VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VTEI / 2025 / 4

4 / Kofein a močovina jako indikátory antropogenního zatížení biokoupališť

22 / Hydrotechnický výzkum klapkových uzávěrů

42 / Rozhovor s Mgr. Petrem Birklenem, generálním ředitelem Povodí Odry

Psali jsme před 60 lety

Text na obálku je vybírán s ohledem na některé z témat odborných článků publikovaných v daném čísle VTEI. V tomto případě jde o příspěvek „Jakost vody a transport polutantů v českém Labi“, jehož autorem je Josef K. Fuksa. Představujeme vám tedy část článku publikovaného v roce 1960 ve třetím čísle našeho časopisu, který pojednává o ročence nazvané „Jakost vody v tocích za rok 1959“.

Povodí čs. Labe, Lužické Nisy a Stěnavy.

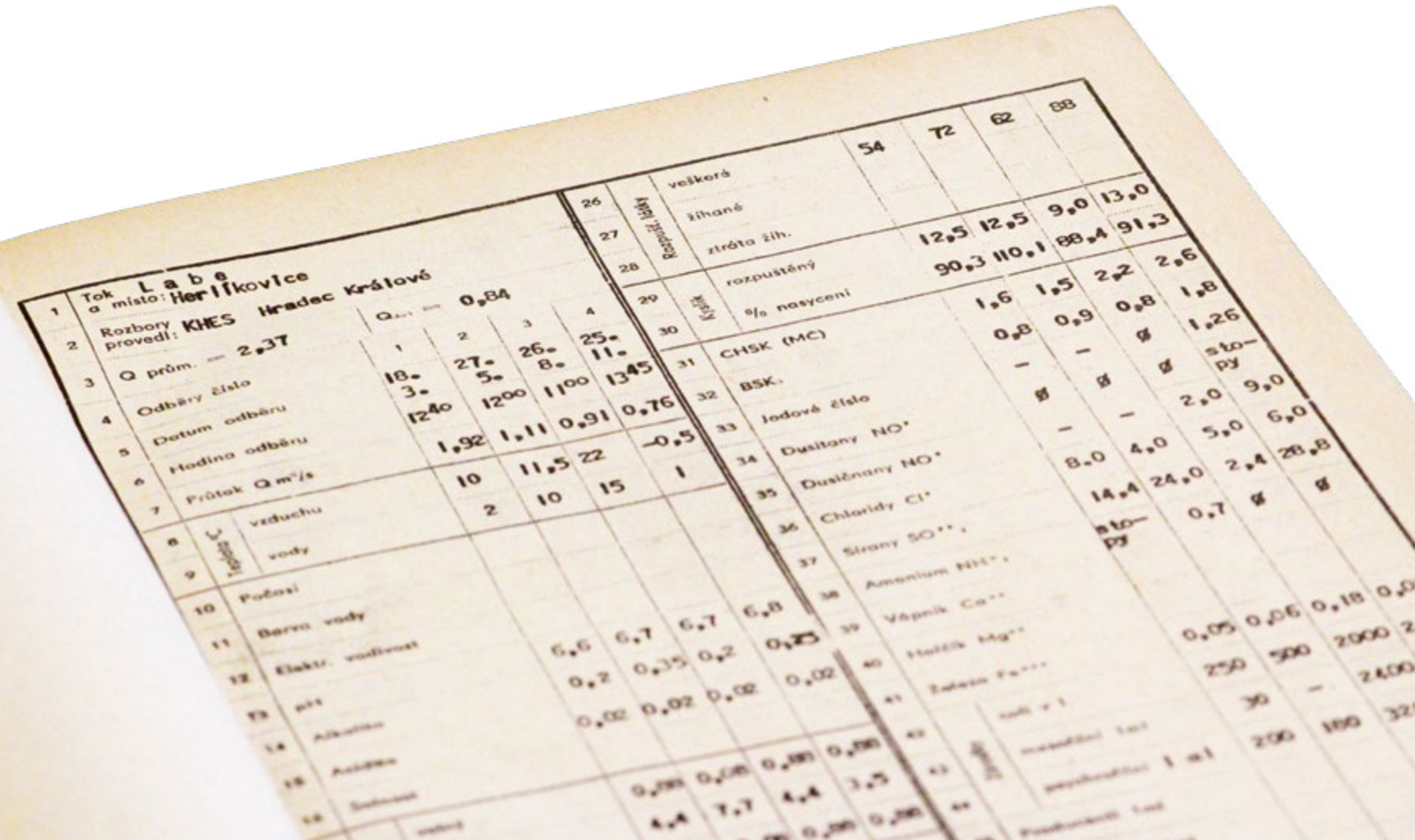
Ročenka obsahuje z technických důvodů zatím jen omezený výběr z celého získaného materiálu. Napoprvé bylo vybráno 135 odběrných míst ze 43 toků v povodí čs. Labe, Lužické Nisy a Stěnavy. Výběr je proveden tak, aby i takto omezeným počtem profilů byl co možno výstižně doložen celkový stav sledované říční sítě. Rozbory jsou sestaveny do jednotně zpracovaných tabulek, z nichž každá obsahuje výsledky ze čtyř odběrů vody z téhož odběrného místa. Mimo to je pro jednotlivé profily uveden průměrný roční průtok a 355denní voda za období 1931–1940, podle nichž lze posoudit vodnost za odběru.

Publikace je prvým vydáním přehledu o jakosti a čistotě vod v tocích z velkého územního celku. Proto lze očekávat, že v dalších ročnících u ní dojde k významným změnám. Je přirozeně možno zvýšit rozsah jak publikace samé, tak i jejího podkladového materiálu, t. j. počtu profilů, četnosti odběrů a výběru prováděných stanovení. Lze uvažovat též o připojení výsledků z ostatních povodí našeho státního území. Máme však za to, že nejdůležitějším požadavkem u publikací tohoto druhu není ani tak jejich rozsah, jako spíše jejich skutečně soustavné a nepřetržité pokračování. Prvořadou snahou redakčního kruhu Výzkumného ústavu vodohospodářského – a jak doufáme, i všech externích spolupracovníků, kteří se na této práci podíleli – bude proto zajistiti podmínky nutné k tomu, aby se tento prvý pokus stal zahajovacím článkem plynulé řady dalších stále se zdokonalujících ročníků. Zájemci si mohou ročenku objednat ve Výzkumném ústavu vodohospodářském v Praze – Podbabě.

(Poznámka redakce – ročenka zmíněná v článku je fyzicky součástí knihovního fondu Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v. v. i.)

Z archivu VÚV TGM

Redakce VTEI



Obsah

3 Úvod

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

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

22 Hydrotechnický výzkum klapkových uzávěrů
Martin Králík, Ondřej Němčanský

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

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

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

Foto: J. Unucka

Vážení čtenáři,

s příchodem srpna pro vás opět otevíráme stránky našeho odborného časopisu VTEI, abychom vám přinesli nové poznatky ze světa vodního hospodářství.

Když se zamýšlíme nad významem vody a jejího efektivního řízení, nelze opomenout výročí jedné z nejvýznamnějších událostí v historii českého vodohospodářství, a to katastrofálních povodní v srpnu 2002. Tyto povodně, které před 23 lety postihly značnou část České republiky a způsobily obrovské škody, nám dodnes připomínají, jak nezbytné je neustále se věnovat protipovodňové ochraně, komplexnímu managementu vodních toků a adaptaci na změnu klimatu. Jsou důkazem, že investice do vodohospodářské infrastruktury a výzkumu nejsou luxusem, ale životní nutností. V reakci na povodně se však zároveň zvedla obrovská vlna solidarity a odhodlání, díky níž se naše společnost dokáže s takovými výzvami vypořádat.

Do srpnového čísla jsme pro vás připravili bohatou paletu příspěvků. První odborný článek „Kofein a močovina jako indikátory antropogenního zatížení biokoupališť" Dany Baudišové a jejích kolegů představuje biokoupaliště jako specifický ekosystém, kde dominantní úlohu udržení kvality vody ve zdroji mají živé organismy. Zároveň jsou velmi hojně navštěvovaná, a tak největším zdrojem znečištění jsou koupající se osoby. Předmětem této odborné práce je prezentace a hodnocení možných chemických ukazatelů antropogenního zatížení – kofeinu a močoviny na čtyřech českých lokalitách v létě 2023.

S postupující klimatickou změnou lze očekávat delší období s vyšší teplotou vody, s nízkými průtoky a se změnou režimu srážek také vyšší frekvenci odlehčení kanalizačních systémů, což významně zvýší dopady na říční ekosystémy a zároveň sníží efektivnost současných monitorovacích systémů. Data o jakosti vody v českém dolním Labi a Vltavě za období 1961–2020 porovnávaná s archivními daty referenčního období 1880–1913 prezentuje článek „Jakost vody a transport polutantů v českém Labi" Josefa K. Fuksy.

V pořadí třetí odborný příspěvek „Hydrotechnický výzkum klapkových uzávěrů" Martina Králíka a Ondřeje Němčanského se zabývá hydraulickou analýzou klapkového uzávěru v Doksanech a ve Strakonicích na základě vyhodnocení experimentálních měření realizovaných na fyzikálních a matematických modelech ve Vodohospodářském experimentálním centru Fakulty stavební ČVUT v Praze.

Jednou z klasických, ale stále aktuálních úloh aplikované hydrologie je analýza drah a míst soustřeďování povrchového odtoku s cílem predikce a prevence dopadů pluviálních povodní na obce a infrastrukturu. Odborný článek Luďka Stouhala a Petra Kavky „Kde končí obec? Vymezení urbanizovaných území nejen pro odtokové analýzy" představuje metodiku prostorového vymezení hranic významných urbanizovaných území v České republice především pro účely hydrologických analýz a hodnocení rizik přívalových povodní.

Po odborných příspěvcích ve VTEI tradičně následuje rozhovor, tentokrát s nedávno jmenovaným generálním ředitelem státního podniku Povodí Odry panem Petrem Birklenem, a to nejen o jeho profesním životě spjatém mimo jiné s problematikou udržitelného využívání krajiny a adaptace měst na klimatickou změnu, ale i o plánech protipovodňových opatření na severní Moravě.

Informativní část časopisu nás opět zavede do Jáchymova. Tentokrát se kolegyně Zuzana Řehořová více zaměří na balneologii a tamní zcela specifickou léčbu prostřednictvím radonových koupelí. Může nás tedy radon, o kterém se často hovoří jako o „tichém zabijáku", zároveň uzdravovat a zbavovat nás chronických bolestí? A jak je s Jáchymovem spjata Marie Curie-Skłodowská, od jejíž návštěvy lázní letos v červnu uplynulo přesně 100 let? Více se o historii lázní i jejich léčbě dozvíme v článku „Jáchymov II.: ve správný čas na správném místě".

Doufáme, že vás srpnové číslo VTEI zaujme a poskytne vám cenné informace pro vaši práci i další rozvoj. Přejeme vám příjemné čtení a hezký zbytek léta.

