty MENDELU vznikl projekt *Chytře s jídlem*, který je zaměřený na téma plýtvání potravinami, jeho cílem je zvyšovat povědomí a měnit chování dětí, škol i domácností [12]. Optimalizovat nákupy a vaření v domácnostech pomáhá platforma *Kup, co sníš*, která nabízí rady, tipy, návody, recepty a inspiraci, jak využít suroviny co nejlépe, bez zbytečných ztrát [13].

Zkušenosti byly získány také prostřednictvím projektu a platformy *Třídím gastro*, která zajišťuje komplexní služby společnosti Energy financial group (EFG) zaměřené na separaci, svoz a energetické využití biologicky rozložitelného kuchyňského (gastro)odpadu [14, 15]. V oblasti nakládání s již vzniklým potravinovým odpadem byly využity výsledky výzkumných aktivit směřujících k problematice kompostování a bioplynových stanic [16–18].

K dalším relevantním zdrojům, jež napomohly tvorbě návrhů preventivních opatření, patří odborné podklady Ministerstva životního prostředí ČR, statistiky ISOH, výstupy EKO-KOM (rozbory směsného komunálního odpadu) a zprávy obcí, které provedly vlastní analýzy SKO. Tyto materiály umožňují porovnávat různá území, velikosti obcí a typ zástavby, identifikovat klíčové determinanty plýtvání potravinami a koncipovat opatření, jež jsou prakticky realizovatelná v podmínkách různých obcí [19–21].

VÝSLEDKY

Systémová opatření na celostátní či municipální úrovni zaměřená na potravinový odpad musejí vést ke snížení produkce směsného komunálního odpadu. Tato redukce je dosažitelná dvěma vzájemně se doplňujícími směry:

- důsledným a promyšleným předcházením vzniku potravinových odpadů (ale také odpadů, které při produkci potravinových odpadů někdy zákonitě vznikají – např. plastové obaly, v nichž jsou potraviny vyhazovány),
- výrazným zvýšením efektivity třídění a následným využitím potravinových odpadů, které již na území měst a obcí vznikly.

Návrhy opatření lze na území obce aplikovat samostatně. Nicméně je účinnější předkládaná řešení propojovat do smysluplného celku a využít možné synergie (např. osvěta spojená s technickými intervencemi, infrastruktura s motivačními nástroji). Cílem je navrhnout co nejkomplexnější řešení, která umožňují vytváření efektivních adaptabilních modelů v různorodých lokálních podmínkách.

Při uvádění návrhu do praxe je nutné respektovat aktuální stav legislativy a rovněž brát ohled na předpisy týkající se jiných specifických oblastí (zejména ochrany veřejného zdraví, hygienických norem a technických standardů apod.) a dimenzovat technická řešení (velikost nádob, logistiku svozu, kompostovací či bioplynové kapacity) adekvátně místním podmínkám.

Z pohledu původce komunálního odpadu – tedy obce – je však prevence naprosto klíčová, protože zásadně snižuje náklady na odpadové hospodářství (jak na směsný, tak tříděný odpad). Postupy předcházení vzniku odpadů ovšem není možné vynucovat, případně jen velmi omezeně – např. diferenciací poplatků za odpad, bonusy pro domácnosti s nízkou produkcí odpadu nebo spoluúčastí v osvětových programech. Na předcházení vzniku odpadů má tedy naprosto klíčový vliv dobrovolná motivace, kterou může zásadně ovlivnit správně cílená osvěta. Druhou rovinou je vytváření prostředí, jež motivovaným občanům umožňuje „bezodpadový život", podpora kompostování ve městě, platforma pro redistribuci potravin a podobně.

Návrhy preventivních opatření

Biologicky rozložitelný komunální odpad a podpora kompostování

Biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO), jehož podstatnou součástí jsou vyhozené potraviny, tvoří přibližně 40 % komunálních odpadů a zároveň je jediným druhem odpadu, který mohou občané dokonale a legálně využít v domácím prostředí, a to i ve velkém množství (*obr. 4*). Skládkování bioodpadu je omezováno i legislativně a původci tohoto odpadu jsou nuceni přijímat opatření vedoucí k oddělenému sběru a dalšímu využití BRKO.

Postupů, jak zajistit využití biologicky rozložitelných odpadů, je více, ale do značné míry se liší efektivitou, finančními náklady a zátěží, kterou představují pro životní prostředí. S ohledem na složitost problematiky mají všechny své místo v odpadovém hospodářství, nicméně je vhodné, aby při jejich zavádění a podpoře byla aplikována podobná hierarchie jako u nakládání s odpady obecně. Tedy upřednostnit opatření s nejnižšími náklady (environmentálními a často i finančními) a teprve po vyčerpání lepších variant přecházet k dalším řešením.

Obr. 4. Kompostéry dnes můžeme vidět nejen u rodinných domů, ale čím dál více je využívají také obyvatelé panelových domů na sídlištích (foto: archiv autorů)
Fig. 4. Today, we can see composters not only in family houses, but they are also increasingly used by residents of panel houses in housing estates (photo: authors' archive)

Domácí a zahradní kompostování

Podle zkušeností municipalit se osvědčila dotační podpora na pořízení zahradních kompostérů pro obyvatele se zahradou, uživatele vnitrobloků apod. Dotační podporu je možné zaměřit i na pořízení interiérových vermikompostérů určených k domácímu kompostování kuchyňského odpadu. Do vermikompostéru je nutné umístit násadu žížal, nejlépe vyšlechtěného „žravého" druhu kalifornských žížal (*Eisenia andrei*), jež preferují vyšší teploty, rychle se množí a velmi dobře zpracují kuchyňský odpad. Vyžadují ale péči jako specifické „domácí zvíře", tedy zajištění dostatku potravy (bioodpadu), přiměřenou teplotu a vlhkost. Uživatelé vermikompostéru tedy musejí znát potřeby žížal a pravidla péče o ně, aby kompostér fungoval a žížaly neuhynuly.

Komunitní kompostování

Komunitním kompostováním je myšleno společné kompostování více domácností – zpravidla sousedů (obyvatel jednoho bytového domu nebo vchodu, uživatelů vhodných společných prostor). Kompostování může probíhat v uzavřených nebo otevřených kompostérech, případně na kompostovacích hromadách (*obr. 5*). Kompostér umístěný na veřejně přístupném místě musí být uzavřený a zamykatelný, přičemž klíče smějí vlastnit pouze uživatelé kompostéru. Kompost by měl být umístěný tak, aby nikoho neobtěžoval případným zápachem nebo hmyzem a byl přijatelně dostupný pro všechny uživatele. Je nutné, aby ve skupině uživatelů byl minimálně jeden správce, jenž kontroluje čistotu a zajišťuje správnou péči o kompost a využití vytvořeného humusu (případně potřebné práce zadává dalším uživatelům). Každá skupina by měla mít vytvořená interní pravidla fungování (vymezení kompostovaného odpadu, povinnosti uživatelů, zodpovědnost za vybavení atd.). Kompostéry jsou vhodné zateplené (pro celoroční použití), uzamykatelné a vícekomorové (v jedné komoře se shromažďuje odpad, v dalších komorách dozrává).

Obr. 5. Nevýhodou komunitního kompostování je nižší možnost kontroly odloženého odpadu od většího množství občanů, kdy se v místě sběru pak mohou objevit odpady v plastových pytlích, nebo dokonce odpady, které s kompostováním vůbec nesouvisejí (foto: archiv autorů)
Fig. 5. The disadvantage of community composting is the lower possibility of checking the deposited waste from a larger number of citizens, when waste in plastic bags or even waste that is not related to composting at all may appear at the collection point (photo: authors' archive)

Kompostování a zpracování bioodpadu ve školách

Školy a další instituce mohou kompostovat bioodpad při dodržení několika pravidel. Mělo by se jednat o kompostování pouze rostlinných zbytků, nikoli zbytků jídel. Kompostováním nesmí docházet k ohrožení životního prostředí ani zdraví, kompostovací proces musí tedy probíhat správně a nesmí dojít k úniku případného výluhu do vodních toků apod. Výsledný kompost je ideální používat na školních pozemcích.

Aby bylo možné kvalitně kompostovat, je nutné důsledně třídit bioodpad tam, kde vzniká – tedy při přípravě pokrmů a ve třídách. Sběr by měl probíhat do speciálních odvětrávaných košů umístěných v každé třídě (případně na každém stanovišti sběru odpadů ve škole). Odvětrávané koše, do nichž se umisťují rozložitelné sáčky, zajistí, že odpad sesychá a nehnije. Koše musejí být uzavíratelné, aby se na bioodpadu nezdržovali škůdci (zejména octomilky). Vynášení sáčků s bioodpadem by mělo probíhat min. 1–2x týdně, případně dle potřeby. Kompost je nutné nejméně 2x ročně překopat (provzdušnit), zajistit míchání zbytků s velkým obsahem dusíku (ovoce, zbytky z přípravy jídla) s uhlíkatými zbytky (tráva, dřevní štěpka). Výsledný stabilizovaný kompost (přibližně po jednom roce) je možné využít při údržbě školních pozemků. Do systému je vhodné zapojit i žáky a studenty (osvěta, přejímání zodpovědnosti), kteří mohou zajišťovat vynášení bioodpadu, kontrolu čistoty vytřídění i péči o kompost. Přeměna organických zbytků v kompost a hnojivo je zároveň zajímavým námětem pro hodiny biologie.

Veřejná lednička

Veřejné prostory, kde je možné zanechat nepotřebné, ale použitelné věci a také si zdarma tyto věci vyzvednout, mají dva pozitivní efekty. Usnadňují „nevyhazování věcí, pro které nemám využití," a jejich darování i mimo vlastní rodinu či přátele. Umožní rovněž darování věcí, jež lze jinak darovat (nebo přijmout) pouze omezeně, zejména z důvodů společenských zvyklostí nebo studu (nevhodné dárky, potraviny apod.). Zároveň nedojde ke znehodnocení věcí (faktickému ani „pocitovému") např. odložením ke kontejnerům na odpad (s vírou, že si to třeba někdo vezme). Zkušenosti z fungování podobných „bodů sdílení" (veřejných ledniček, šatníků, knihoven) ukazují, že je využívají jak lidé ve skutečné

nouzi (zejména šatstvo, potraviny), tak lidé motivovaní environmentálně (spotřeba „málem vyhozeného" jídla) nebo zkrátka lidé ochotní zkusit něco jiného, a navíc dostatečně otevření, zejména studenti (např. potraviny a knihy).

V praxi se objevují veřejné ledničky, nicméně je možné takto sdílet jakékoli produkty, u kterých je to technicky možné, existuje-li dostatečná nabídka i poptávka a lidé jsou ochotni je bezplatně nabídnout a brát si je z „neověřeného zdroje".

Veřejná lednička vyžaduje trvalé připojení k elektřině, každodenní kontrolu (fungování ledničky, obsahu, vyloučení nevhodných nebo zkažených potravin) a umístění mimo povětrnostní vlivy a slunce. Z těchto důvodů se jejich údržby většinou ujímají např. provozovatelé kaváren či jiných zařízení, některé jsou v areálech VŠ kolejí, ale také na obecních úřadech. V případě ledničky je nezbytné důsledné zajištění provozu a je nutné výrazné upozornění na provozní řád a informace, že konzumace uložených potravin je na vlastní riziko. Tento provozní řád, který definuje, co je možné do ledničky dávat apod., je třeba také dobře formulovat a veřejně vyvěsit. Nejbezpečnější jsou koupené potraviny s neprošlým datem minimální trvanlivosti, jež nejsou otevřené, případně nepoškozené ovoce a zelenina. V některých ledničkách je možné nechávat i domácí jídlo, dále otevřená balení, u kterých to nemá vliv na kvalitu (vajíčka, těstoviny, trvanlivé potraviny), nebo trvanlivé potraviny s prošlým datem minimální trvanlivosti, u nichž je pokles kvality minimální (těstoviny, luštěniny). Je vhodné vyčlenit i nechlazený prostor určený k uložení potravin, kterým chlad a zejména vlhkost nedělají dobře (brambory) nebo není nutné je chladit (trvanlivé potraviny).

Aplikace na zlevněné jídlo

Prevence vzniku potravinového odpadu se v posledních letech výrazně posunula směrem k digitálním řešením, mezi nimiž hrají klíčovou roli mobilní aplikace propojující podniky s koncovými spotřebiteli. V ČR se nejvíce rozšířily platformy *Nesnězeno* nebo *Too Good To Go*, jež zákazníkům umožňují zakoupit neprodané pokrmy či potraviny za sníženou cenu [22, 23]. Tento přístup nejenže šetří peníze domácnostem, ale zároveň přispívá k omezení množství vyhozeného jídla a podporuje místní gastronomické provozy. Zatímco *Nesnězeno* má díky své delší přítomnosti na trhu silné zázemí s více než 1 700 partnerskými podniky, novější *Too Good To Go* sází na mezinárodní zkušenosti a technologické inovace, včetně nástroje využívajícího umělou inteligenci pro plánování zásob. Obě aplikace cílí především na městskou a mladší populaci a využívají princip překvapení – zákazníci si často dopředu nevybírají konkrétní jídlo, ale tzv. „záchranný balíček". V kontextu rostoucích cen potravin, tlaku na udržitelnost a vysokého podílu domácností na celkovém plýtvání představují tyto aplikace důležitý nástroj pro systémové snížení potravinových ztrát.

Využití pitné vody z kohoutku místo vody balené

Na vodu jako potravinu se často zapomíná. Ve veřejné vodovodní síti je kvalitní voda, kterou dodavatel pravidelně kontroluje ohledně hygieny, je ideálně skladovaná (v chladu a temnu) a při průběžném odbytu je stále čerstvá. Ve srovnání s balenou vodou je velmi levná – litr pitné vody (vodné a stočné) stojí haléře, zatímco litr balené vody několik korun. Balená voda je navíc zdrojem velkého množství plastových odpadů, které jsou pak hojně vyváženy převážně do zahraničí k dalšímu zpracování. Je nutné se však soustředit na prevenci, nikoli jen na recyklaci, jež nutně představuje značnou zátěž pro životní prostředí (výroba, doprava i samotná recyklace).

Kvalitní pitná voda je v ČR samozřejmostí. Nicméně prodejci balené vody uspěli s marketingovými kampaněmi natolik, že voda z kohoutku je často považována za podřadnou. Toto nastavení je nutné prolomit cílenými aktivitami a propagací „kohoutkové" vody.

Jedním z jednoduchých, ale účinných preventivních opatření na snižování odpadu z jednorázových obalů je nabídka kohoutkové vody zákazníkům v restauracích a kavárnách. Podpora pití vody z vodovodu pomáhá omezovat spotřebu balených nápojů, a tím i množství plastových a skleněných obalů, které končí jako odpad. Obce mohou toto opatření podpořit kampaněmi, označováním podniků nabízejících vodu z kohoutku nebo technickou podporou (např. filtrací).

Potravinové banky

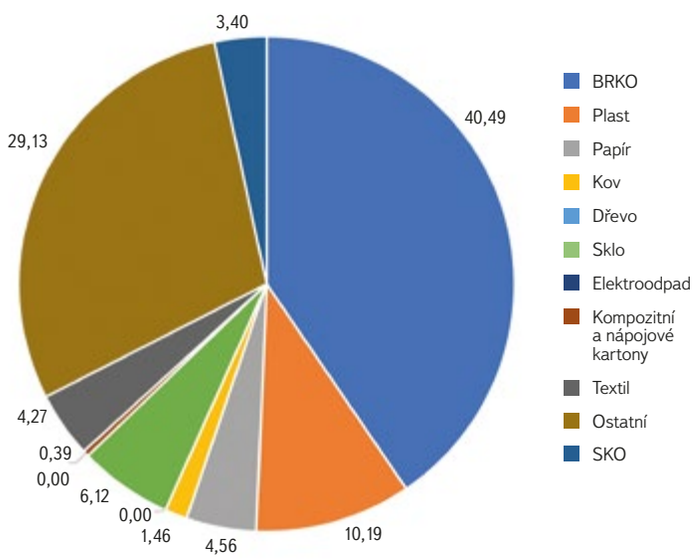
Potravinové banky v ČR jsou klíčovým hráčem v boji proti hladu a plýtvání potravinami [24]. Představují důležitý článek v systému pomoci lidem v nouzi a zároveň aktivně bojují proti plýtvání potravinami. Jejich hlavní misí je shromažďovat nezávadné potraviny, které by jinak skončily jako odpad, a distribuovat je těm, kteří je nejvíce potřebují. Tento systém funguje díky úzké spolupráci s obchodními řetězci, výrobci potravin, zemědělci, dobrovolníky a rozsáhlou sítí odběratelských neziskových organizací.

Potravinové banky získávají potraviny z různých zdrojů. Jde především o přebytky z obchodů (např. zboží s blížícím se datem minimální trvanlivosti nebo s poškozeným obalem), neprodané produkty od výrobců a pěstitelů či dary od veřejnosti získané prostřednictvím veřejných sbírek, jako je celonárodně známá *Sbírka potravin*.

Shromážděné potraviny jsou následně tříděny, skladovány a distribuovány prostřednictvím partnerských charitativních a humanitárních organizací. Tyto organizace pak zajišťují, aby se pomoc dostala přímo k cílovým skupinám. Mezi nejčastější příjemce patří rodiny v krizi a samoživitelé/samoživitelky, senioři s nízkými příjmy, lidé bez domova, osoby se zdravotním postižením nebo chronickým onemocněním a podobně.

Zefektivnění třídění biologicky rozložitelných odpadů

Obce v ČR mají povinnost umožnit třídění biologicky rozložitelných odpadů od roku 2015, a to původně jen v sezonním období. Od roku 2019 platí, že obce musejí zajistit místa pro oddělené shromažďování bioodpadu po celý rok. Systém tedy nastaven – alespoň v obecné rovině – v ČR máme. Rozbory SKO prováděné autorským kolektivem i dalšími subjekty však ukazují, že efektivita a významnější dopad na snížení množství BRKO ve směsném komunálním odpadu ukládaném na skládky jsou zatím spíše nízké (*obr. 6*).



Obr. 6. Průběžné výsledky rozborů SKO [%] prováděných v rámci řešení výzkumného projektu NAPO ukazují, že podíl využitelného BRKO se stále pohybuje kolem 40 %
Fig. 6. The ongoing results of the MSW [%] analyses carried out as part of the NAPO research project show that the share of usable BMW is still around 40 %

Třídění a zavedení svozu gastroodpadů pro obyvatele obce / živnostníky

Gastroodpadem je zde míněn odpad řazený pod katalogové číslo *20 01 08 – Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven*. Zbytky vařených jídel a obdobný odpad z gastroprovozů a domácností nejsou obvykle sváženy a z velké části končí ve směsném odpadu. Gastroodpad je možné kompostovat pouze omezeně kvůli riziku výskytu hlodavců, hmyzu, případně riziku infekce (zejména maso, zbytky vařených jídel) apod. Se zlepšující se úrovní třídění dalších složek odpadů roste podíl gastroodpadů ve směsném komunálním odpadu. Jde o složku dále využitelnou (např. v bioplynové stanici), kterou lze však hůře použít energeticky přímo (spálením) a jejíž ukládání (jako BRKO) na skládky je omezováno legislativně. To vše jsou důvody pro odklon tohoto odpadového toku a zavedení důsledného třídění a využití. Stejně jako u jiných složek odpadů je nezbytné třídění přímo u původců, protože dotřiďování je prakticky nemožné a smíchání významně snižuje možnosti dalšího využití. Ukázkovým projektem může být např. již jednou zmíněná iniciativa *Třídím gastro* [14].

Sběr jedlých olejů v místě použití (jídelny, restaurace)

Použitý jedlý olej z domácností i restauračních zařízení stále ve značném množství končí v kanalizaci nebo ve směsném odpadu. Takové chování může způsobit ucpávání potrubí, poškození kanalizační infrastruktury a zvýšené náklady na její údržbu.

Jedlé oleje a tuky však představují využitelnou surovinu, která je sbírána a tříděna pod katalogovým číslem *20 01 25 – Jedlý olej a tuk*. Řada firem se zabývá sběrem a opětovným použitím tohoto oleje – technologicky je to zvládnuté a o surovinu je zájem, dokonce se vykupuje (v řádu korun za litr). Vybraná místa mohou sloužit také jako shromažďovací místa pro olej z domácností (typicky školy, resp. školní jídelny). Míra třídění této suroviny (podíl olejů končících v kanalizaci) úzce souvisí s povědomím o možných škodách způsobených olejem v potrubí (ucpání, nutné opravy).

Informační a osvětové kampaně

V oblasti předcházení vzniku BRKO a potravinových odpadů je veřejnost zcela zásadní cílovou skupinou, která je schopna v každodenním životě účinně ovlivňovat množství a druhy vznikajících odpadů. Účinná informační kampaň proto umožňuje poměrně rychle vytvořit (tudíž okamžitě působit) a po celou dobu realizace preventivních opatření zajistit kontinuální provoz volně přístupné informační základny pro problematiku předcházení vzniku odpadů na různých úrovních. Působí tedy jak okamžitě (krátkodobě), tak dlouhodobě. Strategie přenosu informací v této oblasti je považována za jednu z nejdůležitějších forem opatření.

Osvěta je naprosto klíčová pro podporu veřejnosti v aktivitách směřujících ke snižování produkce odpadů. Důvodem je fakt, že jde zpravidla o uživatelsky méně pohodlná řešení (např. nutnost přinést si vlastní obaly, hrnky apod.), zatímco odpady po vyhození zdánlivě „zmizí ze světa". Je tedy nutné posilovat uvědomování si souvislostí (vazba mezi vyhozeným kelímkem a skládkou nebo spalovnou, které jsou vnímány negativně) a zároveň hledání a propagaci správných a použitelných postupů pro život s minimem odpadů. To se týká mnoha úrovní – od občanů přes drobné živnostníky a velké firmy až po veřejnou správu/instituce. Zároveň však platí, že reálná účinnost informačních kampaní může být velice různorodá – jak potvrzují rozbory SKO v obcích, kde probíhá ze strany obce velmi intenzivní informační podpora obyvatel ke sběru a třídění BRKO a gastroodpadů, včetně rozmístění dostatečného počtu sběrných nádob na ulicích i nádob poskytnutých občanům, v důsledku nekázně občanů a nedodržování pravidel se obcím i přes vynaložené velké finanční prostředky mnohdy nedaří významněji snižovat produkci uvedených odpadů (*obr. 7*).

Obr. 7. Nekázeň občanů a nerespektování základních pravidel pro sběr a třídění SKO jsou i po letech informačních a osvětových kampaní v některých obcích stále patrné (foto: archiv autorů)

Fig 7. Citizen indiscipline and failure to respect basic rules for MSW collection and sorting remain evident in some municipalities, even after years of information and awareness campaigns (photo: authors' archive)

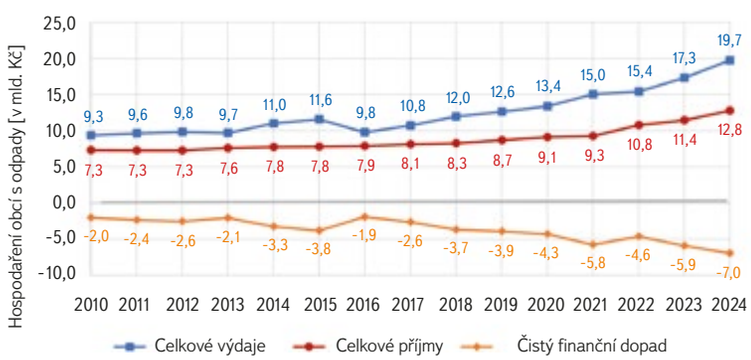
Informační a osvětové kampaně mohou zahrnovat celou řadu aktivit, které lze cílit na občany a zároveň je propojit s komunitními akcemi, školami nebo místními podniky. Obce pro jejich šíření a propagaci mohou např. využívat internetové stránky obce, letáky, místní tiskoviny, polepy na sběrných nádobách, mobilní aplikace, oficiální stránky na sociálních sítích a podobně. Škála možností je poměrně rozsáhlá a může být zaměřena např. na tyto aktivity:

- pravidelně informovat o aktuálním dění v oblasti cirkulární ekonomiky a odpadového hospodářství v obci;
- informovat o typech sběrných nádob na odpady, jejich barevném rozlišení, umístění polepů a mezinárodně srozumitelných piktogramů s informací o sbíraných/nežádoucích odpadech na sběrné nádoby, umísťování QR kódů s možností nahlásit problém týkající se sběrného místa;
- pořádat exkurze do provozů, které jsou součástí odpadového hospodářství (skládky, třídicí linky, recyklační centra, kompostárny, bioplynové stanice, energetická zařízení, výrobci využívající vratné obaly atd.) – smyslem těchto exkurzí je ukázat reálný provoz a vyvracet dogmata a nesprávně pochopené principy odpadového hospodářství – např. tvrzení „Třídit nemá smysl, oni to pak stejně všechno nasypou do jednoho popelářského vozu/jámy";
- spolupodílet se na projektech vědy a výzkumu a informovat veřejnost o těchto aktivitách;
- předávat informace o iniciativách, akcích a subjektech, jejichž činnosti směřují ke snižování potravinových odpadů (*Neplýtvej potravinami*, *Zachraň jídlo*, *Kup, co sníš*, potravinové banky a podobně);
- pořádat nebo se spolupodílet na organizaci kurzů podporujících správně realizované nákupy potravin a vaření z primárních surovin (nebalených potravin);
- předávat informace o sociálních a komunikačních platformách a aplikacích pro elektronická zařízení;
- propagovat bezobalové nákupy a akce, informovat o místních prodejcích a o tom, co je nutné splnit z pohledu hygieny (vhodné obaly a následné uskladnění výrobků v domácnosti, aby nedošlo k jejich znehodnocení);
- informovat o možnostech finanční podpory (dotačních programech) zaměřené/ých na podporu postupů výroby a prodeje, které minimalizují vznik potravinových odpadů (prodej do zákaznických obalů a nádob, používání vratných obalů ve výrobě a prodeji);

- předávat informace o příkladech dobré praxe;
- zprostředkovávat poradenství po stránce legislativní, účetní a hygienické (ve spolupráci s hygieniky a provozovateli obchodů) při třídění a nakládání s potravinovými odpady, používání vratných/zákaznických obalů, zvážit vydání manuálu rovněž v jiných jazycích (alespoň překlad elektronické verze);
- finančně motivovat a diverzifikovat občany a subjekty, které přistupují zodpovědně k třídění potravinových odpadů;
- vytvořit interaktivní mapy s vyznačením sběrných nádob vhodných k odkládání potravinových odpadů, veřejných ledniček, bezobalových prodejen (včetně např. prodeje kávy do vlastních nádob apod.), zahrnující možnosti filtrování dat, informace o provozní době, kontaktních údajích apod.;
- dlouhodobě podporovat projekty obce a doporučovat je občanům (domácí kompostéry, komunitní kompostování, pilotní projekty sběru a třídění aj.);
- prostřednictvím škol, vzdělávacích a volnočasových center pořádat veřejné soutěže (populární jsou nyní mezi žáky a studenty např. fotosoutěže) zaměřené na vyhledávání a oceňování originálních nápadů a řešení v oblasti prevence vzniku potravinových odpadů, správného nakládání s nimi a využití recyklovaných materiálů (např. kompostů).

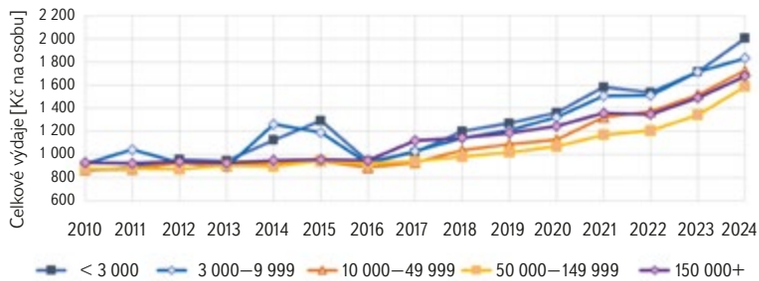
Příjmy a výdaje v odpadovém hospodářství municipalit

V rámci rozpočtů obcí je hospodaření s odpady podchyceno pomocí příjmů a výdajů a finančních vztahů mezi nimi. Ty jsou blíže upřesněny prostřednictvím položek, paragrafů apod., jež jsou sledovány dle struktury rozpočtové skladby podle vyhlášky č. 412/2021. Zachycení finančních vztahů v rozpočtu souvisí s modely hospodaření obcí s odpady. Tyto finanční vztahy odrážejí odlišné modely hospodaření obcí – od samostatného zajišťování činností obecním úřadem přes nákup služeb od svozových firem až po zakládání městských organizací nebo spolupráci v rámci svazků obcí. Volba modelu závisí zejména na velikosti obce, organizačních kapacitách a ekonomické stabilitě. Z dlouhodobého hlediska lze pozorovat výrazný růst zatížení obecních rozpočtů odpadovým hospodářstvím. Zatímco v roce 2010 to byly 2 mld. Kč, v roce 2024 šlo již o 7 mld. Kč, což představuje nárůst o 241 %. Celkové čisté finanční dopady nakládání s odpady v obcích jsou dány zejména růstem výdajů obcí v odpadovém hospodářství. Od roku 2010 do roku 2024 celkové výdaje obcí na hospodaření s odpady vzrostly z 9,3 mld. Kč na 19,7 mld. Kč, tento nárůst o 111 % byl ovlivněn inflací, ale i po jejím očištění stále zůstává nárůst o 29 % (*obr. 8*).



Obr. 8. Vývoj hospodaření obcí s odpady v letech 2010–2024 (Ministerstvo financí, Monitor státní pokladny)
Fig 8. Development of municipal waste management in 2010–2024 (Ministry of Finance, State Treasury Monitor)

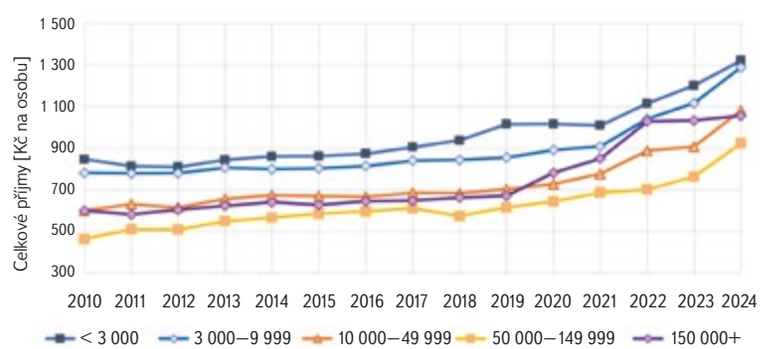
Výdaje obcí na odpadové hospodářství se týkají zejména výdajů na sběr a svoz, využívání a zneškodňování odpadů, na prevenci jejich vzniku a monitoring (*obr. 9*). Obce je hradí svozovým firmám a jsou zde zahrnuty i poplatky za ukládání odpadů. Většina těchto výdajů je běžného charakteru, kapitálové se týkají např. vybavení sběrných dvorů, kompostáren či pořízení svozové techniky. Výše výdajů se liší podle velikosti obcí – malé obce měly v letech 2014–2015 vyšší kapitálové výdaje kvůli dotacím z EU. Dlouhodobě mají nejvyšší náklady na obyvatele nejmenší obce a rozdíly mezi velikostními kategoriemi se prohlubují. Vyšší jednotkové náklady u malých obcí mohou souviset s nižší efektivitou svozů, s menším využitím kapacit a omezenými možnostmi optimalizace. Nabízí se proto úvaha o potřebě racionalizace systému, větší prevence a podpory separace odpadů.



Obr. 9. Celkové výdaje obcí na odpadové hospodářství dle velikostních kategorií v letech 2010–2024 (Ministerstvo financí, Monitor státní pokladny / ČSÚ)
Fig 9. Total municipal expenditures on waste management by size category in 2010–2024 (Ministry of Finance, Treasury Monitor / Czech Statistical Office)

Hlavním příjmem obcí v oblasti odpadového hospodářství je místní poplatek za obecní systém odpadového hospodářství a poplatek za ukládání komunálního odpadu, stanovený obecně závaznou vyhláškou. Některé obce mohou poplatky vybírat i smluvně. Dalšími příjmy jsou platby za tříděný odpad, příspěvky od kolektivních systémů a výnosy z poplatků za ukládání odpadů na skládky, které náležejí obci, na jejímž území se zařízení nacházejí. Vedle toho některé obce v rámci odpadového hospodářství mohou vybírat poplatky za odpad, který pak odvážejí hromadně na skládku (např. odpad stavebního materiálu), kde cena poplatku vychází z nákladů na likvidaci.

Dlouhodobě se ukazuje, že tyto příjmy na obyvatele jsou nejvyšší v nejmenších obcích a klesají s růstem velikosti obcí pouze s výjimkou největších obcí (*obr. 10*). V období 2021–2024 se příjmy ve všech velikostních kategoriích obcí zvýšily průměrně o jednu třetinu. Vzhledem k podílu složek uvedeného ukazatele celkových příjmů působí na tento výsledek zejména velikost místního poplatku za odpady.



Obr. 10. Celkové příjmy obcí z odpadového hospodářství dle velikostních kategorií (Ministerstvo financí, Monitor státní pokladny / ČSÚ)
Fig. 10. Total municipal revenues from waste management by size categories (Ministry of Finance, Treasury Monitor / Czech Statistical Office)

DISKUZE A ZÁVĚRY

Přenos povinností z oblasti cirkulární ekonomiky a odpadového hospodářství na obce má v posledních letech rostoucí charakter. Obce musejí nejen zajišťovat plnění systémových kroků a dosahovat limitních cílů, ale zároveň čelí nedostatku odborného personálu, omezenému přístupu k relevantním informacím a jsou konfrontovány se stoupající zátěží obecních rozpočtů. Z rozboru aktuální situace je patrné, že bez dlouhodobé a systematické podpory činností municipalit v těchto oblastech může mít ČR v budoucnu značné problémy jak s dosažením očekávaného přechodu na cirkulární ekonomiku, tak i trvalé udržitelnosti systému odpadového hospodářství a plnění – mnohdy velmi ambiciózních – environmentálních cílů.

Opatření proti plýtvání potravinami a snížení produkce bioodpadu nejsou jen nákladem – představují investici do udržitelné budoucnosti: šetření zdrojů, snížení emisí, podporu lokální cirkulární ekonomiky a zvyšování kvality života. Municipalita, která se aktivně zapojí, může dosáhnout nejen environmentálních přínosů, ale i úspor, větší soběstačnosti a posílení odpovědnosti občanů.

V reakci na rostoucí finanční zátěž obce hledají nové motivační a systémové přístupy. Některé zavádějí množstevní systémy zpoplatnění, jež motivují obyvatele ke snižování produkce směsného odpadu, jiné využívají dotační programy (např. OPŽP, NPO) k investicím do sběrných dvorů, kompostáren a infrastruktury pro bioodpady. Důležitým trendem je rozvoj spolupráce mezi obcemi, jež umožňuje sdílet náklady, optimalizovat svozové systémy, zvyšovat efektivitu zavedených opatření a dosahovat množstevních úspor.

Rostoucí náklady na provoz systémů nakládání s odpady potvrzují, že prevence vzniku odpadů – včetně potravinových – představuje ekonomicky i environmentálně nejefektivnější strategii.

Dlouhodobá podpora separace odpadů, snižování objemu směsného komunálního odpadu, vzdělávání obyvatel a zejména důraz na prevenci vzniku odpadů může významně přispět ke zvýšení příjmů obcí z odpadového hospodářství a současně snížit celkové zatížení rozpočtů obcí. Efektivnější nakládání s odpady tak představuje nejen ekologický, ale i ekonomický přínos pro obce všech velikostí.

Z pohledu problematiky potravinových odpadů lze na základě dosavadních zkušeností a informací definovat následující stručné závěry:

- V ČR aktuálně existují dva typy koncového zařízení pro nakládání s potravinovým odpadem – bioplynové stanice a kompostárny. Jak uvádí Analytická část Plánu odpadového hospodářství ČR na období 2025–2035, s výhledem na plánované cíle ČR jsou aktuální kapacity nedostatečné. Investice do infrastruktury budou v následujících letech nevyhnutelné.
- Rozbory SKO prováděné autorským týmem ukazují, že množství BRKO v SKO, kam potravinové odpady patří, se stále pohybuje kolem 40 % hmotnosti, a to i přes skutečnost, že třídění BRKO na úrovni obcí je zavedeno již od roku 2019.
- Rozbory rovněž ukazují, že ani obce s poměrně masivní informační a finanční podporou směřující ke zvýšenému třídění BRKO a gastroodpadů mnohdy výrazného snížení těchto odpadů v SKO zatím nedosáhly.
- Pro předcházení vzniku potravinových odpadů na úrovni municipalit je zásadní nepřetržité působení na chování občana. Efektivita však může být i přes vysokou snahu obce nízká. Do budoucna lze předpokládat vyšší tlak na finanční zvýhodnění zodpovědných a do systému zapojených občanů.
- Pro zlepšení aktuální situace je dlouhodobá a systematická podpora municipalit ze strany státu naprosto zásadní. Nejdůležitější je poskytování informací o příkladech dobré praxe, vytváření mechanismů sdílení, standardizace postupů, přenos problematiky do systému školství a vzdělávání, publikování dat a případových studií, podpora funkčních systémových řešení, dotační podpora a vzájemná komunikace při plánování nové legislativy a stanovení národních cílů ve vazbě na obce.
- Pro municipality ČR je vhodné začít s opatřeními, jež mají nízkou investiční náročnost a vysoký místní dopad. Je potřeba zmapovat místní stav (rozbory SKO, participace občanů) a vybírat vhodné technologie a formy (kompostéry domácí/komunitní, svoz, mobilní aplikace). Aktivně lze využívat dostupné dotační programy a granty, vybudovat síť spolupráce (např. mezi obcemi, se spolky, neziskovkami, potravinovými bankami, zemědělci) pro sdílení zkušeností a optimalizaci nákladů.
- Z preventivních opatření fungují poměrně dobře kompostovací aktivity (domácí, komunitní, školní) a redistribuce potravin.
- Rozpočty obcí jsou z pohledu stoupajících nároků odpadového hospodářství a cirkulární ekonomiky stále více zatěžovány. Pro malé obce se jako jedno z řešení jeví jejich spojování do větších celků s vyšší vyjednávací silou vůči svozovým firmám a subjektům nakládajícím s – nejen potravinovým – odpadem.
- Rozvoj systémů prevence vytváření odpadu a efektivního nakládání s bioodpady přináší synergické přínosy: snižuje uhlíkovou stopu, zlepšuje kvalitu půdy díky návratu organické hmoty, podporuje místní ekonomiku a naplňuje cíle evropských strategií, jako jsou Fit for 55, Green Deal a Cíl udržitelného rozvoje OSN č. 12 (SDG 12 – Odpovědná výroba a spotřeba). Udržitelné a soběstačné odpadové hospodářství se tak stává nejen environmentálním, ale i strategickým pilířem rozvoje českých obcí.

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci dlouhodobých výzkumných aktivit VÚV TGM zaměřených na nakládání s potravinovými odpady a předcházení jejich vzniku, finančně podpořených z prostředků institucionální podpory Ministerstva životního prostředí ČR v rámci Dlouhodobé koncepce rozvoje výzkumné organizace.

Literatura

[1] European Commission. *About Food Waste* [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://1url.cz/oJfwH

[2] European Commission. *Food Waste and Food Waste Prevention – Estimates* [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://1url.cz/bJfwE

[3] United Nations Environment Programme (UNEP). *UNEP Food Waste Index Report 2021* [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://1url.cz/GJfwZ

[4] Ministerstvo životního prostředí. *Plán odpadového hospodářství České republiky na období 2025–2035* [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://1url.cz/yJfwg

[5] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/851 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech* [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://1url.cz/7Jfwv

[6] *Rozhodnutí Komise v přenesené pravomoci (EU) 2019/1597 ze dne 3. května 2019, kterým se doplňuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES, pokud jde o společnou metodiku a minimální požadavky na kvalitu pro jednotné měření úrovní potravinového odpadu* [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://1url.cz/vJfw5

[7] CORDIS. *Food Use for Social Innovation by Optimising Waste Prevention Strategies* [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://1url.cz/BJfw9

[8] REFRESH. *Resource Efficient Food and dRink for the Entire Supply cHain* [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://www.eu-refresh.org

[9] KOŘÍNEK, R., VOLOŠINOVÁ, D., SOBEK, J., VALTA, J. *Metodika pro měření množství a analýzy složení potravinových odpadů*. Praha 2024 [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://1url.cz/R1kAp

[10] *Zachraň jídlo* [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://zachranjidlo.cz

[11] *Neplýtvej potravinami* [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://1url.cz/MJfoi

[12] *Chytře s jídlem* [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://chytresjidlem.cz

[13] *Kup, co sníš* [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://kupcosnis.cz

[14] *Třídím gastro* [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://www.tridimgastro.cz

[15] SKUPINA EFG. Projekt „Třídím gastro" pomáhá obcím plnit nové limity pro třídění odpadu. *Odpadové fórum*. 2025, 7–8, s. 20–21.

[16] LOCHOVSKÁ, J. Budoucnost biologického odpadu: Oddělený sběr živočišné složky. *Odpadové fórum*. 2025, 7–8, s. 10–11.

[17] Bioodpad v obci pod kontrolou: Jak ho zpracovat chytře, levně a ve spolupráci s občany. *Odpadové fórum*. 2025, 7–8, s. 12–15.

[18] ŠESTÁKOVÁ, K. Bioodpady z našich kuchyní: Cesty k hygienickému a udržitelnému zpracování. *Odpadové fórum*. 2025, 7–8, s. 18–19.

[19] *Metodické sdělení odboru odpadů MŽP k fungování obecního systému odpadového hospodářství* [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://1url.cz/EJfoh

[20] Ministerstvo životního prostředí. *Příklady dobré praxe nakládání s bioodpady* [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://1url.cz/oJfoC

[21] STRUK, M., SOUKOPOVÁ, J., BAKOŠ, E., TÓTHOVÁ, D., NOVÁK, P. Metodika vzdělávání obyvatel pro obce v oblasti oběhového hospodářství. In: *Odborný seminář pro obce II. a III. stupně Jihočeského kraje*. 2024.