Redakce VTEI

Kofein a močovina jako indikátory antropogenního zatížení biokoupališť

DANA BAUDIŠOVÁ, LENKA MAYEROVÁ, PETR PUMANN, HANA KUJALOVÁ, MARTIN FERENČÍK

Klíčová slova: biokoupaliště — antropogenní znečištění — močovina — kofein — ATP

ABSTRAKT

Biokoupaliště představují specifický ekosystém, kde dominantní úlohu udržení kvality vody ve zdroji mají živé organismy. Zároveň jsou velmi hojně navštěvovaná, a tak největším zdrojem znečištění jsou koupající se osoby. Předmětem tohoto příspěvku je prezentace a hodnocení možných chemických ukazatelů antropogenního zatížení – kofeinu a močoviny na čtyřech lokalitách (z toho na dvou v průběhu celé koupací sezony) v létě 2023. Dále jsou publikovány výsledky stanovení základních chemických a mikrobiologických ukazatelů, včetně adenositrifosfátu (ATP), které by mělo představovat souhrnné mikrobiální oživení. Sledované ukazatele antropogenního zatížení (kofein a močovina) vykazovaly ve vrcholné letní sezoně hodnoty až > 500 ng/l, resp. µg/l. Současnou legislativou předepsané ukazatele (indikátory fekálního znečištění *E. coli*) a intestinální enterokoky toto zvýšené antropogenní zatížení nepodchytily. Stanovení celkového ATP se ukázalo jako zajímavé, ale bude třeba jeho dalšího výzkumu, zejména v čisticích, tj. velmi mikrobiálně aktivních zónách. Vhodným ukazatelem postupného zvyšování antropogenního zatížení během sezony by mohl být celkový dusík.

ÚVOD

Biokoupaliště, přírodní koupací biotopy, biobazény či koupací jezírka jsou označení pro veřejná nebo domácí koupaliště či bazény, kde dominantní úlohu udržení kvality vody ve zdroji mají živé organismy. V Česku bylo první veřejné biokoupaliště otevřeno v roce 2007 v Kovalovicích [1], v roce 2024 jich bylo v provozu již 40 (IS PiVo, 2025). Biokoupaliště se stala součástí naší legislativy v roce 2011 a také byly definovány požadavky na sledované ukazatele, jejich monitoring a hodnocení. V té době u nás nebyly s biokoupališti velké zkušenosti, proto byly požadavky inspirovány německými a rakouskými předpisy [1].

V současnosti je v zákoně o ochraně veřejného zdraví [2] biokoupaliště definováno jako „stavba povolená k účelu koupání vybavená systémem přírodního způsobu čištění vody ke koupání". Vyhláška MZ č. 238/2011 Sb. [3], vyžaduje stanovení indikátorů fekálního znečištění *Escherichia coli* a intestinálních enterokoků a dále průhlednost. Ukazatel *Pseudomonas aeruginosa* byl v roce 2014 z nedořešených metodických důvodů zrušen. Současná legislativa týkající se biokoupališť určitě dokonalá není a při další revizi české legislativy by bylo vhodné definice a požadavky vylepšit/aktualizovat.

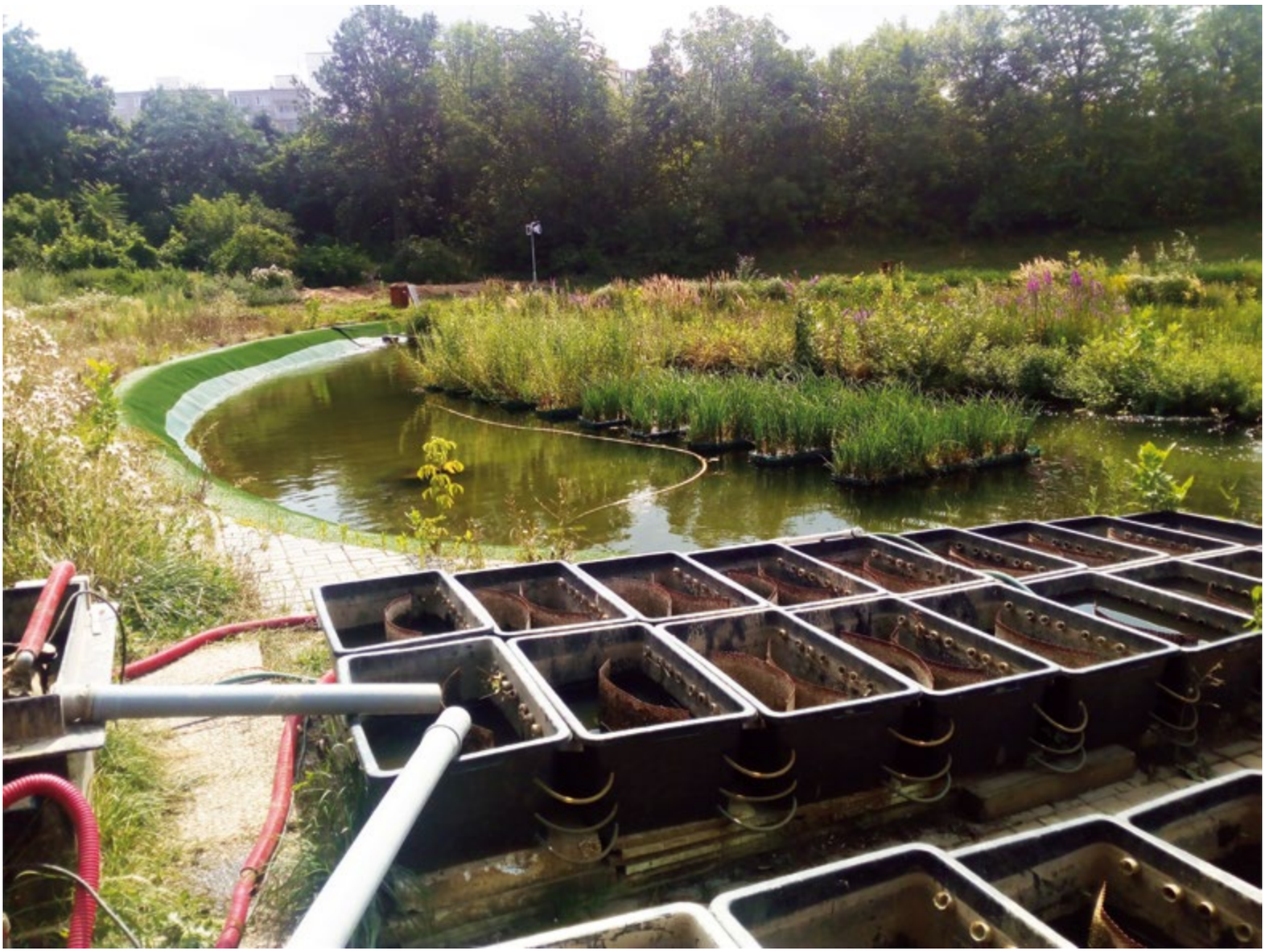
Počty *E. coli* a intestinálních enterokoků se dle výsledků z IS Pivo většinou pohybují hluboko pod limitními hodnotami, tj. pod 100, resp. 50 KTJ/100 ml, k ojedinělým překročením však dochází na většině lokalit. Alespoň jedenkrát za sezonu v letech 2018–2023 došlo k překročení *E. coli* u 20–30 % biokoupališť, limitu pro intestinální enterokoky u cca 40 % [1]. V letech 2023 a 2024 to bylo méně. K překročení *E. coli* došlo u 11 %, resp. 8 %, a intestinálních enterokoků u 26 %, resp. 28 % lokalit. Na rozdíl od přírodních lokalit jsou zcela dominantním zdrojem znečištění koupající se lidé.

Vzhledem k převládajícímu antropogennímu znečištění tohoto typu lze uvažovat o využitelnosti i dalších ukazatelů, které by napomohly jeho odhalení, případně odlišení od znečištění typu „více přírodního". Z dalších zdrojů připadá v úvahu již jen znečištění, jež mohou vnést do vody ptáci, především kachny divoké, které na biokoupaliště zalétávají, případně průsaky při zvýšené hladině podzemní vody po vydatných deštích do zdroje.

Předmětem tohoto článku bylo hodnocení dalších možných chemických ukazatelů antropogenního zatížení – kofeinu a močoviny – a dále výsledků stanovení celkového adenositrifosfátu (ATP), které představuje souhrnné mikrobiální oživení.

PŘEHLED PROBLEMATIKY

Močovina $CO(NH_2)_2$ se nachází v moči savců, obojživelníků a některých ryb. Je syntetizována v močovinovém cyklu v játrech. V těle močovina slouží jako odpadní látka, pomocí níž se vylučuje z těla nadbytečný dusík močí, ale v menší míře též pokožkou při pocení. Během močovinového cyklu je štěpena aminokyselina arginin na močovinu a ornitin. Močovina je vyloučena močí z těla a ornitin je znovu použit jako prekurzor při syntéze argininu [4]. Dalším zdrojem močoviny je rozkládající se biomasa řas a sinic, obecně rozklad některých dusíkatých organických látek a exkrece zooplanktonu [5]. Koncentrace močoviny byla monitorována např. v Polsku ve Velkých mazurských jezerech, kde byly obvykle naměřeny hodnoty v rozmezí 30 až 48 µg/l, a nejvyšší hodnoty – až 1,5 mg/l – byly detekovány na jaře, zatímco nejnižší na konci léta v období největšího rozvoje fytoplanktonu [6]. Koncentrace močoviny byla shledána nepřímo úměrnou trofickému stavu studovaných jezer a také bylo zjištěno, že rychlost enzymatického rozkladu močoviny exponenciálně roste s teplotou vody [6]. Vzhledem k očekávanému antropogennímu zatížení biokoupališť jsou pro srovnání relevantní především výsledky stanovení močoviny v bazénech, kde bývají detekovány i výrazně vyšší hodnoty. Koupání a plavání veřejnosti v bazénech je spjato s občasným nechtěným, ale bohužel někdy i záměrným únikem moči do vody. Podle studie [7] provedené v Kanadě ve dvou bazénech o objemu 840 m^3 a 420 m^3, v nichž byla po dobu tří týdnů porovnávána koncentrace umělého sladidla acesulfamu v bazénové vodě s jeho průměrnou koncentrací v lidské moči, dosahuje objem moči v bazénech necelých 0,01 %. Ve starší studii [8] lze nalézt údaj o vnosu 60 až 80 ml moči v přepočtu na jednoho plavce za den, odhadovaný na základě změn koncentrace draslíku v bazénu. Karimi [9] sledoval v deseti bazénech v íránském Teheránu vzorky bazénové vody, které byly dezinfikovány různými metodami. Průměrná koncentrace močoviny pro



Obr. 1. Pohled na biologickou čisticí zónu
Fig. 1. View of the biological purifying zone

bazény dezinfikované chlorem byla 5,5 mg/l, pro bazény dezinfikované ozonem a následně chlorem byla průměrná koncentrace 4 mg/l a pro bazény dezinfikované UV zářením a následně chlorem byla průměrná koncentrace močoviny 3,5 mg/l. Zhang a kol. [10] uvádějí, že koncentrace močoviny v Pekingu (v Číně) se pohybovala od 0,07 do 18,73 mg/l. Zhou a kol. [11] ve své práci uvádějí nalezené koncentrace močoviny v rozmezí 0,74–15,02 mg/l.