[22] *Nesnězeno* [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://www.nesnezeno.eco

[23] *Too Good To Go* [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://www.toogoodtogo.com

[24] *Potravinové banky* [on-line]. [citováno 2025-10-24]. Dostupné z: https://www.potravinovebanky.cz

Autoři

Ing. Robert Kořínek, Ph.D.[1]
✉ robert.korinek@vuv.cz
ORCID: 0000-0001-5849-5606

Ing. Dagmar Vološinová[1]
✉ dagmar.volosinova@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-1195-7046

Mgr. Matěj Kožíšek[1]
✉ matej.kozisek@vuv.cz

Doc. Ing. Lubor Hruška, Ph.D.[2]
✉ lubor.hruska@rozvoj-obce.cz
ORCID: 0009-0005-7676-5952

Ing. Petr Proske[2]
✉ petr.proske@rozvoj-obce.cz
ORCID: 0009-0002-3538-4342

[1]Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha a Ostrava (Česká republika)
[2]PROCES – Centrum pro rozvoj obcí a regionů, s.r.o. (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.11.001

ISSN 0322-8916/© 2026 Autoři. Tuto práci je kdokoli oprávněn šířit a využívat za podmínek licence CC BY-NC 4.0

FOOD WASTE FROM THE PERSPECTIVE OF MUNICIPALITIES – APPROACHES AND MEASURES FOR REDUCING PRODUCTION AND PREVENTING ITS OCCURRENCE

KOŘÍNEK, R.[1]; VOLOŠINOVÁ, D.[1]; KOŽÍŠEK, M.[1]; HRUŠKA, L.[2]; PROSKE, P.[2]

[1]T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague and Ostrava (Czech Republic)
[2]PROCES – Centre for Municipal and Regional Development, Ltd. (Czech Republic)

Keywords: food waste – municipalities – waste prevention

The presented contribution addresses current problems in food waste management and prevention at the municipal level in the Czech Republic. It summarises the author team's knowledge within the framework of long-term solutions to this issue, presents a diverse range of preventive measures, conducts an elementary economic analysis of municipal expenditures and revenues in waste management, and points out current problems and pitfalls for development in the coming years. The most important ones include the growing obligations of settlements in preventing the creation and management of municipal waste and the associated increasing pressure on staffing the circular economy and waste management agenda, insufficient capacities for food waste management in the near future (with the planned fulfillment of national goals), an inadequate system of transmission and exchange of relevant information, and the ever-recurring indiscipline of citizens in primary waste sorting.

Foto: 123rf.com

Současné přístupy ke stanovování povodňového nebezpečí v soutokových oblastech

JIŘÍ SKOKAN, ALEŠ DRÁB, PAVLA ŠTĚPÁNKOVÁ

Klíčová slova: hydraulický výpočet — 2D numerický model — povodňové nebezpečí — soutok

SOUHRN

Studie se zabývá hodnocením změn odtokových poměrů a přístupy ke stanovení povodňového nebezpečí v soutokových oblastech vodních toků. Na základě analýzy několika modelových území jsou prezentovány výsledky numerických simulací proudění vody při povodních s různou dobou opakování. Výstupy analýz ukázaly, že oddělené modelování hlavního toku a přítoků poskytuje zkreslené výsledky, neboť hydraulické poměry v soutokových oblastech představují složité interakce mezi jednotlivými vodními toky. Autoři proto doporučují komplexní řešení těchto oblastí pomocí 2D numerických modelů, které umožňují přesnější vyhodnocení rozsahu zaplavení, hloubek a rychlostí proudění. Výsledkem studie jsou návrhy aktualizace metodických pokynů Ministerstva životního prostředí ČR (MŽP) s důrazem na jednotný přístup při tvorbě map povodňového nebezpečí a rizik.

ÚVOD

Katastrofické povodně v roce 1997, které zasáhly především povodí Moravy a Odry, byly pro většinu naší společnosti obrovským šokem. Ve snaze zvýšit připravenost na podobné události a snížit jejich dopady v budoucnu byla vládou České republiky mimo jiné v roce 2000 schválena Strategie ochrany před povodněmi pro území České republiky [1]. Cílem tohoto dokumentu bylo vytvořit rámec pro nastavení konkrétních postupů a preventivních opatření ke zvýšení systémové ochrany před povodněmi v České republice (ČR). Jedno z těchto opatření bylo definováno jako stanovení rozsahu záplavových území na základě zpracování podrobného digitálního modelu terénu.

Způsob zpracování záplavového území je v současnosti stanoven vyhláškou č. 79/2018 Sb., o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území a jejich dokumentace [2]. Záplavové území je (podle zmíněné vyhlášky) vymezené záplavovou čárou s dobou opakování povodně 100 let. Rozsah řešeného území odpovídá hydraulickým podmínkám souvislého úseku vodního toku, inundačního území a zohledňuje stanovené záplavové území. Pro inundační území každého úseku vodního toku se zpracovávají mapy povodňového nebezpečí pro povodně s dobou opakování 5, 20, 100 a 500 let, jež zobrazují rozsah zaplaveného území, hloubky a rychlosti proudění. V roce 2025 bylo v ČR stanoveno záplavové území pro 16 889 km úseků vodních toků.

Také směrnice EU 2007/60/ES o zvládání povodňových rizik (dále jen „povodňová směrnice") požaduje po členských státech mimo jiné zpracování map povodňového nebezpečí a povodňových rizik pro území oblastí s potenciálně významným povodňovým rizikem. Povodňové nebezpečí je definováno rozsahem zaplaveného území, hloubkami a rychlostmi proudění, přičemž v ČR jsou mapy povodňového nebezpečí zpracovávány pro povodně s dobou opakování 5, 20, 100 a 500 let. Mapy zpracovávané podle požadavků povodňové směrnice jsou aktualizovány v šestiletých cyklech (poprvé v roce 2013). Rozsah takto zmapovaných vodních toků je výrazně menší než u záplavových území, v roce 2025 pokrýval necelých 3 000 km vodních toků.

Postupy, jak plnit požadavky povodňové směrnice, jsou popsány v Metodice tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik ([3] – dále jen „Metodika"). Tato Metodika definuje, jak výstupy standardních hydraulických modelů (rozsah povodně, hloubky, rychlosti proudění) zobrazit na mapách nebezpečí a jak s jejich pomocí zpracovat mapy povodňového rizika. Záměrem Metodiky nebylo standardizovat procesy hydraulického modelování, jelikož jde o rozsáhlou problematiku, která by měla být popsána v samostatném dokumentu.

V průběhu příprav na zpracování map povodňového nebezpečí a povodňových rizik v rámci prvního plánovacího cyklu vznikla v roce 2011 pilotní studie, která nastínila možnosti řešení hydrodynamického modelování soutoků vodních toků a navrhla postupy pro výpočet parametrů proudění v těchto soutokových oblastech [4]. Studie rozdělila problematiku modelování soutokových oblastí na tři základní schémata:

1. Hydraulický výpočet je prováděn pouze na přítoku, na hlavním toku jsou známy výšky hladin pro požadované *N*-leté průtoky. Hydrodynamický model na přítoku je sestaven samostatně bez vlivu hlavního toku.

2. Hydraulický výpočet je prováděn pouze na přítoku, na hlavním toku byl model sestaven již dříve. Výsledky dříve zpracovaného modelu hlavního toku slouží jako okrajová podmínka pro model na přítoku. Výstupy z modelu přítoku musejí být ve formátu, který je kompatibilní s formátem modelu hlavního toku, aby je bylo možné bez problémů spojit.

3. Zpracovává se model na přítoku i model na hlavním toku. Modely nemusejí být schematizovány stejným přístupem (1D, 2D), nemusejí být sestavovány ve stejném modelovacím prostředí a nemusí je zpracovávat jeden zpracovatel.

Poslední variantu zmiňovaná studie [4] rozebírá podrobně. Uvádí, že nejjednodušší situace nastává, když modely na obou tocích zpracovává jeden zpracovatel v jednom výpočetním prostředí a má pro výpočet vytvořen jeden model pro celou oblast soutoku. V takovém případě je výpočet poměrně jednoduchý a problém je pouze ve správném nastavení okrajových podmínek.

V případě, kdy každý z vodních toků je řešen jinou schematizací a popř. jiným zpracovatelem, studie navrhuje řešit tento případ pomocí vhodně zvoleného místa napojení obou modelů na přítoku nad místem soutoku. Toto místo by mělo umožňovat předání okrajových podmínek z modelu hlavního toku do modelu přítoku. Výsledkem tohoto řešení by měly být společné výstupy charakteristik mapy povodňového nebezpečí (rozsah zaplavení, hloubky, rychlosti) zahrnující modelovanou soutokovou oblast bez překrývajících se ploch [4].

Dva proběhlé plánovací cykly podle povodňové směrnice však ukázaly, že ne vždy byl tento přístup aplikován. Některé soutokové oblasti byly řešeny zvlášť pro hlavní tok a pro přítoky, a to i přesto, že celá soutoková oblast měla stejného zpracovatele. Výsledkem jsou tak mapy, které zobrazují v soutokové oblasti výstupy modelování vždy pouze pro jeden vodní tok. Tento způsob prezentace významným způsobem snižuje vypovídající hodnotu informací o povodňovém nebezpečí pro odbornou i laickou veřejnost, protože není k dispozici jasný přehled o rozsahu zaplavení, hloubkách a rychlostech v celé soutokové oblasti současně.

Tento příspěvek analyzuje příklady hydraulických modelů vybraných soutoků a na základě získaných výsledků budou formulována doporučení pro aktualizaci Metodiky a dalších metodických postupů MŽP.

METODIKA

Postupy navržené v rámci pilotního projektu [4] odpovídají době svého vzniku před cca 14 lety a v některých částech je lze považovat z dnešního pohledu za překonané. V současnosti se již hydraulické výpočty proudění vody v záplavových územích provádějí převážně s použitím 2D numerických modelů. Výchozí předpoklady pro validní modelování soutokových oblastí jsou následující:

1. soutokové oblasti se z hydraulického hlediska obvykle vyznačují komplikovanými režimy proudění a z tohoto důvodu je žádoucí provádět jejich řešení s použitím 2D numerických modelů postihujících hlavní tok, inundační území a případné přítoky,
2. je nežádoucí kombinovat různé dimenze numerických modelů (1D, 2D); pokud je kombinování odlišných modelů nevyhnutelné, mělo by se napojení jednotlivých modelů realizovat v místě, kde již proudění není ovlivněno soutokovou oblastí,
3. spojení a sloučení výsledků v soutokové oblasti od různých zpracovatelů je možné, spolehlivější metoda je provést jediný hydraulický model pro celou soutokovou oblast.

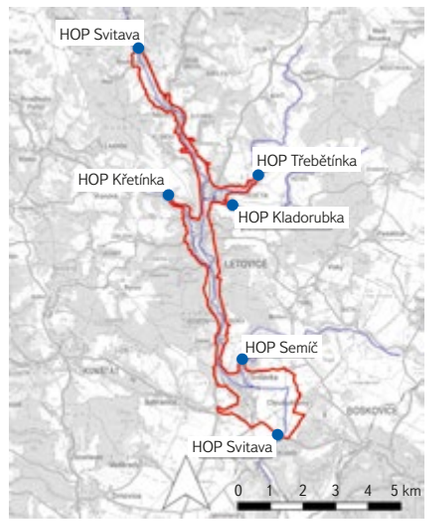
V následujícím textu jsou uvedeny tři případové studie, jež demonstrují různé postupy při řešení soutokových oblastí. Jde o vybrané úseky vodních toků s významným povodňovým rizikem vymezené v rámci 3. plánovacího cyklu v souladu s požadavky povodňové směrnice:

- DYJ 09 Svitava, Křetínka, Třebětínka, Kladorubka,
- MOV 10 Valová, Hloučela, Romže, Český potok,
- MOV 01 Morava, Olšava, Dlouhá řeka, Okluky.

Hydrodynamický výpočet byl proveden s použitím 2D modelu mělkého proudění vody [13, 14]. Výsledky simulací popisují ustálený stav svislicových rychlostí a hloubek vody pro jednotlivé povodňové scénáře s průměrnou dobou opakování *N* let. Pro srovnání výsledků výpočtů byla použita historická data o povodňovém nebezpečí zpracovaná v rámci předchozích plánovacích cyklů [5] nebo v rámci studií odtokových poměrů a záplavových území [8–12]. Případové studie jsou zaměřeny na problematiku soutokových oblastí z pohledu dostupných hydrologických dat (DYJ 09, MOV 10) a možnosti slučování údajů o povodňovém nebezpečí [5] stanovených odlišnými výpočetními postupy, resp. jinými zpracovateli (MOV 01).

DYJ 09 Svitava, Křetínka, Třebětínka, Kladorubka

Případová studie úseku DYJ 09 je zaměřena na postup stanovení hodnot HOP v dané soutokové oblasti. Koncepční model je uveden na *obr. 1* včetně umístění horních (HOP) a dolních (DOP) okrajových podmínek. V místě HOP je definován průtok $Q(t)$ a sklon čáry energie I_E. Na hranici DOP je určena měrná křivka $h(Q, t)$. Soutokový model vyžaduje definici HOP pro jednotlivé zatěžovací stavy na vymezených úsecích jako příslušnou hodnotu kulminačního průtoku Q_N na vybraném vodním toku a průtokových doplňků na souvisejících přítocích v oblasti [4].



Obr. 1. Koncepční model DYJ 09
Fig. 1. Conceptual model DYJ 09

Postup určení všech HOP je dokumentován na zatěžovacím stavu ze Svitavy při Q_N. Nejbližší hydrologický profil k DOP Svitava je Svitava – pod Semíčem (A) (*obr. 2*). Obdobně nejbližší profil nad soutokem je Svitava – nad Semíčem (C). Doplněk z HOP Semíč lze odvodit dle [4] jako:

$$\text{HOP Semíč} = Q_N(A) - Q_N(C) \qquad (1)$$

kde:

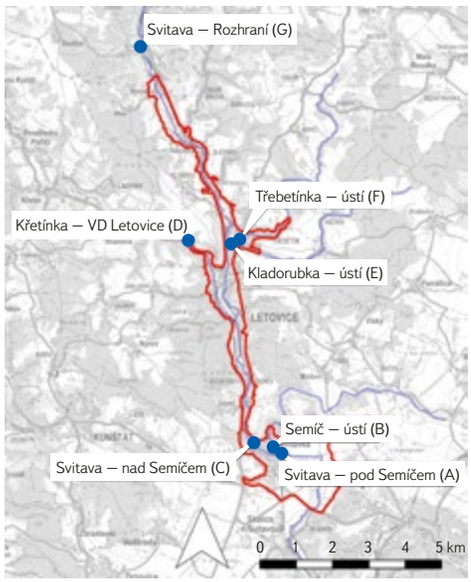
$Q_N(A)$ je hodnota *N*-letého kulminačního průtoku v příslušném profilu A (*obr. 2*).

Nejbližší profil ve výše položeném úseku modelu nad soutokem (*obr. 2*) je Svitava – Rozhraní. Doplňky z jednotlivých HOP v úseku (*obr. 2*) by měly dle [4] splňovat podmínku:

$$\text{HOP Křetínka} + \text{HOP Kladorubka} + \text{HOP Třebětínka} = Q_N(C) - Q_N(G) \qquad (2)$$

Metodu [4] nelze s ohledem na počet neznámých ve vztahu v tomto úseku použít a je nutné doplňky odvodit jinými postupy. V případové studii byla zvolena metoda založená na poměru jednotlivých Q_N vycházející ze vztahů:

$$\text{HOP Křetínka} = [(Q_N(C) - Q_N(G)) / (Q_N(D) + Q_N(E))] \cdot Q_N(D) \qquad (3)$$



Obr. 2. Hydrologické údaje v místě soutoku Svitava – Semíč, Křetínka, Kladorubka, Třebětínka
Fig. 2. Hydrological data at the confluence of Svitava – Semíč, Křetínka, Kladorubka, Třebětínka

$$\text{HOP Kladorubka} + \text{HOP Třebětínka} = [(Q_N(C) - Q_N(G)) / (Q_N(D) + Q_N(E))] \cdot Q_N(E), \quad (4)$$

která umožňuje stanovení hodnot HOP s použitím vztahů:

$$\text{HOP Kladorubka} = [(\text{HOP Kladorubka} + \text{HOP Třebětínka}) / (Q_N(E) + Q_N(F))] \cdot Q_N(E) \quad (5)$$

$$\text{HOP Třebětínka} = [(\text{HOP Kladorubka} + \text{HOP Třebětínka}) / (Q_N(E) + Q_N(F))] \cdot Q_N(F) \quad (6)$$

MOV 10 Valová, Hloučela, Romže, Český potok

Případová studie úseku MOV 10 dokumentuje analogicky, stejně jako v případě úseku DYJ 09, postup stanovení HOP pro danou soutokovou oblast (*obr. 3*).

Určení všech HOP je provedeno pro zatěžovací stav Q_N z Českého potoka. Nejbližší hydrologický profil k DOP Svitava je Valová – Polkovice (A) (*obr. 4*). Doplněk z HOP Hloučela bude:

$$\text{HOP Hloučela} = Q_N(A) - Q_N(C) \quad (7)$$

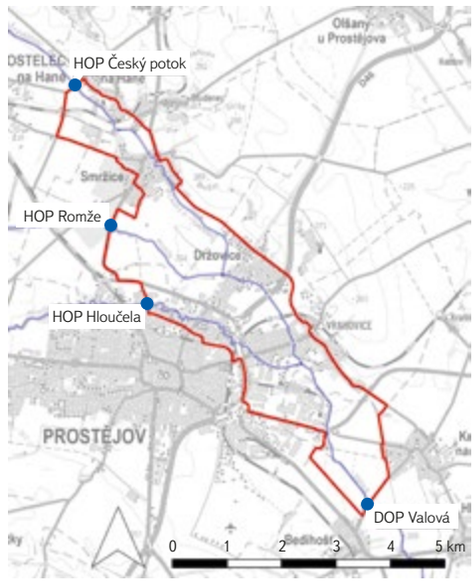
Doplněk z HOP Romže lze stanovit jako:

$$\text{HOP Romže} = Q_N(C) - Q_N(D) \quad (8)$$

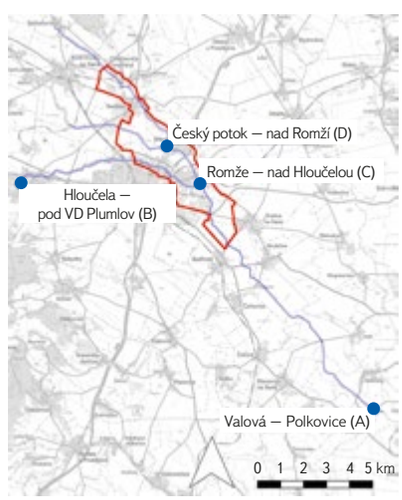
Obdobně pro zatěžovací stav Q_N z Romže lze doplněk odvodit pro HOP Hloučela dle vztahu (7). Vzhledem k absenci hydrologických dat pro Romži nad soutokem s Českým potokem lze doplněk z HOP Český potok stanovit na stranu bezpečnou jako nulový:

$$\text{HOP Český potok} = 0\ \text{m}^3/\text{s} \quad (9)$$

HOP Romže pak bude mít hodnotu příslušného zatěžovacího stavu Q_N.



Obr. 3. Koncepční model MOV 10
Fig. 3. Conceptual model MOV 10



Obr. 4. Hydrologické údaje v místě soutoku Valová – Hloučela, Romže, Český potok
Fig. 4. Hydrological data at the confluence of Valová – Hloučela, Romže, Český potok

V případě použití poměru Q_N lze HOP Český potok a Romže stanovit ze vztahů:

$$\text{HOP Český potok} = Q_N(C) / (Q_N(C) + Q_N(D)) \cdot Q_N(D) \quad (10)$$

$$\text{HOP Romže} = Q_N(C) / (Q_N(C) + Q_N(D)) \cdot Q_N(C) \quad (11)$$

Pro zatěžovací stav Q_N z Hloučely lze doplňky odvodit jako:

$$\text{HOP Romže} + \text{HOP Český potok} = Q_N(A) - Q_N(B) \quad (12)$$

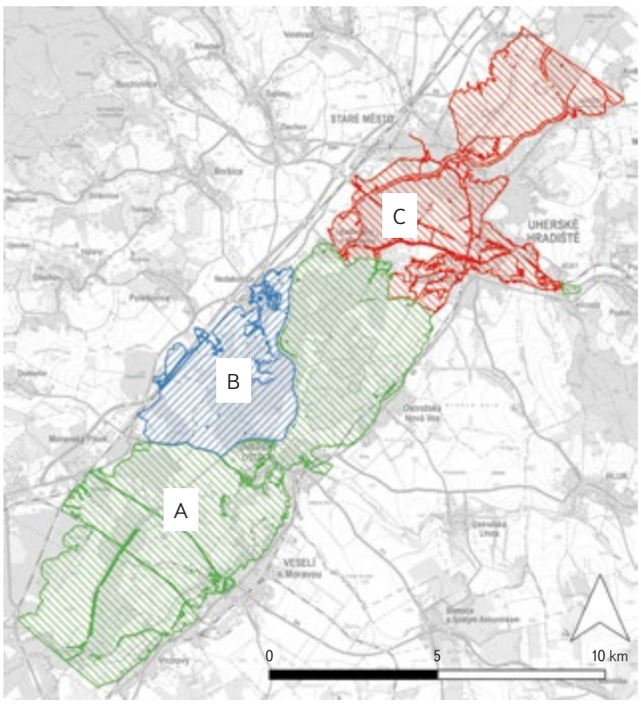
S využitím poměru Q_N lze doplňky mezi Romži a Český potok stanovit jako:

$$\text{HOP Romže} = (\text{HOP Romže} + \text{HOP Český potok}) / (Q_N(C) + Q_N(D)) \cdot Q_N(C) \quad (13)$$

$$\text{HOP Český potok} = (\text{HOP Romže} + \text{HOP Český potok}) / (Q_N(C) + Q_N(D)) \cdot Q_N(D) \quad (14)$$

MOV 01 Morava, Olšava, Dlouhá řeka, Okluky

Případová studie úseku MOV 01 prezentuje možnosti slučování dat o povodňovém nebezpečí v soutokové oblasti vycházejících z podkladů různých zpracovatelů (viz označení oblastí A, B, C na *obr. 5*), avšak ve všech případech s použitím 2D modelů. Řešený úsek je významně ovlivněn soutokem řeky Moravy, Olšavy, Okluky a Dlouhou řekou. Cílem prací bylo z dílčích map povodňového nebezpečí [5] pro jednotlivé podoblasti A, B, C vytvořit spojitá data.



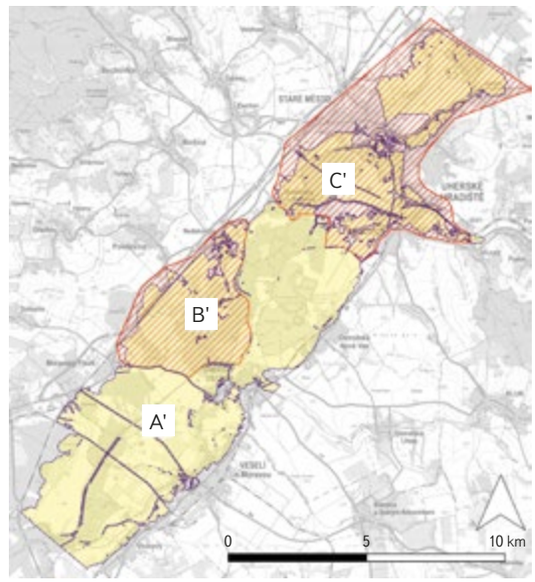
Obr. 5. Úsek MOV 01 s vyznačením dílčích podoblastí A, B, C řešených odlišnými zpracovateli
Fig. 5. River section MOV 01 with indication of sub-areas A, B, C calculated by different authors

Spojení map rozlivů proběhlo v následujících krocích a je demonstrováno na příkladu scénáře Q_{500}, přičemž identicky lze provést rovněž pro ostatní Q_N:

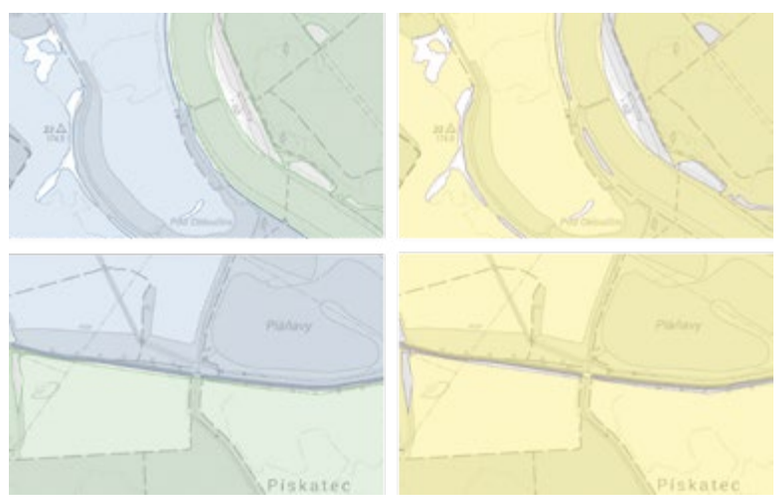
1. Z historických výsledků oblasti A byly vyjmuty aktualizované oblasti B a C, viz *obr. 6*. Hranice polygonu B a C byly zvoleny vhodně v místech, kde lze předpokládat přibližně jednorozměrné proudění (koryto, přelití hráze, proudění mosty a propustky).
2. Aktualizované oblasti B a C byly oříznuty pouze na rozsah polygonu B a C. Dílčí mapa pro Q_{500} odpovídá *obr. 6*.
3. V místě styku hranic polygonů byla data spojena a případné singularity odstraněny (*obr. 7* a *8*).

Na podkladě takto zpracovaných map rozlivů lze následně upravit rastrové mapy nebezpečí (hloubky vody, rychlosti proudění a úrovně hladiny). Úpravy byly provedeny v těchto krocích:

1. Oříznutí rastrové mapy na rozsah polygonů oblastí A, B a C.
2. Sloučení ořezaných rastrových vrstev.
3. Vyplnění chybějících dat v rastrech s využitím bilineární interpolace (*obr. 9*).

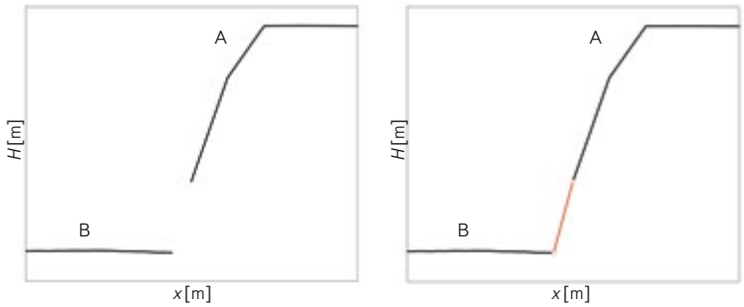


Obr. 6. Rozsah vyjmutí dat v místech aktualizovaných oblastí B a C
Fig. 6. The extent of data exclusion in the locations of updated areas B and C



Obr. 7. Příklady spojení hranic polygonů mezi oblastmi A a B
Fig. 7. Examples of polygon boundary merging between areas A and B

Obr. 8. Příklady spojení hranic polygonů mezi oblastmi A a C
Fig. 8. Examples of polygon boundary merging between areas A and C



Obr. 9. Příklad použití bilineární interpolace pro doplnění chybějících hodnot úrovní hladin *H* při navazování částí A a B

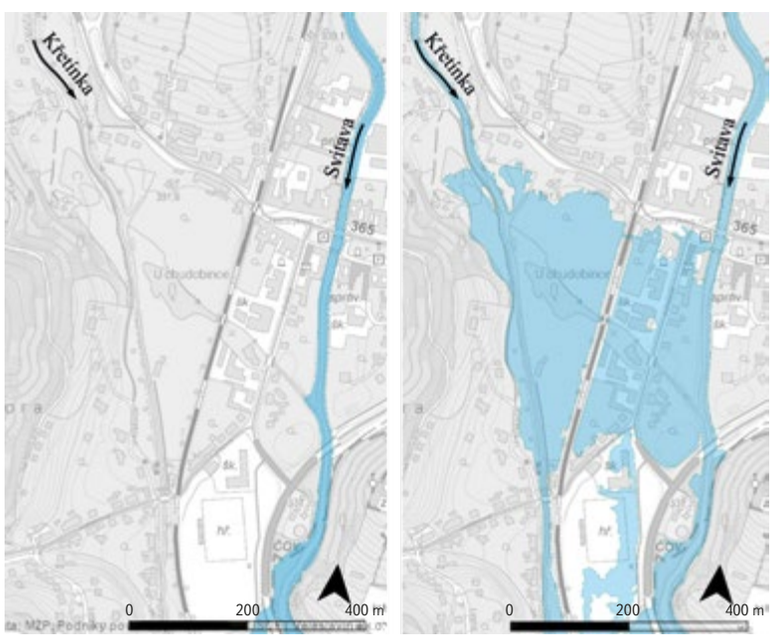
Fig. 9. Example of using bilinear interpolation to fill in missing values of level *H* during connection of sections A and B

VÝSLEDKY A DISKUZE

DYJ 09 Svitava, Křetínka, Třebětínka, Kladorubka

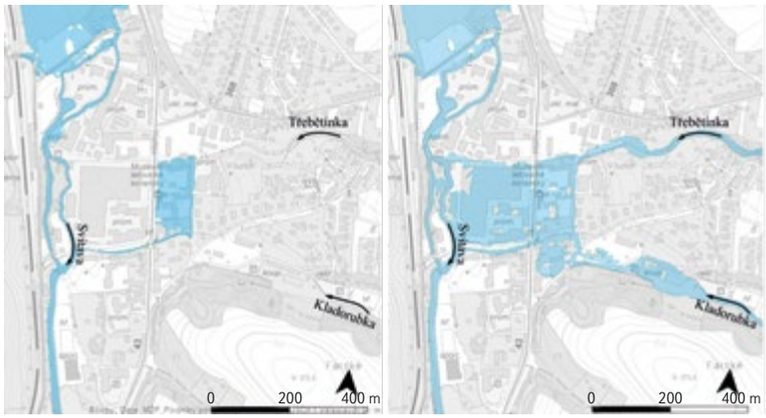
Soutoková oblast je v tomto případě komplikovanější, než uvažuje pilotní projekt LABEL [4]. Ve všech soutokových profilech nebyla k dispozici kompletní hydrologická data, především nad a pod řešenými soutoky. Chybějící hydrologická data pro zadání OP bylo nutné odvodit s využitím vztahů (1) až (6).

Danou oblast nelze řešit bez zohlednění významných přítoků Svitavy. S přihlédnutím k relativně složitým hydraulickým poměrům bylo nezbytné brát oblast jako celek s použitím 2D hydrodynamického modelu. 2D model soutokové oblasti poskytuje poměrně výrazně odlišné výsledky ve srovnání s historickými daty bez uvažování přítoků (*obr. 10–12*).



Obr. 10. Soutoková oblast Svitava – Křetínka při scénáři Q_{20}; vlevo bez vlivu soutoku [6], vpravo se soutokem

Fig. 10. Flood scenario with return period Q_{20} on confluence of the Svitava and Křetínka rivers; left – without confluence effect [6], right – with confluence



Obr. 11. Soutoková oblast Svitava – Kladorubka, Třebětínka při scénáři Q_{20}; vlevo bez vlivu soutoku [6], vpravo se soutokem

Fig. 11. Flood scenario with return period Q_{20} on confluence of the Svitava – Kladorubka and Křetínka rivers; left – without confluence effect [6], right – with confluence

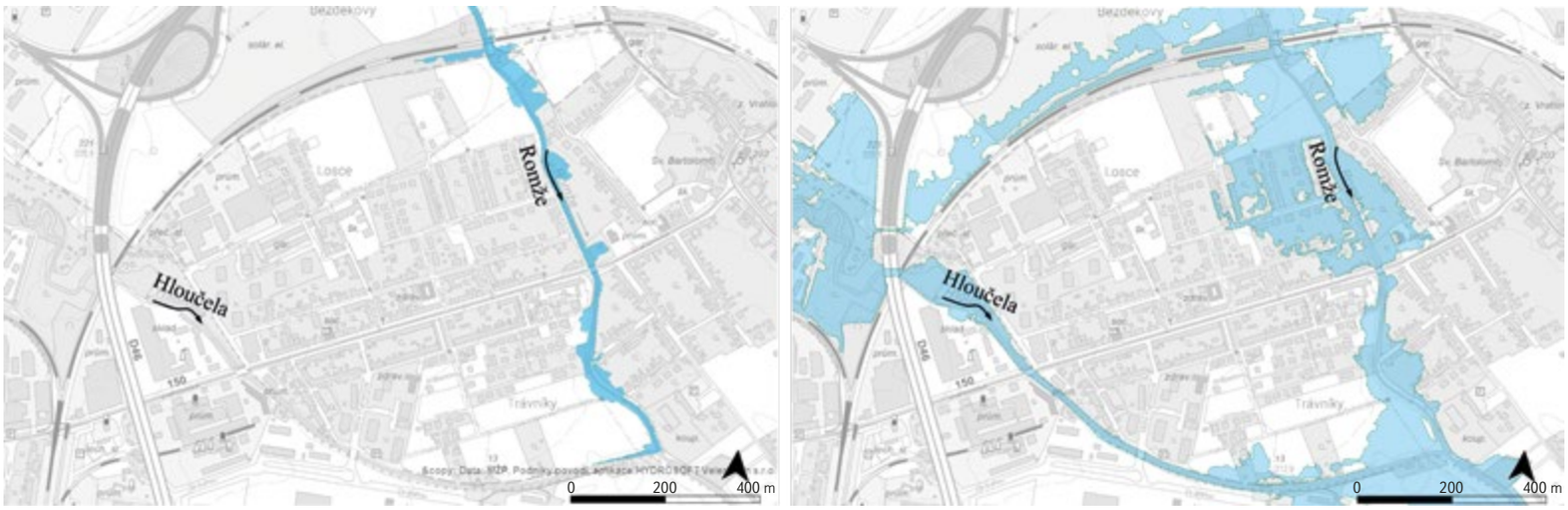
Obr. 12. Soutoková oblast Svitava – Kladorubka, Třebětínka při scénáři Q_{100}; vlevo bez vlivu soutoku [6], vpravo se soutokem

Fig. 12. Flood scenario with return period Q_{100} on confluence of the Svitava – Kladorubka and Křetínka rivers; left – without confluence effect [6], right – with confluence

MOV 10 Valová, Hloučela, Romže, Český potok

V dané oblasti nebylo možné využít postupy stanovení HOP dle [4], především s ohledem na nedostupnost části hydrologických dat ve všech soutokových profilech. HOP byla proto odvozena s využitím vztahů (7) až (14).

Oblast bylo třeba s ohledem na složité hydraulické poměry (např. přetoky vody mezi danými úseky) řešit jako celek (*obr. 13* a *14*).



Obr. 13. Soutoková oblast Hloučela – Romže při scénáři Q_{20}; vlevo bez vlivu soutoku [6], vpravo se soutokem
Fig. 13. Flood scenario with return period Q_{20} on confluence of the Hloučela – Romže rivers; left – without confluence effect [6], right – with confluence

Obr. 14. Soutoková oblast Hloučela – Romže při scénáři Q_{100}; vlevo bez vlivu soutoku [6], vpravo se soutokem
Fig. 14. Flood scenario with return period Q_{100} on confluence of the Hloučela – Romže rivers; left – without confluence effect [6], right – with confluence

MOV 01 Morava, Olšava, Dlouhá řeka, Okluky

Na pilotní oblasti bylo ověřeno, že spojování dat různých zpracovatelů je v soutokových oblastech možné, avšak za poměrně striktních podmínek. Zásadní je především existence vhodných profilů pro napojení dílčích úseků. Ideální je rovněž dodržení shodných parametrů výpočtových modelů (OP, drsnost povrchu a digitální model terénu). Při navazování rastrových vrstev je třeba vzít v úvahu, že zpravidla nelze nalézt profily se zcela identickými hodnotami, což vede k nutnosti vytváření přechodových oblastí a doplňování chybějících dat např. s použitím jednoduché bilineární interpolace. S ohledem na výše uvedené skutečnosti lze napojování dílčích úseků v soutokových oblastech použít jako nouzové řešení a pouze v odůvodněných případech.

ZÁVĚR

Kvantifikace povodňového nebezpečí v soutokových oblastech představuje časově i finančně náročný proces nejen z hlediska prováděných hydraulických výpočtů, ale i s ohledem na zajištění nezbytného rozsahu potřebných hydrologických dat. Hydraulické řešení s použitím 2D modelů obvykle vyžaduje vytvoření poměrně rozsáhlých náhradních oblastí s velkým počtem výpočtových prvků. V soutokových oblastech s více toky pak narůstá nutnost realizace velkého množství výpočtů pro dílčí scénáře s různými kombinacemi OP.

I přes výše uvedená úskalí lze jednoznačně doporučit řešení soutokových oblastí jako celku bez dělení na jednotlivé samostatné úseky vodních toků. Provedené případové studie prokázaly, že vzájemné ovlivňování proudění mezi jednotlivými toky může mít poměrně zásadní vliv na hodnoty povodňového nebezpečí.

Uvedené závěry budou zapracovány do kapitoly 4.9 Hydraulické výpočty pro účely vymezení záplavových území Metodiky tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik.

Poděkování

Článek byl zpracován v rámci projektu č. SS02030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu“ řešeného s finanční podporou Technologické agentury ČR v rámci podprogramu 3 – Dlouhodobé environmentální

a klimatické perspektivy programu SS – Program aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti životního prostředí – Prostředí pro život.

Literatura

[1] Ministerstvo zemědělství ČR. *Strategie ochrany před povodněmi pro území České republiky*. Praha: MZ ČR, 2000. Dostupné z: https://www.dppcr.cz/prilohy/pravo/2000-382-Strategie.pdf

[2] *Vyhláška č. 79/2018 Sb., o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území a jejich dokumentace*. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-79

[3] VÚV TGM. *Tvorba map povodňového nebezpečí a povodňových rizik v oblasti povodí Moravy a v oblasti povodí Dyje*. Brno: VÚV TGM, v. v. i., 2013. Dostupné z: https://cds.mzp.cz/stretches/detail/PM-49?version=1

[4] DHI, a. s. *Zpracování map povodňového nebezpečí a povodňových rizik – pilotní projekt v soutokových oblastech*, Praha: Povodí Vltavy, s. p., 2011. Dostupné z: https://www.pvl.cz/planovani-v-oblasti-vod/mezinarodni-spoluprace/projekt-label

[5] Ministerstvo životního prostředí. *Centrální datový sklad*, 2025 [on-line]. [citováno 2025-11-06]. Dostupné z: https://cds.mzp.cz/

[6] Aquatis, a. s. *Analýza oblastí s významným povodňovým rizikem v územní působnosti státního podniku Povodí Moravy včetně návrhů možných protipovodňových opatření (podklad k plánu pro zvládání povodňových rizik v povodí Dunaje)*. Brno: Aquatis, a. s., 2019. Dostupné z: https://cds.mzp.cz/stretches/detail/DYJ_07_03?version=2

[7] Pöyry Environment a. s. *Tvorba map povodňového nebezpečí a povodňových rizik v oblasti povodí Moravy a v oblasti povodí Dyje*. Brno: Pöyry Environment a. s., 2013. Dostupné z: https://cds.mzp.cz/stretches/detail/PM-28?version=1

[8] Povodí Moravy, s. p. *Studie odtokových poměrů Svitavy. Říční km 0,000–98,000*. Brno: Povodí Moravy, s. p., 2012. Dostupné z: https://www.voda.gov.cz/?page=zaplavova-uzemi-mapa

[9] Povodí Moravy, s. p. *Záplavové území Kladorubky km 0,000–0,983*. Brno: Povodí Moravy, s. p., 2012. Dostupné z: https://www.voda.gov.cz/?page=zaplavova-uzemi-mapa

[10] Povodí Moravy, s. p. *Záplavové území Semíče km 0,000–17,585*. Brno: Povodí Moravy, s. p., 2021. Dostupné z: https://www.voda.gov.cz/?page=zaplavova-uzemi-mapa

[11] Povodí Moravy, s. p. *Záplavové území Třebětínky km 0,000–1,716*. Brno: Povodí Moravy, s. p., 2012. Dostupné z: https://www.voda.gov.cz/?page=zaplavova-uzemi-mapa

[12] Povodí Moravy, s. p. *Záplavové území toku Křetínka km 0,000–12,207*. Brno: Povodí Moravy, s. p., 2007. Dostupné z: https://www.voda.gov.cz/?page=zaplavova-uzemi-mapa

[13] BRUNNER, G. W. *Hydraulic Reference Manual, Davis: U.S. Army Corps of Engineers (UACE). Institute for Water Resources (IWR). Hydrologic Engineering Center (HEC)*, 2020. Dostupné z: https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs

[14] VREUGDENHIL, C. B. *Numerical Methods for Shallow-Water Flow*. Utrecht: Kluwer Academic Publishers, 1994. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-94-015-8354-1

[15] *ČSN 75 1400: Hydrologické údaje povrchových vod. Dostupné z: https://agenturacas.gov.cz/*

[16] DHI, a. s. *Zpracování map povodňového nebezpečí a povodňových rizik – pilotní projekt v soutokových oblastech. B. Technická zpráva – hydrodynamické modely a mapy povodňového nebezpečí. Berounka (10100011_1), Litavka (10100052_1)*. Praha: DHI, a. s., 2011. Dostupné z: https://www.pvl.cz/files/download/planovani-v-oblasti-vod/mezinarodni-spoluprace/label/B_HM_MPN_Beroun.pdf

[17] DHI, a. s. *Zpracování map povodňového nebezpečí a povodňových rizik – pilotní projekt v soutokových oblastech. B. Technická zpráva – hydrodynamické modely a mapy povodňového nebezpečí. Vltava (10100001_1), Berounka (10100011_1)*. Praha: DHI, a. s., 2011. Dostupné z: https://www.pvl.cz/files/download/planovani-v-oblasti-vod/mezinarodni-spoluprace/label/C_MPO_MPR_Praha.pdf

[18] VÚV TGM. *Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik*. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, 2023. Dostupné z: https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/uap/povodnoveohrozeni/METODIKA_Mapy-rizik_Prilohy_2023-08-08.pdf

[19] Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. *Analýza oblastí s významným povodňovým rizikem v územní působnosti státního podniku Povodí Moravy včetně návrhů možných protipovodňových opatření (podklad k plánu pro zvládání povodňových rizik v povodí Dunaje)*. Brno: Povodí Moravy, s. p., 2019. Dostupné z: https://cds.mzp.cz/stretches/detail/MOV_02_01?version=2

Autoři

Ing. Jiří Skokan[1]
✉ 212397@vutbr.cz
ORCID: 0009-0003-6611-3171

doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.[1]
✉ drab.a@fce.vutbr.cz
ORCID: 0000-0002-6874-4132

Mgr. Pavla Štěpánková, Ph.D.[2]
✉ pavla.stepankova@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-2079-9078

[1]Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební (Česká republika)
[2]Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Brno (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.11.005

ISSN 0322-8916/© 2026 Autoři. Tuto práci je kdokoli oprávněn šířit a využívat za podmínek licence CC BY-NC 4.0

CURRENT APPROACHES TO DETERMINING FLOOD HAZARD IN RIVER CONFLUENCE AREAS

SKOKAN, J.[1]; DRÁB, A.[1]; ŠTĚPÁNKOVÁ, P.[2]

[1]University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Brno (Czech Republic)
[2]T. G. Masaryk Water Research Institute, Brno (Czech Republic)

Keywords: hydraulic calculation — 2D numerical model — flood hazard — confluence

The study focuses on assessing changes in runoff conditions and approaches to determining flood hazard in confluence areas of river systems. Based on the analysis of several model catchments, the results of numerical simulations of water flow during floods with different return periods are presented. The analyses revealed that separate modelling of the main river and its tributaries produces distorted results, as the hydraulic conditions in confluence areas are characterized by complex interactions between individual streams. Therefore, the authors recommend a comprehensive approach using 2D numerical models, which allow for more accurate evaluation of inundation extent, water depths, and flow velocities. The study results include proposals for updating the methodological guidelines of the Ministry of the Environment, emphasizing a unified approach to the development of flood hazard and risk maps.