Kofein (1,3,7-trimethylxanthin, $C_8H_{10}N_4O_2$) je purinový alkaloid, který je jednak součástí velmi často požívaných nápojů (káva, Coca-Cola, čaj, energetické nápoje), ale i farmaceutických produktů. Do prostředí se dostává především odpadními vodami z lidských sídlišť a průmyslu. Koncentrace kofeinu v nápojích se pohybuje řádově v desítkách až stovkách mg/l, např. v kávě 36 až 804 mg/l, v čaji 122 až 183 mg/l, v Coca-Cole a podobných nápojích 41 až 132 mg/l, v energetických nápojích 267 až 340 mg/l [12]. Kofein se po požití poměrně rychle vstřebává do krve, asi pětina již ze žaludku [13]. Téměř všechen požitý kofein se v játrech transformuje demethylací na primární metabolity – paraxanthin (80 %), theobromin (11 %) a theofylin (4 %) –, které mohou podléhat další demethylaci a oxidaci za vzniku solí kyseliny močové a derivátů uracilu [13]. Rychlost metabolismu kofeinu závisí na mnoha faktorech, poločas rozpadu kofeinu v těle se pohybuje od 2 do 12 hodin, nejčastěji 4 až 5 hodin [13]. V nezměněné podobě se močí vylučuje pouze malá část kofeinu, v různých publikacích je uváděn různý podíl, a to od 0,5 % do 10 % [14]. Z těla se vylučuje společně se svým hlavním metabolitem paraxanthinem zejména močí, ale stopy mohou být obsaženy i v potu. Stanovením koncentrace kofeinu a jeho metabolitů v moči lidí se zabývali Rybak a kol. [15], průměrné koncentrace vyjádřené jako medián uvádějí pro kofein 3,39 µmol/l, paraxanthin 15,2 µmol/l, theobromin 20,3 µmol/l, theofylin 1,63 µmol/l; po přepočtu na hmotnostní koncentraci vychází medián pro kofein 658 µg/l. Nalezené koncentrace se liší zejména v závislosti na věku, nejvyšší hodnoty odpovídají věkovému rozmezí 40 až 59 let [15]. Rychlost vylučování je rozdílná pro kofein a jednotlivé metabolity a pohybuje se od 0,423 nmol/min do 46,0 nmol/min [15].

Průměrná spotřeba kofeinu na obyvatele a den byla podle dat z potravinové databáze „*Food Balance Sheet of the United Nations*“ v roce 2013 288,58 mg s tím, že byly velké rozdíly mezi jednotlivými státy [16]. Výskytem kofeinu ve vodách se zabývá řada prací – mnohem více údajů je o jeho výskytu v odpadních vodách

a tocích než ve vodách ke koupání (včetně jezer). Výskyt kofeinu v biokoupalištích zatím nikdo nesledoval. Buerge a kol. [14] navrhují kofein jako užitečný chemický marker pro hodnocení znečištění vodních toků odpadními vodami. Účinnost jeho eliminace ve švýcarských ČOV stanovili na 81–99,9 %. Tito autoři také běžně nalezli kofein ve švýcarských jezerech a řekách (6–250 ng/l), s výjimkou horských jezer. Návrh zařazení kofeinu jako ukazatele antropogenního znečištění podporují i portugalští autoři Paiga a kol. [17]. Koncentrace kofeinu v řekách se pohybovaly mezi 25,3 až 321 ng/l. Z novějších prací jsou prezentovány výsledky stanovení kofeinu v jezerech v Maine (USA), a to průměrné koncentrace 6 až 11 ng/l, s maximem 21 ng/l [18]. Při našem předchozím výzkumu byly zjištěny maximální hodnoty kofeinu ve stojatých koupacích vodách 296 ng/l a močoviny 0,127 mg/l [16]. Ve Vltavě byla v Praze Podolí v období 2005–2018 naměřena průměrná koncentrace kofeinu 220 ng/l (maximum 960 ng/l a minimum 100 ng/l) [19]. Vzhledem k poměrně účinné biodegradaci kofeinu na ČOV indikuje výskyt kofeinu v povrchových vodách spíše čerstvou kontaminaci splaškovými odpadními vodami, nikoli znečištění prostřednictvím odtoků z ČOV. Biodegradace kofeinu probíhá i v přírodních vodách, a to působením bakterií rodu *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Bacillus*, *Rhodococcus* a řady dalších [20]. Ve 12 australských chlorovaných bazénech byly objeveny hodnoty kofeinu až 1 540 ng/l a velké změny koncentrací byly zjišťovány během dne v závislosti na návštěvnosti [21]. V termálních bazénech na Slovensku byl kofein detekován na 44 z 49 lokalit, nejvyšší hodnota činila 69 000 ng/l (medián 310 a aritmetický průměr 1 140 ng/l) [22].

Močovina ani kofein nejsou ve vodním prostředí stabilní jako např. některá léčiva. Močovina se ve vodě postupně rozkládá na kyanatan amonný a následně na amoniak a oxid uhličitý. Kyselé i alkalické prostředí tuto reakci urychluje, stejně jako zvýšená teplota. Nárůst pH se projeví již při minimálním rozkladu močoviny a toto zásadité pH katalyzuje její další rozklad. Optimální pH pro močovinu představuje hodnota 6,2 [23]. Alkalické prostředí v biokoupalištích by rozklad močoviny ještě urychlilo (v našich případech se pH pohybovalo v rozmezí 8,51–8,53 – viz výsledky). Kofein se dobře rozkládá během čištění odpadních vod (81–99,9% eliminace dle [14]), dá se tak předpokládat jeho rozklad i v biokoupalištích. Další autoři [24] uvádějí kompletní biodegradaci kofeinu čistou kulturou bakterií *Pseudomonas* spp. při optimální hodnotě pH 6,0 během 24 hodin a zároveň zmiňují inhibiční účinek organických i anorganických sloučenin dusíku, přičemž efekt močoviny byl shledán silnějším než efekt amonných solí. V jiné studii [25], rovněž pracující s bakteriemi rodu *Pseudomonas*, byla vyčíslena maximální rychlost biodegradace kofeinu 0,345 µmol/min a jako optimální hodnota pH pro biodegradaci byla shledána 8,0. Zároveň bylo zjištěno, že z iontů kovů mají na biodegradaci kofeinu silně inhibiční účinek ionty Cu^{2+} a Zn^{2+} a naopak stimulující účinek vykazují ionty Fe^{2+}, Ca^{2+} a Mg^{2+} [25]. Ve vodním prostředí může kofein podléhat hydrolýze a za vhodných podmínek také fotodegradaci nebo biodegradaci. Alhassen a kol. [26] zkoumali fotodegradaci kofeinu iniciovanou umělým osvětlením o vlnové délce 400 až 500 nm imitujícím sluneční záření a zaznamenali poločas rozpadu kofeinu 2,3 až 16,2 v závislosti na typu matrice

Obr. 2. Biokoupaliště Kosmonosy
Fig. 2. Bathing pond Kosmonosy

(demineralizovaná voda, říční voda samotná a s přídavkem listí). Ukázalo se, že rychlost rozkladu kofeinu snižují některé organické látky a že se na rozkladu kromě fotodegradace podílí i hydrolýza, která je však podstatně pomalejší [26]. V další práci byl zjištěn poločas rozkladu šest dní v případě zaočkování odtokem z ČOV, resp. deset dní při biodegradaci působením mikroorganismů aktivovaného kalu [27].

ATP test analyzuje přítomnost celkového mikrobiálního znečištění a jde o proces, při němž dochází k měření aktivních mikroorganismů. Test se provádí na základě detekce adenosintrifosfátu (ATP), který představuje molekulu hlavního energetického oběživa v živých buňkách a kolem nich, a poskytuje tak přímou míru biologické koncentrace ve vzorku. ATP se detekuje měřením světla a množství vyrobeného světla je přímo úměrné množství přítomného ATP v jednom testovaném vzorku. Měrnou hodnotou jsou relativní světelné jednotky (RLU). Při měření se vždy používá přímá úměrnost – čím vyšší je ATP, tím vyšší je RLU. Tento ukazatel jsme podrobně probírali v našem předchozím článku, kde je citována i související literatura a rozebrána problematika volného (mimobuněčného) a celkového ATP [28].

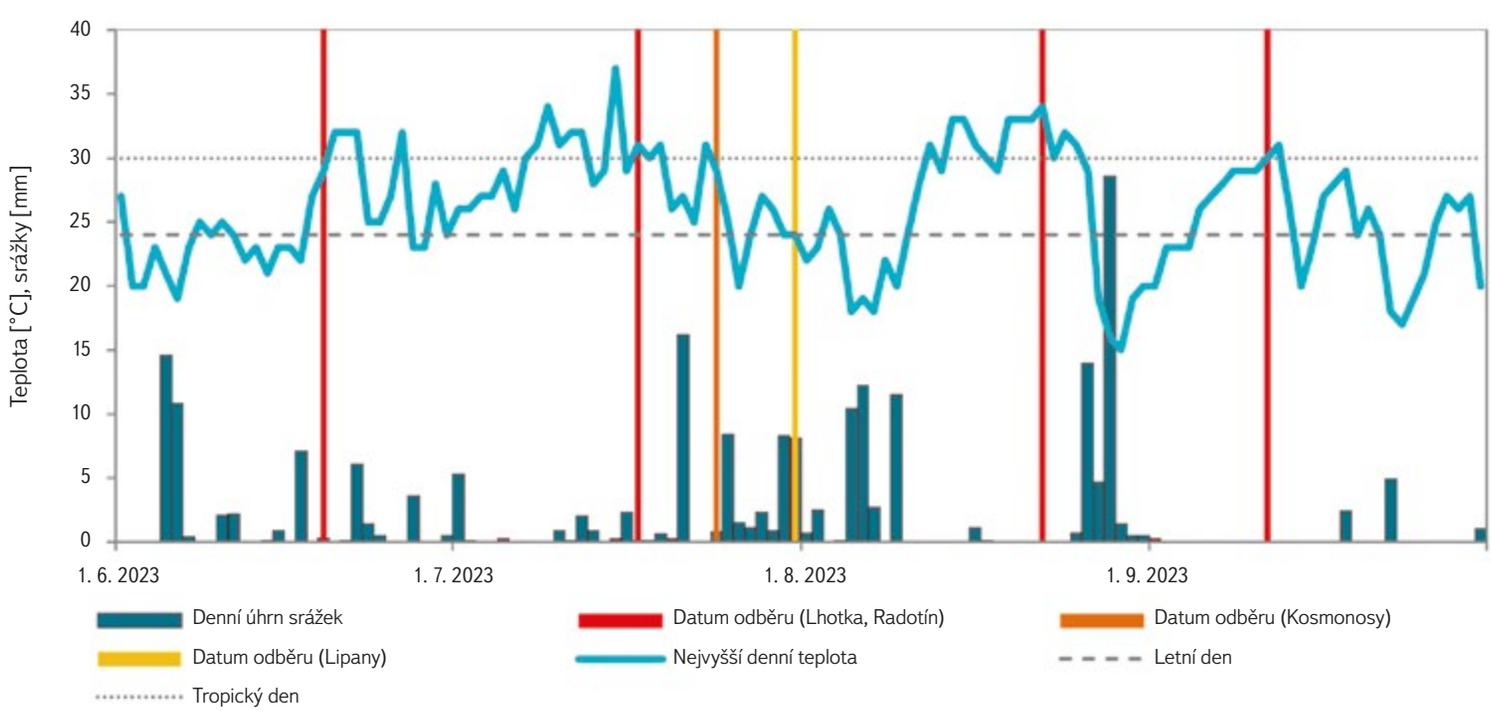
METODIKA

Byly analyzovány prosté vzorky, odebírané za dodržení platných pravidel pro vzorkování v několika biokoupalištích v roce 2023. Šlo o veřejná biokoupaliště v Praze – Radotíně (dále jen A), v Praze – Lhotce (B), v Kosmonosech u Mladé Boleslavi (C) a v Lipanech (D), které leží cca 3 km západně od Říčan. Lokalita D není typické biokoupaliště. Jde o volně přístupnou nádrž s částečným obtokem, v níž se ale přírodní způsob čištění taktéž uplatňuje. Kapacita biokoupaliště A je 700 a koupaliště B 1 000 návštěvníků za den. Projekčně navržená okamžitá kapacita vodní plochy u biokoupaliště C je 100 osob, denní pak 300–500 osob. Na *obr. 3* je uvedena maximální denní teplota vzduchu, srážky v zájmové oblasti (archiv na webových stránkách https://www.in-pocasi.cz/ [29]) a odběrové dny pro jednotlivé lokality. Lze z nich alespoň částečně usuzovat na vytížení biokoupališť v době před odběry vzorků. Za tropické dny jsou považovány dny s maximální denní teplotou větší než 30 °C, návštěvnost koupališť však roste plynule již od hranice pro letní dny (tj. nejvyšší denní teplota > 24 °C) [30]. Vliv mají pochopitelně i srážky, oblačnost a další faktory. Při odběrech byla vždy sledována teplota vzduchu a aktuální návštěvnost v nejbližší minulosti. Z hlediska návštěvnosti, a tudíž očekávaného vyššího zatížení biokoupaliště, se považuje za podstatné nejenom počasí v den odběru, ale i situace několik dní předem. Z *obr. 3* (i z našich záznamů) vyplývá, že na lokalitách A i B byly cca čtyři dny před odběry v červnu a červenci teplé, v srpnu a v září dokonce velmi teplé (lokalita B byla během července mimo provoz). Na lokalitě C byly odebírány vzorky během zavíracího dne, dny předcházející odběru však byly teplé a beze srážek.

Na lokalitách A–C byly odebrány dva vzorky z protilehlých stran koupací nádrže (*obr. 4*) pro mikrobiologický rozbor a stanovení močoviny a kofeinu. Na lokalitě D byly vzorky pro tyto ukazatele odebrány z jednoho místa. Vzorky pro chlorofyl-a byly odebírány na lokalitách A–C pouze z jednoho odběrového místa (*obr. 4*). Odběry vzorků pro základní chemický rozbor byly prováděny na lokalitách A a B. Na lokalitě A z jednoho místa, na lokalitě B ze dvou míst (*obr. 4*). Celkové ATP bylo měřeno přímo *in situ* na výše uvedených odběrových místech.

Dvě biokoupaliště (A a B) byla vzorkována opakovaně ve čtyřtýdenních intervalech během celé koupací sezony, dvě lokality (C a D) byly vzorkovány jednorázově (*obr. 3*).

Celkový počet odebraných vzorků na jednotlivých lokalitách je uveden v *tab. 1*. Vzorky byly transportovány za stálého chlazení do laboratoře a ihned zpracovány, kromě stanovení kofeinu, kdy byly vzorky zamrazené při -18 °C a zpracované hromadně na konci koupací sezony. Možné změny močoviny a kofeinu ve vzorcích během transportu a skladování byly ověřeny (vliv vzorkovnice, doby a způsob skladování), vnitřním standardem (močovina) či slepými a duplicitními vzorky (kofein). Celkové ATP bylo stanoveno na místě.



Obr. 3. Maximální denní teplota vzduchu a denní úhrn srážek na stanici Praha – Libuš a odběrové dny v letní sezoně 2023
Fig. 3. Maximum daily air temperature and daily precipitation at the Prague – Libuš station and sampling days in the summer season 2023

Obr. 4. Pozice odběrových míst na biokoupalištích A–C; červeně označena místa s odběrem pro všechny ukazatele, oranžově pro mikrobiologické ukazatele, chlorofyl-a, kofein a močovinu, žlutě pro mikrobiologické ukazatele, kofein a močovinu (zdroj fotomap: www.mapy.cz)

Fig. 4. Position of sampling points at bio-swimming pools A–C; red marks sampling points for all indicators, orange marks microbiological indicators, chlorophyll-a, caffeine and urea, yellow marks microbiological indicators, caffeine and urea (source photomap: www.mapy.cz)

Tab. 1. Celkový počet vzorků odebraných na jednotlivých lokalitách

Tab. 1. Total number of samples collected at individual sites

Lokalita	Počet odběrů	Počet vzorků / stanovení					
		Kofein	Močovina	ATP	Mikrobiologický rozbor	Chemický rozbor	Chlorofyl
A	4	8	8	8	8	4	3
B	4	8	8	8	8	8	3
C	1	2	2	2	2	-	1
D	1	1	1	1	1	-	-

Močovina byla stanovena metodou založenou na enzymatickém rozkladu močoviny ureázou na amonné ionty a jejich následnou detekcí spektrofotometricky (modifikace metody dle [31], podrobněji viz [16]). Mez detekce metody je 60 µg/l a mez stanovitelnosti 110 µg/l. Kofein byl stanoven metodou LC-MS/MS s mezí detekce 25 ng/l a mezí stanovitelnosti 50 ng/l (modifikovaný postup dle normy ČSN ISO 21676 [32]).

Indikátory fekálního znečištění *E. coli* a intestinální enterokoky byly stanoveny standardizovanými metodami dle ČSN EN ISO 9308-2 [33], respektive ČSN EN ISO 7899-2 [34]. Detekce celkového ATP byla provedena luminometricky (Aquasnap, Hygiena) přímo na lokalitě. Při prvních odběrech na lokalitách A a B jsme provedli i stanovení vázaného ATP, ale vzhledem k tomu, že se jednalo o oživené lokality, byly rozdíly mezi celkovým a vázaným ATP malé (do 10 %) – na rozdíl od jiných, dříve studovaných matric [28]. Z toho důvodu (a protože pro případné provozní měření je to jednodušší) jsme se rozhodli nadále v biokoupalištích měřit pouze celkové ATP.

P. aeruginosa byla analyzována optimalizovanou metodou pro koupací vody (resp. pro vody s vysokým obsahem doprovodné mikroflóry) [35]. Chlorofyl-a byl stanoven postupem podle ČSN ISO 10260 [36].

Základní chemický rozbor zahrnoval organický uhlík, celkový dusík, anorganické formy dusíku (dusitanový, dusičnanový, amoniakální), orthofosforečnanový fosfor, celkový fosfor, rozpuštěný kyslík a hodnotu pH. Na místě byla pomocí Secchiho desky měřena průhlednost vody a oxymetrem Hach LDO HQ 10 s optickou sondou koncentrace rozpuštěného kyslíku (stejně jako stupeň nasycení kyslíkem a teplota vody), a to ve třech hloubkách: 30 cm, 1 m a 2 m. Vzhledem k tomu, že s hloubkou se hodnoty významně neměnily, uváděny jsou pouze hodnoty „z hladiny“ (resp. 30 cm pod ní), kde byly odebírány

všechny vzorky pro analýzu. Hodnota pH byla měřena ihned po přenesení do laboratoře pH metrem WTW inoLab® pH level 2 s kombinovanou elektrodou THETA 90. Organický uhlík a celkový dusík byly detekovány pomocí analyzátoru Shimadzu TOC-V CPH. Na stanovení dusitanového, dusičnanového a amoniakálního dusíku byly použity spektrofotometrické metody dle ČSN EN 26777 [37], ČSN ISO 7890-3 [38] a ČSN ISO 7150-1 [39], na stanovení orthofosforečnanového fosforu a celkového fosforu po mineralizaci s peroxodisíranem spektrofotometrická metoda s molybdenanem dle ČSN EN ISO 6878 [40]. Vzorky byly filtrovány přes filtry ze skleněných vláken Whatman GF/C. Koncentrace organicky vázaného dusíku byla počítána z rozdílu koncentrací celkového dusíku N_T a sumy anorganických forem dusíku ($N\text{-}NO_2^-$, $N\text{-}NO_3^-$ a N_{amo}).

VÝSLEDKY

V následujících tabulkách jsou uvedeny výsledky všech provedených analýz během koupací sezony 2023. V *tab. 2* je uveden základní chemický rozbor na biokoupalištích A a B, v *tab. 3* jsou výsledky kofeinu a močoviny a mikrobiologických a biologických ukazatelů (*E. coli,* intestinální enterokoky, *P. aeruginosa,* celkový ATP a chlorofyl) ve všech čtyřech biokoupalištích.

Základní chemické ukazatele

Hodnoty chemických ukazatelů v biokoupalištích A a B (*tab. 2*) dokládají velmi nízkou úroveň znečištění jak organickými látkami, tak sloučeninami dusíku. Koncentrace orthofosforečnanového i celkového fosforu byla ve všech vzorcích pod mezí stanovitelnosti, která činí 0,03 mg/l, resp. 0,04 mg/l (v tabulce neuvedeno). Trofický potenciál vody je proto velmi nízký a případný rozvoj fytoplanktonu je výrazně limitován fosforem. Tomu odpovídají i nízké koncentrace chlorofylu-a (*tab. 2*). V průběhu koupací sezony byl na obou lokalitách patrný mírný nárůst koncentrace organicky vázaného dusíku, a to na lokalitě A již v průběhu června a na lokalitě B teprve během prázdnin. Nejvyšší zaznamenané koncentrace N_{org} činily 5,41 mg/l na lokalitě A a 4,27 mg/l na lokalitě B. Koncentrace amoniakálního dusíku spíše kolísala, nebyl zřetelný soustavný nárůst či jiný trend ani korelace mezi koncentrací N_{amo} a N_{org}. Koncentrace dusitanového dusíku byly obvykle pod mezí stanovitelnosti (0,005 mg/l) nebo těsně nad ní a rovněž koncentrace dusičnanového dusíku byly velmi nízké. Průhlednost dosahovala na obou sledovaných lokalitách vždy až na dno (3,25 m) s výjimkou srpnového měření na lokalitě B, kdy byla pouze 2 m (v tomto dni bohužel nebyl stanoven chlorofyl-a). Z hlediska obsahu organických látek byla voda jen minimálně znečištěna a během léta byl pozorován nepatrný nárůst koncentrace C_{org}, jež současně s poklesem teploty v září klesla zpět na červnovou úroveň. Hodnoty pH se pohybují na obou lokalitách v mírně alkalické oblasti. Změny hodnot pH lze přičítat probíhající fotosyntéze. Koncentrace rozpuštěného kyslíku se pohybovala kolem rovnovážné hodnoty nebo mírně nad ní po celé sledované období na obou lokalitách, s výjimkou srpnového měření na lokalitě B, kde se stupeň nasycení vyšplhal až na 122 %, což zřejmě způsobila poměrně intenzivní fotosyntetická aktivita přítomných producentů. Kromě tohoto ojedinělého výkyvu se žádný ze sledovaných ukazatelů významně neměnil v čase. To svědčí o stabilitě vody z chemického hlediska a s přihlédnutím k nízkým koncentracím nutrientů a organických látek také o vysoké účinnosti samočištění vody. A z porovnání stanovených hodnot ukazatelů ze dvou odběrových míst lokality B vyplývá, že voda v koupací části je velmi dobře promíchávána.