Foto: 123rf.com

Atmosférická depozice polycyklických aromatických uhlovodíků v pilotním povodí Výrovky a městských oblastech Prahy a Ostravy

FRANTIŠEK SÝKORA, SILVIE SEMERÁDOVÁ, VÍT KODEŠ, JULIE SUCHAROVÁ, NIKOLA VERLÍKOVÁ, TOMÁŠ MIČANÍK, HEDVIKA ROZTOČILOVÁ

Klíčová slova: atmosférická depozice — polycyklické aromatické uhlovodíky — znečištění — fingerprinting

ABSTRAKT

Atmosférická depozice je nejvýznamnějším zdrojem polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) v povrchových vodách v České republice. Tyto látky pocházejí převážně ze spalovacích procesů a depozicí se dostávají na zemský povrch, odkud jsou splachem unášeny do povrchových vod. Ačkoli stát i soukromý sektor realizovaly v posledních desetiletích řadu opatření pro snížení emisí, a to nejen u velkých zdrojů znečišťování, ale i domácností (lokální topeniště), nadále přetrvává významná zátěž vodního prostředí těmito látkami. Vybrané PAU jsou na základě prokázaného nepříznivého účinku na vodní organismy a lidské zdraví zařazeny na seznam prioritních látek a jsou pro ně stanoveny přísné normy environmentální kvality v matricích povrchová voda a biota. Tato situace vede k nedosahování dobrého chemického stavu ve většině útvarů povrchových vod podle Rámcové směrnice pro vodní politiku Společenství 2000/60/ES. Výzkum v povodí Výrovky (přítok Labe) pojal znečištění PAU komplexně v relevantních matricích vodního prostředí a v mechu travník Schreberův (*Pleurozium schreberi*), který je vhodným indikátorem znečištění ovzduší. Zároveň byly pro srovnání monitorovány emise PAU v mokré depozici vybraných městských lokalit. Pro stanovení původu PAU byl použit tzv. fingerprinting, který je založen na analýze poměrů jednotlivých uhlovodíků ve sledovaných matricích a umožňuje rozlišit petrogenní a pyrogenní zdroje znečištění.

ÚVOD

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) náleží ke všudypřítomným látkám v životním prostředí [1]. Jejich přítomnost je dána nejen širokým použitím látek a finálních výrobků s obsahem PAU, ale především spalovacími procesy, kdy PAU vznikají nedokonalým spalováním fosilních paliv a organických materiálů [2]. Primární emise PAU do ovzduší převažují v plynné fázi, poměrně rychle však dochází k jejich kondenzaci a sorpci na jemné prachové částice při ochlazování spalin. Rychlost sorpce vzrůstá s vyšší molekulovou hmotností [3], velmi silná sorpce na částice a hydrofobicita se projevují u PAU se třemi a více aromatickými kruhy. Spadem se PAU dostávají na zemský povrch. Pouze jejich dílčí část je následně transponována erozí do povrchových vod, což bylo potvrzeno v pilotních povodích Suchého potoka a Martinického potoka [3]. Podstatná část PAU zůstává vázána na zemském povrchu (vegetace, půda). V půdě dochází k degradaci PAU různou rychlostí v závislosti na konkrétním uhlovodíku. Ta je nejrychlejší v případě naftalenu, který se svými fyzikálně-chemickými vlastnostmi vymyká chování ostatních PAU a jeho DT_{50} se udává 6,1 týdne. U výšemolekulárních PAU je podstatně delší: 168 týdnů pro benzo(a)pyren a 522 týdnů pro benzo(k)fluoranthen [4].

Dalším významným zdrojem jsou bodové a difúzní zdroje znečištění včetně dešťových oddělovačů veřejných kanalizací. Do vod se PAU dostávají jak splachem ze zpevněných povrchů (komunikací, dopravy) [5], ploch ošetřených nátěrovými hmotami a hydroizolačními přípravky na bázi polyaromátů, tak i ze spalování fosilních paliv a kouření. Podle Skupinské [6] jedna cigareta vnese do prostředí 20 až 40 ng benzo(a)pyrenu.

Mnohé PAU vykazují toxické vlastnosti pro vodní organismy, zvířata, ptáky a člověka: je potvrzena mutagenita, karcinogenita, teratogenita a nepříznivý vliv na imunitní systém [7]. Z těchto důvodů byly vybrané PAU směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES ve znění směrnice 2013/39/EU zařazeny mezi prioritní látky pro vodní prostředí a označeny jako prioritní nebezpečné látky [8, 9]. Současné normy environmentální kvality (NEK) jsou v řádu nanogramů na litr, nejpřísnější je norma pro karcinogenní benzo(a)pyren $1{,}7 \cdot 10^{-4}$ $\mu g \cdot l^{-1}$ (roční průměr). Připravovaná novela směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES rozšiřuje seznam PAU, pro něž jsou normy environmentální kvality stanoveny; některé z nich reviduje a nově uplatňuje srovnání s NEK po přepočtu na ekvivalent ekotoxicity benzo(a)pyrenu. Normu environmentální kvality – roční průměr sice ruší, ale v obdobné koncentrační úrovni stanovuje tuto hodnotu pro fluoranthen (zpřísnění ze současných $6{,}3 \cdot 10^{-3}$ $\mu g \cdot l^{-1}$ na $7{,}62 \cdot 10^{-4}$ $\mu g \cdot l^{-1}$). Z výše uvedených důvodů je proto stále potřeba se emisemi PAU a jejich dopadem na životní prostředí a stav vod zabývat.

Následující příspěvek se zaměřuje na zhodnocení obsahu PAU v atmosférické depozici, v mechu travník Schreberův (*Pleurozium schreberi*) a dalších matricích životního prostředí v pilotním povodí Výrovky. Zároveň uvádí srovnání se zátěží PAU mokrou depozicí v urbanizovaném prostředí.

Na základě poměrů jednotlivých PAU byl hodnocen také jejich původ. Pro účely tohoto příspěvku byly brány v úvahu dvě hlavní kategorie zdrojů znečištění, a to petrogenní (PETRO) a pyrogenní (PYRO).

Účelem tohoto srovnání je přispět k poznání, z jakých zdrojů a jakými cestami se látky skupiny PAU dostávají do povrchových vod, kde způsobují nedosažení

dobrého stavu podle Rámcové směrnice o vodách. ČR patří mezi země s nejvyšším podílem útvarů nedosahujících dobrého stavu kvůli PAU. S tím je spojena povinnost zavádění opatření pro jejich snížení. Na modelovém povodí byla sestavena látková bilance, jejímž cílem bylo porovnat atmosférickou depozici PAU s jejich látkovým odnosem v běžné zemědělské krajině. Přidání dalších matric a lokalit mělo za cíl potvrdit další rizikové faktory a odpovědět na otázky:

1. Jaká je zátěž PAU atmosférickou depozicí (krátkodobá – srážky i dlouhodobá – mech, humus), jaký vliv na ni mají další faktory jako urbanizované území, doprava a průmysl?

2. Jaký je vztah mezi atmosférickou depozicí PAU a výskytem PAU ve vodním toku – existuje tu vliv srážkoodtokových událostí? Jak velký podíl deponovaných látek z povodí odtéká a jaký je podíl zachycení prostředím?

3. Který zdroj PAU je pro vodní prostředí dominantní a jak se zastoupení PAU liší v jednotlivých matricích?

METODIKA

Sledovány a hodnoceny byly PAU, které přispívají k nedosažení dobrého stavu vodních útvarů a zároveň vykazují značný potenciál pro dálkový přenos atmosférou, často i na velké vzdálenosti od primárních zdrojů znečištění.

Pro účely řešení projektu bylo vybráno povodí Výrovky, a to jeho horní část po hydrologickou stanici Plaňany (provozovatel ČHMÚ).

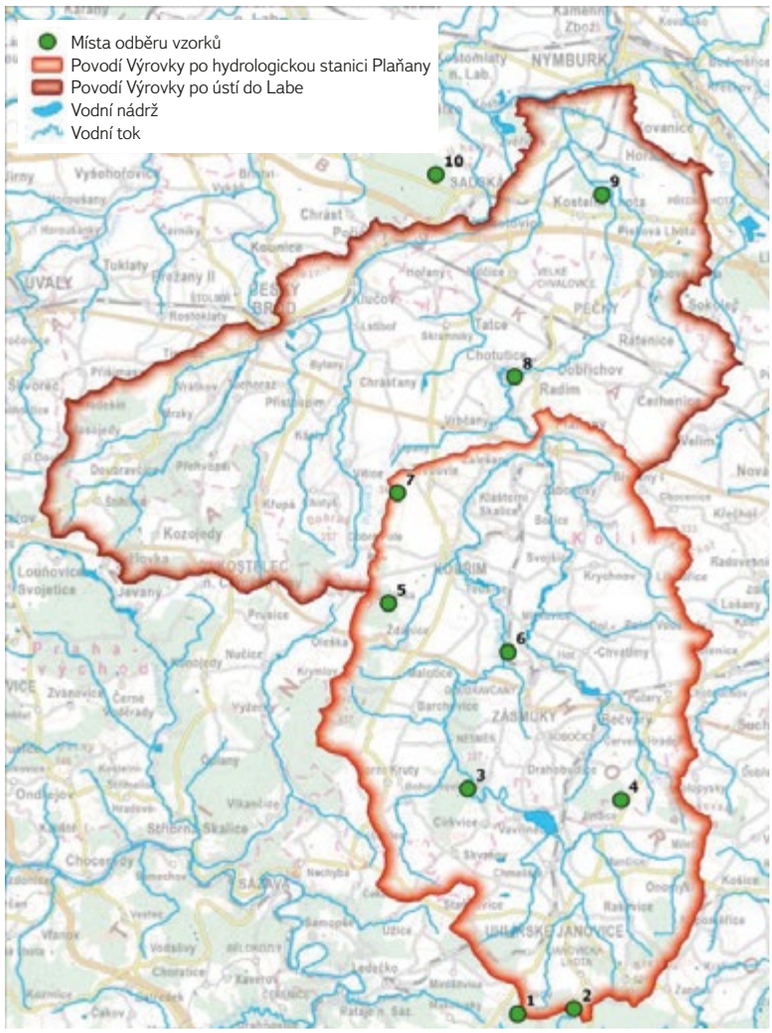
Výrovka je levostranným přítokem Labe, její povodí leží celé ve Středočeském kraji. Část povodí po profil Plaňany má rozlohu 264,35 km^2 a tvoří je 30 povodí IV. řádu. Nadmořská výška povodí se pohybuje v rozsahu 208–550 m n. m. Hydrografická síť má celkovou délku 362 km vodních toků a obsahuje 70 vodních nádrží.

V zájmovém území je podle údajů LPIS obhospodařováno 19 tis. ha zemědělské půdy, z toho 94 % tvoří orná půda. Z hlediska hlavních plodin se v roce 2022 nejvíce pěstovala pšenice ozimá, řepka ozimá, kukuřice, ječmen jarní a cukrovka.

Pro porovnání zastoupení PAU v různých složkách životního prostředí byly prováděny odběry následujících matric:

- mokrá depozice na volné ploše (bulk) – měsíční srážky, období 2021–2022,
- podkorunová depozice (throughfall) – měsíční srážky, období 2021–2022,
- povrchová voda – bodový odběr 1x měsíčně, období 2021–2022,
- množství plavenin – denní slévaný vzorek, v období 2021–2023,
- kontaminace plavenin – odstředěný vzorek, v období 2021–2023,
- humus (biologicky stabilní humifikační vrstva) – po odstranění odpadového a fermentačního horizontu; dva odběry na 10 lokalitách, vzorky reprezentují delší časové období (odběr 2021, 2022),
- mech travník Schreberův *(Pleurozium schreberi)* – dva odběry na 10 lokalitách, vzorky reprezentují delší časové období, cca tří let (odběr 2021, 2022).

Pilotní povodí Výrovky s vyznačenou vodoměrnou stanicí a místy odběrů vzorků jednotlivých matric jsou na *obr. 1*.



Obr. 1. Povodí Výrovky s vyznačenými místy odběru povrchové vody a atmosférické depozice
Fig. 1. Výrovka river catchment with locations of surface water and atmospheric deposition sites

Atmosférická depozice byla jímána do nerezových srážkoměrů o záchytné ploše 52,4 cm^2, aby byl získán dostatečný objem vzorků pro analytické stanovení PAU (2 000 ml). Svrchní část srážkoměrů byla opatřena nerezovou mísou s otvory o průměru 3 mm, aby bylo zabráněno spadu pevných částic a vniknutí hmyzu. Pokud v některém z měsíců nebylo dostatečné množství srážek, vzorek byl odebrán po dvouměsíční expozici. Sledování atmosférické depozice probíhalo od června 2021 do června 2022 v zemědělské krajině mezi obcemi Třebovle a Klášterní Skalice. Druhá lokalita byla vybrána v lesním porostu západně od obce Zásmuky (*obr. 1*), kde byly umístěny srážkoměry dva (bulk + throughfall).

Objem zachycených srážek v jednotlivých kampaních byl měřen a srovnán s údaji o úhrnu srážek za stejné období z nejbližších klimatologických stanic Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), jimiž byly srážkoměrné stanice Cerhenice a Vavřinec-Žíšov. Průměrný měsíční průtok pro Výrovku byl vypočten z průměrných denních průtoků v profilu ČHMÚ č. 082000 – Výrovka-Plaňany, tedy ve stejném profilu, ve kterém bylo realizováno vzorkování povrchové vody a plavenin.

Z množství srážek a zjištěných koncentrací sledovaných zástupců PAU ve srážkách byl vypočten odhad celkového spadu pro povodí Výrovky. Do výpočtu byly použity výsledky koncentrací PAU v depozici na volné ploše (z typu odběru bulk). Roční látkový odnos jednotlivých PAU vodotečí byl vypočten vynásobením průměrného měsíčního průtoku a jejich zjištěných koncentrací v povrchové vodě. Denní látkový odnos PAU v plaveninách byl odvozen z denních

koncentrací nerozpuštěných látek (plavenin) vynásobených průměrnou hodnotou sumy PAU naměřenou v osmi vzorcích plavenin (2 161 $\mu g \cdot kg^{-1}$).

Pro porovnání přítomnosti PAU v atmosférických srážkách v silně urbanizovaném prostředí byly koncem roku 2021 zvoleny lokality Praha-Podbaba (v areálu VÚV TGM) a Ostrava-Přívoz. V nich byly prováděny měsíční odběry srážek typu bulk a throughfall od prosince 2021 do října 2023.

Areál VÚV TGM v Praze se rozprostírá na severním okraji Prahy mezi frekventovanou komunikací Podbabská a tokem Vltavy obtékající Ústřední čistírnu odpadních vod. Srážkoměry v městské části Ostrava-Přívoz byly situovány na střeše objektu garáže VÚV TGM – pobočka Ostrava (bulk) a v areálu blízké mateřské školy na ulici Špálova (throughfall). Přibližně 1 km severně od obou měřicích stanic se nachází areál koksovny Svoboda, a. s., a 3 km jihozápadním směrem chemické závody Borsodchem MCHZ, s. r. o.

Ve vodných vzorcích bylo analyzováno 15 PAU (*tab. 1*) pomocí kapalinové chromatografie na přístroji Agilent 1260 Infinity II s fluorescenční detekcí. K separaci byla použita kolona Pinnacle II PAH (4 µm, 150 × 4,6 mm, Restek) a mobilní fáze složená z komponent A: methanol a B: voda s přídavkem 5 % methanolu.

Tab. 1. Seznam analyzovaných PAU a jejich zkratky
Tab. 1. List of analyzed PAHs and their abbreviations

Sloučenina	Zkratka	Sloučenina	Zkratka
Naftalen	NAP	Benzo[a]antracen	BAA
Acenaftylen	ACY	Chrysen	CHR
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]perylen	BGP
Pyren	PYR	Indeno[1,2,3-cd]pyren	INP

PAU ve vzorcích mechu a humusu byly analyzovány pomocí plynové chromatografie s trojitým kvadrupólem EVOQ GC-TQ (Bruker) metodou hmotnostní spektrometrie v režimu MS/MS.

Mech travník Schreberův (*Pleurozium schreberi*) byl sbírán ve dvou vzorkovacích kampaních na jaře 2021 a v létě 2022 na 10 lokalitách povodí Výrovky a v roce 2023 v různých vzdálenostech od silnice II/611 (Poděbradská) a dálnice D11 (Hradecká) západně od obce Sadské, na volných plochách (bez vlivu podkorunové depozice).

Vzorky na stanovení PAU byly odebírány do sáčků z alobalové fólie. Alobalové sáčky byly převezeny do laboratoře v automobilovém chladicím boxu a tam uskladněny v mrazicím boxu. Před analýzou byly zmrazené vzorky postupně ručně očištěny od nežádoucích příměsí a zelené konce mechu odtrženy pro analýzu. Zelené části mechu byly rozdrceny ve vibračním mlýnku v tekutém dusíku a následně vysušeny lyofilizací ve vakuu. Pak byly analyzovány kapalinovou chromatografií s MS/MS.

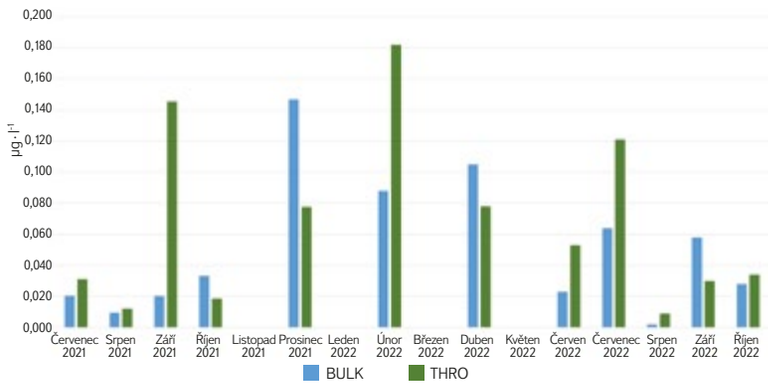
Vzorky humusu byly odebírány, transportovány a uskladněny do doby analýz stejně jako mech. Zamrazené vzorky humusu byly přesety přes ocelové síto s velikostí ok 2,00 mm, vysušeny lyofilizací a analyzovány jako mech.

Pro určení původu PAU byly využity publikované poměry mezi vybranými PAU, jež odhadují jejich petrogenní nebo pyrogenní původ.

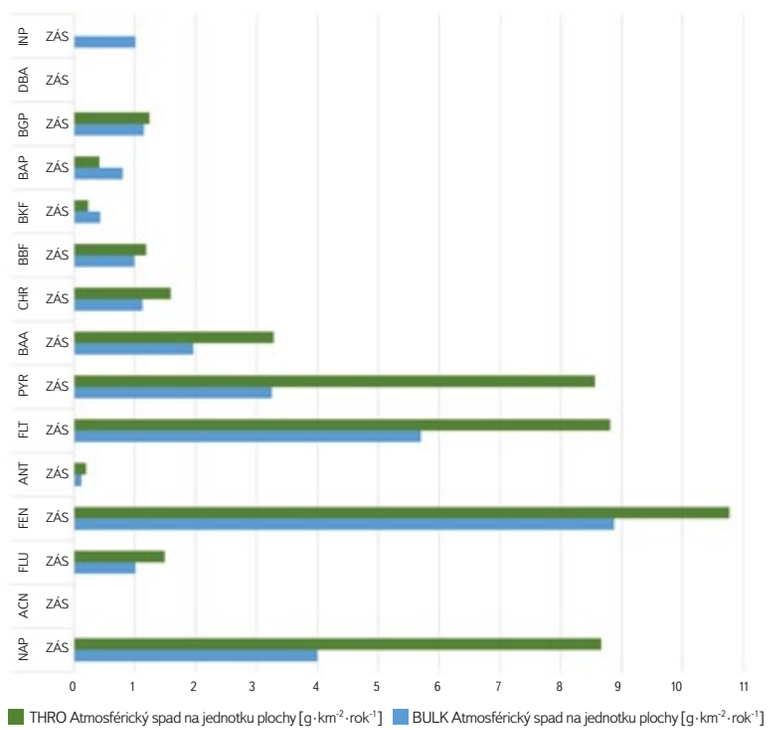
VÝSLEDKY

Koncentrace PAU v zachycené srážkové vodě se během roku značně liší (*obr. 2*). Z výsledků lze pozorovat trend znečištění srážek PAU v jednotlivých měsících a rozdíl v zimním a letním období. Na nárůst koncentrací PAU v zimě mají vliv především lokální topeniště v závislosti na meteorologických podmínkách. U jednotlivých sloučenin PAU převládají v atmosférických srážkách koncentrace fluoranthenu, fenanthrenu, pyrenu a benzo[a]pyrenu. Z porovnání koncentrace sumy PAU vyplývá, že jejich obsah je v podkorunové depozici throughfall (v obrázcích značeno THRO) většinou vyšší než v celkové depozici bulk (v obrázcích BULK). To je dáno vazbou PAU na jemné prachové částice (PM_{10}, $PM_{2,5}$), jež jsou následně deponovány na vegetaci. Z ní jsou pak smývány při atmosférických srážkách.

V následujícím kroku byla v povodí Výrovky vypočtena velikost atmosférického spadu PAU na jednotku plochy v $g \cdot km^{-2} \cdot rok^{-1}$ pro celkovou a podkorunovou depozici. Nejvyšší je pro naftalen, fenanthren, fluoranthen a pyren. V grafu (*obr. 3*) na lokalitě Zásmuky je vidět rozdíl spadu mezi depozicí celkovou a podkorunovou u jednotlivých PAU. Je zajímavé, že v případě výše molekulárních PAU rozdíl není tak velký.



Obr. 2. Suma PAU ve srážkách typu bulk a throughfall na lokalitě Zásmuky
Fig. 2. Sum of PAHs in bulk and throughfall precipitation at the Zásmuky site



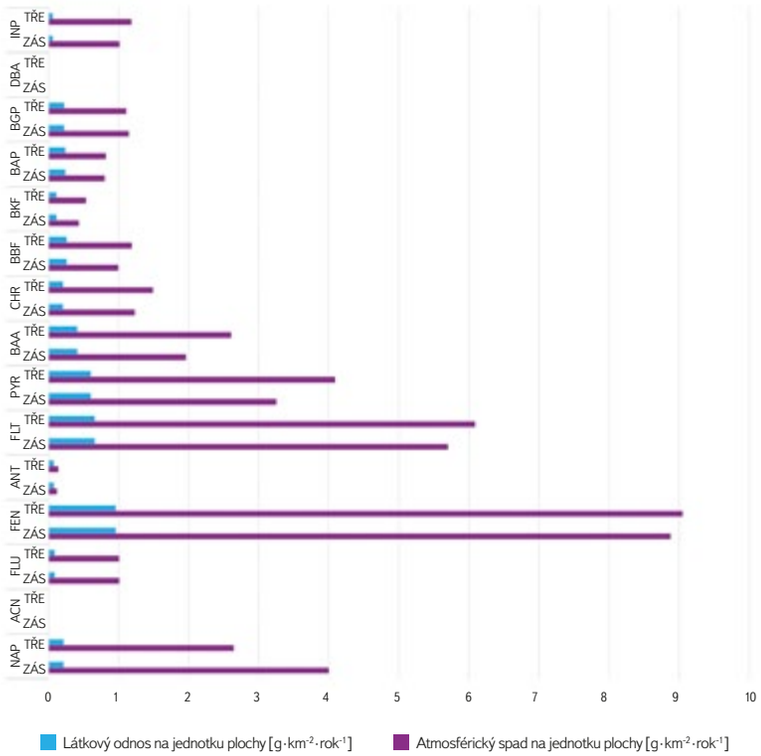
Obr. 3. Atmosférický spad PAU na jednotku plochy depozicí bulk a throughfall na lokalitě Zásmuky
Fig. 3. Atmospheric deposition of PAHs per unit area by bulk deposition and throughfall at the Zásmuky site

Nejvyšší koncentrace PAU v povrchové vodě Výrovky byly potvrzeny u naftalenu (leden, červen a září). V zimním období dominují koncentrace naftalenu, fenanthrenu, fluoranthenu a pyrenu. Z poměru koncentrace fluoranthenu a pyrenu, který byl ve většině měření vyšší než 1, vyplývá původ PAU ze spalovacích procesů [10]. Bylo zjištěno, že zastoupení PAU v povrchové vodě je ve srovnání s atmosférickou depozicí výrazně nižší.

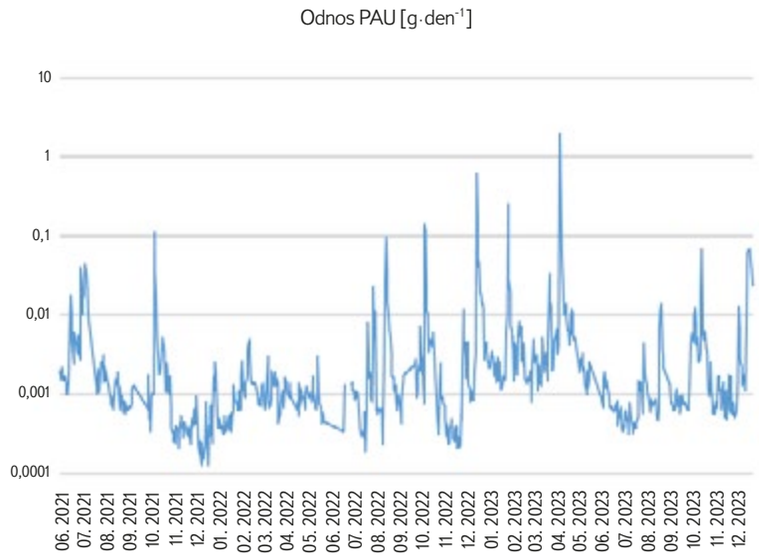
Během celého sledovaného období byly v hodinovém kroku zaznamenávány průtoky v říčním profilu Výrovka-Plaňany. Z nich byly počítány průměrné denní a měsíční průtoky, aby bylo možno provést přibližnou bilanci odnosu PAU z pilotního povodí Výrovky. Výsledky jsou s atmosférickou depozicí porovnány v *tab. 2.* Velikost atmosférického spadu v Zásmukách a v Třebovli je přes odlišnost obou lokalit obdobná. Pokud vynásobíme zjištěný roční spad na plochu povodí (nad říčním profilem Výrovka-Plaňany), dostaneme zátěž PAU v tomto povodí 8,075 až 8,448 kg · rok^{-1}. Odnos PAU v profilu Výrovka-Plaňany byl výrazně nižší, činil 1,089 kg · rok^{-1}. Dobře to ilustruje graf na *obr. 4.* Svrchní vrstvy půdy a vegetační pokryv zachycují převážnou část těchto nepolárních organických látek z atmosférické depozice, jež se snadno sorbují na jemné prachové částice. Erozním smyvem se dostávají do povrchových vod. Dalším, ale méně významným zdrojem kontaminace povrchových vod PAU je přímá depozice na vodní plochu – v povodí se nachází několik desítek rybníků.

Tab. 2. Celkový atmosférický spad PAU mokrou depozicí na lokalitách Zásmuky a Třebovle a látkový odnos PAU Výrovkou v profilu Plaňany
Tab. 2. Total atmospheric deposition of PAHs by wet deposition at the Zásmuky and Třebovle sites and PAHs transport by the Výrovka river in the Plaňany site

Látka	Atmosférický spad [g · rok^{-1}]		Atmosférický spad na jednotku plochy [g · km^{-2} · rok^{-1}]		Látkový odnos [g · rok^{-1}]	Látkový odnos na jednotku plochy [g · km^{-2} · rok^{-1}]	Míra látkového odnosu ku spadu [%]	
	Lokalita							
	ZÁSMUKY	TŘEBOVLE	ZÁSMUKY	TŘEBOVLE	PLAŇANY	PLAŇANY	ZÁSMUKY	TŘEBOVLE
Naftalen	1 055,060	697,924	3,999	2,645	57,064	0,216	5,409	8,176
Acenaftalen	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fluoren	266,748	265,748	1,011	1,008	23,487	0,089	8,803	8,831
Fenanthren	2 342,448	2 387,474	8,879	9,049	253,563	0,961	10,825	10,621
Anthracen	32,312	36,511	0,122	0,138	19,971	0,076	61,809	54,701
Fluoranthen	1 504,359	1 606,667	5,702	6,090	173,794	0,659	11,553	10,817
Pyren	857,966	1 079,756	3,252	4,093	159,160	0,603	18,551	14,740
Benzo[a]anthracen	517,349	687,646	1,961	2,606	108,568	0,412	20,986	15,788
Chrysen	296,317	393,469	1,230	1,491	54,250	0,206	18,308	13,788
Benzo[b]fluoranthen	262,737	313,643	0,996	1,189	68,871	0,261	26,213	21,959
Benzo[k]fluoranthen	114,274	141,629	0,433	0,537	30,117	0,114	26,356	21,265
Benzo[a]pyren	211,956	216,956	0,803	0,819	64,072	0,243	30,229	29,650
Dibenzo[ah]anthracen	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Benzo[ghi]perylen	302,595	292,630	1,147	1,109	59,353	0,225	19,615	20,283
Indeno[1,2,3-cd]pyren	267,280	312,053	1,013	1,184	16,717	0,063	6,255	5,350
15 PAU	8 031,401	8 432,106	30,548	31,958	1 088,987	4,128	-	-



Obr. 4. Celkový atmosférický spad (BULK) PAU na lokalitách Zásmuky a Třebovle a látkový odnos PAU v říčním profilu Výrovka-Plaňany
Fig. 4. Total atmospheric deposition (BULK) of PAHs at the Zásmuky and Třebovle sites and PAHs transport in the Výrovka-Plaňany river site



Obr. 5. Režim odnosu PAU v plaveninách v profilu Plaňany v období 2021–2023
Fig. 5. Transport regime of PAHs in suspended sediments at the Plaňany profile, 2021–2023

Výše uvedený látkový odnos PAU z povodí Výrovky je ve skutečnosti podhodnocený, jelikož koncentrace PAU v povrchové vodě narůstá s vyššími průtoky při srážkoodtokových epizodách. Proto byly provedeny analýzy PAU rovněž v plaveninách a během zvýšeného průtoku vlivem intenzivních srážek. Odběry plavenin pro analýzy PAU byly prováděny při standardních průtokových poměrech (n = 6) a při zvýšených průtocích (n = 2) kolem 0,9 $m^3 \cdot s^{-1}$ (průměrný roční průtok činí 0,688 $m^3 \cdot s^{-1}$) [11]. Denní odnosy PAU v plaveninách jsou zobrazeny v grafu na *obr. 5*. Celková bilance PAU v plaveninách však není významná – v případě maximálního průtoku činila 2 $g \cdot den^{-1}$, celkem bylo profilem Plaňany z povodí plaveninami odneseno ve sledovaném období 6,2 g PAU.

V roce 2022 bylo provedeno vzorkování povrchové vody v monitorovacím profilu ČHMÚ Výrovka-Plaňany během tří srážkoodtokových epizod. Vzorkování probíhalo pomocí dálkově ovládaného automatického vzorkovače. Úhrn srážek v klimatologické stanici KS Cerhenice byl nejvyšší při třetí vzorkovací epizodě 29. června 2022, kdy během dvou hodin (16:10 až 18:10 hod.) spadlo 38,9 mm srážek. Během této srážkoodtokové události byly provedeny tři dílčí odběry vody, jak dokumentuje *obr. 6*. První odběr byl proveden při maximální dosažené hladině v recipientu, další dva v sestupné fázi průtoku. PAU byly stanoveny v homogenizovaném vzorku. Koncentrace PAU byla maximální v době kulminujícího průtoku (1 078 $ng \cdot l^{-1}$). Následně se jejich koncentrace významně snížila na 139 až 106 $ng \cdot l^{-1}$. Pro srovnání, průměrná roční koncentrace Σ PAU z měsíčních odběrů v profilu Výrovka-Plaňany činila 57 $ng \cdot l^{-1}$. Odnos PAU během tříhodinového zvýšeného průtoku v recipientu (17 až 20 hod.) byl odhadnut na 1,13 g. V tento den šlo o největší srážkový úhrn v roce 2022. Následovalo dalších sedm dní se srážkovým úhrnem nad 25 mm. Přestože tedy koncentrace PAU při srážkoodtokových epizodách významně roste, zvláště v její počáteční fázi, celkový odnos z povodí sice rovněž vzroste, avšak zdaleka nedosahuje hodnot atmosférického spadu na celkovou plochu povodí.

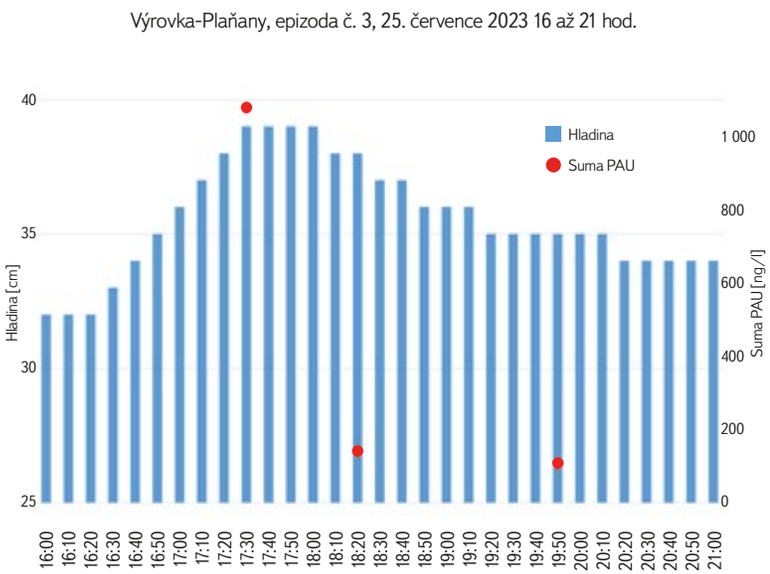
Za vyšších teplot jsou účinnější děje oxidace atmosférickými stopovými plyny (NO_x, SO_2, O_3), takže degradace PAU v létě probíhá rychleji než v zimě. V plynné fázi se PAU stávají součástí mokré atmosférické depozice prostřednictvím mezifázové výměny plyn-kapalina při procesu podoblačného vymývání, zatímco PAU asociované s tuhými částicemi jsou efektivněji odstraňovány procesy vnitrooblačného vymývání v důsledku difuze, impaktu a záchytu [12].

Jak již bylo v úvodu tohoto článku zmíněno, pro porovnání přítomnosti PAU v atmosférických srážkách v silně urbanizovaném prostředí byly zvoleny lokality Praha-Podbaba (v areálu VÚV TGM) a Ostrava-Přívoz. V nich byly prováděny měsíční odběry srážek typu bulk a throughfall v období prosinec 2021 až říjen 2023.

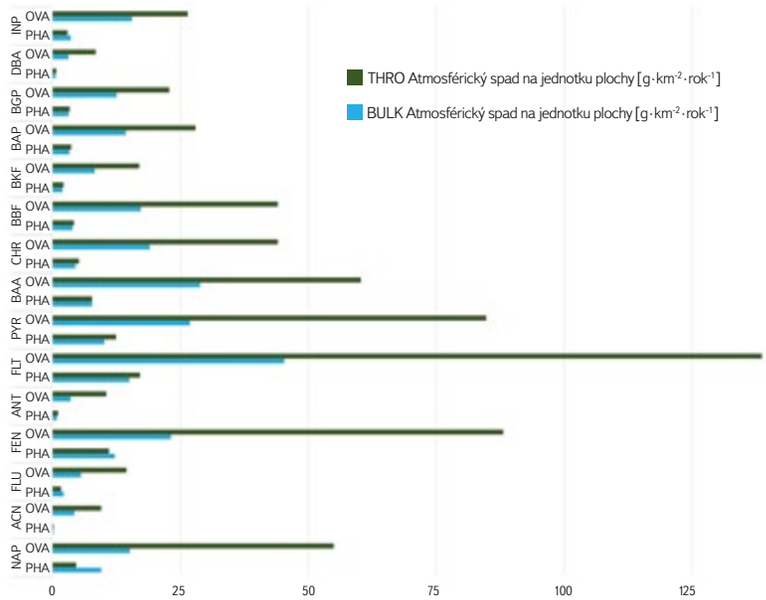
Urbanizované prostředí představuje významnou oblast pro depozici PAU z důvodu vysoké koncentrace emisních zdrojů a specifických podmínek, které ovlivňují jejich distribuci a usazování. Rozdíly v koncentracích PAU obou městských lokalit jsou markantní. Ostravsko náleží dlouhodobě k nejvíce zatíženým lokalitám PAU v ČR. Ačkoli byla zátěž PAU v pražské lokalitě nižší než v Ostravě, oproti lokalitám Zásmuky a Třebovle v povodí řeky Výrovky byla vyšší. Vyšší koncentrace PAU ve zvolených lokalitách jasně potvrzují vliv urbanizovaného prostředí na atmosférickou depozici PAU. Data z lokalit Zásmuky, Praha-Podbaba a Ostrava-Přívoz ukazují rovněž na výrazné rozdíly v koncentracích PAU ve srážkách typu throughfall a bulk. Tyto rozdíly odrážejí variabilitu zdrojů znečištění a podmínek v různých urbanizovaných prostředích.

Postupem shodným jako v monitorovaných lokalitách v povodí Výrovky byla vypočtena velikost atmosférické depozice PAU na jednotku plochy v urbanizovaných prostředích (*obr. 7*). Depozice však nebyla porovnána s látkovým odtokem PAU povrchovou vodou (obě monitorovací stanice reprezentovaly jen malou oblast velkých městských aglomerací). Výsledky jsou uvedeny v *tab. 3*.

Porovnání celkového atmosférického spadu PAU na všech čtyřech sledovaných lokalitách je provedeno v *tab. 4* a na *obr. 8*.



Obr. 6. Koncentrace suma PAU v povrchové vodě během srážkoodtokové epizody č. 3
Fig. 6. Concentration of PAHs in surface water during precipitation-runoff episode No. 3



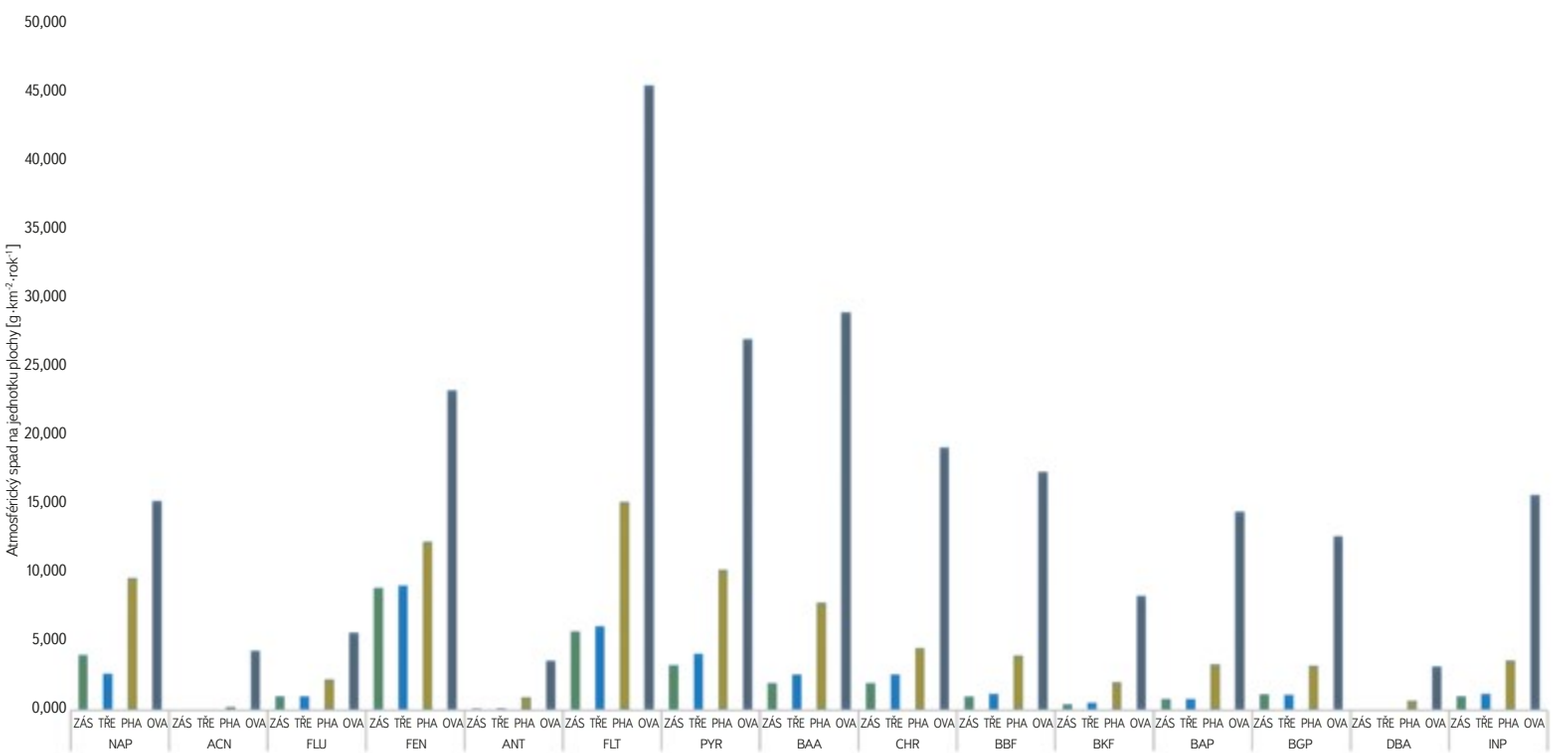
Obr. 7. Srovnání velikosti atmosférického spadu na jednotku plochy ve srážkách typu bulk a throughfall lokalit Ostrava-Přívoz a Praha-Podbaba
Fig. 7. Comparison of atmospheric deposition in bulk and throughfall at the Ostrava-Přívoz and Prague-Podbaba sites

Tab. 3. Celkový atmosférický spad PAU na lokalitách Ostrava-Přívoz a Praha-Podbaba
Tab. 3. Total atmospheric deposition of PAHs at the Ostrava-Přívoz and Prague-Podbaba sites

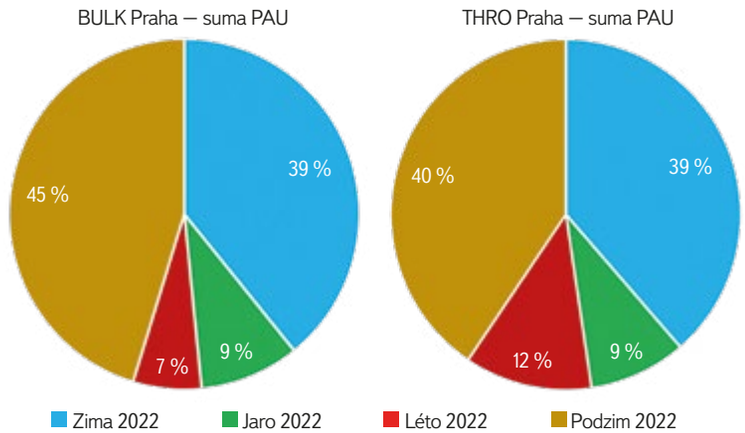
Látka	**Atmosférický spad na jednotku plochy – BULK [g·km^{-2}·rok^{-1}]**		**Atmosférický spad na jednotku plochy – THRO [g·km^{-2}·rok^{-1}]**		**Poměr BULK/THRO**	
	PRAHA	OSTRAVA	PRAHA	OSTRAVA	PRAHA	OSTRAVA
Naftalen	9,593	15,188	4,637	54,963	2,069	0,276
Acenaftalen	0,214	4,316	0,214	9,506	1,000	0,454
Fluoren	2,235	5,620	1,687	14,490	1,325	0,388
Fenanthren	12,221	23,214	11,057	88,060	1,105	0,264
Anthracen	0,932	3,583	1,106	10,556	0,843	0,339
Fluoranthen	15,114	45,356	17,118	138,626	0,883	0,327
Pyren	10,183	26,910	12,464	84,760	0,817	0,317
Benzo[a]anthracen	7,805	28,865	7,750	60,261	1,007	0,479
Chrysen	4,514	19,065	5,194	44,051	0,869	0,433
Benzo[b]fluoranthen	3,962	17,298	4,202	44,051	0,943	0,393
Benzo[k]fluoranthen	2,033	8,291	2,190	16,949	0,928	0,489
Benzo[a]pyren	3,341	14,391	3,644	27,989	0,917	0,514
Dibenzo[ah]anthracen	0,682	3,175	0,783	8,482	0,871	0,374
Benzo[ghi]perylen	3,221	12,612	3,345	22,825	0,963	0,553
Indeno[1,2,3-cd]pyren	3,617	15,618	3,617	15,618	1,000	1,000
15 PAU	79,667	243,502	79,008	641,187	-	-

Tab. 4. Porovnání celkového atmosférického spadu PAU na lokalitách Zásmuky, Třebovle, Praha-Podbaba a Ostrava-Přívoz
Tab. 4. Comparison of total atmospheric deposition of PAHs at the Zásmuky, Třebovle, Prague-Podbaba, and Ostrava-Přívoz sites

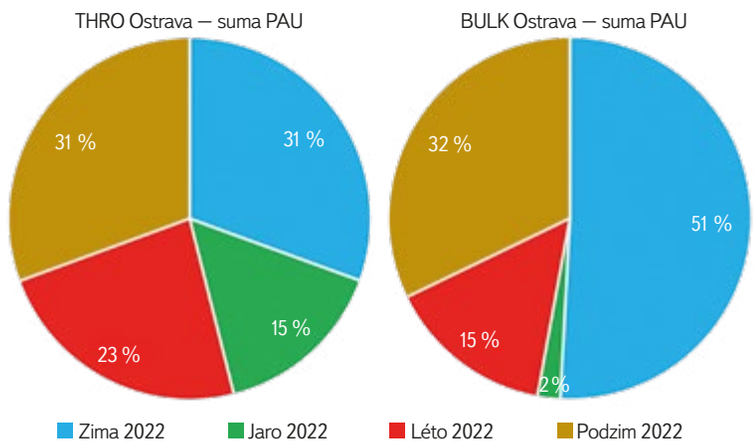
Látka	**Atmosférický spad na jednotku plochy – BULK [g · km^{-2} · rok^{-1}]**			
	Lokalita			
	ZÁSMUKY	TŘEBOVLE	PRAHA	OSTRAVA
Naftalen	3,999	2,645	9,593	15,188
Acenaftalen	0,000	0,000	0,214	4,316
Fluoren	1,011	1,008	2,235	5,620
Fenanthren	8,879	9,049	12,221	23,214
Anthracen	0,122	0,138	0,932	3,583
Fluoranthen	5,702	6,090	15,114	45,356
Pyren	3,252	4,093	10,183	26,910
Benzo[a]anthracen	1,961	2,606	7,805	28,865
Chrysen	1,230	1,491	4,514	19,065
Benzo[b]fluoranthen	0,996	1,189	3,962	17,298
Benzo[k]fluoranthen	0,433	0,537	2,033	8,291
Benzo[a]pyren	0,803	0,819	3,341	14,391
Dibenzo[ah]anthracen	0,000	0,000	0,682	3,175
Benzo[ghi]perylen	1,147	1,109	3,221	12,612
Indeno[1,2,3-cd]pyren	1,013	1,184	3,617	15,618
15 PAU	30,548	31,958	79,667	243,502



Obr. 8. Porovnání celkového atmosférického spadu PAU na lokalitách Zásmuky, Třebovle, Praha-Podbaba a Ostrava-Přívoz
Fig. 8. Comparison of total atmospheric deposition of PAHs at the Zásmuky, Třebovle, Prague-Podbaba and Ostrava-Přívoz sites



Obr. 9. Poměr sumárních koncentrací PAU ve srážkové vodě podle ročních období v roce 2022, lokalita Praha-Podbaba
Fig. 9. Total PAHs concentration in precipitation by seasons in 2022, Prague-Podbaba site



Obr. 10. Poměr sumárních koncentrací PAU ve srážkové vodě podle ročních období v roce 2022, lokalita Ostrava-Přívoz
Fig. 10. Total PAHs concentration in precipitation by seasons in 2022, Ostrava-Přívoz site

Výsledky v *tab. 4* a *obr. 8* dokazují, že lokalita Ostrava-Přívoz je enormně zatíženým územím z hlediska emisí PAU. Vzhledem k tomu, že se tam prakticky nevyskytují lokální topeniště spalující pevná nebo kapalná fosilní paliva, souvisí tato zátěž s intenzivní průmyslovou činností a v menší míře se zvýšenou hustotou dopravy v této oblasti. Zátěž PAU na lokalitě Praha-Podbaba je oproti Ostravě-Přívozu výrazně nižší, avšak ve srovnání s lokalitami v povodí Výrovky více než dvojnásobná. Na relativně vysokých hodnotách spadu PAU v Praze se s vysokou pravděpodobností podílí hustota dopravy přilehlé páteřní komunikace, případně další zdroje. Zásmuky a Třebovle vykazují nižší a téměř shodnou úroveň emisí PAU, což může být dáno menší hustotou městských sídel, průmyslu a nižším dopravním zatížením. Lokalita Třebovle v dolní části povodí Výrovky je o něco více zatížena spadem PAU než lokalita Zásmuky, umístěná v lesním porostu mezi obcemi Zásmuky a Barchovice. Hodnota celkového spadu PAU v Ostravě-Přívoze je přibližně 7,6krát vyšší než na lokalitě Třebovle.

Z uvedených grafů (*obr. 9* a *10*) je patrná značná variabilita koncentrací Σ PAU v rámci kalendářního roku.

Porovnání dat depozice v Praze a Ostravě, s ohledem na urbanizaci a průmyslovou aktivitu, nám poskytuje zajímavý pohled na ekologické vlivy obou měst. Praha, jakožto hlavní město České republiky, má výraznější urbánní charakter, s rozsáhlými oblastmi obydlenými městskou populací. I přesto, že Praha je také průmyslovým centrem, urbanizace a služby zde převažují nad těžkým průmyslem, což ovlivňuje množství a druh emisí PAU a jejich depozici.

Ostrava je historicky známá jako významné centrum těžkého průmyslu, především hutnictví a chemické výroby, avšak v současnosti zde z původního průmyslového spektra přetrvává již pouze koksárenský průmysl. Ten zůstává klíčovým zdrojem emisí škodlivých látek do ovzduší, zejména PAU, jež se uvolňují při vysokoteplotním zpracování uhlí. Tyto emise významně přispívají k lokální zátěži životního prostředí a prostřednictvím atmosférické depozice se podílejí na zhoršené kvalitě ovzduší.

PAU v mechu a humusu v povodí Výrovky

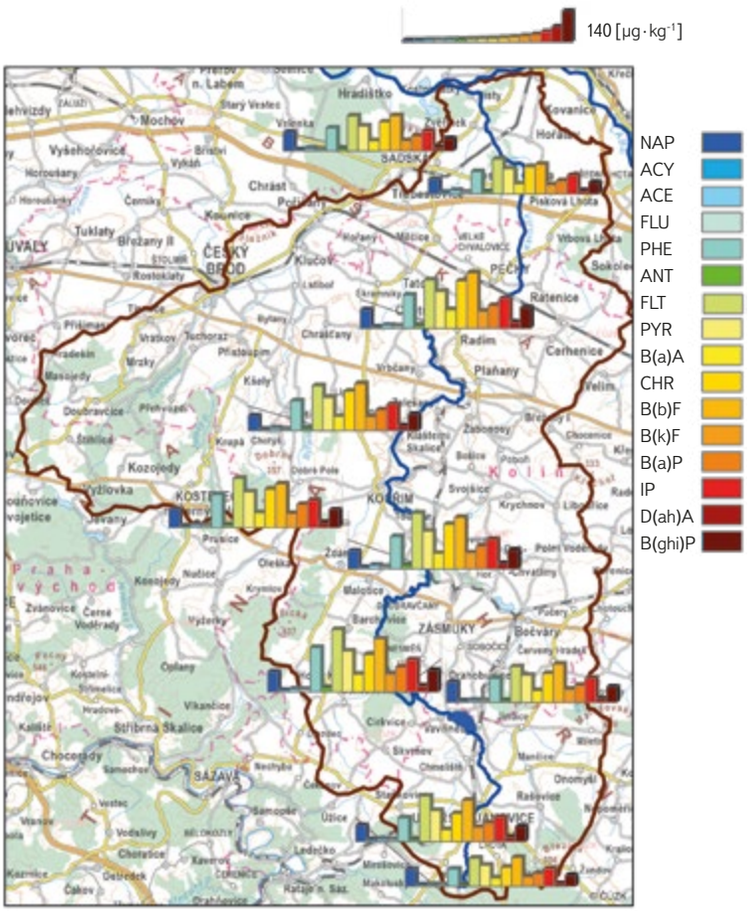
V mechu nejvyšší relativní podíl na sumě PAU měly NAP, FEN, FLT, PYR a BBF a nejmenší ANT, ACY a ACN. V roce 2021 byly nejvyšší sumy PAU v mechu naměřeny u vzorků z blízkých lokalit 3 a 4 v jižní polovině povodí (*obr. 1*). Velký počet případů vysokých koncentrací jednotlivých PAU byl zjištěn i u mechu z lokality 7 s indikovanými vyššími spady těžkých kovů (TK). Naopak nejnižší sumy PAU byly naměřeny v mechu na vzájemně vzdálených lokalitách 5 a 9. V roce 2022 byly zjištěny nejvyšší sumy PAU u vzorků mechu z lokalit 4 a 2 z jižní části povodí Výrovky a nejnižší sumy pro lokality 10 a 6 v severní a střední části povodí. Sumy PAU v mechu v roce 2022, který byl v ročním průměru o 2 °C teplejší proti roku 2021, byly o 60 % vyšší než v roce 2021, největší nárůst byl zjištěn pro NAP. S růstem teploty se ovšem sorpce PAU na pevné sorbenty snižuje a důvodem zvýšení obsahu PAU v roce 2022 byla zřejmě zvýšená úroveň depozice PAU ze znečištěnějšího ovzduší, např. vlivem většího výparu a sublimace PAU z hlavních zdrojů v okolí. Na rozdíl od TK, střední část povodí s výjimkou lokality 7 obsahuje méně sum PAU než jižní a severní okraj povodí, pravděpodobně v důsledku vlivu emisí z hustší silniční sítě. Hlavními zdroji PAU v povodí jsou spalování organických paliv v lokálních a blízkých domácích a firemních topeništích, výfukové plyny z automobilové dopravy a speciální provozy, jako např. výroba a recyklace asfaltových směsí (Běchovice, Kolín, Poříčany, Kutná Hora). Můžeme uvažovat i dálkový transport PAU ze vzdálenějších velkoplošných zdrojů, jako je např. pražská nebo pardubická aglomerace. V létě v roce 2022 bylo celé území několik dní ovlivněno dýmem z požáru lesa v Českosaském Švýcarsku.

V povodí Výrovky se PAU z lokálních a vzdálených zdrojů promíchávají, a proto můžeme předpokládat poměrně velké časové a plošné změny v okamžitých úrovních depozic PAU.

Obsahy PAU v povodí Výrovky v mechu byly v roce 2021 o 42 % nižší a v roce 2022 o 13 % vyšší než v mechu z lesnaté oblasti Šumavy v roce 2018. Výsledky ukazují na poměrně vysoké pozaďové hodnoty PAU i na Šumavě.

Dlouhodobě akumulované sumy PAU v humusu byly 1,5–15× vyšší než v mechu. Obsah PAU ovlivňuje obsah humusu (uhlíku) v odebraném vzorku. Bohužel v povodí Výrovky, zvláště ve střední části, jsou mladší jehličnaté lesy a teplé a poměrně suché klima vede k pomalému růstu smrku a tvorbě slabé vrstvy humusu se zvýšeným podílem minerální frakce půdy. Takové podmínky ztěžují reprodukovatelný odběr vzorku humusu v jednotlivých letech. Na severním a jižním okraji povodí Výrovky je humusová vrstva v borových a smrkových lesích mocnější. Ve vzorcích humusu byly zjištěny nejvyšší obsahy CHR, FLT, PYR a FEN, naopak nejmenší podíly na sumě PAU vykazovaly ACN, ANT a ACY. Nejvyšší obsahy PAU v humusu z roku 2021 byly naměřeny ve vzorcích z lokalit 3 a 7, nejmenší z lokalit 9 a 10 ze severní části povodí. V roce 2022 nejvyšší obsahy PAU vykazovaly vzorky z lokalit 3 a 8, nejnižší z lokalit na opačných koncích povodí 2 a 10. Vysoká variabilita výsledků je způsobena velkými rozdíly v kvalitě lesního humusu v povodí Výrovky a pravděpodobně i dlouhodobou lokální variabilitou spadů PAU vlivem většího množství lokálních zdrojů PAU a nedosažení homogennější (pozaďové) koncentrace PAU v ovzduší.

Na *obr. 11* je graficky dokumentována distribuce PAU v lesním nadložním humusu v povodí Výrovky v roce 2021.



Obr. 11. Rozložení obsahů PAU v lesním humusu v povodí Výrovky v roce 2021
Fig. 11. Distribution of PAHs contents in forest humus in the Výrovka catchment in 2021

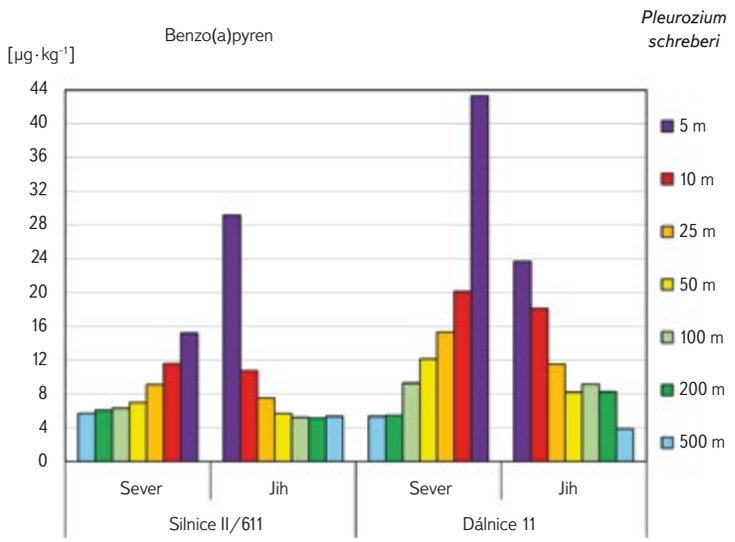
Lesní humus v povodí Výrovky obsahoval v letech 2021 a 2022 nižší sumu PAU než referenční lesní humus v lese na Šumavě. Důvodem je méně vyvinutá vrstva humusu v povodí Výrovky s vyšším obsahem minerálního podílu lesní půdy (22–30 %) s menší adsorpční kapacitou poutat PAU než minerální podíl v humusu (6–17 %) ze Šumavy. V lesích povodí Výrovky jsou PAU kvůli špatně vyvinuté vrstvě humusu adsorbovány v poměrně silné povrchové vrstvě lesní půdy, zatímco v lesích na Šumavě jsou PAU vázané na humusové horizonty a do spodní minerální půdy nepronikají, pokud vrstva humusu není porušena činností zvířat nebo lesního hospodaření.

Kontaminace PAU v okolí pozemních komunikací

V bezprostředním okolí silnice II/611 byly zjištěny v mechu relativně nejvyšší obsahy NAP, FLT, FEN a BBF, nejnižší ACN, ACY a ANT. U dálnice D11 byly v mechu podobně nejvyšší obsahy NAP, BBF, FLT a FEN a nejnižší ACN, ACY a ANT.

Sumy PAU v mechu u silnice II/611 klesají oboustranně zhruba do vzdálenosti 100 m a podobně u D11 sumy PAU klesají do vzdálenosti zhruba 200 m, ne dále. Uvedené distance jsou zřejmě hlavní depoziční zóny u sledovaných segmentů komunikací. Podobně jako v případě těžkých kovů, pevná bariéra v podobě půdního valu nebo vysokého náspu na jižním okraji II/611 a severním okraji D11 významně zpomaluje šíření aerosolů PAU do okolí komunikací a zvyšuje úroveň aktuálních spadů PAU u komunikací. Popsaná situace je názorně dokumentována na *obr. 12* pro případ BAP. Sucharová a Holá [13] zjistily u dálnice D1 u Divišova v roce 2010 statisticky významně vyšší obsahy PAU v mechu do 50 m od dálnice. Zároveň zjistily velmi rychlé zvýšení obsahů PAU v mechu na referenčním místě vlivem pálení lesních zbytků po těžbě dřeva i ve velké vzdálenosti od odběru vzorku mechu [13].

Přestože rozpustnost PAU je ve vodě nízká, je potřeba počítat se splachy PAU vázané na prachové částice a úniky olejů do vodotečí z drenážních systémů odvodňujících vozovky a jejich okolí, a to až do vzdálenosti desítek, popřípadě stovek metrů.



Obr. 12. Pokles obsahu BAP v mechu se vzdáleností od silnice II/611 a dálnice D11 u Sadské v létě roku 2023
Fig. 12. Decrease in BAP content in moss with distance from road II/611 and motorway D11 near Sadská in the summer of 2023

Relativně nejvyšší podíly na sumě PAU u silnice II/611 byly zjištěny pro BBF, FLT, CHR a PYR, nejmenší pro ACN, ACY, ANT a BAA. Sumy PAU v humusu oboustranně od silnice klesají do vzdálenosti 50 m. Následuje kolísání obsahu PAU v humusu ve větší vzdálenosti v důsledku těžby a hospodaření v lese na severní straně „U Kocánka", konec jižního transektu je pak zřejmě ovlivněn spady od dálnice D1. V okolí D11 do vzdálenosti 25 m byly zjištěny malé sumy PAU v důsledku odstranění původní vrstvy humusu a dosud nevyvinuté vrstvy nového humusu. Suma PAU závisí na typu humusu a obsahu organického uhlíku [14]. Severně od D11 sumy PAU klesají do vzdálenosti asi 200 m, na jižní straně je pokles sum PAU porušen zvýšením sumy PAU ve 100 m a 500 m jižně od dálnice.

Nepravidelnost průběhu sumy PAU je způsobena kolísáním obsahu uhlíku ve vzorcích (závislost není statisticky významná, pravděpodobně kvůli malému počtu vzorků), těžbou a lesním hospodařením narušujícím humusový horizont a dále potenciálním vlivem činností na střelnici a v průmyslové zóně, včetně výroby asfaltových směsí, na jižním okraji lesa u Poříčan. U D11 hlavní podíl na sumě PAU v humusu mají NAP, PYR, FLT a FEN, nejmenší ACN, ACY, DBA a ANT. I výše uvedené výsledky naznačují, že v lesní půdě zvýšené, dlouhodobě akumulované sumy PAU dosahují do vzdálenosti desítek až nejméně 100 m od okrajů vozovek frekventovaných pozemních komunikací. Ze zón kontaminace PAU od komunikací mohou nejsnáze drenážními systémy vstupovat do vodotečí vázané na nízkomolekulární frakce humusu nebo na pevné humusové a půdní částice transportovatelné vodou.

Určení (odhad) původu PAU

Určení původu PAU představuje klíčový krok při hodnocení environmentální zátěže a při návrhu účinných opatření ke snížení jejich emisí. Zdroje PAU lze obecně rozdělit do dvou hlavních kategorií: pyrogenní (produkty nedokonalého spalování organických materiálů a fosilních paliv) a petrogenní (spojené s úniky ropných produktů a jejich zpracováním). Odhad původu PAU v životním prostředí se nejčastěji opírá o kombinaci chemických poměrů jednotlivých sloučenin PAU, o znalosti lokálních zdrojů a analýzu prostorových a časových trendů koncentrací.

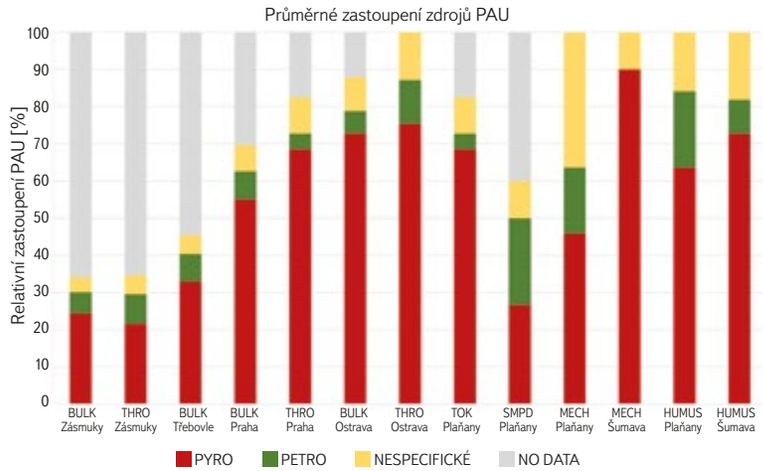
Pro rozlišení zdrojů PAU se využívají tzv. diagnostické poměry mezi koncentracemi definovaných sloučenin. Princip metody vychází z předpokladu, že v závislosti na konkrétním procesu vzniku PAU a jeho teplotních podmínkách jsou generovány odlišné uhlovodíky. Typickým příkladem je poměr fluoranthen/pyren (FLT/PYR), jehož hodnota vyšší než 1 indikuje pyrogenní původ, zatímco poměr nižší než 1 poukazuje na petrogenní původ. Dalšími využívanými ukazateli jsou např. poměry ANT/(ANT + FEN), BAA/(BAA + CHR) nebo INP/(INP + BGP), jež společně umožňují přesnější klasifikaci zdrojů [15–21].

Obr. 13 zobrazuje průměrné zastoupení PAU ve vybraných matricích odebraných v povodí Výrovky, v Praze a Ostravě. Výpočet vychází z celkem devíti vybraných diagnostických poměrů PAU. Kategorie určující původ jsou: PYRO, PETRO, NESPECIFICKÉ (poměry vypočteny, nicméně neukazují jednoznačně na typ zdroje znečištění) a NO DATA (koncentrace pro výpočet poměrů byly pod mezí stanovitelnosti nebo nedostupné).

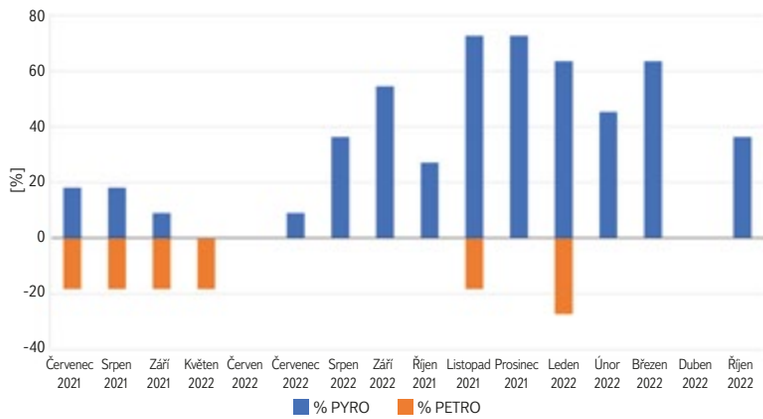
V případě významně nebo enormně znečištěných urbanizovaných lokalit bylo možné nejlépe specifikovat původ znečištění PAU (Praha, Ostrava). Byl potvrzen převládající pyrogenní původ PAU, a to i v Praze ve vzdálenosti cca 25 m od páteřní komunikace ulice Podbabská. Naopak v případě lokalit Zásmuky a Třebovle bylo množství hodnot u vybraných PAU pod mezí stanovitelnosti (MS) a metodu diagnostických poměrů bylo možné použít jen pro některé z nich. V takovém případě byl pro odhad původu použit poměr mezi sumou nízkomolekulárních a vysokomolekulárních PAU, jejichž koncentrace byly nad mezí stanovitelnosti (∑ LMW / ∑ HMW). Pokud je tento poměr menší než 1, lze usuzovat na pyrogenní původ, v opačném případě na petrogenní původ [21]. Na *obr. 14* je zřejmý rozdíl původu PAU v celkové mokré depozici (bulk) na lokalitě Třebovle, přičemž měsíce netopné sezony jsou seřazeny v levé části grafu a měsíce topné sezony v pravé části grafu. Petrogenní a pyrogenní původ PAU v letních měsících byl téměř vyrovnaný, v chladném období roku převládal pyrogenní původ. V letních měsících byly koncentrace PAU nižší a častěji pod MS, proto bylo možné pro odhad jejich původu použít menší počet vzájemných poměrů jednotlivých PAU. Např. na rozdíl od zimních měsíců byly za období květen až červen 2022 nad MS pouze LMW uhlovodíky, které jsou především petrogenního původu. V grafu na *obr. 15* je zastoupení zdrojů vyjádřeno procentuálně.

Porovnání stejné matrice na výrazně více zatížené lokalitě v Ostravě též shrnuje *obr. 15*. Na rozdíl od Třebovle je zde menší vliv sezony v případě pyrogenních PAU a naopak petrogenní PAU byly přítomny pouze v topné sezoně a v září 2023, které bylo teplotně podnormální. Rozdíly souvisejí s větším průmyslovým zatížením, velikostí aglomerace a pravděpodobně i s častější manipulací s palivy.

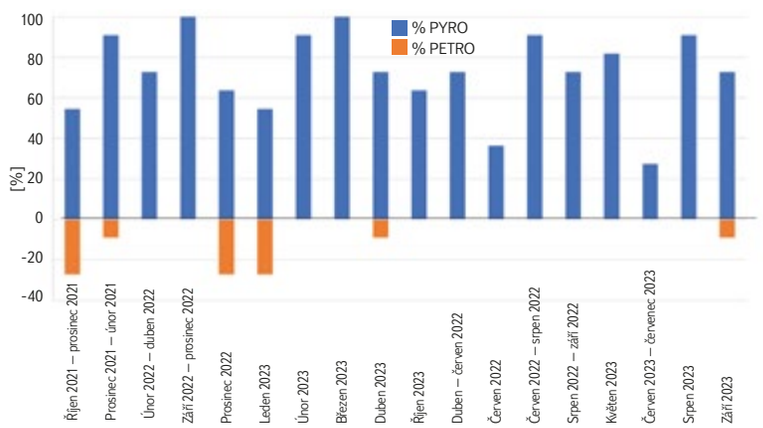
Výsledky získané na základě diagnostických poměrů by měly být interpretovány s opatrností, protože jejich hodnoty se mohou působením environmentálních procesů měnit. Je možné aplikovat korekční faktory, jež zohledňují vliv fyzikálně-chemických vlastností PAU a změny způsobené transportem mezi fázemi a degradací [21]. I s použitím korekčních faktorů jsou však výsledky pouze odhadem.



Obr. 13. Průměrné zastoupení zdrojů PAU ve vybraných matricích
Fig. 13. Average contribution of PAHs sources in selected matrices



Obr. 14. Původ PAU v mokré atmosférické depozici (bulk) na lokalitě Třebovle
Fig. 14. Origin of PAHs in wet atmospheric deposition (bulk) at the Třebovle site



Obr. 15. Původ PAU v mokré atmosférické depozici (bulk) na lokalitě Ostrava
Fig. 15. Origin of PAHs in wet atmospheric deposition (bulk) at the Ostrava site

DISKUZE

Výzkum v pilotním povodí Výrovky a v urbanizovaných oblastech (Ostrava, Praha), zaměřený na analýzu PAU v různých typech matric, poskytl bližší pohled na dynamiku jejich koncentrací v rámci celého kalendářního roku, chování v prostředí a na faktory, které jejich koncentraci ovlivňují.

Atmosférická depozice představuje dominantní cestu vstupu PAU do navazujících složek životního prostředí. Zátěž prostředí vyjádřená spadem na jednotku plochy a rok byla v povodí Výrovky na obou lokalitách Zásmuky a Třebovle srovnatelná (∑ 15PAU 30,548, resp. 31,958 $g \cdot km^{-2} \cdot rok^{-1}$), ačkoli se svým charakterem navzájem lišily (les a zemědělské hospodaření). V Praze v blízkosti páteřní komunikace (areál VÚV TGM podél ulice Podbabská) byl spad 2,5x vyšší než na lokalitách v povodí Výrovky. Byla potvrzena enormní zátěž PAU v městské zástavbě Ostravy, městské části Přívoz (243,5 $g \cdot km^{-2} \cdot rok^{-1}$) v blízkosti koksochemického provozu, který byl od lokality sledování vzdálen cca 800 m severně, přičemž v oblasti převládá západní, jihozápadní a severozápadní proudění větru. Ostrava-Přívoz je tak zatížena spadem PAU více než sedminásobně ve srovnání s venkovskými lokalitami Zásmuky a Třebovle. V případě karcinogenního benzo(a)pyrenu byla pražská lokalita spadem zatížena více než 4x (3,341 $g \cdot km^{-2} \cdot rok^{-1}$) oproti lokalitám v povodí Výrovky, ostravská lokalita více než 17x (14,391 $g \cdot km^{-2} \cdot rok^{-1}$). Podíl spadu benzo(a)pyrenu na celkovém spadu ∑ 15PAU na lokalitách Výrovky činil 2,6 %, v pražské lokalitě 4,5 % a v Ostravě-Přívoze 5,9 %.

Koncentrace PAU byla vyšší v podkorunových srážkách (throughfall) ve srovnání s mokrou depozicí na volné ploše (bulk). To naznačuje, že vegetace – zejména listy a větve stromů – poskytuje povrch pro adsorpci PAU z atmosféry, což bylo potvrzeno na lokalitách Zásmuky a Ostrava-Přívoz, kde podkorunová depozice vykazovala výrazně vyšší koncentrace PAU než celková mokrá depozice. Nicméně v některých případech může být koncentrace PAU vyšší v celkové (bulk) depozici, což může být způsobeno specifickými meteorologickými podmínkami nebo emisními událostmi během odběrové kampaně (potvrzeno na lokalitě Praha-Podbaba v letním období).

Vypočtené bilanční toky PAU mokrou depozicí a povrchovou vodou v povodí Výrovky potvrdily, že větší část spadu těchto látek zůstává v prostředí a do povrchových vod se dostává jen z části erozí, v menší míře pak přímým spadem na vodní plochu. Celkový spad ∑ 15PAU na plochu povodí Výrovky po profil Plaňany byl vypočten na 8,075 až 8,448 $kg \cdot rok^{-1}$, odnos PAU v profilu Výrovka-Plaňany byl výrazně nižší, činil 1,089 $kg \cdot rok^{-1}$. Při srážkoodtokových událostech sice dochází k vzestupu koncentrace PAU v počátečním zvyšování průtoku a při jeho kulminaci, což bylo potvrzeno analýzou a bilancí PAU v plaveninách, tento přírůstek však není tak významný, jak jsme předpokládali. Činil 6,2 g za období 2021 až 2023 a 1,13 g během prvních tří hodin nejvýznamnější přívalové srážky v roce 2022 (38 mm/3 hod. a 50 mm/24 hod.).

Prostorová distribuce obsahu PAU v mechu a humusu dále poukazuje na význam dopravních koridorů a lokálních topenišť. Zvýšené obsahy PAU v okolí komunikací (II/611 a D11) potvrzují, že emise z automobilové dopravy tvoří významný díl příspěvku PAU do životního prostředí, především prostřednictvím prachových částic kontaminovaných neúplným spalováním paliv a otěrem pneumatik.

Pozorované rozdíly mezi jednotlivými roky a sezonami dokumentují nejen vliv lokálních zdrojů, ale i možné zapojení dálkového transportu a epizodických událostí. V roce 2022 byl např. zaznamenán nárůst obsahu PAU v mechu, který lze částečně vysvětlit vlivem kouřové vlečky z požáru v Českosaském Švýcarsku. Tyto skutečnosti podtrhují, že i v relativně málo zatížených oblastech může docházet k výrazným nárůstům koncentrací PAU vlivem regionálních nebo přeshraničních přenosů.

ZÁVĚR

Analýza diagnostických poměrů, sezonní dynamiky a prostorového rozložení ukazuje, že dominantním zdrojem PAU v hodnocených lokalitách jsou pyrogenní procesy, zejména spalování fosilních paliv v lokálních topeništích a průmyslových zdrojích, s významným příspěvkem automobilové dopravy. Petrogenní zdroje hrají pouze doplňkovou úlohu, přesto jejich vliv nelze zcela vyloučit, především v bezprostřední blízkosti komunikací nebo průmyslových areálů. Výsledky potvrzují potřebu kombinovaného přístupu k hodnocení původu PAU, zahrnujícího nejen chemické ukazatele, ale i analýzu emisních scénářů a vlivů dálkového přenosu.

PAU náleží ke všudypřítomným látkám a zvláště v urbanizovaných oblastech představují významné riziko nejen pro vodní prostředí, ale i pro lidské zdraví. V současnosti projednávaná novela směrnice 2008/105/ES navrhuje významné zpřísnění normy environmentální kvality (roční průměr) pro fluoranthen a zavádí přepočet vybraných PAU na ekvivalent rizika benzo(a)pyrenu. Po schválení a transpozici směrnice do národních právních předpisů bude potřeba zavést nové postupy hodnocení chemického stavu útvarů povrchových vod.

Provedený výzkum potvrdil, že atmosférická depozice je významným zdrojem PAU v prostředí, a to zejména v průmyslových oblastech a v blízkosti intenzivní dopravy. Ani v zemědělské krajině však není její vliv bezvýznamný. Zároveň se potvrzuje, že zemský povrch a jeho vlastnosti mají zásadní vliv na zadržení PAU a ochranu vodotečí. Jako přiměřené opatření k dosažení dobrého stavu vod z hlediska PAU se tak kromě žádoucího zvýšení kvality ovzduší nabízí ochrana před erozí a úprava hospodaření se srážkovými vodami.

Nadále však zůstává potřeba podrobnějšího výzkumu a sledování látek PAU v jednotlivých matricích životního prostředí, v atmosférické depozici, větrné erozi, srážkoodtokových epizodách, včetně hodnocení opatření, jež vedou ke snižování jejich emisí.

Poděkování

Tento výzkum byl podpořen grantem Technologické agentury ČR č. SS0203027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda)“.

Literatura

[1] 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, s. 23 429–23 441. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/s11356-019-05464-9

[2] ABDEL-SHAFY, H., MANSOUR, M. S. M. A Review on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Source, Environmental Impact, Effect on Human Health and Remediation. *Egyptian Journal and Petroleum*. 2016, 25(1), s. 107–123. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.011

[3] SÝKORA, F., MIČANÍK, T., SEMERÁDOVÁ, S., SUCHARA, I., VERLÍKOVÁ, N., SUCHAROVÁ, J. Atmospheric Deposition as Possible Source of Surface Water Pollution (Results of the Project, Part. 2 – Polycyclic Aromatic Hydrocarbons). *Water Management Technical and Economical Information Journal*. 2023, 65(4), s. 18–30. ISSN 0322-8916. Dostupné z: https://www.vtei.cz/en/2023/08/atmospheric-deposition-as-a-possible-source-of-surface-water-pollution-results-of-the-project-part-2-polycyclic-aromatic-hydrocarbons/

[4] 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/s11104-004-0265-9

[5] ZHANG, X., JI, H., YAN, L., LIU, J., WANG, S., ZHANG, Z., TAN, C., LI, H., HU, Y. Occurrence and Ecological Risk of PAHs in Urban Road Runoff in Beijing. *Water Science & Technology*. 2024, 89(4), s. 945–961. Dostupné z: https://doi.org/10.2166/wst.2024.035

[6] SKUPINSKA, K., MISIEWICZ, I., KASPRZYCKA-GUTTMAN, T. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Physicochemical Properties, Environmental Appearance and Impact on Living Organisms. *Acta Poloniae Pharmaceutica*. 2004. 61(3), s. 233–240. Dostupné z: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15481250/

[7] RENGARAJAN, T., RAJENDRAN, P., NANDAKUMAR, N., LOKESHKUMAR, B., RAJENNDRAN, P., NISHIGAKI, I. Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons with Special Focus on Cancer. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 2015, 5(3), s. 182–189. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/S2221-1691(15)30003-4

[8] *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*.

[9] *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, ve znění pozdějších předpisů*.

[10] 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

[11] *Evidenční list hlásného profilu č. 60*. Praha: Český hydrometeorologický ústav. Dostupné z: https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=307024

[12] HOLOUBEK, I. *Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs) v prostředí*. Praha: Český ekologický ústav, Odbor environmentálních rizik a monitoringu MŽP ČR, 1996, s. 136. ISBN 800-85087-44-8.

[13] SUCHAROVÁ, J., HOLÁ, M. PAH and PCB Determination of the Concentration Gradient in Moss *Pleurozium Schreberi* Near a Highway, and Seasonal Variability at the Background Reference Site. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2014, 94(7), s. 712–727. Dostupné z: https://doi.org/10.1080/03067319.2014.900675

[14] LASOTA, J., BŁOŃSKA, E. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Content in Contaminated Forest Soils with Different Humus Types. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2018, 229, 204. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/s11270-018-3857-3

[15] SULEJ, A. M., POLKOWSKA, Z., NAMIEŚNIK, J. Contamination of Runoff Water at Gdańsk Airport (Poland) by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Polychlorinated Biphenyls (PCBs). *Sensors*. 2011, 11(12), s. 11 901–11 920. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/s111211901

[16] YUNKER, M. B., MACDONALD, R. W., VINGARZAN, R., MITCHELL, R. H., GOYETTE, D., SYLVESTRE, S. PAHs in the Fraser River Basin: A Critical Appraisal of PAH Ratios as Indicators of PAH Source and Composition. *Organic Geochemistry*. 2002, 33(4), s. 489–515. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/S0146-6380(02)00002-5

[17] UDOFIA, U. A., AMEH, CH., MILLER, E., EKPENYONG, M. S. Investigating the Origin and Tissue Concentration of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Seafood and Health Risk in Niger Delta, Nigeria. *Environmental Science: Processes & Impacts*. 2021. 23, s. 1 803–1 814. Dostupné z: https://doi.org/10.1039/D1EM00249J

[18] STOGIANNIDIS, E., REMI, L. Source Characterization of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Using Their Molecular Indices: An Overview of Possibilities. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. 2015, 234. s. 49–133. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-319-10638-0_2

[19] ELEREN, C. S., TASDEMIR, Y. Usage of Needle and Branches in the Applications of Bioindicator, Source Apportionment and Risk Assessment of PAHs. *Atmosphere*. 2022, 13(11), 1938. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/atmos13111938

[20] ZHANG, W., ZHANG, S., WAN, C., YUE, D., YE, Y., WANG, X. Source Diagnostics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Road Runoff, Dust, Rain and Canopy Throughfall. *Environmental Pollution*. 2008, 153(3), s. 594–601. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.09.004

[21] TOBISZEWSKI, M., NAMIEŚNIK, J. PAH Diagnostic Rations for the Identification of Pollution Emission Sources. *Environmental Pollution*. 2012, 162, s. 110–119. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.10.025

Autoři

Ing. František Sýkora[1]
✉ frantisek.sykora@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-1003-0935

Mgr. Silvie Semerádová[1]
✉ silvie.semeradova@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-6633-9424

Mgr. Vít Kodeš, Ph.D.[2]
✉ vit.kodes@chmi.cz
ORCID: 0000-0003-9637-6237

Ing. Julie Sucharová, Ph.D.[3]
✉ julie.sucharova@vuk.gov.cz
ORCID: 0000-0002-1370-6681

Ing. Nikola Verlíková[1]
✉ nikola.verlikova@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-4323-3579

Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.[1]
✉ tomas.micanik@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-5867-0985

Ing. Hedvika Roztočilová[2,4]
✉ hedvika.roztocilova@chmi.cz
ORCID: 0000-0002-8198-4894

[1]Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha a Ostrava (Česká republika)
[2]Český hydrometeorologický ústav, Praha (Česká republika)
[3]Výzkumný ústav pro krajinu, Průhonice (Česká republika)
[4]Vysoká škola chemicko-technologická v Praze (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.11.004

ISSN 0322-8916/© 2026 Autoři. Tuto práci je kdokoli oprávněn šířit a využívat za podmínek licence CC BY-NC 4.0

ATMOSPHERIC DEPOSITION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN THE PILOT CATCHMENT AREA OF VÝROVKA AND URBAN AREAS OF PRAGUE AND OSTRAVA

SÝKORA, F.[1]; SEMERÁDOVÁ, S.[1]; KODEŠ, V.[2]; SUCHAROVÁ, J.[3]; VERLÍKOVÁ, N.[1]; MIČANÍK, T.[1]; ROZTOČILOVÁ, H.[2]

[1]T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague and Ostrava (Czech Republic)
[2]Czech Hydrometeorological Institute, Prague (Czech Republic)
[3]Research Institute for Landscape, Průhonice (Czech Republic)
[4]University of Chemistry and Technology, Prague (Czech Republic)

Keywords: atmospheric deposition — polycyclic aromatic hydrocarbons — pollution — fingerprinting

Atmospheric deposition is the most significant source of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) emissions. This is because combustion processes are the predominant source of these emissions. Through deposition, PAHs reach the Earth's surface and are washed into surface waters. Although the state and the private sector have implemented a number of measures in recent decades to reduce emissions, not only from large sources of pollution but also from households (local heating sources), these substances continue to have a significant impact on the aquatic environment. Selected PAHs are included in the list of priority substances due to their proven adverse effects on aquatic organisms and human health, and strict environmental quality standards have been set for them in surface water and biota matrices. This is the reason why most surface water bodies do not achieve good chemical status according to the Water Framework Directive 2000/60/EC. Research in the Výrovka river basin (tributary of the Elbe river) comprehensively addressed PAHs pollution in relevant water environment matrices and in Schreber's moss (*Pleurozium schreberi*), which is a suitable indicator of air pollution. At the same time, PAH emissions in wet deposition in selected urban locations were monitored for comparison. The ratio of individual PAHs to each other was used to assess the degree of petrogenic and pyrogenic origin in the individual matrices monitored, known as fingerprinting.