Chemické ukazatele zahrnuté do základního rozboru vypovídají o kvalitě vody a účinnosti samočisticích procesů, ale některá stanovení, jako je např. organický uhlík, neposkytují informace o charakteru znečištění. Jsou proto vhodné především jako doplňující parametry. Nejslibněji se ukazují výsledky celkového dusíku (N_T), u nichž jsou patrné vyšší hodnoty již od července na lokalitě A a od srpna (v červenci mimo provoz) na lokalitě B oproti začátku sezony.

Tab. 2. Základní chemický rozbor; na lokalitě A byl pro základní chemický rozbor odebírán pouze jeden vzorek z koupací části
Tab. 2. Basic chemical analysis; at site A, only one sample was taken from the bathing area for basic chemical analysis

Datum	Lokalita	T [°C]	O_2 [mg/l]	O_2 [%]	pH	C_{org} [mg/l]	N_T [mg/l]	$N\text{-}NO_2^-$ [mg/l]	$N\text{-}NO_3^-$ [mg/l]	N_{amo} [mg/l]	N_{org} [mg/l]
19. 6.	A	24,5	7,62	98	8,39	4,80	2,55	< 0,005	0,093	0,030	2,52
17. 7.	A	27,1	8,51	109	8,40	5,86	6,20	0,018	0,660	0,128	5,41
22. 8.	A	28,5	8,03	106	8,33	5,83	5,71	0,013	0,453	0,036	5,22
11. 9.	A	24,3	8,82	108	8,09	4,58	3,62	0,006	0,312	0,053	3,26
19. 6.	B	23,1	8,52	104	8,46	4,11	1,81	< 0,005	< 0,05	0,029	1,78
19. 6.	B	22,7	8,63	103	8,46	4,08	1,69	< 0,005	< 0,05	0,023	1,67
17. 7.	B	26,3	8,02	102	8,51	4,26	1,35	< 0,005	< 0,05	0,096	1,25
17. 7.	B	26,4	7,97	102	8,53	4,33	1,38	< 0,005	< 0,05	0,085	1,29
22. 8.	B	26,9	9,46	121	8,78	4,31	4,34	< 0,005	0,293	0,071	4,27
22. 8.	B	27,5	9,41	122	8,74	4,08	3,59	< 0,005	0,131	0,085	3,50
11. 9.	B	23,4	7,74	94	8,03	3,80	3,88	0,016	0,387	0,126	3,36
11. 9.	B	23,4	7,84	95	8,05	4,00	3,85	0,018	0,400	0,185	3,27

Mikrobiologické a biologické ukazatele

V *tab. 3* jsou uvedeny mikrobiologické a biologické ukazatele na všech čtyřech lokalitách. Téměř všechny počty *E. coli* a intestinálních enterokoků splňovaly současné legislativní požadavky (dle vyhlášky MZ č. 238/2011 Sb.), tj. 100 KTJ(MPN)/100 ml, resp. 50 KTJ/100 ml a počty *P. aeruginosa* pouze v jednom odběru přesahovaly dřívější limitní hodnotu 10 KTJ/100 ml. Hodnoty celkového ATP splňovaly naše teoretické předpoklady: na lokalitě A byly významně vyšší v červenci a v srpnu při maximálních návštěvnostech a nižší v červnu a září. Na lokalitě B byly nejnižší v červencovém odběru, kdy bylo koupaliště z technických důvodů mimo provoz. I přes vysoké hodnoty ATP (nad 200, ale ani nad 500 RLU) nebyly současně zaznamenány zvýšené hodnoty *E. coli*, jak tomu bylo v městských vodních prvcích [41]. Zde tedy jde o jiná, mnohem více přirozená mikrobiální společenstva a ATP tu neukázal přímý indikační význam fekálního znečištění. Na druhé straně přítomnost příležitostných patogenů spojených s antropogenním znečištěním nelze zcela vyloučit. Výsledky stanovení ATP v povrchových vodách včetně vod koupacích a přírodních koupališť nebyly dosud publikovány, proto je nemůžeme s ničím srovnávat a diskutovat.

Chemické ukazatele antropogenního zatížení — kofein a močovina

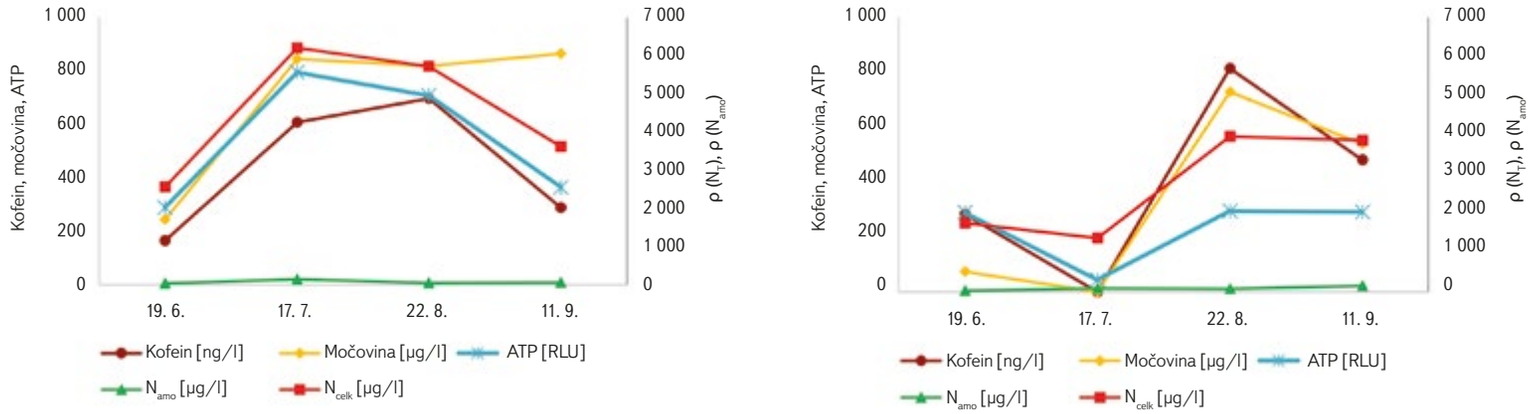
Výsledky analýz močoviny i kofeinu jsou také uvedeny v *tab. 3*. Získané hodnoty byly v převážné většině nad mezí stanovitelnosti a opět byly zjištěny nejvyšší hodnoty v letním období při maximální návštěvnosti (s výjimkou lokality B, která byla v červenci mimo provoz, a v té době byly tudíž zaznamenané hodnoty nejnižší). Výsledky obou ukazatelů do určité míry korelovaly (R^2 = 0,82). Určitou korelaci (R^2 = 0,65) vykazovaly i výsledky kofeinu a ATP a také výsledky ATP a močoviny (R^2 = 0,66). Variační koeficienty z duplicitních odběrů se u kofeinu pohybovaly od 9 do 26 %, u močoviny od 5 do 48 %. Korelace těchto výsledků je patrná též na *obr. 5 a, b*.

Tab. 3. Výsledky stanovení kofeinu, močoviny, celkového ATP, mikrobiologických a biologických ukazatelů (NA = neanalyzováno)
Tab. 3. Results of caffeine, urea, total ATP, microbiological and biological indicators detection (NA = not analyzed)

Datum	Lokalita	Močovina [µg/l]	Kofein [ng/l]	ATP [RLU]	*E. coli* [MPN/100 ml]	Enterokoky [KTJ/100 ml]	*P. aeruginosa* [KTJ/100 ml]	Chlorofyl-a [µg/l]
19. 6.	A	243	142	257	96	27	0	4,4
19. 6.	A	244	186	319	46	14	3	
17. 7.	A	828	688	709	19	9	14	13,0
17. 7.	A	861	526	880	28	7	13	
22. 8.	A	847	829	634	28	12	6	NA
22. 8.	A	790	562	780	16	4	9	
11. 9.	A	859	200	278	11	7	0	2,7
11. 9.	A	871	375	450	6	5	0	
19. 6.	B	147	249	299	62	17	1	2,4
19. 6.	B	< 110	317	278	105	20	3	
17. 7.	B	< 110	< 50	28	36	3	3	1,9
17. 7.	B	< 110	< 50	58	24	4	3	
22. 8.	B	715	748	399	8	3	4	NA
22. 8.	B	742	879	189	6	6	8	
11. 9.	B	532	470	291	12	3	2	1,4
11. 9.	B	544	492	292	10	3	5	
24. 7.	C	125	297	231	19	3	1	5,9
24. 7.	C	< 110	184	214	12	15	1	
31. 7.	D	< 110	106	925	22	18	1	NA

DISKUZE

Práce prezentované v tomto článku navazovaly na naši studii koupacích vod [16], kde se však jednalo o výrazně větší vodní plochy (rybníky a pískovny) s relativně nižší návštěvností (poměr vody a přísunu antropogenního znečištění), proto zde byly hodnoty kofeinu a močoviny významně nižší než v biokoupalištích a jen zřídka přesáhly mez stanovitelnosti (pro srovnání kofein [v ng/l]: pískovna Mělice < 50–170, rybník Šeberák < 50–204, rybník Pilský 84–93, pískovna Poděbrady < 50–121, rybník Eliška < 50–296). I v citované literatuře byly naměřené hodnoty



Obr. 5 a, b. Sezonní průběh průměrných koncentrací (ze dvou míst A a B) pro kofein, močovinu a celkový ATP a amoniakální (N_{amo}) a celkový dusík (N_T)
Fig. 5 a, b. Seasonal course of average concentrations (from sites A and B) for caffeine, urea, ATP, ammonia (N_{amo}) and total nitrogen (N_T)

v jezerech nižší, např. v Maine (USA) šlo o koncentrace 6–11 ng/l, s maximem 21 ng/l [18]. Antropogenní zatížení biokoupališť je proto více srovnatelné s umělými bazény, kde byly naměřeny hodnoty kofeinu průměrně až 1 540 ng/l [21] či 1 140 ng/l [22]. V bazénech byly také detekovány vysoké koncentrace močoviny, a to 3,5–5,5 mg/l [9], (0,07–18,73 mg/l [10] a 0,74–15,62 mg/l) [11]. Zhang a kol. [10] uvádějí, že průměrné uvolnění moči na plavce by mohlo být 25–77 ml. Močovina je považována za hlavní kontaminant dusíku, který do bazénové vody vnášejí plavci, a je proto důležitým ukazatelem kvality a hygieny vody v bazénu. V Číně je regulována na 3,5 mg/l (tj. 3 500 µg/l; naše nejvyšší získaná hodnota činila 871 µg/l).

Relativně vysoké hodnoty kofeinu v biokoupalištích byly získány navzdory tomu, že se pouze malá část (0,5–10 %) kofeinu vylučuje v nezměněné formě [14] a metabolity stanovovány nebyly.

Z dalších našich – dosud nepublikovaných – výsledků lze pro ilustraci uvést hodnoty kofeinu v systému odtok odpadních vod (1 160 ng/l), čisticí rybník (273 ng/l), rybník k rybaření (horní část 66 ng/l, dolní část < 50 ng/l) a rybník ke koupání (258 ng/l). Močovina byla v těchto vzorcích většinou pod mezí stanovitelnosti; zřejmě byla již degradována na amonné ionty s detekovanými hodnotami 916, 471, 161, 250 a 185 µg/l. I z těchto výsledků je patrné, že hodnoty kofeinu a močoviny jsou vyšší v biokoupalištích než v rybnících jakéhokoli typu.