Foto: 123rf.com

Environmentální cíle a limity vodního prostředí pro raka kamenáče

HANA JANOVSKÁ, JITKA SVOBODOVÁ, PAVEL ROSENDORF, PAVEL VLACH

Klíčová slova: rak kamenáč — jakost vody — environmentální cíle — imisní limity pro lososové vody

ABSTRAKT

Rak kamenáč (*Austropotamobius torrentium*) je kriticky ohroženým druhem Červeného seznamu bezobratlých ČR, kriticky ohroženým druhem dle vyhlášky č. 395/1992 Sb., a prioritním druhem podle Směrnice Rady 92/43/EHS o ochraně přírodních stanovišť, volně žijících živočichů a planě rostoucích rostlin. Obecně se předpokládá, že rak kamenáč vyžaduje jakost vody, která splňuje alespoň cílové imisní limity pro lososové vody podle nařízení vlády č. 71/2003 Sb., ve znění pozdějších předpisů, potažmo podle nařízení vlády č. 401/2015 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Stabilní a početné populace raka kamenáče vyžadují, aby jakost vody odpovídala přísněji nastaveným environmentálním cílům, a to jak ve vztahu k limitním hodnotám, tak k šíři sledovaných parametrů. Pro jejich stanovení bylo vybráno celkem 14 neovlivněných či mírně antropogenně ovlivněných lokalit s potvrzeným současným výskytem raka kamenáče nebo historickým výskytem, kde k jeho vymizení došlo zřejmě vlivem račího moru. Tyto lokality byly vzorkovány jednou měsíčně v průběhu jednoho roku. S pomocí analýzy hlavních koordinát (PCO) a nemetrického multidimenzionálního škálování (NMDS) se zkoumané lokality v ordinačním prostoru oddělily na základě parametru $KNK_{4,5}$ (s dělicím kritériem ročního mediánu 2 mmol/l) a s ním těsně korelujících ukazatelů (vápník, hořčík, vodivost) na dvě skupiny s odlišnými podmínkami prostředí. Nastavení environmentálních cílů bylo proto provedeno pro tyto dvě skupiny lokalit samostatně. Pro lokality s nízkou kyselinovou neutralizační kapacitou (< 2 mmol/l) jsou environmentální cíle nastaveny přísněji pro parametry ukazující na míru znečištění. Pro obě skupiny lokalit platí, že některé požadované environmentální cíle jsou výrazně přísnější (např. roční medián BSK_5 = 1,2 mg/l), než je limit vyžadovaný pro hodnocení vodních útvarů dle Rámcové směrnice o vodách (2000/60/ES, dle typu vod od 1,5 mg/l po 2,5 mg/l). Stejně tak jsou environmentální cíle u některých parametrů nastaveny přísněji než limity dle nařízení vlády č. 71/2003 Sb., i když přímé srovnání mediánu a C_{95} není možné. U parametrů, jejichž hodnoty ve vodním prostředí přirozeně kolísají, považujeme za důležité k hodnocení stavu lokalit používat jako charakteristickou hodnotu především medián, a nehodnotit tak výkyvy naměřených hodnot, jež nejsou pro výskyt raka kamenáče limitující (např. BSK_5). Minima a maxima je naopak smysluplné použít u parametrů, kde by pro raka mohlo být ohrožující i jednorázové překročení stanoveného limitu (např. pH, toxický volný amoniak), případně pro zachycení havárií apod.

ÚVOD

Rak kamenáč (*Austropotamobius torrentium*) je kriticky ohroženým druhem Červeného seznamu bezobratlých ČR [1] a současně kriticky ohroženým druhem podle vyhlášky č. 395/1992 Sb. [2]. Na úrovni Evropské unie je rak kamenáč chráněn jako prioritní druh, uvedený ve Směrnici Rady 92/43/EHS o ochraně přírodních stanovišť, volně žijících živočichů a planě rostoucích rostlin [3]. Pro zajištění ochrany raka kamenáče v České republice bylo vyhlášeno 13 nejcennějších lokalit, které byly zařazeny do soustavy Natura 2000 jako evropsky významné lokality (dále jen EVL) [4]. Přehled těchto EVL s jejich základními charakteristikami je uveden v *tab. 1*. Vzhledem k tomu, že cíleným monitoringem byly nalezeny postupně další lokality s rakem kamenáčem (k roku 2024 bylo evidováno dalších 32 lokalit), ukázalo se, že pouze vyhlášení původních EVL je pro ochranu raka kamenáče nedostatečné. Za účelem maximální ochrany raka kamenáče v jeho lokalitách výskytu byl v roce 2024 schválen záchranný program, který mimo jiné vymezuje podmínky vodního prostředí nezbytné pro dlouhodobé přežívání druhu. Záchranné programy zaměřené na zachování ohrožených druhů jsou oblíbeným nástrojem, stále častěji používaným u nás i v zahraničí [5]. Výhodou záchranných programů je i to, že ochrana jednoho konkrétního druhu má pozitivní vliv i na ostatní druhy obývající stejný biotop – jde o koncept ochrany deštníkového druhu s pozitivním vlivem na celý ekosystém [6].

Rak kamenáč patří k největším bezobratlým živočichům v tekoucích, ale i ve stojatých vodách. Jako ostatní raci patří k všežravým živočichům se širokým spektrem přijímané potravy. Ve sladkovodních ekosystémech proto hraje důležitou roli v koloběhu živin drcením a zpracováním organické hmoty, kterou tímto zpřístupňuje dalším organismům [7, 8]. Rak kamenáč patří k našim původním rakům. Jeho původní areál rozšíření v České republice (ČR) nelze přesně popsat, neboť postupné odhalování jeho výskytu probíhá až do současnosti a původní osídlení již není možné zrekonstruovat. Aktuální výskyt raka kamenáče je situován do středních, severních a západních Čech společně s jednou izolovanou populací, jež se vyskytuje v Podkrkonoší [9]. Obývá mírně meandrující přírodní toky protékající smíšenými lesy, na nichž se střídají rychle proudící úseky s pomalejšími úseky tvořícími tůně. Dno vodního toku většinou tvoří kameny nebo hrubozrnný substrát. Jeho výskyt je ovlivňován nejen stavem lokality z hlediska hydromorfologického a z hlediska kvality vodního prostředí [4, 10], ale i výskytem nepůvodních druhů raků, kteří jsou přenašeči račího moru. Původcem račího moru je plísni podobný mikroskopický patogen *Aphanomyces astaci* patřící k jedné z nejvážnějších hrozeb, která naše raky ohrožuje. Další hrozbou pro raka kamenáče je ztráta úkrytových možností, a to jak obsazením invazními druhy (i nenakaženými), tak nešetrnou úpravou vodních toků, zanášením úkrytů jemnozrnným materiálem ze zemědělských ploch i rybníků a vyplaveným kalem z čistíren odpadních vod. V poslední době se k negativním vlivům přidala klimatická změna a s ní často spojené vysychání vodních toků [11]. Dalším významným negativním vlivem mohou být např. pesticidy pocházející ze zemědělství či z aplikace v průmyslových odvětvích, které se při neodborném použití dostávají do vodních toků [12].

Rak kamenáč patří mezi vodní živočichy, kteří jsou závislí na vysoké kvalitě celého ekosystému. Dříve byl považován za lepší bioindikátor jakosti vod, než je

Tab. 1. Přehled vyhlášených evropsky významných lokalit na území České republiky, kde je předmětem ochrany rak kamenáč (zdroj: Portál informačního systému ochrany přírody AOPK ČR)
Tab. 1. Overview of designated Special Areas of Conservation in the Czech Republic where the stone crayfish is listed as a species of conservation interest (source: Nature Conservation Information System Portal, NCA CR)

Název EVL	Kód Natura 2000	Kraj	Rozloha [ha]	Orgán ochrany přírody
Bezejmenný přítok Trojhorského potoka	CZ0423198	Ústecký	1,95	AOPK ČR – RP SCHKO České středohoří
Bradava	CZ0323145	Plzeňský	25,63	Krajský úřad Plzeňského kraje, AOPK ČR – RP Střední Čechy
Huníkovský potok	CZ0423001	Ústecký	4,26	AOPK ČR – RP SCHKO České středohoří
Luční potok – Třebušín	CZ0423219	Ústecký	0,66	AOPK ČR – RP SCHKO České středohoří
Luční potok v Podkrkonoší	CZ0523823	Královéhradecký	5,69	Krajský úřad Královéhradeckého kraje
Mešenský potok	CZ0323156	Plzeňský	1,04	Krajský úřad Plzeňského kraje, AOPK ČR – RP Střední Čechy
Padrťsko	CZ0214042	Plzeňský, Středočeský	829,9	AOPK ČR – RP Střední Čechy
Přešínský potok	CZ0323161	Plzeňský	1,33	Krajský úřad Plzeňského kraje
Radbuza – Nový Dvůr – Pila	CZ0323166	Plzeňský	11,20	AOPK ČR – RP SCHKO Český les
Stroupínský potok	CZ0214039	Středočeský	5,94	Krajský úřad Středočeského kraje, AOPK ČR – RP Střední Čechy
Týřov – Oupořský potok	CZ0214011	Středočeský	1 341,2	AOPK ČR – RP Střední Čechy
Zákolanský potok	CZ0213016	Středočeský	10,10	Krajský úřad Středočeského kraje
Zlatý potok	CZ0323170	Plzeňský	1,87	Krajský úřad Plzeňského kraje

rak říční [13], další z našich původních druhů raků. Poslední výzkumy však ukazují, že nároky na jakost vody u obou druhů jsou přibližně stejné [14]. Platí ale, že na lokalitách, kde se nachází stabilní populace raka kamenáče ve vysoké abundanci, je celková kvalita ekosystému na vysoké úrovni, a to včetně jakosti vody [9].

Výzkum nároků raka kamenáče na jakost vody byl v ČR zahájen po roce 2000. První studie se zaměřily na průzkum známých lokalit s výskytem raka kamenáče, kde probíhal monitoring jakosti vody, tedy i na lokality, kde početnost raků byla velmi nízká a kvalita vody špatná. Na části lokalit probíhal dlouhodobější monitoring, ale na většině ostatních toků byly odebrány pouze dva vzorky za rok [15]. Data shromážděná AOPK ČR a VÚV TGM v rámci těchto studií v letech 2006–2010 se stala základem pro nastavení prvních limitních hodnot vodního prostředí pro výskyt raka kamenáče [4, 14, 16, 17]. Z důvodu, aby byla eliminována data, jež reprezentují lokality nepříznivé pro dlouhodobější život raka kamenáče, byly ze souboru dat vyřazeny lokality s dlouhodobě sníženou jakostí vody, postižené epizodickými haváriemi, nebo lokality, kde byla data získána těsně před nebo během úhynu raků. Z původních lokalit bylo vybráno 19 lokalit s rakem kamenáčem, ve kterých byly spočítány pro nejdůležitější ukazatele jakosti vody průměrné hodnoty a mezikvartilové rozpětí [4, 14, 16]. Získané výsledky byly porovnány s platnou legislativou, především s nařízením vlády č. 71/2003 Sb., o stanovení povrchových vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů a o zjišťování a hodnocení stavu jakosti těchto vod [18], ve znění pozdějších předpisů. Vypočítané hodnoty se nejvíce blížily cílovým imisním limitům pro lososové vody (*tab. 2*), proto byly tyto limity z nařízení vlády použity i v Záchranném programu pro raka kamenáče jako závazné limity. Limity pro lososové vody jsou sekundárně uvedeny i v 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 [19], ve znění pozdějších předpisů.

Jak se v průběhu dalších výzkumů ukázalo, nároky raka kamenáče sice vyžadují jakost vody, která splňuje alespoň cílové imisní limity pro lososové vody [9, 16, 17], nicméně aby populace raků byla stabilní s vysokou abundancí, měla by jakost vody směřovat k přísnějším environmentálním cílům jak z pohledu limitů, tak z pohledu rozsahu parametrů. Takové environmentální cíle byly nově stanoveny v rámci projektu TA ČR Beta 2 č. TITSMZP701 *„Metodika hodnocení stavu chráněných území vymezených dle Rámcové směrnice o vodách pro ochranu stanovišť nebo druhů"*, ve kterém byly využity předchozí rozsáhlé datové soubory a informace z referenčních a dalších lokalit, získané v rámci několika výzkumných projektů VÚV TGM [11]. Ty byly v rámci projektu TA ČR Beta 2 doplněny o dvě pilotní lokality (Chejlava a Hůrecký potok), na nichž probíhal monitoring v měsíčním intervalu od listopadu 2018 do října 2019. Na základě těchto dat a jejich vyhodnocení byly nastaveny environmentální cíle pro sadu ukazatelů, které jsou uvedeny v *tab. 3* [20]. Environmentální cíle byly nastaveny jako roční mediány ze 12 hodnot, případně jako maximální nebo minimální cílové hodnoty v závislosti na typu hodnoceného ukazatele a vztahu k typu a charakteru znečištění.

Tab. 2. Imisní limity z nařízení vlády č. 71/2003 Sb. [18], a imisní limity z nařízení vlády č. 401/2015 Sb. [19], pro lososové vody. Při hodnocení jakosti vody podle nařízení vlády č. 71/2003 Sb., se vypočítá 95. percentil (C_{95}), pokud je k dispozici 12 a více hodnot. Při menším množství dat se použije maximální hodnota. Při hodnocení podle nařízení vlády č. 401/2015 Sb., se vypočítá roční průměr s výjimkou ukazatele teplota, kde se použije maximum

Tab. 2. Immission limits set by Government Regulation No. 71/2003 Coll. [18] and by Government Regulation No. 401/2015 Coll. [19] for salmonid waters. When assessing according to Regulation No. 71/2003 Coll., the 95th percentile (C95) is calculated if 12 or more values are available. If fewer data are available, the maximum value is used. When assessing according to Regulation No. 401/2015 Coll., the annual average is calculated, except for the temperature parameter, where the maximum value is applied

Ukazatel	Jednotka	Nařízení vlády č. 71/2003 Sb.		Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.
		Cílové hodnoty C_{95}	Přípustné hodnoty C_{95}	Průměr
Teplota	[°C]		21,5 (maximum)	29 (maximum)
Rozpuštěný kyslík	[mg/l]	9 (medián) 7 (minimum)	9 (medián)	> 9
BSK_5	[mg/l]	3		1,8
pH	[pH]		6–9	5–9
Nerozpuštěné látky	[mg/l]	25 (průměr)		20
Amonné ionty (NH_4^+)	[mg/l]	0,04	1	0,038
$N\text{-}NH_4$	[mg/l]	0,03		0,03
Volný amoniak (NH_3)	[mg/l]	0,005	0,025	
Dusitany (NO_2^-)	[mg/l]	0,6		0,26
$N\text{-}NO_2$	[mg/l]	0,18		0,08
$N\text{-}NO_3$	[mg/l]			5,4
Chloridy	[mg/l]			150
Rozpuštěná měď (Cu)	[mg/l]	0,04*		
Celkový chlor – jako HClO	[mg/l]		0,005	
Celkový zinek (Zn)	[mg/l]		0,3*	
Celkový fosfor	[mg/l]			0,05
$CHSK_{Cr}$	[mg/l]			26
Celkový organický uhlík	[mg/l]			10
Celkový dusík	[mg/l]			6
Rozpuštěné látky sušené	[mg/l]			750
Rozpuštěné látky žíhané	[mg/l]			470
Sírany	[mg/l]			200
Hořčík	[mg/l]			120
Vápník	[mg/l]			190

Pozn.: * Cílová hodnota se mění v závislosti na celkové tvrdosti vody na lokalitě; podrobnosti viz nařízení vlády č. 71/2003 Sb.

Tab. 3. Environmentální cíle pro ukazatele kvality vodního prostředí pro raka kamenáče podle metodiky hodnocení stavu chráněných území [20]
Tab. 3. Environmental objectives for aquatic environment quality indicators for the stone crayfish according to the methodology for assessing the conservation status of protected areas [20]

Ukazatel	Jednotka	Charakteristická hodnota		
		Medián	Maximum	Minimum
Teplota vody	[°C]	9,5	21,5	
Rozpuštěný kyslík	[mg/l]			7
Nasycení vody O_2	[%]		110	80
BSK_5	[mg/l]	1		
Elektrická vodivost	[µS/cm]	500		
pH		7,8	8,4	7
$KNK_{4,5}$	[mmol/l]	4		0,5
Celkový fosfor	[mg/l]	0,07		
PO_4-P	[mg/l]	0,05		
NO_3-N	[mg/l]	2,2		
NH_4-N	[mg/l]	0,035		
Chloridy	[mg/l]	17		
Vápník	[mg/l]	55		18
NO_2-N	[mg/l]	0,01		
Volný amoniak*	[mg/l]	0,0007		
NL_{105}	[mg/l]	3		
Železo celkové	[mg/l]	0,13		

Pozn.: * Hodnota pro volný amoniak se stanoví výpočtem z hodnot pro NH_4^+, teplotu vody a pH.

I takto nastavené environmentální cíle však vykazovaly nižší spolehlivost, protože většina podkladových dat z monitoringu neobsahovala celoroční sledování. Proto byla v rámci výzkumného projektu č. SS02030027 *„Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda)“* provedena monitorovací kampaň na referenčních a nejlepších dostupných lokalitách s prokázaným současným nebo historickým výskytem raka kamenáče. Získaná data se stala základem pro nastavení revidovaných environmentálních cílů. Postup sběru, vyhodnocení dat, nové nastavení environmentálních cílů a jejich srovnání s dříve používanými limitními hodnotami je předmětem tohoto článku.

METODIKA

Zpřesnění environmentálních cílů ukazatelů vodního prostředí pro lokality s výskytem raka kamenáče bylo zahájeno výběrem vhodných referenčních lokalit. Na základě dostupných informací o současném i historickém výskytu raka kamenáče a dříve měřených hodnot fyzikálně-chemických ukazatelů ve vodních tocích byly vytipovány vhodné profily pro monitoring. Na území ČR bylo vybráno celkem 14 referenčních nebo mírně antropogenně ovlivněných lokalit, kde byl potvrzen v současnosti nebo v minulosti výskyt stabilních populací raka kamenáče. Na některých z těchto lokalit v současnosti rak kamenáč přítomen není. Vymizení bylo způsobeno račím morem, nikoli vlivem znečištění nebo havárií. Přehled monitorovaných lokalit je uveden v *tab. 4* a na *obr. 1*.

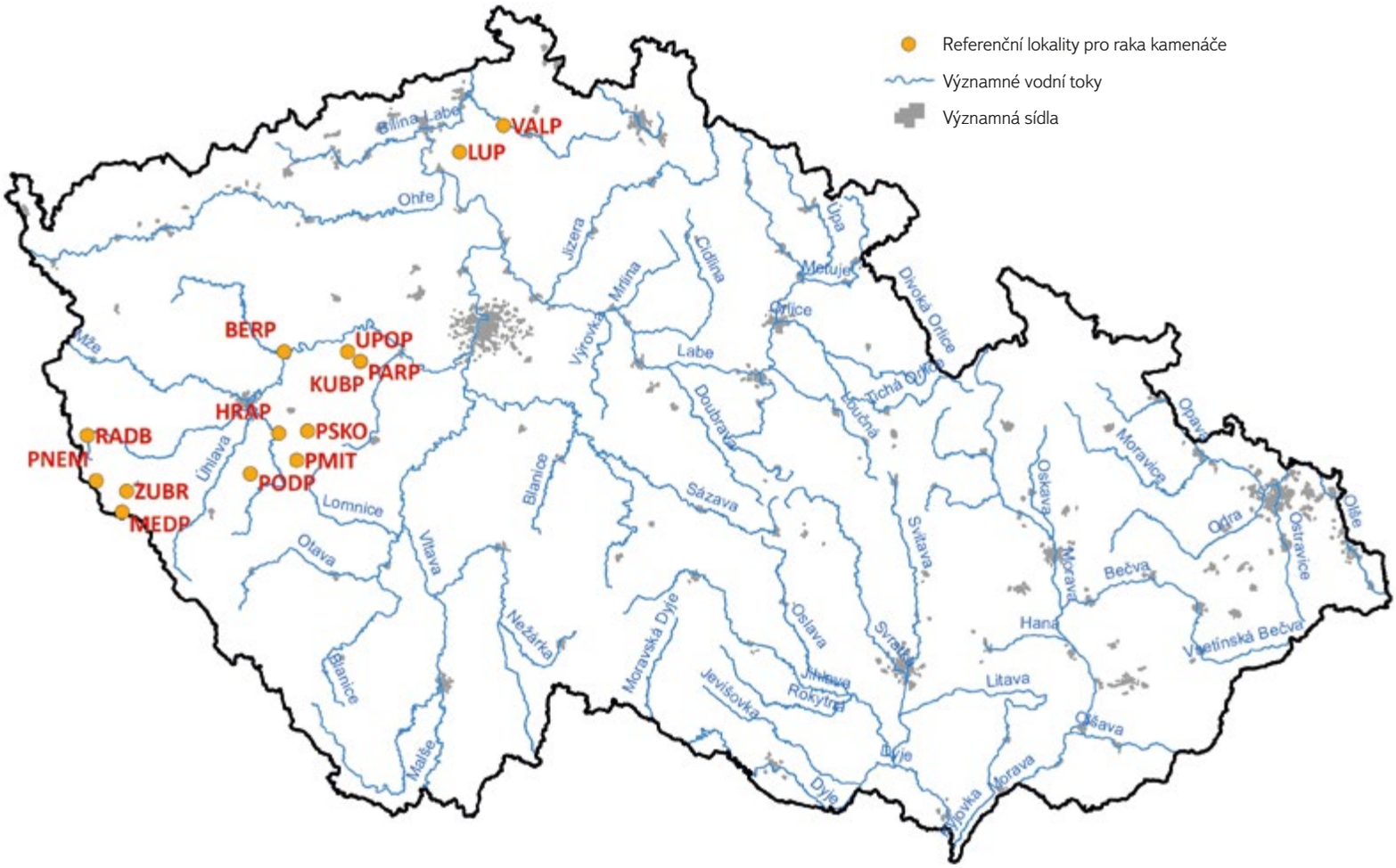
Tab. 4. Přehled referenčních a nejlepších dostupných lokalit pro raka kamenáče použitých pro nastavení nových environmentálních cílů
Tab. 4. Overview of reference and best available sites for the stone crayfish used for establishing new environmental objectives

Kód lokality	Vodní tok	Výskyt raka kamenáče v období odběru vzorků	Nadmořská výška [m n. m.]	Řád vodního toku (Strahler)	Plocha povodí [km²]	Sklon [‰]	Vzdálenost od pramene [km]
BERP	Bertinský potok	ANO	303,1	1	5,21	21,6	4,79
HRAP	Hrádecký potok	NE	375,3	2	11,77	16,7	4,70
KUBP	Kublovský potok	NE	335,4	2	15,11	26,6	6,69
LUP	Luční potok	ANO	303,9	3	4,17	50,0	2,80
MEDP	Medvědí potok	NE	465,8	3	5,04	17,5	2,70
PARP	Pařezový potok	NE	334,4	2	5,45	24,5	3,94
PMIT	Přítok Mítovského potoka	ANO	503,1	1	4,60	55,0	1,96
PNEM	Přítok Nemanického potoka	ANO	548,7	2	1,53	69,5	1,51
PODP	Podhrázský potok	ANO	474,1	1	4,89	27,2	2,31
PSKO	Přítok Skořického potoka	ANO	460,1	2	2,65	33,7	2,59
RADB	Radbuza	ANO	474,6	4	31,15	14,2	10,81
UPOP	Úpořský potok	NE	423,9	1	9,19	29,0	3,39
VALP	Valdecký potok	ANO	245,4	2	8,16	12,5	3,88
ZUBR	Zubřina	ANO	461,8	2	11,67	10,8	5,00

Vybrané lokality byly monitorovány v měsíčním intervalu od července 2021 do června 2022. Na lokalitách byl pomocí terénní multimetrické sondy HQ40d multi (HACH-LANGE) měřen rozpuštěný kyslík a jeho nasycení, pH, vodivost a teplota vody a byl zaznamenáván odhad aktuálního průtoku. Zároveň byl odebrán prostý vzorek vody z proudnice pro stanovení dalších fyzikálně-chemických parametrů (BSK_5, chloridy, sírany, amoniakální dusík, dusičnanový dusík a dusitanový dusík, dusičnany a dusitany, fosforečnanový fosfor, celkový fosfor a fosforečnany, nerozpuštěné látky, kyselinová neutralizační kapacita $KNK_{4,5}$, vápník, hořčík, železo, amonný iont). Součástí výběru ukazatelů byly i parametry vodního prostředí, jejichž vztah k výskytu raka kamenáče na lokalitách nebyl dosud v literatuře zdokumentován. Tyto ukazatele (např. železo, hořčík, sírany) byly do sledování zařazeny s cílem prověřit jejich případný význam. Odebrané vzorky byly chlazeny a transportovány do VÚV TGM v Praze, kde proběhly analýzy v akreditované laboratoři.

Získaná data byla zpracována pomocí softwaru Canoco 5. Využita byla analýza hlavních koordinát (PCO), která v ordinačním prostoru zobrazí vzorky tak, že ty podobné jsou blízko sebe a nepodobné vzorky jsou vzdálené. Pro přehlednější zobrazení bylo použito i nemetrické multidimenzionální škálování (NMDS), jež nezachovává vzdálenosti mezi objekty (vzorky), ale co nejvěrohodněji reprezentuje pozici objektů n-rozměrného prostoru v dvojrozměrném zobrazení a prostřednictvím zachování pořadových vztahů mezi objekty tak vykresluje vzdálené objekty daleko od sebe a blízké objekty blízko sebe. Pro další návazné analýzy skupin lokalit získaných při testování pomocí softwaru Canoco 5 byl – vzhledem k normálnímu rozdělení naměřených dat – použit dvouvýběrový T test, který srovnává dva nezávislé soubory s různým rozptylem.

Získané výsledky byly dále porovnány s limitními hodnotami uvedenými v nařízení vlády č. 71/2003 Sb. [18], a nařízení vlády č. 401/2015 Sb. [19], a také s environmentálními cíli používanými pro hodnocení všeobecných



Obr. 1. Lokalizace vzorkovaných lokalit pro nastavení environmentálních cílů raka kamenáče. BERP – Bertinský p., HRAP – Hrádecký p., KUBP – Kublovský p., LUP – Luční p., MEDP – Medvědí p., PARP – Pařezový p., PMIT – přítok Mítovského p., PNEM – přítok Nemanického p., PODP – Podhrázský p., PSKO – přítok Skořického p., RADB – Radbuza, UPOP – Úpořský p., VALP – Valdecký p., ZUBR – Zubřina

Fig. 1. Location of sampled sites for establishing environmental objectives for the stone crayfish. BERP – Bertinský stream, HRAP – Hrádecký stream, KUBP – Kublovský stream, LUP – Luční stream, MEDP – Medvědí stream, PARP – Pařezový stream, PMIT – Mítovský stream tributary, PNEM – Nemanický stream tributary, PODP – Podhrázský stream, PSKO – Skořický stream tributary, RADB – Radbuza river, UPOP – Úpořský stream, VALP – Valdecký stream, ZUBR – Zubřina river

fyzikálně-chemických složek ekologického stavu vodních útvarů [21] a cíli pro hodnocení stavu předmětů ochrany EVL [20]. Je nutné mít na zřeteli, že jednotlivé legislativní rámce používají rozdílné charakteristické hodnoty – v nařízení vlády č. 71/2003 Sb., je hodnocení založeno převážně na 95. percentilu, v nařízení vlády č. 401/2015 Sb., na ročním průměru, zatímco environmentální cíle pro raka kamenáče byly stanoveny na základě ročního mediánu, případně minima či maxima. Tyto odlišnosti metodik byly zohledněny při porovnávání výsledků.

VÝSLEDKY

Získané výsledky analýz vzorků a výsledky terénních měření na všech 14 lokalitách byly vyhodnoceny a byly pro ně zpracovány základní charakteristiky (medián, minimum a maximum). Výsledky shrnuje *tab. 5*.

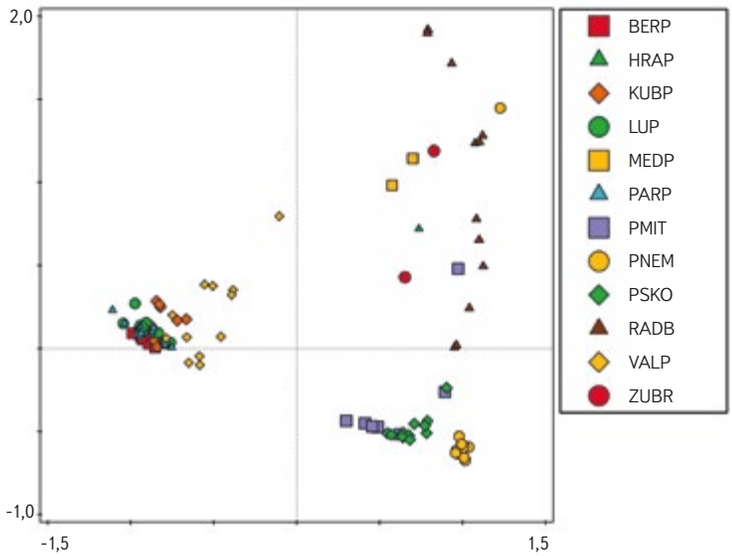
Z výsledků analýzy hlavních koordinát (PCO, *obr. 2*) a nemetrického multidimenzionálního škálování (NMDS, *obr. 3*) vyplynulo, že 14 hodnocených lokalit tvoří v ordinačním prostoru dva jasně oddělené shluky. Analýza PCO vysvětlila 75,3 % variability dat (osa 1 = 50,6 %, osa 2 = 22,6 %), přičemž nejvýznamnější environmentální proměnné korelovaly s první a druhou osou hodnotami r = 0,98 a 0,88. Analýza NMDS poskytla obdobné výsledky a vysvětlila 89 % variability dat (osa 1 = 62,6 %, osa 2 = 31,4 %), přičemž korelace environmentálních proměnných s prvními dvěma osami dosahovala r = 0,98 a 0,94. V grafu PCO jsou zobrazeny vzorky s nejvyšší vahou odpovídající prvním dvěma osám; vzorky z Podhrázského a Úpořského potoka nejsou uvedeny, jelikož se promítají až podél třetí osy. Obě ordinační metody ukázaly shodnou strukturu – pět lokalit (skupina 1) se vyděluje ve směru parametrů $KNK_{4,5}$, elektrické vodivosti a souvisejících ukazatelů, zatímco zbývajících devět lokalit tvoří méně kompaktní shluk. Roztažení této skupiny ve vertikálním směru je dáno zejména výrazně vyšším průtokem Radbuzy oproti ostatním, převážně drobným vodním tokům.

Tab. 5. Medián a naměřené hodnoty minima a maxima pro jednotlivé ukazatele na lokalitách raka kamenáče
Tab. 5. Median and measured minimum and maximum values for individual indicators at stone crayfish sites

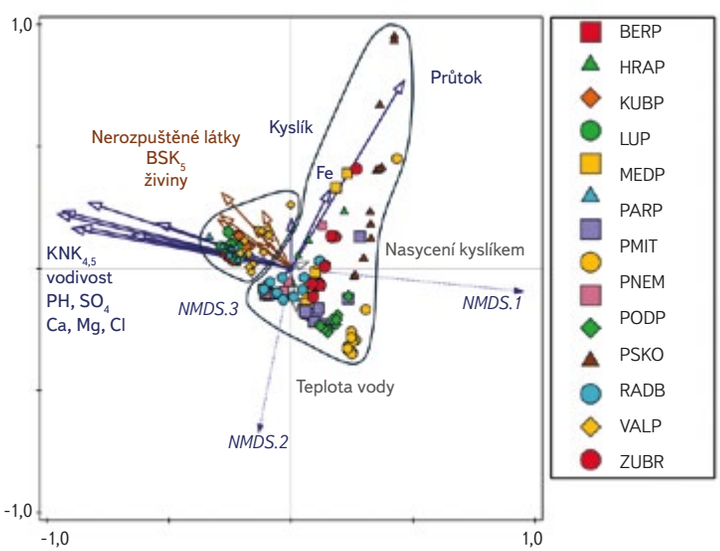
	Kód profilu	Vápník	Teplota vody	Rozpuštěný kyslík	Nasycení vody kyslíkem	BSK_5	Elektrická vodivost	pH	$KNK_{4,5}$	Celkový fosfor	PO_4-P	NO_3-N	NH_4-N	Chloridy	NO_2-N	Volný amoniak	NL105	Železo celkové
		[mg/l]	[°C]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[µS/cm]		[mmol/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Mediány	BERP	63,85	8,8	10,34	88,86	0,77	520,0	8,24	3,00	0,032	0,011	2,705	0,014	28,60	0,004	0,00043	6,2	0,13
	PARP	56,75	8,1	10,20	86,24	1,43	533,5	8,24	4,71	0,072	0,022	0,583	0,029	10,55	0,003	0,00093	20,0	0,19
	KUBP	51,80	7,4	10,47	87,95	1,11	507,0	8,15	3,49	0,256	0,209	4,110	0,020	23,00	0,007	0,00075	5,2	0,07
	LUP	65,30	8,2	10,65	87,84	1,17	520,0	8,16	3,35	0,062	0,016	1,275	0,015	9,85	0,005	0,00052	31,5	0,56
	VALP	48,45	6,1	10,45	84,33	1,26	384,0	7,97	2,54	0,085	0,041	1,195	0,040	10,09	0,013	0,00082	14,0	0,61
	HRAP	25,40	9,0	10,03	88,98	1,52	247,0	8,08	1,75	0,040	0,008	1,335	0,013	6,30	0,007	0,00039	4,0	0,27
	MEDP	15,70	10,0	9,74	87,84	1,07	186,8	7,75	0,72	0,040	0,011	3,830	0,022	12,20	0,009	0,00026	5,2	0,48
	PMIT	12,10	9,5	9,97	87,41	0,74	160,5	7,92	0,83	0,030	0,010	0,895	0,009	8,71	0,002	0,00019	5,2	0,13
	PNEM	4,35	9,3	9,81	86,69	0,81	62,2	7,51	0,23	0,019	0,005	0,758	0,008	1,73	0,001	0,00004	3,8	0,16
	PODP	29,75	8,9	9,13	83,15	1,04	306,5	7,82	2,02	0,061	0,020	2,880	0,018	18,30	0,009	0,00029	7,4	0,34
	PSKO	12,35	8,8	10,00	87,56	0,69	126,0	7,87	0,93	0,015	0,005	0,630	0,007	3,44	0,002	0,00013	1,4	0,15
	RADB	8,26	9,4	10,17	88,33	1,05	95,8	7,83	0,57	0,049	0,019	0,729	0,019	2,89	0,004	0,00020	5,8	0,82
	UPOP	23,70	8,2	10,27	85,41	0,98	248,5	7,86	1,21	0,028	0,008	0,614	0,015	7,53	0,002	0,00024	3,2	0,07
	ZUBR	15,70	10,0	9,56	85,32	1,76	172,9	7,81	0,86	0,080	0,014	2,355	0,032	6,63	0,014	0,00051	11,4	0,66
Minima	BERP	58,30	0,4	9,42	85,64	0,48	478,0	7,95	2,49	0,011	0,003	1,650	0,001	27,20	0,002	0,00008	1,2	0,04
	PARP	47,00	0,1	8,79	80,53	0,79	454,0	8,07	3,84	0,028	0,005	0,014	0,006	6,69	0,002	0,00028	5,6	0,04
	KUBP	48,50	0,2	9,32	83,19	0,50	460,0	7,97	2,51	0,160	0,129	3,010	0,006	19,20	0,002	0,00012	0,8	0,02
	LUP	53,00	0,8	7,24	70,76	0,70	409,0	7,37	2,77	0,016	0,005	1,010	0,007	7,73	0,002	0,00015	5,2	0,07
	VALP	34,40	0,8	7,60	73,26	0,80	295,0	6,99	1,23	0,032	0,016	0,643	0,014	6,25	0,003	0,00021	2,0	0,28
	HRAP	14,40	1,4	8,52	84,68	0,50	151,3	7,66	0,62	0,014	0,004	0,228	0,008	3,90	0,001	0,00016	0,4	0,11
	MEDP	14,40	1,7	8,32	81,72	0,50	168,9	7,40	0,43	0,020	0,007	2,940	0,010	11,40	0,003	0,00010	2,0	0,24
	PMIT	5,50	2,6	8,85	82,50	0,50	95,8	7,50	0,17	0,017	0,006	0,244	0,005	4,33	0,001	0,00002	2,0	0,07
	PNEM	3,54	1,1	8,86	81,29	0,49	50,5	6,74	0,02	0,008	0,001	0,336	0,002	1,08	0,000	0,00001	0,4	0,05
	PODP	18,20	1,5	8,13	71,23	0,66	190,6	7,39	0,47	0,019	0,010	0,738	0,008	12,30	0,003	0,00012	0,4	0,11
	PSKO	8,65	2,0	8,86	81,70	0,50	92,8	7,41	0,32	0,004	0,001	0,336	0,001	2,57	0,001	0,00003	0,4	0,05
	RADB	6,46	2,1	8,74	80,22	0,50	72,5	7,29	0,24	0,032	0,013	0,452	0,006	2,15	0,002	0,00010	1,2	0,31
	UPOP	14,40	0,3	8,47	77,74	0,50	176,3	7,13	0,38	0,009	0,006	0,318	0,003	3,77	0,001	0,00003	0,4	0,01
	ZUBR	12,60	2,7	7,97	80,89	0,75	137,6	7,31	0,53	0,032	0,006	0,959	0,009	5,05	0,003	0,00016	1,6	0,21
Maxima	BERP	70,20	16,2	12,51	97,29	4,69	548,0	8,42	3,41	0,091	0,021	4,310	0,034	37,40	0,022	0,00084	26,0	0,33
	PARP	64,10	15,5	12,16	92,45	10,00	636,0	8,46	5,53	0,217	0,033	0,888	0,055	32,30	0,012	0,00183	120,0	0,33
	KUBP	52,70	12,6	12,54	92,47	4,83	558,0	8,36	3,66	0,515	0,429	6,910	2,390	31,50	0,105	0,04220	17,0	0,54
	LUP	75,30	16,6	12,81	92,42	2,86	580,0	8,27	3,58	0,221	0,097	3,380	0,236	12,80	0,015	0,00327	140,0	2,23
	VALP	53,90	16,6	12,35	90,30	2,70	473,0	8,34	2,83	0,241	0,077	4,150	0,119	16,90	0,030	0,00251	100,0	3,49
	HRAP	29,90	18,3	12,49	92,05	2,74	281,0	8,27	2,37	0,075	0,025	4,990	0,029	8,14	0,021	0,00059	10,0	0,50
	MEDP	17,50	16,5	11,53	93,27	1,80	200,6	8,06	0,81	0,153	0,107	6,730	0,051	17,50	0,013	0,00050	12,0	0,89
	PMIT	19,00	16,9	11,42	101,08	3,98	187,9	8,29	1,53	0,125	0,023	2,970	0,019	19,60	0,010	0,00052	22,0	0,68
	PNEM	6,00	15,0	12,06	91,41	1,20	73,2	8,15	0,52	0,036	0,008	2,090	0,019	2,26	0,003	0,00032	9,6	0,28
	PODP	33,30	16,6	11,43	90,43	1,93	328,0	8,13	2,63	0,315	0,065	5,360	0,079	29,90	0,035	0,00136	58,0	1,44
	PSKO	14,90	16,0	11,70	91,16	3,47	148,6	8,09	1,30	0,055	0,012	1,930	0,024	4,26	0,007	0,00025	8,4	0,42
	RADB	9,28	16,3	12,16	95,49	2,39	104,0	8,20	0,70	0,158	0,050	1,980	0,034	3,77	0,011	0,00056	26,0	1,95
	UPOP	34,10	15,5	11,87	91,97	11,00	314,0	8,16	2,17	0,049	0,018	1,950	0,101	9,71	0,017	0,00113	19,0	0,57
	ZUBR	17,30	18,1	11,28	89,99	4,58	184,5	8,05	1,10	0,146	0,035	6,260	0,094	7,82	0,047	0,00154	44,0	1,97

Zeleně jsou označeny lokality spadající do skupiny 1 s mediánem $KNK_{4,5}$ ≥ 2mmol/l, modře lokality spadající do skupiny 2 s mediánem $KNK_{4,5}$ < 2mmol/l. BERP – Bertinský p., HRAP – Hrádecký p., KUBP – Kublovský p., LUP – Luční p., MEDP – Medvědí p., PARP – Pařezový p., PMIT – přítok Mítovského p., PNEM – přítok Nemanického p., PODP – Podhrázský p., PSKO – přítok Skořického p., RADB – Radbuza, UPOP – Úpořský potok, VALP – Valdecký p., ZUBR – Zubřina

Sites belonging to group 1 with a median of acid neutralization capacity at pH 4.5 ($ANC_{4,5}$) ≥ 2 mmol/l are marked in green, while sites belonging to group 2 with $ANC_{4,5}$ median < 2 mmol/l are marked in blue. BERP – Bertinský stream, HRAP – Hrádecký stream, KUBP – Kublovský stream, LUP – Luční stream, MEDP – Medvědí stream, PARP – Pařezový stream, PMIT – Mítovský stream tributary, PNEM – Nemanický stream tributary, PODP – Podhrázský stream, PSKO – Skořický stream tributary, RADB – Radbuza river, UPOP – Úpořský stream, VALP – Valdecký stream, ZUBR – Zubřina river

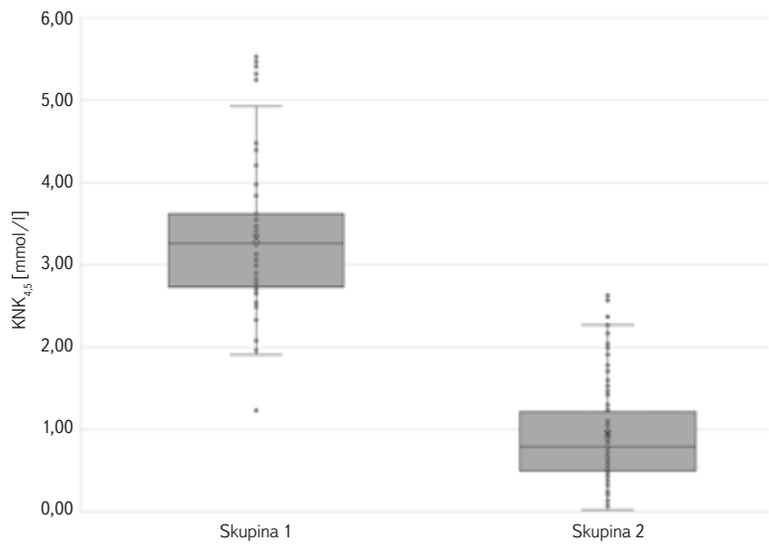


Obr. 2. Analýza PCO (Canoco 5) pro hodnocené lokality charakterizované měsíčními hodnotami měřených ukazatelů, zobrazena 1. a 2. osa, kumulativní variabilita vysvětlená zobrazenými osami je 73,12 %
BERP – Bertinský p., HRAP – Hrádecký p., KUBP – Kublovský p., LUP – Luční p., MEDP – Medvědí p., PARP – Pařezový p., PMIT – přítok Mítovského p., PNEM – přítok Nemanického p., PSKO – přítok Skořického p., RADB – Radbuza, VALP – Valdecký p., ZUBR – Zubřina (vzorky z Podhrázského a Úpořského potoka nejsou uvedeny, protože se promítají až podél třetí osy)
Fig. 2. PCoA analysis (Canoco 5) for the assessed sites characterized by monthly values of measured indicators, 1st and 2nd axes shown, cumulative variability explained by the displayed axes is 73.12 %
BERP – Bertinský stream, HRAP – Hrádecký stream, KUBP – Kublovský stream, LUP – Luční stream, MEDP – Medvědí stream, PARP – Pařezový stream, PMIT – Mítovský stream tributary, PNEM – Nemanický stream tributary, PSKO – Skořický stream tributary, RADB – Radbuza river, VALP – Valdecký stream, ZUBR – Zubřina river (samples from Podhrázský and Úpořský streams are not displayed because they are projected along the third axis)



Obr. 3. Analýza NMDS (Canoco 5) pro hodnocené lokality charakterizované měsíčními hodnotami měřených ukazatelů, zobrazena 1. a 2. osa, kumulativní variabilita vysvětlená zobrazenými osami je 94 %. BERP – Bertinský p., HRAP – Hrádecký p., KUBP – Kublovský p., LUP – Luční p., MEDP – Medvědí p., PARP – Pařezový p., PMIT – přítok Mítovského p., PNEM – přítok Nemanického p., PODP – Podhrázský p., PSKO – přítok Skořického p., RADB – Radbuza, UPOP – Úpořský potok, VALP – Valdecký p., ZUBR – Zubřina
Fig. 3. NMDS analysis (Canoco 5) for the assessed sites characterized by monthly values of measured indicators, 1st and 2nd axes shown, cumulative variability explained by the displayed axes is 94 %. BERP – Bertinský stream, HRAP – Hrádecký stream, KUBP – Kublovský stream, LUP – Luční stream, MEDP – Medvědí stream, PARP – Pařezový stream, PMIT – Mítovský stream tributary, PNEM – Nemanický stream tributary, PODP – Podhrázský stream, PSKO – Skořický stream tributary, RADB – Radbuza river, UPOP – Úpořský stream, VALP – Valdecký stream, ZUBR – Zubřina river

Z analýzy je patrné rozdělení do dvou skupin na základě alkality (parametr $KNK_{4,5}$) a s ní těsně korelujících ukazatelů (vápník, hořčík, vodivost). Vzhledem k tomu, že alkalita je komplexní, člověkem málo ovlivnitelný parametr popisující přirozený charakter lokality, probíhaly další analýzy ve dvou skupinách lokalit, kde dělicím kritériem byl na základě analyzovaných dat stanoven roční medián $KNK_{4,5}$ = 2 mmol/l (viz zřetelné oddělení skupin na *obr. 4*). Pro takto definované skupiny bylo provedeno statistické vyhodnocení rozdílů pro jednotlivé ukazatele pomocí dvouvýběrového T testu (srovnává dva nezávislé soubory s různým rozptylem, použita byla hladina významnosti p = 0,001). Výsledky testování jsou shrnuty v *tab. 6*.



Obr. 4. Krabicový diagram pro ukazatel $KNK_{4,5}$ s rozdělením lokalit do skupin podle analýz PCO a NMDS; skupina 1 = lokality s vyšším obsahem bazických iontů – $KNK_{4,5} \geq 2$mmol/l, skupina 2 = lokality s nižším obsahem bazických iontů – $KNK_{4,5} < 2$mmol/l
Fig. 4. Boxplot for the $ANC_{4,5}$ indicator with sites divided into groups based on PCoA and NMDS analyses; group 1 = sites with higher base ion content – $ANC_{4,5} \geq 2$ mmol/l, group 2 = sites with lower base ion content – $ANC_{4,5} < 2$ mmol/l

Tab. 6. Rozsah hodnot naměřených ve dvou skupinách lokalit rozdělených podle obsahu bazických iontů s vyznačením statisticky významné odlišnosti všech naměřených hodnot konkrétního parametru mezi skupinami
Tab. 6. Range of values measured in two groups of sites classified by base ion content, with indication of the statistically significant differences in all measured values of the respective parameter between the groups

Ukazatel	Jednotka	Rozsah naměřených hodnot ve skupině lokalit 1 ($KNK_{4,5} \geq 2$ mmol/l)		Rozsah naměřených hodnot ve skupině lokalit 2 ($KNK_{4,5} < 2$ mmol/l)		T test (dvouvýběrový s různým rozptylem) p – hodnota	Statistická významnost: * $p < 0,05$ *** $p < 0,001$
		MIN	MAX	MIN	MAX		
$KNK_{4,5}$	[mmol/l]	1,23	5,53	0,021	2,63	$2,091 \times 10^{-31}$	***
Elektrická vodivost	[µS/cm]	295	636	50,5	328	$1,076 \times 10^{-55}$	***
pH		6,99	8,46	6,74	8,29	$7,590 \times 10^{-14}$	***
Teplota vody	[°C]	0,1	16,6	0,3	18,3	0,2260	
Rozpuštěný kyslík	[mg/l]	7,24	12,81	7,97	12,49	0,1511	
Nasycení kyslíkem	[%]	70,76	97,29	71,23	101,08	0,7285	
BSK_5	[mg/l]	0,475	10	0,49	11	0,2709	
NH_4-N	[mg/l]	0,001	2,39	0,001	0,101	0,0915	
NO_3-N	[mg/l]	0,014	6,91	0,228	6,73	0,1834	
NO_2-N	[mg/l]	0,002	0,105	0,0004	0,047	0,0624	
Celkový fosfor	[mg/l]	0,011	0,515	0,004	0,315	$2,620 \times 10^{-5}$	***
PO_4-P	[mg/l]	0,003	0,429	0,001	0,107	0,0001	***
Nerozpuštěné látky	[mg/l]	0,8	140	0,4	58	0,0006	***
Vápník	[mg/l]	34,4	75,3	3,54	34,1	$1,814 \times 10^{-55}$	***
Hořčík	[mg/l]	10,1	36,8	1,39	13,6	$8,932 \times 10^{-24}$	***
Železo	[mg/l]	0,024	3,49	0,014	1,97	0,9148	
Chloridy	[mg/l]	6,25	37,4	1,08	29,9	$1,930 \times 10^{-10}$	***
Sírany	[mg/l]	32,1	120	5,16	54,2	$1,035 \times 10^{-31}$	***
Volný amoniak	[mg/l]	0,000082	0,042	0,000014	0,002	0,0384	*

Statisticky významné rozdíly mezi skupinami byly zjištěny pro ukazatele vápník, elektrická vodivost, pH, chloridy, celkový fosfor, fosforečnanový fosfor a nerozpuštěné látky. Pro tyto parametry byly environmentální cíle týkající se raka kamenáče nastaveny zvlášť pro každou ze skupin lokalit. Pro ostatní parametry (teplota vody, rozpuštěný kyslík a nasycení vody kyslíkem, BSK_5, dusičnanový, amoniakální a dusitanový dusík, volný amoniak a železo) nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl na zvolené hladině významnosti $p = 0,001$, a proto byl environmentální cíl nastaven jednotně pro obě skupiny lokalit.

Výsledné environmentální cíle, jak jsou uvedeny v *tab. 7*, byly nastaveny s ohledem na míru antropogenního ovlivnění lokalit dle naměřených hodnot parametrů. V případě ukazatelů, které dokumentují vliv znečištění (především živiny a organické látky vyjádřené jako BSK_5), byly ze souboru dat vyřazeny významně ovlivněné lokality a cíle byly stanoveny pouze z nezatížených lokalit. Cílové hodnoty mediánů byly nastaveny podle vypočteného mediánu z příslušného datového souboru s expertním přihlédnutím ke středním hodnotám parametru v jednotlivých lokalitách a vyskytujícím se extrémním hodnotám. Minima byla nastavena podle nejnižší hodnoty v datovém souboru (daná skupina lokalit či všechna data) s úpravou zaokrouhlením směrem dolů, maxima naopak se zaokrouhlením směrem nahoru.

Tab. 7. Environmentální cíle vybraných parametrů vodního prostředí pro raka kamenáče (Austropotamobius torrentium) s rozdělením na dvě skupiny podle ukazatele $KNK_{4,5}$; modře jsou označeny parametry, pro které vyšla statisticky významná odlišnost mezi skupinami lokalit
Tab. 7. Environmental objectives of selected aquatic environment parameters for the stone crayfish (Austropotamobius torrentium), divided into two groups according to the $ANC_{4,5}$ indicator; parameters for which a statistically significant difference between the site groups was identified are marked in blue

Ukazatel	Jednotka	Charakteristická hodnota					
		Lokality s mediánem ($KNK_{4,5} \geq 2$ mmol/l)			Lokality s mediánem ($KNK_{4,5} < 2$ mmol/l)		
		MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN
Vápník	[mg/l]			30			5
Teplota vody	[°C]	9,5	21,5		9,5	21,5	
Rozpuštěný kyslík	[mg/l]			7			7
Nasycení vody O_2	[%]		105	75		105	75
BSK_5	[mg/l]	1,2			1,2		
Elektrická vodivost	[µS/cm]	550			300		
pH			8,4	7,5		8,3	6,7
$KNK_{4,5}$	[mmol/l]			1			0,2
Celkový fosfor	[mg/l]	0,07			0,05		
PO_4-P	[mg/l]	0,03			0,02		
NO_3-N	[mg/l]		3			3	
NH_4-N	[mg/l]	0,035			0,035		
Chloridy	[mg/l]	15			10		
NO_2-N	[mg/l]	0,01			0,01		
Volný amoniak	[mg/l]	0,0007	0,005		0,0007	0,005	
NL_{105}	[mg/l]	15			6		

DISKUZE

Nově odvozené environmentální cíle se od původních cílů uvedených v metodice hodnocení stavu chráněných území [20] liší zejména v tom, že nejsou pro všechny lokality nastaveny jednotně, ale jsou rozděleny do dvou skupin podle střední hodnoty $KNK_{4,5}$ (alkality). Ta odlišuje lokality s vysokým a nízkým obsahem bazických iontů. Na základě statistického testování dat v obou skupinách byly nalezeny statisticky významné rozdíly v obsahu některých ukazatelů, jež souvisejí jak s přirozenými obsahy látek ve vodách, tak i s ukazateli, které mohou souviset se znečištěním. V předchozí metodice byly environmentální cíle nastavovány na základě výrazně omezeného datového souboru, zatímco nový monitoring referenčních a dalších lokalit umožnil robustnější analýzu dat i statistické hodnocení obou výsledných skupin.

Ve srovnání s cíli uvedenými ve výše uvedené metodice [20] byly upraveny nejen absolutní cílové hodnoty, ale došlo i ke změnám charakteristických hodnot, které jsou nově určeny jako limitní. V případě parametrů vápník a $KNK_{4,5}$ není již používána hodnota mediánu a limit je stanoven pouze jako minimální hodnota. Medián není nadále používán ani v případě hodnoty pH, kde je nově uveden jen rozsah mezi minimální a maximální hodnotou. Vzhledem k charakteru znečištění a riziku průniku dalších látek ze zemědělsky obhospodařovaných ploch byla upravena také používaná charakteristická hodnota u dusičnanového dusíku. Nově je cíl určen maximální hodnotou oproti původní mediánové hodnotě. V tomto parametru tedy došlo ke zpřísnění požadavku na kvalitu vody, a více se tak blíží k postupu hodnocení, který je uplatňován podle tzv. nitrátové směrnice [22]. Z důvodu ochrany raků v kritických obdobích roku s vysokými teplotami a rizikem tvorby volného amoniaku byla nově pro tento ukazatel nastavena i cílová hodnota pro přípustné maximum a ponechána současně hodnota pro medián.

Obecně pak byly pro lokality s nízkou kyselinovou neutralizační kapacitou (roční medián $KNK_{4,5} < 2$ mmol/l) nastaveny přísnější cíle pro parametry charakterizující antropogenní znečištění. Týká se to zejména celkového i fosforečnanového fosforu, chloridů a nerozpuštěných látek. Jak vyplynulo z provedených statistických hodnocení, ukazatel $KNK_{4,5}$ koreluje mimo jiné s obsahem vápníku ve vodách. U raků bylo v předchozích studiích zjištěno, že mají-li v prostředí dost dostupného vápníku, jsou schopni přežít i v horších podmínkách prostředí a tolerovat i určité znečištění [4].

V původní metodice hodnocení stavu chráněných území [20] byla jako cíl nastavena i hodnota pro celkové železo. Na jednotlivých referenčních lokalitách

byl zjištěn velký rozsah hodnot bez toho, aniž by byla nalezena přímá souvislost s výskytem nebo absencí raků. Ze získaných výsledků usuzujeme, že parametr železo nemá přímý vliv na výskyt raka kamenáče na lokalitách, a proto pro něj nebyl nastaven environmentální cíl. Obdobně nebyly environmentální cíle nastaveny ani pro další měřené parametry s velkým rozsahem měřených hodnot (hořčík, sírany a také odhadovaný aktuální průtok, zaznamenávaný při odběru vzorků).

Speciální pozornost při nastavení byla věnována ukazateli, který charakterizuje obsah lehce rozložitelných organických látek ve vodách, tedy hodnotám BSK_5. Z dřívějších výzkumů a měření na lokalitách s výskytem raka kamenáče vyplynulo, že cílové hodnoty by měly být velmi nízké. Tyto limitní hodnoty však byly odvozovány z datových sad, které neobsahovaly kompletní roční měření, ale soustředily se pouze na sezonní monitoring. Z provedených analýz vzorků na referenčních lokalitách v rámci současné studie se ukázalo, že střední hodnoty souborů dat ukazují na nutnost zvýšení environmentálního cíle pro tento ukazatel. Hlavním důvodem je celková dynamika ukazatele BSK_5 během roku související s koloběhem organické hmoty ve vodních tocích. Je nutné si uvědomit, že zejména v období opadu listů na podzim dochází k velké akumulaci organické hmoty ve vodním toku. Rak patří mezi drtiče (kouskovače) a jako všežravec se značnou měrou podílí na likvidaci této organické hmoty. Tyto výkyvy, jež se projevují většinou zvýšenou hodnotou BSK_5 na podzim, byly zaznamenány na všech sledovaných vodních tocích. Určité rozdíly pak byly zjištěny také na lokalitách s přítomností a absencí raků. Zatímco na lokalitách se současným výskytem raka kamenáče nepřekračovaly hodnotu 4 mg/l, ve vodních tocích, kde raci např. v důsledku račího moru vyhynuli, byly tyto hodnoty vyšší, v některých případech až 10 mg/l BSK_5. Na lokalitách bez antropogenního znečištění se zvýšená hodnota BSK_5 při pravidelném monitoringu objevila většinou jen v podzimním období, kdy bylo dno pokryté rozdrcenými zbytky listí. Ačkoli tyto lokality splňují nově nastavený environmentální cíl pro medián BSK_5 1,2 mg/l, limit C_{95} biologické spotřeby kyslíku 3 mg/l pro lososové vody [18] byl kvůli období opadu listí překročen. V dalších měsících pak došlo k poklesu BSK_5 na obvyklou, nízkou hodnotu.

Pro obě skupiny lokalit byl tedy původní požadavek metodiky hodnocení stavu chráněných území [20] na střední hodnotu BSK_5 zmírněn. Nová hodnota (1,2 mg/l) je však stále výrazně přísnější, než je limit vyžadovaný podle metodiky hodnocení vodních útvarů podle Rámcové směrnice o vodách [21] (podle typu vod od 1,5 mg/l po 2,5 mg/l). Nové hodnoty environmentálních cílů byly zapracovány do dokončeného Záchranného programu pro raka kamenáče [9] a budou použity do připravované aktualizace metodiky hodnocení EVL [20] v roce 2026.

O významu ukazatele BSK_5 z pohledu přežívání raka kamenáče svědčí i hodnocení kvality vody v EVL Zákolanský potok. Tento vodní tok patří k nejvíce znečištěným tokům s výskytem raka kamenáče. Na lokalitě Dobrovíz pod, která leží na Dobrovízském potoce, byly v této EVL v roce 2023 naměřeny v šesti vzorcích za rok vysoké hodnoty BSK_5 v rozmezí 9 až 16 mg/l. Tyto hodnoty překračují jak nový environmentální cíl vodního prostředí pro raka kamenáče, tak limit stanovený nařízením vlády č. 71/2003 Sb. [18], i limit vyžadovaný pro dosažení dobrého ekologického stavu vodních útvarů [21]. Ačkoli tato lokalita byla vyhlášena jako EVL s rakem kamenáčem, v posledních letech vlivem silného komunálního znečištění rak kamenáč v této části EVL vyhynul.

Z výše popsaných důvodů považujeme za důležité k hodnocení stavu vodního prostředí lokalit s rakem kamenáčem u znečišťujících látek, jako jsou BSK_5, celkový a fosforečnanový fosfor nebo chloridy, používat jako základní environmentální cíl hodnotu mediánu, a nehodnotit tak výkyvy naměřených hodnot, jež v přirozeném prostředí pravidelně nastávají a nejsou pro výskyt raka kamenáče limitující. Minima a maxima (včetně C_{95} použitého v nařízení vlády č. 71/2003 Sb. [18]) jsou důležitá pro zachycení extrémních hodnot, např. při haváriích, a je smysluplné je použít u parametrů, kde by pro raka kamenáče mohlo být ohrožující i jednorázové překročení stanoveného limitu (např. pH, dusičnanový dusík, toxický volný amoniak apod.). Ideální by tak při hodnocení vodního prostředí lokalit raka kamenáče bylo použít jak hodnocení podle environmentálních cílů, tak podle cílů pro lososové vody [18].

Nově nastavené environmentální cíle byly proto dále porovnány s cílovými hodnotami pro lososové vody, jak jsou uváděny primárně v nařízení vlády č. 71/2003 Sb. [18], a sekundárně i v nařízení vlády č. 401/2015 Sb. [19]. Při porovnávání jednotlivých limitů z nařízení vlády č. 71/2003 Sb. [18], s environmentálními cíli je třeba mít na zřeteli, že environmentální cíle pracují s charakteristickou hodnotou mediánu, minima a maxima z 12 měsíčních měření, zatímco limity pro lososové vody pracují převážně s 95. percentilem, pokud je k dispozici všech 12 hodnot, nebo s maximem, pokud je hodnot méně. Přímé srovnání limitů tak není možné, nicméně při srovnání měřených dat z referenčních lokalit se některé parametry ukázaly být nastaveny srovnatelně (např. teplota vody či amoniakální dusík), zatímco jiné přísněji. Přísnější environmentální cíle byly nastaveny u volného amoniaku (NH_3), který je svojí schopností pronikat buněčnou stěnou silně toxický pro vodní živočichy, dále pro dusitany (NO_2^-) a také pro nerozpuštěné látky (NL_{105}). Nerozpuštěné látky na lokalitách s raky způsobují zákal vody, usazují se na žábrách raků a způsobují i zanesení vhodných úkrytů ve vodním toku. Přísněji nastavena je nově i horní hranice pH, neboť pH vyšší než 8,5 společně s vyšší teplotou podporuje disociaci NH_4^+ na toxický NH_3. Zároveň je třeba zmínit, že v porovnání s nařízením vlády č. 71/2003 Sb. [18], obsahuje nové nastavení cílů pro raka kamenáče větší počet parametrů. Nařízení vlády naopak stanovuje navíc limity pro rozpuštěnou měď, celkový zinek a celkový chlor (jako HClO).

Limity pro lososové vody, které jsou druhotně uváděny i v tabulce imisních limitů v nařízení vlády č. 401/2015 Sb. [19], jsou nastaveny jako roční průměrné hodnoty s výjimkou rozsahu pH a teploty vody, která je uváděna jako maximální hodnota. Vzhledem k použití ročního průměru ale může dojít k situaci (na rozdíl od použití C_{95} u nařízení vlády č. 71/2003 Sb. [18]), že pokud na lokalitě proběhne havárie nebo jde o provoz, který pracuje nárazově jen pár měsíců v roce, stanovené imisní limity mohou být splněny. Nicméně populace většiny vodních živočichů může být v takovémto vodním toku silně ovlivněna, nebo dokonce až zdecimována. Ačkoli se může zdát, že hodnoty mediánu a průměru jsou relativně blízké, průměr je na rozdíl od mediánu snadno ovlivnitelný extrémními a odlehlými hodnotami. Přímé srovnání je tedy možné jen pro limit maxima teploty vody, jenž je v nařízení vlády č. 401/2015 Sb., povolen výrazně vyšší (29 °C), a pro rozpětí hodnot pH, které je v tomto nařízení vlády uvedeno širší (5–9) [19]. Při srovnání hodnot mediánů a průměrů na měřených datech z referenčních lokalit se oproti environmentálním cílům jeví být v tomto nařízení vlády benevolentněji nastaveny imisní limity i pro další parametry (BSK_5, nerozpuštěné látky, chloridy aj.).

Zajímavé výsledky přináší i srovnání nově navržených environmentálních cílů s limity pro hodnocení ekologického stavu vodních útvarů pro všeobecné fyzikálně-chemické složky [21]. Metodika byla zpracována pro účely hodnocení vodních útvarů kategorie řeka pro potřeby směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady z 23. října 2000 ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky (dále RSV) [23]. Ta si klade mj. za cíl dosáhnout ve vodních útvarech alespoň druhé, tj. dobré, třídy ekologického stavu, kdy hodnoty biologických kvalitativních složek daného typu útvaru povrchové vody vykazují mírnou úroveň narušení vzniklého lidskou činností, avšak odlišují se pouze málo od těch, které se obvykle vyskytují u tohoto typu vodního útvaru v nenarušených podmínkách [23].

Limity stanovené pro hodnocení vodních útvarů dle požadavků RSV jsou rozdílné pro různé typy útvarů. Tyto limity jsou shodně s environmentálními cíli nastaveny jako mediány, případně minima a maxima. Je tak možné přímé srovnání daných hodnot. Jak již bylo zmíněno výše, podle požadavků RSV by mělo být dosaženo alespoň dobrého ekologického stavu. Hodnoty environmentálních cílů je tedy relevantní srovnávat s hodnotou hranice mezi středním a dobrým ekologickým stavem. Vodní útvary jsou charakterizovány pomocí

úmoří, nadmořské výšky, geologie a řádu toku odvozeného metodou podle Strahlera [21]. Pro naše srovnání s environmentálními cíli je možné použít jen nadmořskou výšku, protože ostatní charakteristiky (úmoří apod.) nastavenou limitní hodnotu v daném rozmezí nadmořské výšky nemění.

Ve vodních tocích v nadmořské výšce nad 800 m n. m. je mezní hodnota mezi středním a dobrým ekologickým stavem pro BSK_5 stanovena na 1,5 mg/l, pro toky ve výšce 500–800 m n. m. 1,7 mg/l, pro toky ve výšce 200–500 m n. m. 2,2 mg/l a pro toky ve výšce nižší než 200 m n. m. je 2,5 mg/l. Ve všech případech jsou tyto limity méně přísné než určený environmentální cíl pro raka kamenáče, jehož těžiště výskytu je ve středních polohách nadmořské výšky, tj. mezi 200 až 800 m n. m. Shodná hodnota tohoto parametru 1,2 mg/l je uvedena až jako hranice mezi dobrým a velmi dobrým stavem ve vodních tocích nad 800 m n. m., tzn. ve velmi čistých horských tocích bez antropogenního ovlivnění. Podobně přísně je nastaven environmentální cíl pro teplotu vody (9,5 °C), kdy limit ročního mediánu mezi středním a dobrým stavem podle metodiky hodnocení vodních útvarů [21] je pro jednotlivé výše uvedené kategorie nadmořské výšky 10, 11, 12 a 13 °C, a hodnota 9 °C je uvedena až jako mezní pro dobrý a velmi dobrý stav pro toky nad 800 m n. m.

Fosforečnanový fosfor je v environmentálních cílech pro raka kamenáče nastaven přísněji pro toky do 500 m n. m. v obou skupinách lokalit dle obsahu bazických iontů, ve vyšších nadmořských výškách je již limit srovnatelný. Environmentální cíl pro amoniakální dusík je určen přísněji ve všech kategoriích nadmořské výšky. Přísněji je stanovena i hodnota maxima pro dusičnanový dusík (3 mg/l) pro toky do 800 m n. m. (dle hodnocení pro RSV 4,6 mg/l pro nadmořské výšky 500–800 m n. m. a 5,6 mg/l do 500 m n. m.). V kategorii nadmořské výšky nad 800 m n. m. je pak v tomto parametru přísnější hodnocení podle metodiky hodnocení vodních útvarů [21] – 1,4 mg/l. Dále je přísněji nastaven environmentální cíl pro maximum nasycení kyslíkem (105 %), hranice mezi středním a dobrým ekologickým stavem je 125 % pro toky do 500 m n. m. a 120 % pro toky mezi 500 a 800 m n. m. Ostatní parametry mají hodnoty environmentálních cílů s limity dle RSV nastaveny víceméně srovnatelně.

ZÁVĚR

Ve 14 referenčních a nejlepších dostupných lokalitách vhodných pro život raka kamenáče byl proveden roční monitoring fyzikálně-chemických ukazatelů jakosti vody a takto získaná data byla statisticky vyhodnocena. Vyhodnocení odhalilo, že je možné lokality pro raka kamenáče rozdělit podle přírodních podmínek na dva typy, kdy rozdělujícím parametrem je hodnota alkality vyjádřená jako medián $KNK_{4,5}$ = 2 mmol/l. Na základě statistického hodnocení lokalit v těchto dvou skupinách byly určeny ukazatele, jež se statisticky významně liší a je možné pro ně použít různé environmentální cíle. Současně byly také určeny zbývající ukazatele, pro které byly environmentální cíle upraveny shodně pro obě skupiny. Přísnější požadavky na stav vodního prostředí pro raka kamenáče byly nastaveny pro skupinu lokalit s nízkým obsahem bazických iontů.

Z pohledu kvality vodního prostředí lze raka kamenáče považovat za deštníkový druh jen v případě některých parametrů. Jako přísně limitovaný lze určitě označit parametr BSK_5, který odpovídá úrovni horní hranice oligosaprobity [24, 25] a je nastaven mnohem přísněji, než je stanoven limit pro dosažení dobrého ekologického stavu pro příslušný typ vodního útvaru dle Rámcové směrnice o vodách. Z pohledu maximální naměřené hodnoty je však poměrně přísně určena i hodnota C_{95} pro lososové vody podle nařízení vlády č. 71/2003 Sb., kterou některé měřené referenční lokality překročily, a to z důvodu zvýšené hodnoty BSK_5 v době opadu listí. V mnoha případech šlo o lokality, kde populace raka kamenáče nebyla v období vzorkování potvrzena. Ve srovnání s limity podle RSV jsou přísněji limitovány také parametry ukazující na teplotní a kyslíkové poměry a parametry hodnotící živinové podmínky ve vodním toku. Ve srovnání s limity pro lososové vody jsou environmentální cíle přísněji nastaveny pro volný amoniak, pro dusitany a nerozpuštěné látky. Přímé srovnání je však možné jen s limity podle RSV, kde jsou shodně s environmentálními cíli charakteristické hodnoty uvedeny jako medián, případně minimum a maximum. Srovnání s nařízením vlády č. 71/2003 Sb., a nařízením vlády č. 401/2015 Sb., které pracují s C_{95} a s průměrem, tak bylo provedeno na datech z měřených referenčních lokalit.

Poděkování

Příspěvek vznikl díky projektům Technologické agentury České republiky č. TITSMZP701 „Metodika hodnocení stavu chráněných území vymezených dle Rámcové směrnice o vodách pro ochranu stanovišť nebo druhů" a č. SS02030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda)".

Literatura

[1] HEJDA, R., FARKAČ, J., CHOBOT, K. *Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí*. Praha: AOPK ČR, 2017. 612 s.

[2] *Vyhláška č. 395/1992 Sb. Vyhláška Ministerstva životního prostředí České republiky, kterou se provádějí některá ustanovení zákona České národní rady č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny*. Sbírka zákonů ČR, částka 80, 1992.

[3] *Směrnice Rady 92/43/EHS ze dne 21. května 1992 o ochraně přírodních stanovišť, volně žijících živočichů a planě rostoucích rostlin*. Úřední věstník evropských společenství, L 206, 22. 7. 1992.

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

[5] AOPK. *Záchranné programy*. 2024. Dostupné na: https://www.zachranneprogramy.cz/

[6] ROBERGE, J.-M., ANGELSTAM, P. Usefulness of the Umbrella Species Concept as a Conservation Tool. *Conservation Biology*. 2004, 18(1), s. 76–85. Dostupné z: https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00450.x

[7] PARKYN, S. M., COLLIER, K. J., HICKS, B. J. New Zealand Stream Crayfish: Functional Omnivores but Trophic Predators? *Freshwater Biology*. 2001, 46(5), s. 641–652. Dostupné na: https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2001.00702.x

[8] CREED, R. P., JR., REED, J. M. Ecosystem Engineering by Crayfish in a Headwater Stream Community. *Journal of the North American Benthological Society*. 2004, 23(2), s. 224–236. Dostupné na: https://doi.org/10.1899/0887-3593(2004)023<0224:EEBCIA>2.0.CO;2

[9] HRONKOVÁ, J. (ed.). *Záchranný program pro raka kamenáče v ČR*. Praha: AOPK ČR, 2024. 87 s.

[10] ŘÍMALOVÁ, K., DOUDA, K., ŠTAMBERGOVÁ, M. Species-Specific Pattern of Crayfish Distribution within a River Network Relates to Habitat Degradation: Implications for Conservation. *Biodiversity and Conservation*. 2014, 23(13), s. 3 301–3 317. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/s10531-014-0784-5

[11] SVOBODOVÁ, J., FISCHER, D., SVOBODOVÁ, E., VLACH, P. Periodické vysychání toků: další faktor negativně ovlivňující populace našich raků. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2016, 58(3), s. 34–38. Dostupné z: https://www.vtei.cz/2016/06/periodicke-vysychani-toku-dalsi-faktor-negativne-ovlivnujici-populace-nasich-raku/

[12] LET, M., ŠPAČEK, J., FERENČÍK, M., KOUBA, A., BLÁHA, M. Insecticides and Drought as a Fatal Combination for a Stream Macroinvertebrate Assemblage in a Catchment Area Exploited by Large-Scale Agriculture. *Water*. 2021, 13, 1352. 20 s. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/w13101352

[13] PÖKL, M., STREISSL, F. *Austropotamobius Torrentium* as an Indicator for Habitat Quality in Running Waters. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 2005, 376–377, s. 743–758. Dostupné z: https://doi.org/10.1051/kmae:2005030

[14] SVOBODOVÁ, J., DOUDA, K., ŠTAMBERGOVÁ, M., PICEK, J., VLACH, P., FISCHER, D. The Relationship between Water Quality and Indigenous and Alien Crayfish Distribution in the Czech Republic: Patterns and Conservation Implications. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems*. 2012, 22(6), s. 776–786. Dostupné z: https://doi.org/10.1002/aqc.2262

[15] VLACH, P., SVOBODOVÁ, J., FISCHER, D. Stone Crayfish in the Czech Republic: How Does its Population Density Depend on Basic Chemical and Physical Properties of Water? *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. 2012, 407, 5, 13 s. Dostupné z: https://doi.org/10.1051/kmae/2012031

[16] SVOBODOVÁ, J., ŠTAMBERGOVÁ, M., VLACH, P., PICEK, J., DOUDA, K., BERÁNKOVÁ, M. Vliv jakosti vody na populace raků v České republice – porovnání s legislativou ČR. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2008, 50(6), s. 1–5 (in Czech with English summary). Dostupné z: https://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2015/08/vtei_2008_6.pdf

[17] SVOBODOVÁ, J., DOUDA, K., VLACH, P. Souvislost mezi výskytem raků a jakostí vody v České republice. *Bulletin VÚRH Vodňany*. 2009, 2–3, s. 100–109. ISSN 0007-389X.

[18] *Nařízení vlády č. 71/2003 Sb. Nařízení vlády o stanovení povrchových vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů a o zjišťování a hodnocení stavu jakosti těchto vod*. Sbírka zákonů ČR, částka 28, 2003.

[19] *Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Nařízení vlády 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*. Sbírka zákonů ČR, částka 166, 2015.

[20] ROSENDORF, P., JANOVSKÁ, H., SVOBODOVÁ, J., HAVEL, L., KLADIVOVÁ, V. *Metodika hodnocení stavu chráněných území vymezených pro ochranu stanovišť a druhů s vazbou na vody*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., 2020. 114 s. ISBN 978-80-87402-80-1.

[21] ROSENDORF, P., TUŠIL, P., DURČÁK, M., SVOBODOVÁ, J., BERÁNKOVÁ, T., VYSKOČ, P. *Metodika hodnocení všeobecných fyzikálně-chemických složek ekologického stavu útvarů povrchových vod tekoucích. Závěrečná zpráva dílčí části projektu SFŽP č. 02671012 (MŽP)*. Praha: VÚV TGM, v. v. i., 2011. 20 s.

[22] *Směrnice Rady 91/676/EHS o ochraně vod před znečištěním způsobeném dusičnany ze zemědělských zdrojů*. Úřední věstník evropských společenství, L 375, 31. 12. 1991.

[23] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky*. Úřední věstník evropských společenství, L 327, 22. 12. 2000.

[24] KUBÍČEK, F., ZELINKA, M. *Základy hydrobiologie*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1982. 40 s.

[25] *ČSN 757716 Jakost vod – Biologický rozbor – Stanovení saprobního indexu*. Praha: Český normalizační institut, 1998. 174 s.

Autoři

RNDr. Hana Janovská[1]
✉ hana.janovska@vuv.cz
ORCID: 0000-0001-7259-1418

RNDr. Jitka Svobodová[1]
✉ jitka.svobodova@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-4811-503X

Mgr. Pavel Rosendorf[1]
✉ pavel.rosendorf@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-0543-5295

RNDr. Pavel Vlach, Ph.D.[2]
✉ vlach.pavel@mybox.cz
ORCID: 0000-0002-9759-0312

[1]Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha (Česká republika)
[2]Ekosolution, Blovice (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.11.003

ISSN 0322-8916/© 2026 Autoři. Tuto práci je kdokoli oprávněn šířit a využívat za podmínek licence CC BY-NC 4.0

ENVIRONMENTAL OBJECTIVES AND AQUATIC ENVIRONMENT LIMITS FOR STONE CRAYFISH

JANOVSKÁ, H.[1]; SVOBODOVÁ, J.[1]; ROSENDORF, P.[1]; VLACH, P.[2]

[1]T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague (Czech Republic)
[2]Ekosolution, Blovice (Czech Republic)

Keywords: stone crayfish — water quality — environmental objectives — pollution limits for salmonid waters

The stone crayfish (*Austropotamobius torrentium*) is a critically endangered species listed on the Red List of Invertebrates of the Czech Republic. It is protected under Decree No. 395/1992 Coll. and designated as a priority species according to Council Directive 92/43/EEC on the conservation of natural habitats, wild fauna, and flora. It is generally assumed that stone crayfish requires water quality that meets at least the emission limits for salmonid waters as defined by Government Regulation No. 71/2003 Coll., as amended, and also by Government Regulation No. 401/2015 Coll., as amended. Stable and abundant populations, however, require stricter environmental objectives, both in terms of limit values and the range of monitored parameters. To establish these objectives, 14 localities were selected. These sites are either unaffected or only slightly influenced by human activities, with confirmed current occurrence of stone crayfish or historical presence where disappearance was probably due to crayfish plague. The localities were sampled monthly over one year. Using principal coordinate analysis (PCoA) and non-metric multidimensional scaling (NMDS), the sites were separated in ordination space based on the $ANC_{4.5}$ (Total Alkalinity) (with a dividing criterion of an annual median of 2 mmol/l) and closely correlated indicators (calcium, magnesium, conductivity). This resulted in two groups of localities with distinct environmental conditions. Environmental objectives were set separately for these two groups. For localities with low acid neutralization capacity (< 2 mmol/l), stricter objectives were applied to parameters indicating pollution. For both groups, some environmental objectives are considerably stricter (e.g. annual median BOD_5 = 1.2 mg/l) than the limits used for water body assessment under the Water Framework Directive (2000/60/EC), depending on the water type (1.5–2.5 mg/l). Environmental objectives for some parameters are also stricter than those in Government Regulation No. 71/2003 Coll., although direct comparison of median and C_{95} values is not possible. For parameters that naturally fluctuate in aquatic environments, we consider it is important to use the median to assess site conditions, rather than short-term fluctuations that are not limiting for stone crayfish (e.g., BOD_5). In contrast, minima and maxima should be applied for parameters where even a single exceedance could be harmful (e.g., pH, toxic free ammonia) or to detect accidental pollution events.

Foto: J. Unucka

Využití termometrie pro vyhledávání minerálních pramenů — Mariánské Lázně a Karlovy Vary

DAVID-AARON LANDA, TOMÁŠ VYLITA, PAVEL KALINA, JAKUB MAREŠ, VIKTOR GOLIÁŠ, PETR NAKLÁDAL

Klíčová slova: termometrie — vyhledávání minerálních pramenů — Mariánské Lázně — Karlovy Vary

ABSTRAKT

Termometrie je efektivní a neinvazivní nástroj pro vyhledávání skrytých vývěrů minerálních vod. Účinnost a metodologické přístupy byly ověřeny na dvou záměrně kontrastních lokalitách: v Mariánských Lázních, jež jsou charakteristické pro vývěry studených, na CO_2 bohatých minerálních vod, a v Karlových Varech, známých svými termálními prameny.

V Mariánských Lázních, kde bylo cílem nalézt nové, dosud nepopsané vývěry minerální vody, se metoda pozemní termometrie s využitím termovizní kamery (TIR) ukázala jako vysoce účinná. Termometrický průzkum byl kombinován s následným měřením volného rozpuštěného CO_2 Härtlovým přístrojem, teploty, elektrické konduktivity a hodnoty pH. Na 20 km vodních toků bylo identifikováno 131 teplotních stop, z nichž bylo 14 nových vývěrů minerální vody. Je třeba zdůraznit, že skutečný počet vývěrů ze souboru 131 teplotních stop bude pravděpodobně vyšší díky limitaci měření CO_2 v povrchovou vodou silně ředěných vývěrech.

V Karlových Varech bylo cílem termometrického měření lokalizovat a kvantifikovat tzv. divoké vývěry termální vody s potenciálně maximální teplotou 73,4 °C v korytě řeky Teplé, které ovlivňují ustálený režim karlovarské zřídelní struktury. TIR kamera se na lokalitě ukázala být neúčinnou z důvodu rychlého ředění vývěrů povrchovou vodou. Přistoupilo se proto k bodovému měření teploty od povrchové vody izolovaným teplotním čidlem na dně koryta řeky Teplé v pravidelné síti na ploše 1 300 m^2. Tento přístup pomohl odhalit 14 divokých vývěrů termy. Průběžně byla s teplotou vody zaznamenávána i elektrická konduktivita a v závěru mapování byla bez úspěchu provedena sumární bilance vydatnosti pramenů za pomocí zařízení FlowTracker z průtoku vody v Teplé. Nakonec byla celková vydatnost divokých vývěrů v zájmové oblasti, tedy v místech pramenů Vřídla, odhadnuta na 2 až 3 l/s. Odhad vychází z dlouhodobých změn tlakových poměrů ve struktuře Vřídla.

Výsledky obou termometrických průzkumů dokládají, že při nastavení vhodného pracovního postupu jde o vysoce všestrannou a účinnou metodu kvalitativního posouzení vývěrů minerálních vod. Pro úspěšnou aplikaci je však vždy nutné metodiku adaptovat na specifické hydrogeologické a hydrologické podmínky dané lokality. Výsledky obou dílčích průzkumů poskytly informace o distribuci minerálních pramenů a budou sloužit jako podklad pro nastavení ochrany zřídelních struktur.

ÚVOD

Termometrie se v hydrogeologické praxi nejčastěji využívá pro identifikaci skrytých přítoků podzemních vod do vod povrchových. Jde o alternativu k prostému měření průtoku ve vodoteči, při kterém je předpokládán rozdíl vydatnosti způsobený přítokem podzemní vody. Při termometrii se vychází z toho, že podzemní voda obvykle vykazuje stabilnější hodnotu teploty po celý rok ve srovnání s kolísavějšími teplotami povrchové vody [1]. Teplota podzemní vody se v přípovrchové zóně horninového prostředí blíží průměrné roční teplotě vzduchu a vzrůstá s hloubkou pod terénem v důsledku geotermálního gradientu. Tento teplotní kontrast vytváří ve vodotečích či recipientech anomálie v místech průniku podzemních vod [2], což lze detekovat pomocí tyčových teploměrů, kamer se snímáním v infračerveném termálním spektru (TIR) či běžnými konduktometry s teplotním čidlem, a to jak povrchovým, tak dálkovým průzkumem Země [3]. Teplotní kontrast lze chápat jako přirozený nekonzervativní stopovač. Jeho výhoda spočívá zejména ve všudypřítomnosti, přirozeném výskytu, neinvazivnosti a snadné detekci, což umožňuje rychlé mapování [4]. Na rozdíl od konzervativních stopovačů, jejichž koncentrace přímo souvisí se směšovacími poměry [5], je kvantitativní interpretace tepelných stop z hlediska stanovení vydatnosti nepřímá a složitá [6]. Změřená teplota stopy je totiž ovlivněna teplotou podzemní vody, povrchové vody, stupněm mísení s povrchovou vodou a výměnou tepla s atmosférou, jež je závislá mj. na tepelné kapacitě vody. Z tohoto důvodu je termometrie považována za kvalitativní či v některých případech semikvantitativní metodu.