Námi sledované ukazatele, především kofein, močovina, ale i ATP a celkový dusík, vykazovaly v biokoupalištích významný sezonní průběh (*obr. 5*), výsledky za celou sezonu tak nelze průměrovat a je nutné posuzovat každý získaný výsledek zvlášť. Na lokalitě B byly vysoké „letní" hodnoty kofeinu a močoviny zjištěny již ve vrcholné koupací sezoně 2022 (27. července o koncentraci 993 ng/l, resp. 12. srpna o koncentraci 432 ng/l – dosud nepublikované výsledky), které jsou srovnatelné s námi naměřenými hodnotami ve stejném období roku 2023. Přestože duplicitně odebrané vzorky (v roce 2023 vždy ze dvou různých míst v koupací části) většinou nevykazovaly velké rozdíly (převážně do 20 %), v některých případech byly rozdíly mezi duplicitními vzorky zaznamenány (kofein 9–26 %, močovina 5–48 %.). Proto by zejména u nově testovaného biokoupaliště bylo žádoucí vždy odebírat vzorků více, nebo lépe vždy odebírat směsný vzorek.

Potvrzení korelace mezi koncentrací kofeinu a aktuálním počtem koupajících se osob lze nalézt v práci týmu Lempart a kol [42], kteří prováděli monitoring kofeinu záměrně neovlivněný aktuální návštěvností bazénu (brzy ráno). Nejvyšší nalezená průměrná koncentrace kofeinu činila pouze 12,81 ng/l na tobogánu, průměrná koncentrace v plavecké zóně sportovního bazénu byla 3,68 ng/l.

Přestože tento výzkum přinesl mnoho zajímavých poznatků, otevřel také řadu dalších otázek, které by bylo dobré řešit, zejména v souvislosti s budoucí očekávanou změnou české legislativy. Aktuálně používané ukazatele pro hodnocení kvality vody v biokoupalištích jsou nedostatečné (navíc se výsledky získají za tři dny) a zcela nevystihují hlavní problémy na lokalitách. Na rozdíl od přírodních koupališť je totiž možné v biokoupalištích danou situaci ovlivnit (např. zvýšit intenzitu čistících procesů). Dále tyto poznatky mohou být využity při zakládání nového biokoupaliště. Pro vlastní provoz biokoupališť však především chybějí provozní ukazatele, jež poskytují rychle dostupné výsledky, které si provozovatel může sám stanovit a podle nich operativně upravit provoz. To bohužel kofein, močovina ani celkový dusík nesplňují vzhledem k tomu, že je nutné je stanovovat v laboratoři. Případné využití měření celkového ATP *in situ* se bude muset nadále studovat, především jeho změny v čisticí (tj. velmi biologicky aktivní) části. Z hygienického hlediska je důležitý pohled na dlouhodobější zatížení biokoupaliště. Dlouhodobé a vysoké zatížení biokoupaliště s sebou také může přinášet mnoho dalších látek (léky, hormony, zbytky kosmetiky) a příležitostně patogenních mikroorganismů z pokožky či sliznic, a to i v případě, že stávající indikátory fekálního znečištění nepřesahují předepsaný limit. Toto bylo potvrzeno např. v případě příležitostného ušního patogenu *Pseudomonas otitidis* v biokoupalištích ve vrcholné koupací sezoně [35], kdy nejvyšší počty byly nalezeny na konci koupací sezony. Korelace s kofeinem a močovinou však zjištěna nebyla. Při kontrole dlouhodobého zatížení by kofein, močovina i celkový dusík mohly nalézt uplatnění. Stanovení kofeinu je však drahé a je zavedeno jen v malém počtu laboratoří. Také stanovení močoviny není v laboratořích běžně zavedeno a je poměrně pracné. Z tohoto pohledu se nejslibněji jeví celkový dusík, který stanovuje více laboratoří a jeho analýza je cenově dostupnější.

ZÁVĚR

Biokoupaliště jsou specifické systémy, kde dominantní úlohu pro udržení kvality vody mají živé organismy, zároveň se zde na relativně malé ploše koupe ve vrcholné sezoně velké množství lidí. Přestože se již nějakou dobu biokoupaliště studují, stále jsou získané poznatky omezené a vyvstávají další otázky. Převládající znečištění je tu antropogenního původu (hlavní vnos znečištění představují koupající se lidé) a sledované ukazatele antropogenního zatížení (kofein a močovina) vykazují ve vrcholné letní sezoně hodnoty až > 500 ng/l, resp. µg/l. Současnou legislativou předepsané ukazatele (indikátory fekálního znečištění *E. coli* a intestinální enterokoky) toto zvýšené antropogenní zatížení nepodchytily. Výsledky stanovení celkového ATP se ukázaly zajímavé, ale bude třeba ještě dalšího výzkumu, zejména v čisticích, tj. velmi mikrobiálně aktivních zónách (jeho souvislost s celkovým oživením apod.). Jako ukazatel postupného zvyšování antropogenního zatížení během sezony by mohl být vhodný celkový dusík.

Poděkování

Vznik příspěvku byl podpořen v rámci MZ ČR – RVO (Státní zdravotní ústav – SZÚ, IČ 75010330). Děkujeme provozovatelům biokoupališť za umožnění vzorkování a za cenné doplňující informace.

SEZNAM ZKRATEK

ATP – adenosintrifosfát
IS PiVo – informační systém pro pitnou a koupací vodu
RLU – relativní jednotka světla
KTJ – kolonie tvořící jednotka
MPN – nejpravděpodobnější počet (Most Probable Number)
N_T – celkový dusík

Literatura

[1] PUMANN, P., BAUDIŠOVÁ, D., MYŠÁKOVÁ, M., MAYEROVÁ, L., JELIGOVÁ, H., BOBKOVÁ, Š.„Biokoupaliště" – hygienické aspekty, kvalita vody a legislativa In: ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, J., PETRÁKOVÁ KÁNSKÁ, K. (eds.). *Sborník konference Vodárenská biologie 2023, 9.–10. 2. 2023, Praha*. Chrudim: Vodní zdroje EKOMONITOR, s. 110–115. ISBN 978-80-88238-24-9.

[2] *Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a změně některých souvisejících zákonů*.

[3] *Vyhláška MZ č. 238/2011 Sb., o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch*.

[4] VOET, D., VOET, J. G., PRATT, C. W. Fundamentals of Biochemistry, Life at Molecular Level, 2nd ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons Pte Ltd, 2006. ISBN 0-471-74268-6.

[5] WILTSHIRE, K. H., LAMPERT, W. Urea Excretion by Daphnia: A Colony-Inducing Factor in Scenedesmus? *Limnology and Oceanography*. 1999, 44(8), s. 1 894–1 903. Dostupné z: https:// doi.org/10.4319/lo.1999.44.8.1894

[6] SIUDA, W., CHRÓST, R. Urea and Ureolytic Activity in Lakes of Different Trophic Status. *Polish Journal of Microbiology*. 2006, 55(3), s. 211–225. Dostupné z: https://doi.org/10.3161/15052249PJE2015.63.1.010

[7] BLACKSTOCK, L. K. J., WANG, W., VEMULA, S., JAEGER, B. T., LI, X.-F. Sweetened Swimming Pools and Hot Tubs. *Environmental Science & Technology Letters*. 2017, 4(4), s. 149–153. Dostupné z: https://doi.org/10.1021/acs.estlett.7b00043

[8] ERDINGER, L., KIRSCH, F., SONNTAG, H. G. Potassium As an Indicator of Anthropogenic Contamination of Swimming Pool Water. *Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin. International Journal of Hygiene and Environmental Medicine*. 1997. 200(4), s. 297–308.

[9] KARIMI, B. Formation of Disinfection By-Products in the Swimming Pool Water Treated with Different Disinfection Types. *Desalination and Water Treatment*. 2020, 175, s. 174–181. Dostupné z: https://doi.org/10.5004/dwt.2020.24887

[10] ZHANG, D., CHENG, L., DONG, S., LUO, J., XU, Z., CHU, W. Dramatically Increased Disinfection Byproducts in Swimming Pool Water Caused by Commonly Used Urea Degradants. *Water Research*. 2022, 223, 118987. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118987

[11] ZHOU, J., LIU, C., CHEN, Y., LUO, X., DENG, D. Determination of Urea in Swimming Pool Water Using High-Performance Liquid Chromatography with Online Postcolumn Derivatization by Xanthydrol. *Journal of Chromatographic Science*. 2023, 61(4), s. 339–346. Dostupné z: https://doi.org/10.1093/chromsci/bmac025

[12] RUDOLPH, E., FÄRBRINGER, A., KŐNIG, J. Determination of the Caffeine Contents of Various Food Items within the Austrian Market and Validation of a Caffeine Assessment Tool (CAT). *Food Additives & Contaminants – Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*. 2012, 29(12), s. 1 849–1 860. Dostupné z: https://doi.org/10.1080/19440049.2012.719642

[13] REDDY, V. S., SHIVA, S., MANIKANTAN, S., RAMAKRISHNA, S. Pharmacology of Caffeine and its Effects on the Human Body. *European Journal of Medicinal Chemistry Reports*. 2024, 10, 100138. ISSN 2772-4174. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.ejmcr.2024.100138

[14] BUERGE, I. J., POIGER, T., MULELR, M. D., BUSER, H. R. Caffeine an Anthropogenic Marker for Wastewater Contamination of Surface Waters. *Environmental Science and Technology*. 2003, 37(4), s. 691–700. Dostupné z: https://doi.org/10.1021/es020125z

[15] RYBAK, M., STERNBERG, M. R., PAO, Ch. I., AHLUWALIA, N., PFEFFER, Ch. M. Urine Excretion of Caffeine and Select Caffeine Metabolites Is Common in the US Population and Associated with Caffeine Intake. *Journal of Nutrition*. 2015, 145. Dostupné z: https://doi.org/10.3945/jn.114.205476.

[16] BOBKOVÁ, Š., BAUDIŠOVÁ, D., MAYEROVÁ, L., MYŠÁKOVÁ, M., KOTHAN, F., POUZAROVÁ, T., PUMANN, P. Přístupy při monitorování mikrobiálního znečištění koupacích vod. *Acta Hygienica Epidemiologica et Microbiologica*. 2022, 2, s. 1–41. Dostupné z: https://szu.cz/knihovna/ahem

[17] PAIGA, P., RAMOS, S., JORGE, S., SILVA, J. G., DELERUE-MATOS, C. Monitoring Survey of Caffeine in Surface Waters (Lis River) and Wastewaters Located at Leiria Town in Portugal. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019, 26, s. 33 440-33 450. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/s11356-019-06168-w

[18] KULLBERG, A. T., CARLSON, G. L., HAVER, S. M., McDOWELL, W. G. Contamination of Maine Lakes by Pharmaceuticals and Personal Care Products. *Journal of Environmental Studies and Sciences*. 2022, 12, s. 248–259. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/s13412-021-00733-x

[19] DOBIÁŠ, J. Dlouhodobé změny jakosti vody v úseku Podolí–Troja. In: FUKSA, J. K. (ed.). *Vltava v Praze – vliv města na řeku a řeky na město. Sborník prezentací*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., 2018. ISBN 978-80-87402-67-2.

[20] SALIHU, I., SHUKOR, M. Y., MOHD, S. A., RAHMAN, N. A. A., KHALID, A., AHAMD, S. A. Bacterial Degradation of Caffeine: A Review. *Asian Journal of Plant Biology*. 2014, s. 24–33. Dostupné z: https://doi.org/10.54987/ajpb.v2i1.84

[21] TEO, T. T. L., COLEMAN, H., KHAN, S. J. Occurrence and Daily Variability of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Swimming Pools. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016, 23(7), s. 6 972–6 981. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/s11356-015-5967-4

[22] DRDANOVÁ, A. P., TULIPÁNOVÁ, A., IMREOVÁ, Z., KRIVOŇÁKOVÁ, N., VOJS STAŇOVÁ, A., GRABIC, R., FEHÉR, M., SVITKOVÁ, V., NEMČEKOVÁ, K., ŠÍPOŠ, R., RYBA, J., MACKULAK, T. Comprehensive Analysis of Pharmaceutical and Illicit Drugs Contamoination in Thermal Wimming Pools: Occurrence, and Potential Impact. *Environmental Pollution*. 2025, 368, 125775. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.125775

[23] SKLENÁŘ, Z. Močovina – vlastnosti, použití a praktické zapracování do topických polotuhých základů. *Praktické lékárenství*. 2007, 4, s. 177–180.

[24] GOKULASHKRISNAN, S., CHANDRARAJ, K., GUMMADI, S. N. A Preliminary Study of Caffeine Degradation by Pseudomonas sp. GSC 1182. *International Journal of Food Microbiology*. 2007, 113(3), s. 346–350. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.07.005

[25] DASH, S. S., GUMMADI, S. N. Degradation Kinetics of Caffeine and Related Methylxanthines by Induced Cells of *Pseudomonas sp*. *Current Microbiology*. 2007, 55(1), s. 56–60. Dostupné z: https://doi.org/ 10.1007/s00284-006-0588-2

[26] ALHASSEN, H. M., DYER, F. J., THOMPSON, R. M. The Photolytic Breakdown of Caffeine and Paracetamol Residues in Surface Water. *Water*. 2023, 95(8), e10909. Dostupné z: https://doi.org/10.1002/wer.10909

[27] HUBAČ, J. *Výskyt a biodegradace mikropolutantů v povrchových vodách. Diplomová práce*. Praha: VŠCHT v Praze, 2020.

[28] BAUDIŠOVÁ, D. Význam a limity využití ukazatele ATP v mikrobiologii vody. *Vodní hospodářství*. 2024, 5, s. 1–3.

[29] https://www.in-pocasi.cz/

[30] PUMANN, P., LUSTIGOVÁ, M., JELIGOVÁ, H., POUZAROVÁ, T., ŽEJGLICOVÁ, K., KOTHAN, F., KOŽÍŠEK, F., FOJTÍK, T., BAUDIŠOVÁ, D., MYŠÁKOVÁ, M., BRICHOVÁ, I., UHLÍŘOVÁ, K., KULT, A. Vodní rekreace – koupání v přírodních koupalištích a dalších povrchových vodách. Monotematické číslo časopisu *Acta Hygienica, Epidemilogica et Microbiologica*. 2015, 1. 50 s.

[31] DE LAAT, J., FENG, W., FREYFER, D. A., DOSSIER-BERNE, F. Concentration Levels of Urea in Swimming Pool Water and Reactivity Chlorine with Urea. *Water Research*. 2011, 45(3), s. 1 139–1 146. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.11.005

[32] *ČSN ISO 21676: Kvalita vod. Stanovení rozpuštěné frakce vybraných léčivých přípravků, jejich metabolitů a dalších organických látek ve vodách a v čištěných odpadních vodách – Metoda vysokoúčinné kapalinové chromatografie s hmotnostně spektrometrickou detekcí (HPLC-MS/MS nebo –HRMS) po přímém nástřiku*.

[33] *ČSN EN ISO 9308-2: Kvalita vod. Stanovení koliformních bakterií a Escherichia coli. Část 2: Metoda nejpravděpodobnějšího počtu*.

[34] *ČSN EN ISO 7899-2: Jakost vod. Stanovení intestinálních enterokoků. Část 2: Metoda membránových filtrů*.

[35] BAUDIŠOVÁ, D., BOBKOVÁ, S., PUMANN, P. The Occurrence of Opportunistic Pathogenic *Pseudomonas* Species in Bathing Ponds. *Folia Microbiologica*. 2024, 70, s. 253–257. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/s12223-024-01229-1

[36] *ČSN ISO 10260: Jakost vod. Měření biochemických ukazatelů. Spektrofotometrické stanovení koncentrace chlorofylu-a*.

[37] *ČSN EN 26777: Jakost vod. Stanovení dusitanů. Molekulární absorpční spektrofotometrická metoda*.

[38] *ČSN ISO 7890-3: Jakost vod. Stanovení dusičnanů. Část 3: Spektrometrická metoda s kyselinou sulfosalicylovou*.

[39] *ČSN ISO 7150-1: Jakost vod. Stanovení amonných iontů. Část 1: Manuální spektrometrická metoda*.

[40] *ČSN EN ISO 6878: Jakost vod – Stanovení fosforu – Spektrofotometrická metoda s molybdenanem amonným*.

[41] BAUDIŠOVÁ, D., KOŽÍŠEK, F., MAYEROVÁ, L., PUMANN, P., JELIGOVÁ, H. Zdravotní rizika interaktivních vodních prvků a jejich prevence. *Hygiena*. 2024, 69(1), s. 11–17. Dostupné z: https://doi.org/10.21101/hygiena.a1854

[42] LEMPART, A., KUDLEK, E., DUDZIAK, M. Concentration Levels of Selected Pharmaceuticals in Swimming Pool Water. *Desalination and Water Treatment*. 2018, 117, s. 353–361. ISSN 1944-3986. Dostupné z: https://doi.org/10.5004/dwt.2018.22552

Autoři

RNDr. Dana Baudišová, Ph.D.[1]
✉ dana.baudisova@szu.cz
ORCID: 0000-0003-3993-6845

Ing. Lenka Mayerová, Ph.D.[1]
✉ lenka.mayerova@ szu.cz
ORCID: 0000-0003-1879-0306

Mgr. Petr Pumann[1]
✉ petr.pumann@szu.cz
ORCID: 0000-0002-1060-4188

Ing. Hana Kujalová, Ph.D.[2]
✉ hana.kujalova@vscht.cz
ORCID: 0000-0002-2859-4774

Ing. Martin Ferenčík[3]
✉ ferencikm@pla.cz
ORCID: 0000-0002-6273-3168

[1]Státní zdravotní ústav, Praha (Česká republika)
[2]Vysoká škola chemicko-technologická v Praze (Česká republika)
[3]Povodí Labe, státní podnik (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.05.003

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

CAFFEINE AND UREA AS INDICATORS OF ANTHROPOGENIC LOAD ON BATHING PONDS

BAUDIŠOVÁ, D.[1]; MAYEROVÁ, L.[1]; PUMANN, P.[1]; KUJALOVÁ, H.[2]; FERENČÍK, M.[3]

[1]The National Institute of Public Health, Prague (Czech Republic)
[2]University of Chemistry and Technology, Prague (Czech Republic)
[3]Povodí Labe, state enterprise (Czech Republic)

Keywords: bathing ponds — anthropogenic pollution — urea — caffeine — ATP

Bathing ponds represent a specific ecosystem where living organisms play a dominant role in maintaining the quality of water in the source. At the same time, they are very frequently visited, so the biggest source of pollution is from bathers. The aim of this publication is the presentation and evaluation of possible chemical indicators of anthropogenic load – caffeine and urea at four locations (two of which during the entire bathing season) in the summer of 2023. Furthermore, the results of basic chemical and microbiological indicators detection are presented, including adenosine triphosphate (ATP), which represents a total microbial recovery. The indicators of anthropogenic load (caffeine and urea) show values of up to > 500 ng and µg/l respectively in the peak summer season. The indicators prescribed by current legislation (indicators of faecal pollution *E. coli* and intestinal enterococci) did not capture this increased anthropogenic load. The determination of ATP has shown promise, but further research will be needed, especially in purifying, i.e. very microbially active zones. Total nitrogen could be suitable as an indicator of the gradual increase in anthropogenic load during the season.

Obr. 6. Biokoupaliště Radotín
Fig. 6. Bathing pond Radotín

Jakost vody a transport polutantů v českém Labi

JOSEF K. FUKSA

Klíčová slova: Labe — Vltava — dusík — fosfor — eutrofizace — čistírny odpadních vod — zdraví — farmaka

ABSTRAKT

V příspěvku byla zpracována data o jakosti vody v českém dolním Labi a Vltavě za období 1961–2020 a srovnána s archivními daty (referenční období 1880–1913). Transport dusíku a celkového fosforu povodím byl porovnán s produkcí čistíren odpadních vod (ČOV). Obecně platí, že jakost vody v dolním toku českého Labe se významně zlepšila a od období 1995–2020 je stabilní.

Proti referenčním datům obecně vzrostly koncentrace chloridu, síranu a celkového fosforu. Amoniakální dusík je dnes na úrovni roku 1900, ale znovu zmizel až po roce 1990, místo něj ovšem nyní řeky nesou do oceánu významná množství dusičnanu, dříve prakticky neznámého. Podstatná část dusičnanu pochází z nebodových zdrojů.

Fosfor (stanovený jako P_{celk}) je v řekách stále v nadbytku a jeho zásadním zdrojem jsou komunální ČOV. Vysoká primární produkce fytoplanktonu v nádržích a dolních tocích řek je dnes kontrolována spíše jen sezonním cyklem a hydromorfologickými podmínkami pro růst fytoplanktonu.

Objevily se nové polutanty typu pesticidů a farmak. Přísun farmak je celoroční a naděje na jejich stoprocentní odstranění v ČOV jsou zatím malé.

S postupující klimatickou změnou očekáváme delší období s vyšší teplotou vody a s nízkými průtoky a se změnou režimu srážek také vyšší frekvenci odlehčení kanalizačních systémů. To významně zvýší dopady na říční ekosystémy a zároveň sníží efektivnost současných monitorovacích systémů. Legislativa na to není připravena a můžeme snad spoléhat na implementaci nové směrnice 2024/3019 EU.

ÚVOD

V současnosti máme k dispozici data o jakosti vody v českých řekách za více než 50 let a můžeme prohlásit, že jakost vody v českých a moravských řekách se za posledních 30 let významně zlepšila. I když proces začal už o něco dříve, stojí za ním především „konec socialismu", který v praxi znamenal konec řady firem produkujících znečištění, dále mezinárodní přístup k velkým povodím (mezinárodní komise pro ochranu Labe, Dunaje a Odry – MKOL, MKOD, MKOO), evropská podpora výstavby a vylepšení čistíren odpadních vod atd. Zásadní je také aplikace Rámcové směrnice pro vodní politiku EU (2000/60/ES), jež přinesla do hodnocení stavu vod zásadní změnu: považuje vodstvo především za dědictví, které je třeba chránit, a hodnotí řeky a stojaté vody (klasifikované jako vodní útvary) komplexně, tj. nejen z hlediska jakosti vody, ale i z hlediska jakosti biotopů, resp. odchylky hydromorfologických charakteristik od přírodního stavu. Dnes vidíme, že kolem roku 2005 se jakost vody v řekách v naprosté většině tradičně sledovaných profilů a podle tradičních ukazatelů významně zlepšila a od té doby je celkem stabilní. To ovšem také na první pohled znamená, že se už významně nezlepšuje. Můžeme si tedy položit otázku, je-li už jakost vody stabilní, nebo zlepšování stagnuje, a zřejmě dospějeme k závěru, že tradiční přístup k hodnocení jakosti vody založený na „stálém zlepšování" je nutno přehodnotit a více zkoumat zdroje znečištění a mechanismy antropogenních změn jakosti vody. Po již uvedeném zvládnutí problému ČOV se objevily především dva „nové aspekty": (1) Nové polutanty, zčásti opravdu nové a zčásti jenom „objevené" díky pokroku analytických technik a (2) významné změny srážkoodtokového režimu, související s klimatickou změnou. V další části se budeme zabývat českým povodím Labe od soutoku s Vltavou, reprezentovaným profily Obříství, Zelčín a Hřensko.