Účinnost detekce teplotní stopy přímo souvisí s velikostí teplotního rozdílu (ΔT). Termometrické průzkumy jsou v podmínkách ČR nejúčinnější v zimě (teplá podzemní voda a studená vodoteč či recipient). Důležité jsou však i denní výkyvy. Mapování prováděné v noci nebo při úplné oblačnosti minimalizují rušivé účinky [3]. Na detekci má vliv i sezonní variabilita vydatnosti vodních toků, kdy při vyšším průtoku stoupá mez detekce, tj. klesá citlivost. Obecně lze lepších výsledků dosáhnout při bezvětří a v období bez nedávných srážek, které homogenizují teplotu sloupce vody. Na výměnu tepla mají vliv kondukce, konvekce, radiace a také transportní procesy, tj. dominantně advekce, kdy dochází k transportu tepla s pohybem podzemní, resp. povrchové vody [6]. Druhým hlavním transportním mechanismem je tepelná disperze, jež vzniká v důsledku rozdílných rychlostí proudění [7]. I přesto, že je v modelech někdy zjednodušována nebo zanedbávána, zejména při nízkých rychlostech proudění, může být disperze důležitá pro přesnou interpretaci transportních procesů tepla [7]. Kombinace těchto procesů určuje velikost, tvar a intenzitu tepelné stopy. Při

kvalitativním vyhodnocení se předpokládá, že intenzita a velikost teplotní stopy vypovídají o vydatnosti či teplotě pramene (větší či kontrastnější stopa ≈ vyšší vydatnost, resp. teplota) [6]. Tvar tepelné stopy je ovlivněn směrem proudění a dynamikou míchání [8]. Při kvantifikaci měření je problémem zmíněná nekonzervativnost „stopovače". Je totiž nutné zvážit mocnost vodního sloupce nad vývěrem, míru míchání, rychlost proudění povrchové vody či vliv atmosférických podmínek. Pro kvantifikaci neexistuje jednotná kalibrace a je nutno každou lokalitu posuzovat individuálně [9, 10].

Zkušenosti s využitím termometrie při vyhledávání skrytých pramenů jsou bohaté jak v zahraničí, tak i v českém prostředí. V oblasti přírodních léčivých zdrojů se však stále nerozšířila do běžné praxe a zkušenosti s její aplikací jsou kusé. Termometrie byla využita např. v rámci mapování tektonické stavby západních Čech, včetně širokého okolí Mariánských Lázní. Úkol probíhal v letech 1984 až 1988 a termometrováno bylo např. Pottovo údolí v Mariánských Lázních [11]. Výsledky však měly sloužit spíše pro ověření hypotézy, že vydatné výrony podzemních vod jsou predisponovány tektonicky, zatímco problematice přírodních léčivých zdrojů se autoři prakticky nevěnovali, a to údajně i z důvodu nízké citlivosti detektorů. V Karlových Varech zase probíhaly tzv. komisní prohlídky za pomocí termometrie v roce 1980 [12], ale účelem nebyla snaha o kvantifikaci měření, nýbrž rekognoskace lokality z důvodu probíhajících sanačních prací. Měření z prohlídek v Karlových Varech nejsou dostupná.

CÍLE

Hlavním cílem termometrického průzkumu jak v Mariánských Lázních, tak v Karlových Varech (*obr. 1*) bylo nalézt dosud neznámé vývěry minerálních vod. Znalost distribuce minerálních pramenů v prostoru je klíčová pro vhodné nastavení preventivní i reparativní ochrany, a to i pro již zachycené a exploatované vývěry. Dílčím cílem bylo popsat specifika využití termometrie při průzkumu vývěrů minerálních vod, přičemž byly záměrně termometrovány dvě kontrastní lokality, aby se ověřila aplikovatelnost v širším spektru podmínek. Oblast Mariánských Lázní je značně prostorově rozsáhlá a charakteristická pro své vývěry studených minerálních vod obohacených o volné rozpuštěné (dále v. r.) CO_2, zatímco oblast Karlových Varů je úzce omezená a typická pro vývěry vod termálních. Mariánské Lázně byly vybrány proto, že vyhledávání studených minerálních pramenů zvyšuje nároky na použitou techniku, což v konečném důsledku vede k vyšší vypovídající hodnotě výsledků testování termometrie při vyhledávání minerálních pramenů. Podcíle byly pro každou lokalitu stanoveny samostatně.

Obr. 1. Zájmové oblasti s uskutečněným termometrickým průzkumem
Fig. 1. Areas studied with thermometric survey

Podcíle pro lokalitu Mariánské Lázně

Podcílem bylo nově nalezené vývěry minerální vody využít pro odběr vzorků a díky tomu pochopit prostorové zákonitosti složení. Současná představa o hydrochemické zonaci minerálek vychází pouze z údajů ze zachycených pramenů [13]. Význam nalezení dalších, méně vydatných, nezachycených minerálních pramenů, resp. vývěrů souvisí i s požadavkem Chráněné krajinné oblasti (CHKO) Slavkovský les evidovat a chránit prameny minerálních vod jako celek, bez ohledu na to, zda mají či nemají stanovená ochranná pásma. Bez znalosti lokalizace, fyzikálních a chemických vlastností nelze vyvěrající minerální vody účinně chránit. S tím souvisí i otázka tektonické predispozice chemismu a distribuce pramenů v prostoru.

Podcíle pro lokalitu Karlovy Vary

Podcílem termometrických měření v Karlových Varech bylo ověřit, zda je v současnosti přirozená i umělá těsnicí vrstva na dně koryta Teplé dostatečně účinná proti divokým vývěrům termy v nejnižších partiích údolí. Kvalita těsnění hrála vždy velkou roli v bezproblémové exploataci Vřídla, a tudíž bylo nutné zřídelní sedimentaci, která tvoří přirozenou těsnicí vrstvu, průběžně doplňovat o další umělé těsnicí prvky tak, aby nedocházelo k nežádoucím průvalům termální vody [14]. Umělé těsnění však nikdy nebylo dokončeno v celém prostoru koryta Teplé v centru vývěrové zóny. Tento prostor je tedy dodnes poznamenán řadou úniků termy i zřídelního plynu přímo do povrchového recipientu [15]. V případě významnějšího porušení těsnění dna koryta v okolí Vřídla nastává pokles vydatnosti nejbližších malých pramenů a dochází k odplynění centra struktury. Výsledek průzkumu bude sloužit jako výchozí materiál pro správce zdejších přírodních léčivých zdrojů.

ZÁJMOVÉ OBLASTI

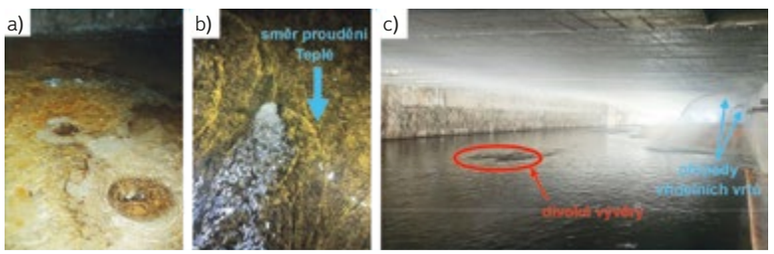
Mariánské Lázně

V Mariánských Lázních a okolí vyvěrá více než 100 minerálních pramenů, přičemž všechny spojuje vysoké proplynění CO_2, nízká teplota od ± 7 do 12 °C a nižší vydatnost od 0,01 do 1 l/s. Prameny od sebe naopak odlišuje velmi proměnlivá celková mineralizace v rozmezí od 0,2 do 12,0 g/l a chemické složení [13, 16]. Na základě chemického složení lze vyčlenit čtyři hlavní skupiny pramenů s tím, že každá skupina je formována ve specifických litologických poměrech. První skupina je vázána na serpentinity, druhá na amfibolity, třetí pravděpodobně na zasáklou fosilní mineralizaci a čtvrtá je tzv. přechodová, v níž je chemismus ovlivňován kombinovanou litologií, příliš krátkým stykem s podložím nebo litologií, která nemá vyhraněný chemismus [16]. Z těchto obecných znalostí o zřídelní soustavě vycházelo navržení vhodné metodiky pro termometrický průzkum.

Karlovy Vary

Vývěry karlovarské termy s maximální teplotou 73,4 °C a celkovou mineralizací 6,4 g/l a výrony zřídelního plynu jsou vázány na zhruba 1 700 m dlouhou a cca 150 m širokou vývěrovou zónu v granitech. Celková vydatnost zřídelní struktury činí cca 33 l/s. Střed vývěrové zóny z hlediska distribuce vydatnosti termy a zřídelního plynu leží v blízkosti historické pozice Vřídla, jež tvoří asi 95 % vydatnosti všech karlovarských pramenů. Všechny termální prameny v Karlových Varech jsou chemicky totožné s výjimkou Hadího a Štěpánčina pramene, které mají nižší mineralizaci. Jednotlivé prameny se od sebe liší

pouze teplotou a koncentrací CO_2 [17]. Teplota pramenů je ovlivňována především rychlostí výstupu termy po příhodných diskontinuitách k povrchu a do jisté míry též vzdáleností vývěru od středu struktury. Zcela specifickým jevem jsou ve vývěrové zóně karbonátové zřídelní sedimenty o mocnosti i více než 10 m [14, 18]. V Karlových Varech jsou divoké vývěry (*obr. 2*) známy po staletí a měly vždy velký vliv na exploatované prameny. Příčiny divokých vývěrů v důsledku poruch v těsnění koryta jsou jak přírodní (eroze řeky, změny tlaku ve struktuře apod.), tak antropogenní (stavební zásahy, krenotechnické zásahy atd.) [19]. Režim karlovarských pramenů ovlivňují např. slapové síly [20]. Z těchto obecných znalostí o struktuře vycházelo nastavení vhodné metodiky pro termometrické mapování divokých pramenů.



Obr. 2. Divoké vývěry karlovarské termy; a) divoké vývěry ve starém suterénu Vřídla, b) divoké vývěry do koryta Teplé, c) celkový pohled pod přemostění s patrnými divokými vývěry

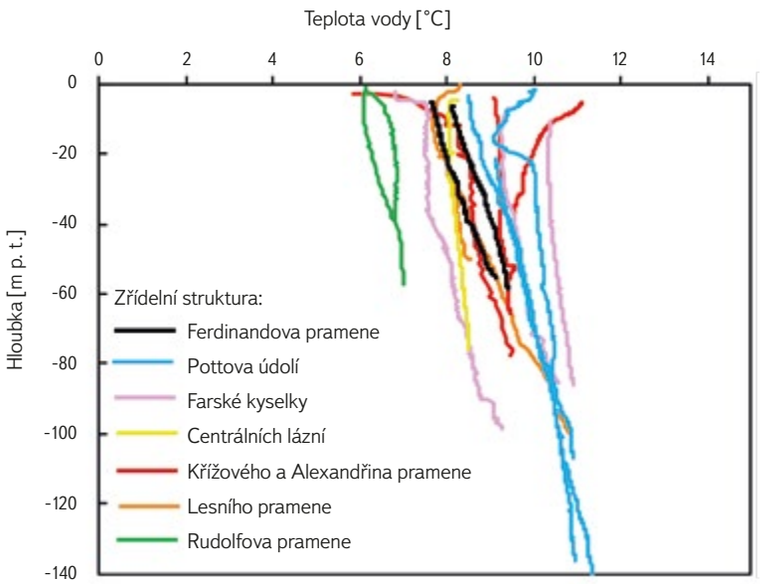
Fig. 2. Untapped "wild" springs; a) springs in the old basement of the Vřídlo, b) wild springs in the Teplá riverbed, c) general view under the bridge with visible untapped springs

METODIKA

Pro účely publikace je za minerální vodu v případě Mariánských Lázní považována ta, která vykazuje koncentrace v. r. CO_2 >1 g/l, tj. jde o kyselku, a v případě Karlových Varů ta, jež vykazuje teplotu > 20 °C, tj. jde o termu. Teplotní stopou je myšlena jakákoli teplotní anomálie detekovaná termokamerou. Novým nebo divokým vývěrem minerální vody je myšlena teplotní stopa, resp. anomálie, u níž byla identifikována zvýšená koncentrace v. r. CO_2, tj. detekce přítomnosti Härtlovou třepací aparaturou (dále zkráceně Härtlovým přístrojem) nebo zvýšená teplota o minimálně ~ 3 °C oproti pozaďové teplotě vody.

Mariánské Lázně

V zájmové oblasti (*obr. 4*) byly nejprve dohledány vodoteče ze Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED). Samotný termometrický průzkum probíhal od ledna do března 2023 a k termometrii byla využita TIR kamera FLIR C5 (USA) umožňující měřit v rozsahu -20 °C až +400 °C se snímací frekvencí 8,7 Hz a rozlišením 240 × 320 pixelů v základním režimu nastavení, tj. s automatickou kalibrací. Sled činností po identifikaci teplotní stopy neznámého charakteru zahrnoval označení kolíkem, fotodokumentaci, GPS zaměření mobilním telefonem, dále měření konduktivity, teploty, hodnoty pH pomocí přístroje WTW Multi 340i se sondou TetraCon 325 a pH-Elecrode SenTix 41 a nakonec vydatnosti a koncentrace v. r. CO_2 Härtlovým přístrojem. Ačkoli byly zaměřeny všechny nalezené teplotní stopy, odběr pro chemickou analýzu probíhal pouze u těch stop, u nichž byla zjištěna přítomnost v. r. CO_2 Härtlovým přístrojem, tedy u nových vývěrů minerální vody. Nejvýznamnějším novým vývěrům minerální vody dle vydatnosti a obsahu v. r. CO_2 byly přiděleny kromě identifikačního čísla i jména v souladu s názvy okolních pramenů. Pro lepší lokalizaci byly teplotní stopy v březnu až dubnu 2023 zaměřeny RTK (Real-Time Kinematic) GPS stanicí. Následně byla provedena interpretace a data konfrontována s teplotami a elektrickými konduktivitami již zachycených minerálních pramenů, a to s vědomím, že teplota vody v exploatovaných *„minerálkových"* vrtech roste s hloubkou průměrně o 1,6 °C / 100 m (*obr. 3*) a některé jímací objekty mají přetok, což interpretativnost ještě dále snižuje. Všechny nové vývěry minerální vody byly pravidelně sledovány do července 2024, aby se ověřilo, že nejsou přechodného charakteru.



Obr. 3. Změna teploty vody s hloubkou v exploatovaných vrtech na minerální vodu v jednotlivých zřídelních strukturách Mariánských Lázní (upraveno z [21])

Fig. 3. Change in water temperature with depth in exploited mineral water boreholes in individual spring structures in Mariánské Lázně (adapted from [21])

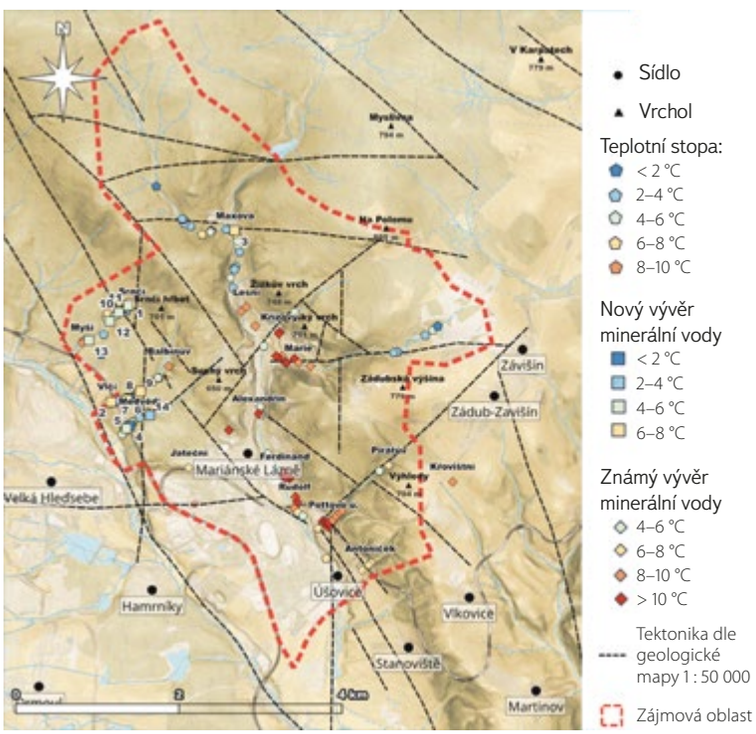
Karlovy Vary

Metodika vyhledávání zdrojů termy byla přizpůsobena menšímu plošnému rozsahu území, vyšší teplotě pramenů a vyšším ředícím poměrům, neboť Teplou protéká cca 1,5 m^3/s při vodním sloupci cca 0,4 m, což znemožňuje použití TIR kamery. Bylo využito bodového měření konduktometrem s teplotním čidlem v definované síti. K měření teploty a elektrické konduktivity byl použit přístroj Greisinger (Německo) G 1410, který umožňuje měření teploty od -5,0 do 105,0 °C s přesností ± 0,3 °C. Teplotní čidlo bylo obaleno izolační pěnou tak, aby měřilo pouze teplotu dna koryta Teplé. Termometrické profilování proběhlo na území o ploše cca 1 300 m^2 dne 11. září 2024. Pro potřeby profilování byla vytvořena pravidelná síť od Janského mostu po Vřídelní lávku, tj. v místech bez dodatečného umělého těsnění. Odstup mezi měřenými body byl 5, resp. 2 či 1 m v místech s očekávanými vývěry termy. V bodech s anomálně vysokou teplotou bylo přesné místo vývěru termy ručně dohledáno a lokalizováno. Následné prostorové vyhodnocení bylo provedeno pomocí metody deterministické interpolace IDW (Inverse Distance Weighting). Tato metodika byla zvolena s vědomím toho, že možný vývěr může být lokalizován i mimo měřené body. Termometrie byla doplněna o měření průtoku Teplé před vtokem a po výtoku ze zájmové oblasti pomocí přístroje FlowTracker. Tato měření měla pomoci bilancovat celkovou vydatnost divokých pramenů.

VÝSLEDKY

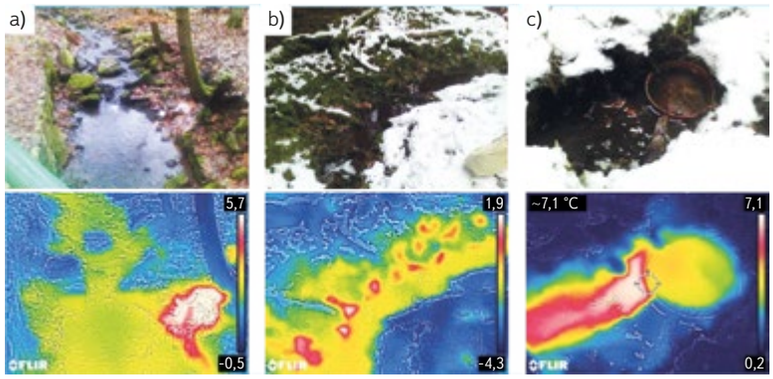
Mariánské Lázně

Termometrií 20 km vodních toků v zájmové oblasti bylo nalezeno 14 nových vývěrů minerální vody, přitom celkově bylo zaregistrováno 131 teplotních stop (*obr. 4*). Teplotní stopy měly nejčastěji eliptický tvar, který byl protažen ve směru proudění povrchové vody. V případě nových vývěrů minerální vody bylo mnohdy pozorováno vyvěrání nad korytem vodoteče, kdy docházelo k přelivu přes okraj pramenních sedimentů (*obr. 5a*). Nové vývěry minerální vody byly nalézány v oblasti nerovnoměrně s tím, že až na jeden výskyt (P013A Chudá) byla lokalizace omezena pouze na její západní část (*obr. 4*). Teplotní stopy se podařilo nalézt i v úplném centru Mariánských Lázní, kde byla na dně částečně vypuštěného Labutího jezírka změřena stopa o teplotě 5 °C a konduktivitě 1 725 µS/cm. Nepodařilo se však změřit obsah v. r. CO_2 Härtlovým přístrojem, tudíž stopa není zařazena mezi nové vývěry minerální vody.



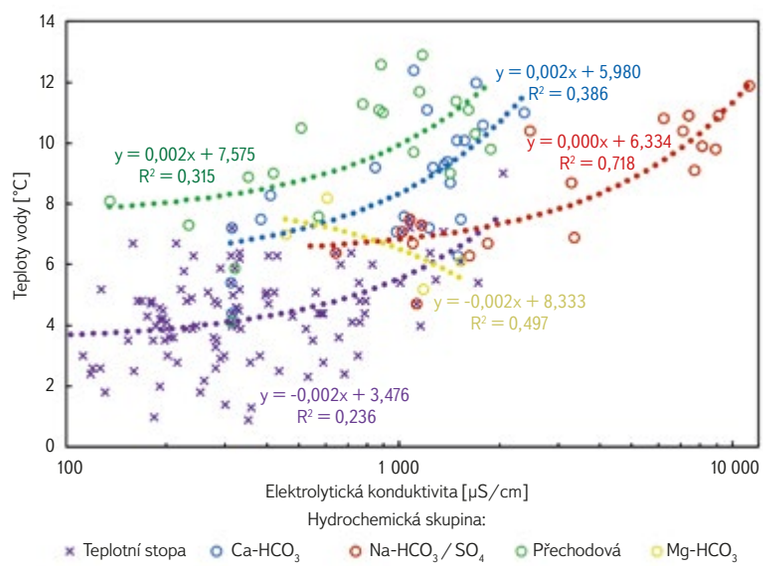
Obr. 4. Termometrické měření v Mariánských Lázních
Fig. 4. Thermometric measurements in Mariánské Lázně
1 = P004/P069 Žabí, **2** = P011, **3** = P013A Chudá, **4** = P035, **5** = P037D Ježčí, **6** = P045A, **7** = P047 Mravenčí, **8** = P053 Šnečí, **9** = P054 Sýkorčí, **10** = P059B, **11** = P067A, **12** = P071, **13** = P073, **14** = P116 (Zdroj: mapový podklad: DMR 5G)

Díky termometrování v mrazech bylo možné lokalizovat teplotní stopy již od 1,9 °C absolutní teploty (*obr. 5b*). Mnohé nové vývěry minerální vody doprovázely okry železa, výrony plynného CO_2, organoleptické vlastnosti a nezamrzání. Pro všech 14 nových vývěrů minerální vody shodně platí, že vykazují hodnotu pH nižší než 7. U některých teplotních stop nebylo možné měřit hodnoty v. r. CO_2 z důvodu velkého ředění povrchovou vodou. I proto nelze vyloučit, že skutečný počet vývěrů minerálních vod bude vyšší. Celá vývěrová soustava je sice vázána generelně na mariánskolázeňské zlomové pásmo, ale vliv lokální tektoniky na distribuci vývěrů se zjistit nepodařilo (viz *obr. 4*).



Obr. 5. Snímky termokamerou; a) Lucčina kyselka, b) drobné vývěry v říční nivě, c) Žabí kyselka vyvěrající mimo jímání
Fig. 5. Thermal camera images; a) Lucčina kyselka, b) small springs in the river floodplain, c) Žabí kyselka springing outside the spring catchment

Doplňkovým měřením konduktivity teplotních stop nebyla zjištěna dobrá korelace s teplotou (*obr. 6*). Mírně lepší korelaci vykazuje soubor dat nových i stávajících vývěrů minerální vody rozdělených do hydrochemických skupin. Obecně však platí, že teplota vody není vhodným prekurzorem pro odhad konduktivity. Nejvyšší koeficient determinace, tj. R^2 = 0,718, vykazuje skupina Na-HCO_3/SO_4, ostatní skupiny mají determinační koeficient výrazně nižší (R^2 = 0,315 a 0,386). Jediná skupina Mg-HCO_3 (R^2 = 0,497) vykazuje klesající teplotu s rostoucí konduktivitou. Soubor dat je však omezen pouze na čtyři vývěry. Bylo zjištěno, že vyšší vydatnost pramenů způsobuje nižší roční rozkolísanost teploty vody.



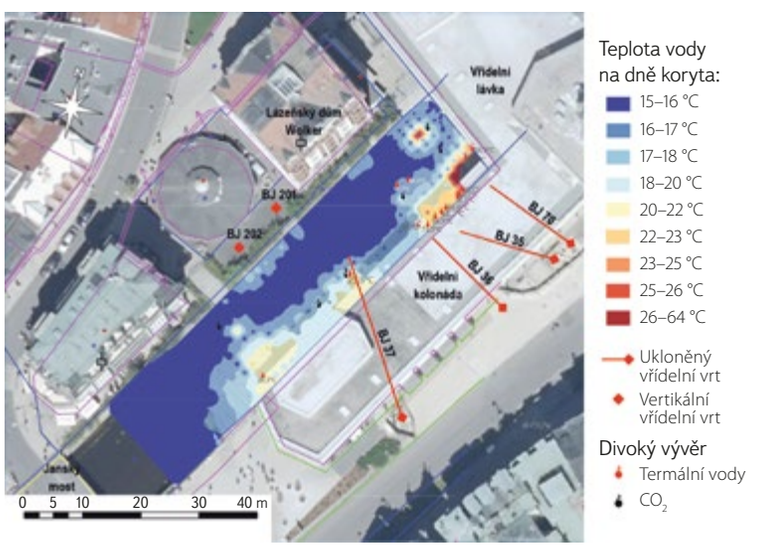
Obr. 6. Vztah teploty vývěru a elektrické konduktivity pro teplotní stopy a všechny známé vývěry (nové i stávající) rozdělené dle hydrochemických skupin v Mariánských Lázních
Fig. 6. Relationship between seepage temperature and conductivity for temperature anomalies and all known seepages (new and existing) divided by hydrochemical groups in Mariánské Lázně

TIR kamera se nad rámec původního záměru ukázala jako vhodná pomůcka pro ověření stavu zachycení vývěru minerální vody. Z *obr. 5c* je patrné, že Žabí kyselka, jež byla nově objevena a provizorně zachycena, vyvěrá mimo jímání. Opakovaným sledováním nových vývěrů minerální vody bylo zjištěno, že

dochází ke značným sezonním změnám teploty i vydatnosti s tím, že nejnižší teploty jsou zjišťovány v zimě a nejvyšší v létě, zato hodnoty konduktivity a hodnoty pH zůstávají téměř stabilní. Ze 14 nových vývěrů minerální vody jich bylo k chemické analýze odebráno 11 a výsledky analýz budou využity pro budoucí revizi ochranných pásem v rámci CHKO Slavkovský les.

Karlovy Vary

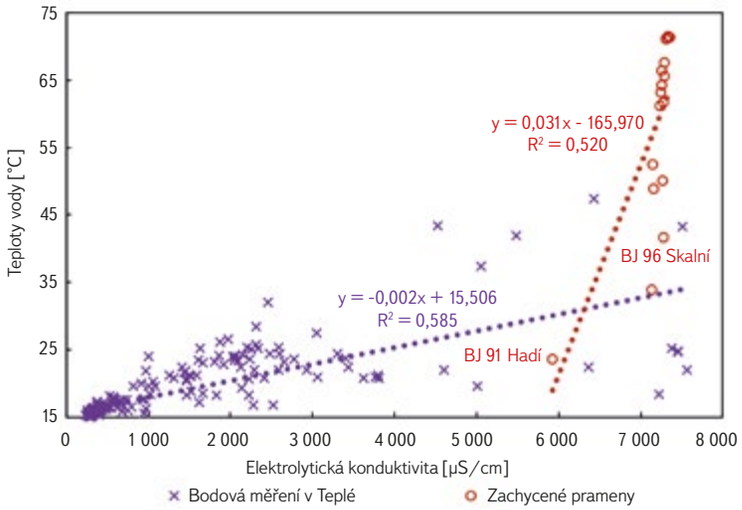
Termometrický průzkum doplněný o konduktometrii řečiště Teplé v části kolem Vřídelní kolonády prokázal výskyt 14 divokých vývěrů termální minerální vody na ploše 1 300 m^2. Z hlediska prostorového rozložení jsou divoké vývěry soustředěny při pravém břehu koryta Teplé a jejich nejvyšší koncentrace je v úrovni lázeňského domu Wolker. Ve středu proudnice nebo mimo úsek lázeňského domu Wolker byly zjištěny pouze čtyři vývěry. Fakt, že jsou divoké vývěry nalézány zejména při pravém břehu koryta Teplé naproti domu Wolker, je v souladu s tím, že se současná (BJ 35-37, 70) i historická jímání Vřídla nacházela (a stále nacházejí) právě na pravém břehu. Nejvyšší koncentrace divokých minerálních pramenů je v místech počvy ukloněných jímacích Vřídelních vrtů BJ 35, BJ 36 a BJ 70. Divoký vývěr minerální vody byl nalezen i nad čtvrtým Vřídelním vrtem BJ 37, byť jeho teplota činí pouze 23,3 °C. I přesto, že nebylo možné plně zamezit kontaktu povrchových vod s čidlem na teplotu a konduktivitu, byla nejvyšší zaznamenaná teplota divokého vývěru 71,3 °C a nejvyšší naměřená konduktivita 7 470 µS/cm, což jsou hodnoty téměř totožné s Vřídlem. Nad rámec původního zaměření bylo vizuálně zjištěno šest hlavních míst úniku plynného CO_2 skrz vodní sloupec Teplé.



Obr. 7. Termometrické měření v Karlových Varech
Fig. 7. Thermometric measurements in Karlovy Vary

Díky známé dlouhodobé změně vydatnosti struktury a díky tlakovým změnám na regulačních vrtech bylo odhadnuto, že v současné době vyvěrají do koryta Teplé divoké vývěry o sumární vydatnosti ~ 2 až 3 l/s, včetně neznámého množství plynného CO_2. Sumární vydatnost divokých vývěrů byla pokusně bilancována i pomocí přístroje FlowTracker, ale vzhledem k přesnosti ± 10 % nepřineslo měření očekávané výsledky.

Analýzou dat byla zjištěna korelace mezi konduktivitou vody v definované síti a teplotou s koeficientem determinace R^2 = 0,585. Koeficient je sice velmi podobný i pro již zachycené prameny (R^2 = 0,520), rozložení hodnot je však zcela odlišné. Hadí pramen je totiž jediný zachycený pramen, který má zřetelně odlišnou konduktivitu. Jde o nejvzdálenější vývěr od středu struktury, o pramen s nejvyšší koncentrací v. r. CO_2 a je také nejchladnější (*obr.* 8). Lze ho tak vyloučit ze souboru dat. Analogicky k divokým vývěrům minerálních vod lze tedy konstatovat, že fakticky teplota vody není vhodným prekurzorem pro určení konduktivity, neboť v případě zamezení ředění Teplou bude konduktivita pro všechny nové divoké vývěry shodná, tj. ± 7 300 µS/cm, zatímco teplota vody se bude lišit v závislosti na rychlosti výstupu termy.



Obr. 8. Vztah bodových měření teploty vody na dně řečiště Teplé a zachycených pramenů k elektrické konduktivitě
Fig. 8. Relationship between point measurements of water temperature at the bottom of the Teplá riverbed and captured springs on conductivity

DISKUZE

Nastavení metodiky termometrického průzkumu musí reflektovat požadavek na charakter výsledku termometrického průzkumu. Typologie sběru dat v Mariánských Lázních byla přizpůsobena značné rozlehlosti oblasti, zatímco v Karlových Varech vysokému teplotnímu gradientu mezi povrchovou a termální vodou. Obě metodiky se ukázaly být velmi účinné a obě vedly k vyhledání vývěrů minerální vody.

Výsledky průzkumu mají na obou lokalitách přesah do praktické roviny, a to konkrétně v případě Mariánských Lázní pro Agenturu ochrany přírody a krajiny CHKO Slavkovský les, jež se snaží objektivizovat přístup k ochraně i méně významných vývěrových struktur minerálních vod. V případě Karlových Varů jsou zjištění důležitá pro správce přírodních léčivých zdrojů (Správa přírodních léčivých zdrojů a kolonád), který výsledky implementuje do projektu těsnicích prací v blízkosti Vřídelní kolonády. Vysoká sumární vydatnost divokých pramenů do koryta řeky Teplé může souviset s nedávnou rekonstrukcí části Vřídelní kolonády v letech 2019 až 2023, jež vlivem tlakových změn divoké vývěry oživila.

Přestože se termometrická měření, ať už pomocí TIR kamery, či teplotní sondou, ukázala být velmi účinným nástrojem pro vyhledávání výronů vody (po změření v. r. CO2), je nutné připomenout, že se nepodařilo u všech zjištěných teplotních stop v Mariánských Lázních provést měření Härtlovým přístrojem vlivem nemožnosti odstínit okolní vodoteče. Celkový počet nových vývěrů minerálních vod v souboru 131 teplotních stop tedy může být vyšší, což je důvod, proč jsou všechny teplotní stopy zahrnuty do výsledků studie. Nepoměr mezi počtem zjištěných teplotních stop a počtem potvrzených minerálních pramenů je způsoben zejména tím, že výrony prostých vod jsou mnohem častější, a to i v podmínkách Mariánských Lázní. A i přesto, že jsou vývěry minerálních pramenů v mrazech obvykle teplejší, bylo postupováno v souladu s metodikou, kdy byly označovány všechny stopy, které převyšují pozadí

o ~ 3 °C. Nezachycené výrony totiž mohly být ředěny povrchovou vodou, což identifikaci znesnadňuje. V Karlových Varech bylo limitujícím faktorem měření v síti s odstupem 1 až 5 m, což jistě vedlo k neidentifikaci některých vývěrů vlivem pozice mimo měřený bod. Řešením tohoto problému nebylo kontinuální měření teploty, protože odezva čidla nebyla dostatečně rychlá. Zároveň, a to i přes snahu minimalizovat další rušivé vlivy, je třeba zdůraznit, že v případě Mariánských Lázní nebylo možné docílit zcela shodných meteorologických podmínek, jako jsou denní cykličnost teplot, obleva aj., pro celou dobu termometrického průzkumu.

Srovnání nových výsledků měření s daty z osmdesátých let jak v Mariánských Lázních, tak v Karlových Varech ukazují, že díky moderním technologiím lze zvýšit úspěšnost průzkumu. Zatímco autoři studie realizované v letech 1984 až 1988 v širokém okolí Mariánských Lázní docházeli k rozporuplným výsledkům, průzkum v letech 2023 až 2024 již s úspěchem vývěry lokalizoval. Tehdejší termometrický průzkum totiž probíhal bez využití TIR kamery, která by celý proces sběru dat zrychlila, zpřesnila a zlevnila. Průzkum v roce 1980 v Karlových Varech byl spíše rekognoskačního charakteru, tudíž závěry jeho autorů jsou pouze kvalitativní – byly např. nalezeny úniky termy po obvodu zárubnic vrtů v řečišti.

Kvantifikace vydatnosti se z termometrických dat ani z doplňkových konduktometrických dat nepodařila. Připomeňme, že v Mariánských Lázních jde o vývěry minerální vody s velmi proměnlivou konduktivitou, ale téměř shodnou teplotou, naopak v Karlových Varech jde o prameny téměř shodné konduktivity, avšak odlišné teploty. A zatímco v Karlových Varech roste s hloubkou jímání minerální vody pouze teplota, v Mariánských Lázních zejména konduktivita, což bylo potvrzeno např. ve Ferdinandově zřídelní struktuře [16]. Skutečnost, že mariánskolázeňské prameny mají podobnou teplotu, by mohla usnadnit kvantifikaci vydatnosti, vyžadovalo by to však ideální podmínky, jež byly zmíněny v úvodu. Následně by bylo možné – v případě paralelního měření konduktivity – dokonce dopočíst konduktivitu vývěru pomocí směšovací rovnice. V rámci studie byl ověřován vztah mezi konduktivitou a teplotou, výsledky jsou však rozporuplné. Korelace mezi konzervativní konduktivitou a nekonzervativní teplotou totiž přináší značná úskalí, a to i přesto, že v podmínkách studie nejde o dva nezávislé parametry, což dokládají data ze zachycených pramenů (*obr. 6*). V Karlových Varech je navíc problematická neznámá teplota samotného vývěru do koryta. To je způsobeno odlišnou rychlostí výstupu termy k povrchu, do jisté míry též vzdáleností od centra vývěrové zóny, a tudíž i hloubkou jímání. I proto v případě zachycení malých pramenů vrty (např. Skalní, Mlýnský, Sadový) došlo v minulosti ke zvýšení teploty pramenů, jelikož se vytvořila preferenční cesta, která zkrátila dobu zdržení v horninovém prostředí [17].

ZÁVĚR

Výzkum se věnoval využití termometrie jako efektivního nástroje pro vyhledávání vývěrů minerální vody. Tuto metodu však nelze považovat za samonosnou při vyhledávání minerálních pramenů a je vhodné ji rozšířit např. o měření v. r. CO_2 či konduktivity. Termometrie byla aplikována ve dvou kontrastních lokalitách: v Mariánských Lázních s chladnými prameny a v Karlových Varech s prameny termálními. V Mariánských Lázních se TIR kamerou podařilo vyhledat 14 nových, málo vydatných vývěrů minerálních vod. Lze konstatovat, že samotná termometrie netermálních proplyněných pramenů (< 20 °C) jednoznačně neurčí přítomnost vyvěrající minerální vody, na druhé straně v kombinaci s měřením Härtlovým přístrojem, konduktometrem a pH metrem jde o nejúčinnější a též nejlevnější způsob vyhledávání i málo vydatných vývěrů kyselek. Nutno podotknout, že termometrie je přirozeně aplikovatelná i pro vyhledávání výronů neminerálních vod. Výsledky budou předloženy Správě CHKO Slavkovský les za účelem evidence a lepší ochrany minerálních vod v oblasti.

Pro průzkum v korytě Teplé v Karlových Varech byla zvolena metoda bodového měření konduktometrem s integrovaným teplotním čidlem v pravidelné síti. Termometrická analýza prokázala výskyt 14 divokých vývěrů termální vody v korytě Teplé na ploše 1 300 m^2, jež dosahují teplot až 71,3 °C a konduktivity až 7 470 µS/cm. Celková vydatnost divokých vývěrů v zájmovém území byla odhadnuta na ~ 2 až 3 l/s. Výsledky termometrie jsou klíčovým podkladem pro plánované sanační práce v řečišti Teplé. Za žádoucí lze považovat zopakování měření po uskutečnění sanace k ověření její účinnosti.

Termometrie je vhodná pro rychlé mapování interakčních zón podzemních a povrchových vod, zejména díky své neinvazivnosti. Úspěšnost metody závisí na optimálním načasování měření (denní a roční periodicita) a velikosti teplotního rozdílu (ΔT) mezi podzemní a povrchovou vodou. Kvantitativní interpretace tepelných stop z hlediska průtoku je komplikovaná, jelikož teplota je nekonzervativním stopovačem. Pro kvantifikaci je nutná kalibrace pro dané místo a podmínky. Výzkum potvrdil, že i přes obecnou nemožnost kvantifikace je termometrie vhodná pro kvalitativní zhodnocení skrytých pramenů. Aplikace v oblasti minerálních vod, jak ukázaly obě části studie, je velmi efektivní, avšak vyžaduje pečlivé zvážení lokálních podmínek pro volbu správné metodiky. Do budoucna lze očekávat, že se budou zvyšovat citlivost i obnovovací frekvence TIR senzorů, jejich cenová dostupnost, množství přídavných senzorů (hyperspektrálních), zároveň že se zdokonalí algoritmy pro korekci atmosféry, měření emisivity, využití umělé inteligence a machine learningu, resp. že se bude zdokonalovat fúze s daty z DPZ, zejména pomocí dronů, a dojde ke zjednodušení realizace časoprostorového monitorování, což bude umožňovat širší využití v hydrologii i hydrogeologii.

Poděkování

Výzkum realizovaný v rámci projektu „Centrum lázeňského výzkumu" je financován z prostředků Fondu pro spravedlivou transformaci (JTF) prostřednictvím projektu č. CZ.10.01.01/00/22_001/0000261.

Literatura

[1] ANDERSON, M. P. Heat as a Ground Water Tracer [on-line]. *Groundwater*. 2005, 43(6), s. 951–968. ISSN 1745-6584. Dostupné z: https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2005.00052.x

[2] CONSTANTZ, J. Heat as a Tracer to Determine Streambed Water Exchanges [on-line]. *Water Resources Research*. 2008, 44(4). [citováno 2025-12-05]. ISSN 1944-7973. Dostupné z: https://doi.org/10.1029/2008WR006996

[3] WATTS, C. L., HATCH, C. E., WICKS, R. Mapping Groundwater Discharge Seeps by Thermal UAS Imaging on a Wetland Restoration Site [on-line]. *Frontiers in Environmental Science*. 2023, 10. ISSN 2296-665X. [citováno 2025-12-05]. Dostupné z: https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.946565

[4] MORIDNEJAD, M., SHAMSELDIN, A. Y., MELVILLE, B. W., BAALOUSHA, H. The Potential to Investigate the Interaction of Surface Water and Groundwater in New Zealand Using Remote Sensing Technique. In: *Water New Zealand Annual Conference & Expo* [on-line]. 2016. Dostupné z: https://www.waternz.org.nz/Attachment?Action=Download&Attachment_id=948

[5] BANERJEE, D., GANGULY, S. A Review on the Research Advances in Groundwater–Surface Water Interaction with an Overview of the Phenomenon [on-line]. *Water*. 2023, 15(8), 1552. ISSN 2073-4441. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/w15081552

[6] DEITCHMAN, R. S., LOHEIDE II., S. P. Ground-Based Thermal Imaging of Groundwater Flow Processes at the Seepage Face [on-line]. *Geophysical Research Letters*. 2009, 36(14). ISSN 1944-8007. [citováno 2025-12-05]. Dostupné z: https://doi.org/10.1029/2009GL038103

[7] REN, J., CHENG, J., YANG, J., ZHOU, Y. A Review on Using Heat as a Tool for Studying Groundwater-Surface Water Interactions [on-line]. *Environmental Earth Sciences*. 2018, 77(22), 756. ISSN 1866-6299. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/s12665-018-7959-4

[8] ANTONELLI, M., KLAUS, J., SMETTEM, K., TEULING, A. J., PFISTER, L. Exploring Streamwater Mixing Dynamics via Handheld Thermal Infrared Imagery [on-line]. *Water*. 2017, 9(5), 358. ISSN 2073-4441. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/w9050358

[9] MALLAST, U., SCHWONKE, F., GLOAGUEN, R., GEYER, S., SAUTER, M., SIEBERT, C. Airborne Thermal Data Identifies Groundwater Discharge at the North-Western Coast of the Dead Sea [on-line]. *Remote Sensing*. 2013, 5(12), s. 6 361–6 381. ISSN 2072-4292. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/rs5126361

[10] SCHMIDT, C., CONANT, B., BAYER-RAICH, M., SCHIRMER, M. Evaluation and Field-Scale Application of an Analytical Method to Quantify Groundwater Discharge Using Mapped Streambed Temperatures [on-line]. *Journal of Hydrology*. 2007, 347(3–4), s. 292–307. ISSN 0022-1694. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.08.022

[11] ŠKUTHAN, B., SUCHOMEL, J. *Geofyzikální průzkum mariánskolázeňské zřídelní oblasti v prostoru Pottovo údolí – Prameny – Nová Ves. Závěrečná zpráva. J06648300*. Praha: Geofyzika Brno, závod Brno, 1988. Dostupné z: https://app.geology.cz/asgi/asg.php?item=1&tt_=D&asgid=91091

[12] VYLITA, B. *Režimní sledování vybraných objektů Karlovy Vary – Vřídlo. Dílčí zpráva 10. N0375005613KH*. Karlovy Vary: Stavební geologie Praha, podnikové ředitelství, 1981. Dostupné z: https://app.geology.cz/asgi/asg.php?item=1&tt_=D&asgid=58397

[13] DOVOLIL, M. *Hydrogeologie oblasti kyselek v Mariánských Lázních a v jejich širokém okolí. Disertační práce*. Praha: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 1959.

[14] VYLITA, T. Vřídelní kolonáda v Karlových Varech z hledisek balneotechnických a přírodovědných. *Arnika*. 2020, 1, s. 20–25. ISSN 1804-1914. Dostupné z: http://www.casopis-arnika.cz/pdf/arnika_2020_01.pdf

[15] VYLITA, B. *Zákonitosti režimu karlovarských terem. Disertační práce*. Praha: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 1967. Dostupné z: https://app.geology.cz/asgi/asg.php?item=1&tt_=D&asgid=97104

[16] LANDA, D.-A. *Hydrochemická zonace minerálních vod v oblasti Mariánských Lázní. Diplomová práce* [on-line]. Praha: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 2024. Dostupné z: https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/194149/120487127.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[17] VYLITA, B. *S geologem po Karlových Varech*. Praha: Ústřední ústav geologický, 1990. ISBN 80-7075-019-7.

[18] VYLITA, T. Vřídlovce a sintry karlovarských terem. *Arnika*. 2018, 1, s. 8–12. ISSN 1804-1914. Dostupné z: http://www.casopis-arnika.cz/pdf/arnika_2018_01.pdf

[19] VYLITA, B., PĚČEK, J. Průzkum karlovarské zřídelní struktury. *Geologický průzkum*. 1981, 23(270), s. 161–164.

[20] VYLITA, T. *Slapové síly a jejich projevy v režimu minerálních vod. Diplomová práce*. Praha: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 1986. Dostupné z: https://app.geology.cz/asgi/asg.php?item=1&tt_=D&asgid=78076

[21] LANDA, D.-A. *Geotermální potenciál minerálních vod v oblasti Mariánských Lázní a jeho využitelnost na vybraných pozemcích. Studie*. Karlovy Vary: Institut lázeňství a balneologie, v. v. i., 2025.

Autoři

Mgr. David-Aaron Landa[1, 2]
✉ landa@i-lab.cz

RNDr. Tomáš Vylita, Ph.D.[1]
✉ vylita@i-lab.cz

Ing. Pavel Kalina[1]
✉ kalina@i-lab.cz

Mgr. Jakub Mareš, Ph.D.[2]
✉ maresj15@natur.cuni.cz

doc. Mgr. Viktor Goliáš, Ph.D.[2]
✉ wiki@natur.cuni.cz

Mgr. Petr Nakládal[2]
✉ petr-nakladal@email.cz

[1]Institut lázeňství a balneologie, v. v. i., Karlovy Vary (Česká republika)
[2]Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.11.002

ISSN 0322-8916/© 2026 Autoři. Tuto práci je kdokoli oprávněn šířit a využívat za podmínek licence CC BY-NC 4.0

APPLICATION OF THERMOMETRY IN THE EXPLORATION OF MINERAL SPRINGS — MARIÁNSKÉ LÁZNĚ AND KARLOVY VARY

LANDA, D.-A.[1, 2]; VYLITA, T.[1]; KALINA, P.[1]; MAREŠ, J.[2]; GOLIÁŠ, V.[2]; NAKLÁDAL, P.[2]

[1]Institute of Spa and Balneology, Karlovy Vary (Czech Republic)
[2]Faculty of Science, Charles University, Prague (Czech Republic)

Keywords: thermometry — mapping of mineral springs — Mariánské Lázně — Karlovy Vary

Thermometry is a non-invasive technique suitable for detecting hidden mineral water springs. Its applicability was evaluated in two contrasting hydrogeological settings: Mariánské Lázně, characterized by cold, CO_2-rich mineral springs, and Karlovy Vary, dominated by thermal springs.

In Mariánské Lázně, the objective was to identify previously undocumented springs. Ground thermometry with a thermal infrared (TIR) camera proved highly effective. The survey was supplemented by measurements of free dissolved CO_2 (Härtl´s apparatus), temperature, electrical conductivity, and pH. A total of 131 thermal anomalies were recorded along 20 km of watercourses, 14 of which were confirmed as new mineral springs. The actual number of springs is likely higher, as CO_2 analyses are limited in springs strongly diluted by surface water.

In Karlovy Vary, the aim was to localize and quantify wild thermal springs (up to 73.4 °C) within the bed of the Teplá River, which influence the equilibrium of the entire spring system. TIR imaging was ineffective due to rapid dilution by river water. Therefore, point temperature measurements were performed in a regular grid over a 1,300 m^2 area of the riverbed. This approach revealed 14 untapped so-called *wild* thermal springs. Flow balance analyses and electrical conductivity measurements were also carried out. The total discharge of the wild springs was estimated at 2–3 L/s.

The results confirm that thermometry is a flexible and efficient tool for the qualitative assessment of mineral water springs. Methodological adjustments to local hydrogeological and hydrological conditions are essential for reliable outcomes. Both case studies provide data relevant to the protection, exploitation, and rehabilitation of mineral water resources, and demonstrate the potential of thermometry for rapid and effective spring mapping.

Foto: 123rf.com

Foto: M. Bišťák

Autoři VTEI

RNDr. Hana Janovská

VÚV TGM, v. v. i., Praha (Česká republika)
✉ hana.janovska@vuv.cz
www.vuv.cz

RNDr. Hana Janovská je od roku 2006 zaměstnankyní VÚV TGM, v. v. i., kde po tříletém působení na brněnské pobočce a následné mateřské dovolené pracuje od roku 2015 na pražském pracovišti. V roce 2004 absolvovala magisterské studium oboru Systematická biologie a ekologie, specializace Hydrobiologie, na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity v Brně a v roce 2018 zde obhájila rigorózní práci. Profesně se zabývá problematikou spojenou s hodnocením ekologického stavu vod a chráněných území podle požadavků Rámcové směrnice o vodách a podílí se na řešení hydrobiologických výzkumných projektů spjatých s ochranou vodních ekosystémů.

Ing. Robert Kořínek, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i., Ostrava (Česká republika)
✉ robert.korinek@vuv.cz
www.vuv.cz

Ing. Robert Kořínek, Ph.D., je od roku 2002 výzkumným pracovníkem VÚV TGM, v. v. i. Vystudoval Vysokou školu báňskou – Technickou univerzitu Ostrava, obor Technologie a hospodaření s vodou; doktorské vzdělání absolvoval v oboru Úpravnictví na téže univerzitě. Od roku 2006 se systematicky věnuje problematice odpadového hospodářství, kde se v minulosti zaměřoval na tuhá alternativní paliva vyrobená z odpadů, na posuzování životního cyklu výrobků a různých způsobů nakládání s odpadem, předcházení vzniku odpadů a ekolabeling. V současné době je jeho práce zaměřena na potravinové odpady, a to zejména na úrovni státu a municipalit. Od roku 2024 je vedoucím pobočky ostravského pracoviště VÚV TGM.

Mgr. David-Aaron Landa

Institut lázeňství a balneologie, v. v. i., Karlovy Vary (Česká republika)
Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky, Praha (Česká republika)
✉ landa@i-lab.cz, landadav@natur.cuni.cz
www.i-lab.cz

Mgr. David-Aaron Landa je absolventem oboru Aplikovaná geologie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy. Zabývá se problematikou geochemie a geneze minerálních vod v Institutu lázeňství a balneologie, v. v. i. V současné době je členem řešitelského týmu projektu Centra lázeňského výzkumu, který se věnuje mj. léčebným aspektům minerálních vod.

Ing. Jiří Skokan

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební (Česká republika)
✉ 212397@vutbr.cz
www.fce.vutbr.cz

Od roku 2024 je doktorandem na oboru Vodní hospodářství a vodní stavby v Ústavu vodních staveb. Odborně se zaměřuje na hydrauliku v systémech říčních koryt, inundačních území a na hydrotechnických objektech metodami matematického modelování. Účastní se projektů specifického a juniorského výzkumu, TA ČR a hospodářské činnosti ústavu – posouzení projektových dokumentací, riziková analýza záplavových území a návrhy protipovodňových opatření. Spolupracuje s Fakultou strojního inženýrství na projektu se zaměřením na CFD simulace a měření metodou PIV. Od roku 2025 pracuje pro Povodí Odry, s. p., v projektu obnovy a návrhu přírodě blízkých opatření na vodním toku Bělá po povodních na Jesenicku.

Ing. František Sýkora

VÚV TGM, v. v. i., pobočka Ostrava (Česká republika)
✉ 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 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 působil jako expert pro fyzikálně-chemické aspekty v pracovní skupině Monitoring (GM) Mezinárodní komise pro ochranu Odry před znečištěním (se sídlem ve Vratislavi), od roku 2019 je v této komisi jmenován na pozici člena pracovní skupiny Monitoring (GM). Současně je řešitelem výzkumných projektů zaměřených na zjišťování a hodnocení emisí emergentních polutantů do vodního prostředí.

Rozhovor s doc. Ing. Davidem Stránským, Ph.D., vedoucím Katedry vodního hospodářství obcí Fakulty stavební ČVUT v Praze

Před šesti lety doc. David Stránský v časopise *Priorita* hovořil o tom, že propojením srážkové vody a zeleně může město získat „levnou klimatizaci". Od té doby se téma hospodaření s vodou ve městech posunulo nejen v legislativě a technologiích, ale také v přístupu veřejnosti a samospráv. Jak dnes vidí vývoj v této oblasti, kam směřuje výzkum na Katedře vodního hospodářství obcí ČVUT a co považuje za klíč k udržitelnému městskému prostředí? Na to jsme se zeptali v následujícím rozhovoru.

Pane docente, můžete se, prosím, ohlédnout za svými profesními začátky? Co vás přivedlo k oboru vodního hospodářství a proč jste se rozhodl věnovat právě této oblasti?

Když se ohlédnu zpět, vidím, že to do značné míry bylo rodinné předurčení. Táta učil vodu na královéhradecké průmyslovce a později pracoval v místních vodovodech a kanalizacích. Vodohospodářství se věnoval i strýc a dva bratranci.

Na chvíli jsem sice uvažoval o IT, ale na ČVUT mě přesvědčili vyučující, kteří mi ukázali, jak rozmanitá a smysluplná je práce s vodou. A také to, že v tomto oboru je – a ještě dlouho bude – potřeba vykonat mnoho práce, abychom se přiblížili světovým standardům.

Co považujete za největší posun nebo úspěch v oblasti výzkumu a výuky na vaší katedře?

Ve výuce určitě modernizaci obsahu všech předmětů. Snažíme se je přizpůsobovat aktuálním trendům a tomu, co studenti skutečně potřebují pro budoucí práci. Zveme řadu odborníků z praxe, aby se studenty sdíleli své zkušenosti.

Za zásadní ale považuji změnu v přístupu k výuce. Učíme studenty vnímat vodu ne jako izolovanou technickou disciplínu, ale jako součást společnosti, krajiny a městského prostředí. Chceme, aby chápali souvislosti a odpovědnost, která je s jejich rozhodnutími spojená.

Ve výzkumu se daří zejména v oblasti hospodaření s dešťovou vodou, recyklace vod, optimalizace čistíren či využití tepla z odpadních vod. Výstupem jsou metodiky, software, patenty, zkrátka věci, které mají blízko k praktickému použití. A o to se dlouhodobě snažíme.

Když se ohlédnete zpět, jak se vyvíjel zájem studentů o vodohospodářskou tematiku? Zaznamenáváte větší zájem o udržitelná řešení nebo tzv. modro-zelenou infrastrukturu?

Studentů je dnes celkově méně, na náš obor přichází zhruba pětina počtu, který býval obvyklý na přelomu milénia. Ale o to větší zájem vidím u těch, kteří vodu studovat chtějí. Často jsou motivovanější, více se ptají a po škole v oboru zůstávají.

Mezi studenty silně roste zájem o udržitelnost včetně problematiky modro-zelené infrastruktury. Zhruba třetina kvalifikačních prací na katedře je právě na toto téma. A velmi mě těší, že modro-zelenou infrastrukturu učíme i na Fakultě architektury ČVUT, protože spolupráce vodohospodářů a krajinářských architektů je pro dobrý výsledek naprosto zásadní.

Jaké projekty nebo iniciativy vás v posledních letech nejvíce profesně naplňovaly?

Dlouhodobě mě naplňuje práce na různých dokumentech spojených s hospodařením se srážkovými vodami a modro-zelenou infrastrukturou – od prvních úprav legislativy přes normy a metodiky až po dnešní pomoc obcím při nastavování vlastních standardů a rozhodovacích procesů. To všechno byla a je naplňující a někdy i dobrodružná cesta.

A pak jsou projekty, kde se podařilo propojit profesi s osobní zálibou v historii, třeba studie modro-zelené infrastruktury pro národní kulturní památku Vyšehrad, natáčení videí o vodě ve Strahovském klášteře nebo práce pro dejvický kampus. Ty mě bavily obzvlášť.

V roce 2019 jste v rozhovoru pro časopis *Priorita* hovořil o „levné klimatizaci měst" – tedy o využívání srážkových vod a zeleně k ochlazování urbanizovaného prostředí. Kam se toto téma od té doby posunulo?

V oblasti městského plánování je šest let poměrně krátká doba. Ale když se podívám na horizont dvou desetiletí, vývoj je jednoznačný.

Hospodaření s dešťovou vodou začínalo na přelomu tisíciletí jako čistě vodohospodářské téma, které se postupně začalo propojovat se zelení, krajinou a adaptačními opatřeními. Dnes už je toto propojení běžnou součástí diskuze i návrhů.

To zásadní je změna způsobu uvažování. Dříve jsme museli dlouze vysvětlovat, proč má smysl vodu v území zadržovat a využívat. Dnes se obce ptají spíš na to, jak to udělat co nejlépe. A to je ohromný posun.

A zpětně vzato jsme možná právě kolem roku 2019 přešli z fáze, kdy jsme „tlačili káru do kopce", do fáze, kdy už jede sama. A naším úkolem je teď hlavně dávat pozor, aby nesjížděla z cesty.

Jak vnímáte dnešní situaci v hospodaření s dešťovými vodami v českých městech? Vidíte v poslední době konkrétní změny v myšlení municipalit?

Velmi pozitivně. Obce mnohem více než dříve chápou, že práce s dešťovou vodou není jen ekonomická úvaha, nýbrž otázka kvality života v budoucnosti.

Větší města si už vytvářejí vlastní standardy hospodaření se srážkovou vodou a snaží se lépe koordinovat rozhodovací procesy napříč odbory a městskými organizacemi. Menší obce zase častěji žádají o konzultace a aktivně hledají řešení, která jsou pro jejich podmínky realistická. To je vývoj, který bych před deseti lety nečekal.

Co podle vás brzdí širší uplatnění modro-zelených opatření v praxi – legislativa, finance, nebo spíš nedostatek odvahy?

Je to určitě směs více faktorů.

Velkým legislativním tématem je výjimka ze zpoplatnění srážkových vod vypouštěných do kanalizace pro veřejnou potřebu. Týká se většiny producentů a snižuje ekonomickou motivaci k zavádění modro-zelené infrastruktury.

Dále panuje obecný předpoklad, že modro-zelené řešení je často nákladnější než konvenční řešení, tedy pokud posuzujeme jen přímé náklady na stavbu. Měli bychom se ale naučit započítávat i benefity: snížení škod při extrémních jevech, zlepšení mikroklimatu, zdraví obyvatel. Pokud se na celý problém podíváme komplexně, ekonomika může vypadat úplně jinak.

Někdy také chybí ochota vystoupit ze zaběhlých postupů. Je snazší hledat důvody, proč něco nejde, než možnosti, jak by to jít mohlo. Ale i tady se situace postupně zlepšuje, a to díky mezioborové spolupráci, která je stále běžnější.

V posledních letech se hodně mluví o klimatické odolnosti měst. Jakou roli v tom podle vás může hrát voda – a vodohospodáři?

Zásadní. V období sucha jde o zajištění dostatku kvalitní vody, během srážkových extrémů o prevenci záplav a podstatná je též ochrana jakosti vod. A velmi důležitá je i mikroklimatická funkce – propojení odtoku dešťové vody se zelení dokáže snížit teplotu v ulicích a zpříjemnit městské prostředí.

Je to velmi komplexní záležitost, protože musíme pro město zajišťovat všechny tyto funkce a zároveň víme, že vybudování klimaticky odolného města nejde udělat naráz, ale postupnými kroky spojenými s přirozenou obnovou měst. Je to běh na dlouhou trať, na mnoho let či desetiletí, a o to důležitější je začít hned, byť malými a dobře promyšlenými kroky. Práce pro vodohospodáře tedy bude víc než dost.

Jak se díváte na spolupráci mezi akademickou sférou a praxí – daří se vám přenášet výstupy výzkumu do reálných projektů?

Částečně ano. Především prostřednictvím metodik, norem a různých výpočtových pomůcek, které pomáhají nastavovat efektivní postupy návrhu, stavby a provozu. Problém je v tom, že jsou někdy vnímány spíš jako překážka zaběhlých řešení, a zavádění novinek vyžaduje mnoho vysvětlování a osvěty. Na to však bohužel nemáme velké kapacity, i když nám hodně pomáhá Asociace pro vodu České republiky a další profesní organizace.

Zároveň se snažíme tyto novinky implementovat i do různých reálných stavebních projektů, ale to probíhá spíše na vyžádání ze strany zadavatele nebo zpracovatele.

A kdybychom to vzali naopak – inspirují vás problémy z praxe při směřování výuky a výzkumu?

Vnímám to jako nekončící cyklus: výzkum přináší nové poznatky, ty se aplikují v reálných projektech, z nich přichází zpětná vazba a ta zase ovlivní další výzkum i výuku. Nemyslím, že bychom někdy mohli říct, že jsme „u cíle". Právě to, že se náš obor vyvíjí spolu s potřebami společnosti, je na něm krásné.

Jak relaxujete po náročných dnech, kdy se zabýváte tak komplexními tématy?

Chodím do práce i z práce pěšky. Je to jednoduchý způsob, jak si srovnat myšlenky a začít i uzavřít pracovní den. A často při chůzi přicházejí nejlepší nápady.

O víkendech se snažím utéct do přírody, vyčistit si hlavu a trochu meditovat. Ticho a pohyb v krajině jsou pro mě nejúčinnější odpočinek.

Máte nějaké osobní motto nebo zásadu, kterou se řídíte v práci i v životě?

Mám hned čtyři a pocházejí z knihy Miguela Ángela Ruize *Čtyři dohody*: nehřeš slovem, neber si nic osobně, nevytvářej si domněnky a dělej vše tak,

Ve stoce pod Kampou při natáčení výukových videí, 2024

jak nejlépe dovedeš. Není snadné je dodržovat, ale když se to daří, člověk večer usíná s čistým svědomím – a to je pro mě důležitý životní princip.

Kdybyste měl poradit studentům nebo mladým odborníkům, kteří se chtějí věnovat vodnímu hospodářství, co byste jim vzkázal?

Možná si jinde vydělají více peněz, ale ve vodě najdou obor, který se stane součástí jejich života. Voda je fascinující svět a zároveň základ našeho přežití. Když se na ni podíváte blíže, práce se promění v koníček a časem možná i v poslání. A dodal bych i myšlenku Paula Coelha „Celé město se může přestěhovat, ale studna ne".

Co byste si přál, aby bylo jinak ve vztahu české společnosti k vodě a krajině?

Abychom si uvědomili, že „životní prostředí" není abstraktní pojem, ale prostor, ve kterém žijeme, nejen my jako lidé, ale i všechny další bytosti. Nemůžeme se bez něj obejít. To neznamená, že ho nemůžeme využívat, ale dělejme to s respektem a s ohledem na (ne)vratnost toho, co děláme.

Závěrem mi dovolte osobní otázku. Jaký je váš sen nebo cíl, který byste si rád profesně splnil?

Svoji profesní cestu vnímám jako dlouhodobý proces. Nesnažím se stanovovat si velké cíle, spíš každý den udělat to, co je potřeba. A přeji si, aby po naší generaci zůstalo něco, na co mohou další navázat, ne co budou muset opravovat.

Ale jeden dávný sen jsem si vlastně splnil. Když jsem v roce 1999 poprvé navštívil největší konferenci v našem oboru v Sydney, říkal jsem si, že by jednou bylo krásné uspořádat ji v Praze. A v roce 2017 se nám to (spolu s Ivanou Kabelkovou a Vojtou Barešem) podařilo. Když si vzpomenu na 700 účastníků a skvělou atmosféru, dodnes se mi vracejí příjemné vzpomínky.

Dnes na to navazujeme bienální konferencí CzWA v Litomyšli, a to je možná ten skutečný cíl do budoucna: vytvářet prostor, kde se odborná komunita může setkávat, volně diskutovat a dál rozvíjet náš obor.

Pane docente, děkuji vám za rozhovor i poskytnuté fotografie.

Ing. Josef Nistler

Rozhovor vznikl na podzim 2025 v rámci přípravy únorového čísla časopisu VTEI. Naším cílem bylo navázat na předchozí diskuzi z roku 2019 a zmapovat, jak se téma hospodaření s vodou ve městech proměnilo v čase – v odborné, akademické i lidské rovině (poznámka redakce).

Ztraceni v deltě Dunaje ke konci plavby z Komárna do Černého moře, 2018

doc. Ing. David Stránský, Ph.D.

Doc. Ing. David Stránský, Ph.D., se narodil v roce 1972 v Hradci Králové. Vystudoval Fakultu stavební ČVUT, obor Vodní stavby a vodní hospodářství se zaměřením na vodní hospodářství obcí. Od roku 1998 pracoval v Laboratoři ekologických rizik městského odvodnění v oblasti spolehlivosti stokových sítí, modelování srážkoodtokových procesů v urbanizovaných územích a vlivu městského odvodnění na životní prostředí. Od roku 2005 působí na Katedře vodního hospodářství obcí Fakulty stavební ČVUT (dříve Katedra zdravotního a ekologického hospodářství) a specializuje se zejména na hospodaření s dešťovou vodou a modro-zelenou infrastrukturu. Od roku 2016 katedru vede. Podílel se na realizaci řady grantových projektů TA ČR, GA ČR, MŠMT a EU, spolupracuje se státní správou a samosprávou, publikuje v domácích i zahraničních odborných časopisech. Od roku 2013 je předsedou Asociace pro vodu ČR (CzWA).

Vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu – odborné poznatky z 5. konference *Centra Voda*

Pátá konference *Centra Voda*, jež se konala 25. listopadu 2025 ve VÚV TGM, byla věnována vodnímu hospodářství České republiky v podmínkách probíhající klimatické změny. Na akci, pořádané za podpory Ministerstva životního prostředí a Technologické agentury ČR, zazněly aktuální výsledky výzkumu z oblasti modelování vodních zdrojů, krajinné retence, kvality vody a adaptace na extrémní projevy počasí. Konference navázala na předchozí ročníky, jež dlouhodobě poskytují prostor pro prezentaci výsledků výzkumu v oblasti hospodaření s vodou a podporu mezioborového dialogu odborníků z akademické i aplikační sféry. Potvrdila rovněž rostoucí význam interdisciplinární spolupráce při řešení environmentálních výzev a představila řadu prakticky využitelných poznatků pro vodohospodářskou praxi.

Obr. 1. O úvodní slovo se postaral Ing. Tomáš Fojtík, ředitel VÚV TGM

Hlavní tematické okruhy a odborné příspěvky

Program konference byl rozdělen do dvou bloků, které reflektovaly aktuální výzkumné směry i praktické otázky spojené s dopady klimatické změny na vodní prostředí. Dopolední část se věnovala predikci dopadů klimatických změn a využití moderních nástrojů pro jejich modelování a monitorování:

P. Vyskoč, J. Dlabal a A. Vizina z VÚV TGM představili výsledky pracovního balíčku WP1 projektu *Centrum Voda*, který hodnotí budoucí potřeby vody v ČR do roku 2050 a jejich soulad s dostupnými zdroji. Analýza kombinuje socioekonomické scénáře a dopady klimatické změny s cílem určit, kolik vody budou jednotlivé sektory potřebovat a kde může vzniknout deficit. Výstupy jsou zveřejněny v několika specializovaných veřejných databázích a zahrnují odběry pro průmysl, energetiku, zemědělství, závlahy, vodárenské účely či spotřebu zvířat a také identifikaci oblastí s rizikem nedostatku vody a predikci zabezpečenosti vodních zdrojů.

T. Laburda s kolektivem autorů z ČVUT prezentovali nový experimentální výzkum, který ukazuje, že travní pásy mohou významně omezit povrchový odtok a erozi zemědělské půdy. Testování na modelových plochách prokázalo, že plně zatravněné pásy snižují odnos sedimentu až o 85 % a zpomalují vznik odtoku, čímž zvyšují retenční schopnost krajiny. Studie tak potvrzuje, že i relativně krátké travní úseky mohou být účinným a dostupným nástrojem pro ochranu půdy a vodních toků.

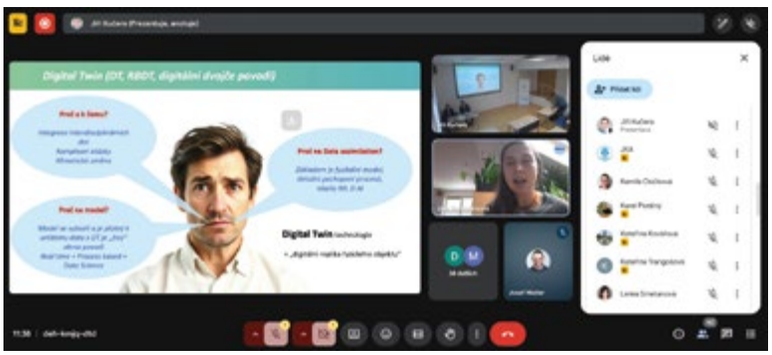
L. Jačka a jeho tým z ČZU dlouhodobě monitorují půdní mikroklima v pilotním území „Chytrá krajina Amálie" na Rakovnicku. Data ze stovek senzorů potvrzují, že typ vegetačního pokryvu významně ovlivňuje teplotu i vlhkost půdy. Lesní porosty udržují půdu v horkých dnech až o 7 °C chladnější než otevřená zemědělská krajina, zatímco zatravněné pásy s alejemi dokážou zmírnit přehřívání a zlepšují vsakování vody na polích. Studie tak ukazuje, že stabilní vegetace zvyšuje odolnost krajiny vůči suchu i extrémním teplotám a může být klíčovým prvkem adaptace na klimatickou změnu.

J. Bernsteinová z CzechGlobe přiblížila koncept digitálního dvojčete povodí Dyje jako nástroje, který propojuje hydrologická, klimatická, půdní a vodohospodářská data do živého modelu povodí. Díky němu lze bezpečně testovat dopady klimatických scénářů i různých adaptačních opatření, např. změn ve využití krajiny, v zemědělských postupech či vodních nádržích. Model ukazuje, že účinná reakce na očekávaný pokles odtoků vyžaduje kombinaci opatření napříč celým systémem. Digitální dvojče tak nabízí moderní podklad pro rozhodování o budoucím nakládání s vodními zdroji v podmínkách klimatické změny.

R. Bachan a M. Hlavňa z VÚV TGM demonstrovali využití bezpilotních systémů (UAV) k rychlému a přesnému monitoringu dopadů přívalových srážek. Kombinace dronů a fotogrammetrie umožňuje detailně zmapovat vzniklé erozní rýhy, určit objem odnosu půdy a vyhodnotit charakter zasažených svahů. Metoda je flexibilní, efektivní a poskytuje cenná data pro návrh protierozních a protipovodňových opatření. UAV technologie tak přinášejí nový standard dokumentace extrémních srážkových událostí v české krajině.

Z prezentovaných příspěvků vyplynulo, že problematika dostupnosti a kvality vody vyžaduje kombinaci technologických, krajinářských i legislativních řešení.

Odpolední blok konference byl zahájen příspěvkem H. Novákové a M. Forejtníkové (VÚV TGM), který prezentuje povodí vybraných lokalit pro akumulaci povrchových vod (LAPV). Tyto lokality mohou v budoucnu sloužit k posílení vodních zdrojů či ochraně před suchem a povodněmi. Výzkum ukazuje, že současné plánovací nástroje chrání především samotné území budoucí nádrže, nikoli kvalitu vody a stav jejího povodí. Analýza 61 lokalit odhalila rizika spojená s erozí, plošnými zdroji znečištění, zemědělským využitím krajiny i přítomností nebezpečných látek. Výsledkem výzkumu je doporučení zavést cílenou ochranu povodí budoucích nádrží, zejména pokud mají sloužit jako zdroj pitné vody. Přednáškový blok pokračoval následujícími příspěvky:



Obr. 2. V pořadí 5. konference projektu *Centrum Voda* se osobně a on-line zúčastnilo přes devět desítek posluchačů

Obr. 3. Screenshot webu projektu

J. Musil, T. Daněk a kolektiv autorů z VÚV TGM představili výsledky výzkumu, který ukazuje, že harmonizace hydroenergetiky s ochranou přírody je možná, pokud budou lépe zohledněny ekologické dopady provozu vodních elektráren. Dotazníkové šetření mezi představiteli státní správy a zástupci hydroenergetik odhalilo rozdílné priority obou skupin — zatímco instituce kladou důraz na ochranu ekosystémů, producenti energie více zvažují ekonomické a provozní aspekty. Respondenti však zároveň vidí prostor pro spolupráci a hledání kompromisů. Projekt proto směřuje k vytvoření metodiky tzv. environmentálních bonusů, jež by motivovaly provozovatele elektráren k opatřením snižujícím ekologickou zátěž, např. ke zlepšení migračních podmínek ryb nebo omezení transportu splavenin.

T. Mičaník s kolektivem autorů (VÚV TGM) mapovali výskyt vybraných emergentních polutantů v průmyslových odpadních vodách v ČR. Analýzy potvrdily přítomnost látek, které dosud nejsou standardně regulovány – zejména per- a polyfluorovaných látek (PFAS), retardérů hoření či bisfenolů –, a to napříč chemickým, papírenským či jiným průmyslem. U některých provozů byly naměřeny koncentrace přesahující stovky ng/l. U látek PFAS však ohlašovací práh 50 g za rok překročilo jen velmi málo provozů.

H. Zvěřinová Mlejnková, Š. Šabacká a K. Sovová (VÚV TGM) prezentovaly výsledky systematického sledování antibiotické rezistence v povrchových vodách v ČR. Výzkum kombinuje kultivační metody s molekulární analýzou DNA a ukazuje, že rezistentní bakterie i geny rezistence se vyskytují ve všech typech sledovaných vod – nejčastěji v přítocích a odtocích čistíren odpadních vod. Zaznamenány byly též multirezistentní mikroorganismy a klinicky významné typy rezistencí. Studie potvrzuje, že vodní prostředí může hrát důležitou roli při šíření antimikrobiální rezistence, a zdůrazňuje potřebu dlouhodobého monitoringu a preventivních opatření na úrovni zdravotnictví, průmyslu i komunální infrastruktury.

P. Kožený (VÚV TGM) a kolektiv autorů shrnuli výsledky výzkumu, který potvrzuje, že přírodě blízké úpravy drobných vodních toků zlepšují jejich ekologický stav. Analýza 36 úseků na 13 potocích ukázala, že v renaturovaných a přirozených korytech se vyskytuje více druhů i jedinců vodních bezobratlých než v technicky upravených tocích. Přesto se rozdíl ne vždy projeví ve výsledných hodnotících indexech, jelikož biologická společenstva reagují složitě a ovlivňuje je více faktorů než jen samotná morfologie vodního toku. Studie proto zdůrazňuje, že renaturace mají význam nejen pro biodiverzitu, ale také pro hydrologické a krajinotvorné funkce vodních toků a měly by být systematicky podporovány v adaptačních strategiích na klimatickou změnu.

Shrnutí výsledků a přínosy konference

Diskuze, která následovala po jednotlivých příspěvcích, potvrdila, že klimatická změna zásadně ovlivňuje dostupnost a kvalitu vodních zdrojů v České republice. Prezentované výsledky ukázaly potřebu integrovaného přístupu, jenž propojuje modelování, terénní výzkum i praktické hospodaření s vodou. Konference rovněž přinesla konkrétní doporučení pro zlepšení datové podpory rozhodovacích procesů, rozvoj krajinných adaptačních opatření a prohloubení spolupráce mezi výzkumnými institucemi a státní správou.

Pátá konference *Centra Voda* znovu ukázala význam dlouhodobé spolupráce mezi výzkumnými institucemi, univerzitami a orgány státní správy. *Centrum Voda*, financované prostřednictvím Technologické agentury ČR, i nadále funguje jako klíčová platforma pro sdílení vědeckých poznatků a rozvoj inovací v oblasti udržitelného vodního hospodářství. V závěru konference bylo zdůrazněno, že adaptace na klimatickou změnu musí vycházet z kombinace vědeckých analýz, moderních technologií a odpovědné správy krajiny – tedy z principů, na nichž *Centrum Voda* staví svou dlouhodobou činnost.

Výsledky konference včetně jednotlivých prezentací naleznete na: https://www.centrum-voda.cz/aktuality/vodni-hospodarstvi-v-cr-v-podminkach-zmeny-klimatu-poznatky-z-5-konference-centra-voda

Ing. Josef Nistler

Informativní článek, který nepodléhá recenznímu řízení.
ISSN 0322-8916/© 2026 Autor. Tuto práci je kdokoli oprávněn šířit a využívat za podmínek licence CC BY-NC 4.0

Obsah časopisu VTEI – rok 2025

4 Vybrané zákonné a nezákonné drogy v povrchových vodách v odběrových profilech v blízkosti výpustí z čistíren odpadních vod
(Věra Očenášková, Danica Pospíchalová, Eva Bohadlová)

14 Přívalová povodeň v oblasti CHKO Brdy v červnu 2024
(Pavel Richter)

24 Citování geografických datových sad: pilotní studie DIBAVOD – systematický přehled literatury
(Libor Ansorge, Anna Ansorgeová)

30 Klenoty našich tekoucích vod a jejich ochrana
(Jana Hronková, Kateřina Římalová, Jitka Svobodová)

36 Rozhovor s Dr. Ing. Antonínem Tůmou, zástupcem generálního ředitele státního podniku Povodí Moravy
(Josef Nistler)

40 Projekt „Centrum Voda“ je v druhé polovině a prezentuje své výsledky
(Jiří Kučera)

42 Konference České uživatelské fórum Copernicus a dálkový průzkum Země 2024 a zahájení Czech Space Week 2024 za účasti prezidenta republiky
(Jan Unucka, Lucie Bursová, Aneta Beránková)

1

2

Historické změny užívání vody v českých povodích 3. řádu a naznačení možného vývoje dle nových regionálních klimatických modelů ČHMÚ **4**
(Ondřej Ledvinka, Vít Šťovíček, Kateřina Vacková, Pavel Coufal)

Měření a modelování změn odtokového režimu v návaznosti na kalamitní rozpad a regeneraci porostů v lesních povodích v Jeseníkách **12**
(Jan Unucka, Martin Adamec, Irena Pavlíková, Ondřej Špulák, Vít Šrámek, Kateřina Hellebrandová)

Rybniční soustava na Bečvárce **20**
(Pavel Richter)

Hodnocení hydromorfologického stavu vodních útvarů tekoucích vod povrchových v České republice metodikou HYMOS **30**
(Ján Babej, Jiří Jakubínský, Vilém Pechanec, Pavel Kožený, Denisa Němejcová, Pavel Vyvlečka)

Rozhovor s prof. RNDr. Bohumírem Janským, CSc., z Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze **44**
(Tomáš Hrdinka)

Jáchymov: po stopách mlýnů a mlýnků **50**
(Zuzana Řehořová)

Ekologická olympiáda **54**
(Lenka Žaitliková)

3

4 Evapotranspirace v prostředí mokřadů
(Karel Pátek, Jiří Bruthans)

16 Výsledky sledování cizorodých látek v pevných matricích vodních ekosystémů
(Hedvika Roztočilová, Libuše Barešová, Vít Kodeš, Markéta Ackermanová, Libor Mikl, Pavel Stierand)

26 Potenciál travních pásů z hlediska zadržení povrchového odtoku a sedimentu
(Tomáš Laburda, Michal Vrána, Martin Neumann, Jan-František Kubát, David Zumr, Josef Krása, Petr Koudelka, Tomáš Dostál)

32 Šedá vodní stopa pěstování sladovnického ječmene
(Dagmar Vološinová, Libor Ansorge, Lada Stejskalová)

42 Rozhovor s Ivanem Tučníkem, vedoucím udržitelnosti skupiny Asahi Europe & International
(Josef Nistler, Tomáš Hrdinka)

46 Pivovar Radegast dal slovo: vrátí vodu krajině
(Zdeněk Kovář)

48 Navždy odešel Ladislav Kašpárek

4

Kofein a močovina jako indikátory antropogenního zatížení biokoupališť
(Dana Baudišová, Lenka Mayerová, Petr Pumann, Hana Kujalová, Martin Ferenčík) 4

Jakost vody a transport polutantů v českém Labi
(Josef K. Fuksa) 14

Hydrotechnický výzkum klapkových uzávěrů
(Martin Králík, Ondřej Němčanský) 22

Kde končí obec? Vymezení urbanizovaných území nejen pro odtokové analýzy
(Luděk Strouhal, Petr Kavka) 30

Rozhovor s Mgr. Petrem Birklenem, generálním ředitelem Povodí Odry
(Josef Nistler) 42

Jáchymov II.: ve správný čas na správném místě
(Zuzana Řehořová) 46

5

4 Vývoj a současná praxe vodohospodářské bilance podzemních vod v Česku: od klasifikace zásob ke komplexnímu hodnocení přírodních zdrojů
(Anna Hrabánková, Josef Vojtěch Datel)

16 Dynamika huminových látek v rašelinném biotopu přírodní rezervace Prameniště Chomutovky
(Martin Vokoun, Vojtěch Moravec, Pavel Eckhardt)

28 Vliv hydrologických extrémů na rybníky a malé vodní nádrže
(Veronika Táboříková, Pavel Balvín)

34 Typologie cest a jejich vliv na odtokový režim ve zvláště chráněných územích
(Luděk Strouhal, Václav David, Josef Krása)

46 Rozhovor s Ing. Liborem Ellederem, Ph.D., hydrologem z Českého hydrometeorologického ústavu v Praze
(Adam Beran, Zuzana Řehořová)

52 Odbor hydrauliky, hydrologie a hydrogeologie: mezinárodní projekty zahájené v roce 2025
(Adam Beran, Petr Pavlík, Martin Vokoun, Adam Vizina)

54 Magdeburský seminář o ochraně vod 2025: voda v povodí Labe včera, dnes a zítra
(Slavomír Vosika)

56 Vzpomínka na Ing. Eduarda Hanslíka, CSc.

6

Současný stav sledování vybraných PFAS v povrchových vodách v České republice
(Diana Marešová, Věra Očenášková, Tomáš Mičaník, Danica Pospíchalová, Eva Juranová, Eva Bohadlová, David Chrastina) 4

Od kapky k energii: hodnocení hydroenergetického potenciálu vodních toků pomocí výsledků projektu *„Pico-Hydropower“*
(Štěpán Marval, Radek Roub, Luděk Bureš, Tomáš Hejduk, Lucie Poláková, Martin Štich) 18

Některé aspekty ochrany povodí nad budoucími nádržemi
(Helena Nováková, Milena Forejtníková, Martin Caletka, Kateřina Sedláčková) 28

Počátky plavení dřeva v Novohradských horách
(Jaromír Florian) 38

Rozhovor s Mgr. Martinem Ptákem, ředitelem odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí
(Josef Nistler) 48

Jáchymov III.: kde se bere radonová voda?
(Zuzana Řehořová) 52

VTEI/2026/1

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.
VTEI je součástí databází Scopus a DOAJ.

Ročník 68

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

Redakční rada:
Ing. Libor Ansorge, Ph.D., RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D., doc. Ing. Michaela Danáčová, PhD.,
doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur, prof. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D., Mgr. Róbert Chriašteľ,
Mgr. Vít Kodeš, Ph.D., Ing. Jiří Kučera, PharmD. Markéta Marvanová, Ph.D., BCGP, BCPP, FASCP,
prof. Juraj Parajka, Ing. Martin Pavel, Ing. Jana Poórová, Ph.D., Mgr. Martin Pták,
Mgr. Hana Sezimová, Ph.D., Dr. Ing. Antonín Tůma, Mgr. Lukáš Záruba, Ing. Marcela Zrubková, Ph.D.

Vědecká rada:
prof. 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, doc. RNDr. Jan Unucka, Ph.D., Ing. Dagmar Vološinová, Milan Blšťák,
archiv doc. Ing. Davida Stránského, Ph.D.

Grafická úprava, sazba, tisk:
ABALON s. r. o., www.abalon.cz

Náklad 400 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 dubnu. Pokyny autorům časopisu jsou uvedeny na www.vtei.cz

CC BY-NC 4.0

ISSN 0322-8916
ISSN 1805-6555 (on-line)
MK ČR E 6365

VTEI.cz

TISÍC SLUNCÍ

Přírodní makrofotografie je svým způsobem svět ve světě. Fantazie přírody v něm každé ráno tvoří tisíce dokonalých detailů barev a nápadů. Ve velkém zvětšení tak objevíte ráj, kde téměř neplatí fyzikální zákony, barvy jsou čisté a civilizace je daleko…

Svůj první snímek jsem „ulovil" tak trochu náhodou na Silvestra 1997 v Nízkých Tatrách pod Kráľovou hoľou. Po třech dnech vichřice najednou vysvitlo slunce, minus 15 °C, vyfoukané zamrzlé pláně a 300 metrů pod vrcholem se objevila úžasná hra světel v ledových krystalech. Na starý Nikon F90x s diapozitivy jsem zkusil tuto hru slunce a ledu zachytit – než mi skoro umrzly prsty a došly baterky. A tak vznikla moje první makrofotografie „Tisíc sluncí" a mně se najednou otevřel nový fotografický obzor. Propadl jsem se do světa miniaturních zázraků jako „Alenka za zrcadlo".

Od té doby už více než 25 let hledám v orosených nebo zamrzlých ránech makrozáběry vody ve všech skupenstvích – ať už je to rosa, kapky deště, ledové krystaly, nebo námraza. Veškeré fotografické, počítačové i tiskové technologie už sice výrazně pokročily, značně se rozrostl počet fotografů všech žánrů, ale pro mě naštěstí zůstává makrofotografie stále stejným spojením tří jednoduchých věcí – hravosti přírody, mého vidění života skrze objektiv a velké dávky trpělivosti a nadšení. A každý povedený záběr mi vždy připomíná, jak je příroda dokonalá a že by k ní měl člověk přistupovat s větší úctou… Spousta věcí je totiž ve srovnání s touto krásou malicherná!

Text a fotografii dodal Milan Blšťák, www.macro4you.cz

VÝZKUMNÝ ÚSTAV
VODOHOSPODÁŘSKÝ
T. G. MASARYKA
veřejná výzkumná instituce

VTEI.cz