Jakost vody a jak se hodnotí

Jakost (či kvalita) vody je souhrn fyzikálních, chemických a biologických vlastností „konkrétní vody", vždy vztažený k nějakému standardu. Standard je buď její využitelnost (pitná, užitková apod.), nebo odchylka od přírodního stavu. Přírodní stav je dán především geologií krajiny a srážkami a odchylka je obecně antropogenního původu, tedy znečištění. Stanovení jakosti je založeno na navazující řadě činností – na vzorkování a měření, včetně analýz vzorků, a následném hodnocení výsledků – souhrnně se tomu říká monitoring. Výsledkem jsou tabulky dat pro jednotlivé sledované profily, uložené v primárních databázích. Až tady začíná vlastní hodnocení, k němuž lze ovšem přistupovat různě. Další krok je totiž prezentace výsledků, která může být:

1. obecná, tj. zpracování naměřených hodnot,
2. „na limit" – vztažená k standardně respektovaným limitům,
3. klasifikace do tříd (tříd jakosti, kategorií ekologického stavu apod.).

V prvním případě dostáváme datové řady a statisticky zpracované údaje (např. průměry) vyjádřené v absolutních jednotkách v soustavě SI (koncentrace v mg/l, látkové toky profilem v g/s nebo t/den), v druhém případě je výsledkem pouhé konstatování „v mezích limitu", který ani nemusíme znát a jenž může být kdykoli změněn, resp. „aktualizován". Ve třetím případě dostaneme jen „třídu" zahrnující komplikované společné hodnocení řady faktorů (a vymezení třídy může být v čase také „aktualizováno"). Všechny tři základní typy mají své výhody i nevýhody. První případ je „jediný správný", protože jeho publikované výsledky jsou a budou použitelné a srovnatelné i v dlouhých časových řadách, budou dále zpracovatelné atd. Je však problematický pro jednoduché hodnocení, jelikož laický uživatel neví, „co je správně". Druhý případ dává informaci v kontextu současnosti, protože dokud není překročen (dnes uznávaný) limit, není kvalifikovaný důvod činit nějaká opatření. Třetí případ – klasifikace do tříd – má bohatou historii. V současnosti jsou

u nás aktuální dva typy. Máme unikátní národní normu *ČSN 75 7221 Kvalita vod – Klasifikace povrchových vod* podle vybraných „ukazatelů kvality", fyzikálních, chemických a biologických. Vody jsou pak klasifikovány do pěti tříd od „Neznečištěná" po „Velmi silně znečištěná". Pro základní ukazatele (BSK_5, $CHSK_{Cr}$, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_3$, $P_{celk.}$ a saprobní index makrozoobenthosu) se třída určí podle nejnepříznivějšího zatřídění jednotlivých ukazatelů, podle tabulky mezních hodnot ve třídách. Dále lze dle potřeby použít i řadu „dalších" ukazatelů, v souladu s předepsanými postupy. V závěru zatřídění se dané úseky vodních toků zanesou do mapy s příslušnou barvou (od světle modré po nejhorší červenou). Podle nich lze po dvouletých obdobích srovnávat změny barevných úseků na mapě a hodnotit „zlepšování". Pro laického uživatele nebo souhrnnou informaci je to téměř dokonalé, pro nezaujatého profesionála již méně. První problém spočívá ve stanovení pevných limitů tříd na kontinuu výsledků, to je ovšem problém každé kategorizace. Druhý problém je závažnější: norma byla již několikrát aktualizována – k roku 1989, 1998 a 2017. To samozřejmě vždy změnilo zatřídění stejných říčních úseků, aniž se na nich cokoli stalo – obecně to tedy může vést až k mylným představám čili k dezinformacím – pro laiky směrem „zlepšuje se" a pro část odborné veřejnosti k nepřiměřenému optimismu „zlepšujeme, protože čistíme dobře". Jiný přístup k zatřídění je součástí hodnocení kvality vodních útvarů pro účely Rámcové směrnice. Pro tu je jakost vody pouze součástí hodnocení ekologického stavu vodních útvarů, definovaných jako části povodí, nejen jako úseky vodních toků. Úroveň základních fyzikálně-chemických ukazatelů a živin (opět dusík, fosfor atd.) je zde hodnocena jako faktory podporující biologickou složku ekosystému (složky tvoří makrozoobenthos, fytoplankton a ryby). Na začátku jsou tedy opět základní tabulky naměřených dat, hodnotí se ale odchylka od stanoveného referenčního stavu pro jednotlivé typy vodních útvarů – to mj. znamená, že nikdy nesrovnáváme jakost vody u pramene a na dolním toku řeky. Filozofie Rámcové směrnice počítá obecně i s posunem referenčních podmínek. Zvlášť se hodnotí také chemický stav vodních útvarů, a to podle výskytu prioritních látek vyjmenovaných v postupně aktualizovaných přílohách. Po celé Evropě je i dnes chemický stav neuspokojivý, k roku 2021 dosáhlo jen 21 % evropských vodních útvarů úrovně dobrého chemického stavu [17]. Je to mj. proto, že s rozvojem analytických metod jsou prioritní a různě nebezpečné či rizikové látky nacházeny postupně v dalších vodách, takže „prosté zlepšování" zde zatím nemůžeme očekávat. Vodní útvary jsou ovšem hodnoceny v šestiletých periodách Plánů povodí. To je rozdíl od pravidelného monitoringu kvality vody se základní frekvencí 12× ročně, který provozují správci vodních toků (státní podniky Povodí), jehož data zde používáme.

Dále budeme využívat jen první typ práce s výsledky, tj. výsledky pravidelného monitoringu s frekvencí 12× ročně, prezentované jako roční průměry, nebo jako roční cykly, a „hodnotit" budeme pouze změny a jejich možné příčiny a souvislosti. Za data děkujeme státním podnikům Povodí Vltavy a Povodí Labe.

ZDROJE DAT A METODICKÝ PŘÍSTUP

Už Kosmas věděl a napsal hned v úvodu své kroniky [1], že Čechy jsou odvodňovány jedinou řekou, zvanou Labe. Vltavu Kosmas zmiňuje o pár řádků dále a líčí, jak se u ní – v prý pusté krajině – zastavili lidé a dali jí název podle svého náčelníka. Sever Čech je sice odvodňován Nisou a Smědou do Odry, my však zůstaneme u povodí Labe. Můžeme jej rozdělit na tři části – (1) povodí Vltavy, (2) povodí Labe nad soutokem s Vltavou a (3) na „společný úsek" od soutoku (Mělník) po hraniční profil Hřensko. V tomto textu pracujeme jen s daty převzatými z ročenek, databází a citované literatury. Pro srovnávání máme výborná historická data F. Ullika [2], který publikoval každodenní roční měření základních parametrů jakosti vody v Děčíně v roce 1877, a F. Schulze [3], jenž zpracoval roční měření v měsíčních intervalech nad a pod Prahou v roce 1913. Jejich analytické metody jsou spolehlivé a data byla pouze přepočítána na dnešní standard vyjadřování výsledků. V šedesátých letech minulého století začal postupně fungovat pravidelný měsíční monitoring jakosti vody v českých (československých) řekách, jehož výsledky jsou ukládány v ČHMÚ. Byly publikovány nejdříve v tištěných ročenkách, později až do roku 2009 byly veřejně přístupné na stránkách ČHMÚ, blíže je to popsáno v [4]. K roku 2010 vydala Mezinárodní komise pro ochranu Labe též poslední Tabulky hodnot [5] od profilů Němčice a Zelčín až do moře, data z německých profilů jsou ale i dnes volně k použití na internetu. Novější data jsou přístupná jen na žádost a po dohodě s jejich pořizovateli – státními podniky Povodí Labe a Povodí Vltavy, kterým si zde dovolujeme znovu poděkovat za jejich poskytnutí. V oblasti základních ukazatelů jakosti vody máme nyní tedy k dispozici měsíční data (koncentrace, průtoky atd.) za 50 a více let a můžeme i zpětně konstatovat, že jsou to data solidní, kontrolovaná evropskými analytickými normami a systémy řízení jakosti. Pro výpočet transportu jsme použili publikované denní průtoky ke dni odběrů vzorků – pro každý rok tedy máme 12 „situací", na jejichž základě můžeme počítat roční transport a příspěvky z jednotlivých dílčích povodí. Analytické metody za celé období jsou srovnatelné. Kromě postupné modernizace – zavádění instrumentálních laboratorních metod – je nutno zmínit metodickou změnu pro stanovení amoniakálního a dusičnanového dusíku, fosforu (celkového a $P\text{-}PO_4$) a chlorofylu, datovanou cca k roku 1999. Jednalo se o zavedení selektivnějších metod a také o unifikaci pro celou ČR, zásadní zejména pro fosfor a chlorofyl. Podstatné je, že se změna neprojevila v časových řadách koncentrací dusíku a hodnoty koncentrací celkového a fosfátového fosforu a chlorofylu jsou od té doby zcela spolehlivé. V *tab. 1* jsou uvedeny tři základní měrné profily, reprezentující již uvedené tři říční úseky či povodí. Profily Obříství a Zelčín byly zavedeny v roce 1993 místo dříve užívaných profilů Na Štěpáně a Vepřek – šlo jen o mírný posun po proudu a časové řady byly bez problémů navázány.

Změny jakosti vody a faktory, které je kontrolují ve Vltavě nad Slapskou nádrží, byly důkladně zpracovány týmy L. Procházkové a J. Kopáčka [6–8]. My jsme se již pokusili zpracovat data z dolního úseku po soutok (kromě přehradních nádrží), významně ovlivněného Prahou, a zobecnit vývoj jakosti ve velkých řekách ČR [4, 9, 10]. Nyní poprvé uvádíme přehledy celého časového vývoje do roku 2020.

Pro srovnání transportu a „zdrojů" jsme pro základní ukazatele jakosti vody využili data o vypouštění z bodových zdrojů – ČOV. Jejich databází je více, zde jsme použili veřejně přístupná data z Informačního systému veřejné právy (ISVS) za rok 2022 pro komunální ČOV vykazující více než 1 000 připojených obyvatel. Sumárně to představuje cca 75 % počtu obyvatel vypočtených podle

Tab. 1. Měrné profily a jejich povodí
Tab. 1. Monitored profiles and their basins

Úsek	Profil	Kód	Kód ČHMÚ	Řkm	Počet obyvatel	Plocha [km²]
(1) Vltava nad soutokem	Zelčín	ZEL	PVL_1005	4,50	3 550 347	28 043
(2) Labe nad soutokem	Obříství	OBR	PLA_1044	842,05	1 662 554	13 714
(2) Labe pod soutokem („celé")	Hřensko	HRE	PLA_246	726,59	1 155 616	9 595
Celkem	Hřensko	HRE	PLA_246	726,59	6 368 517	51 352

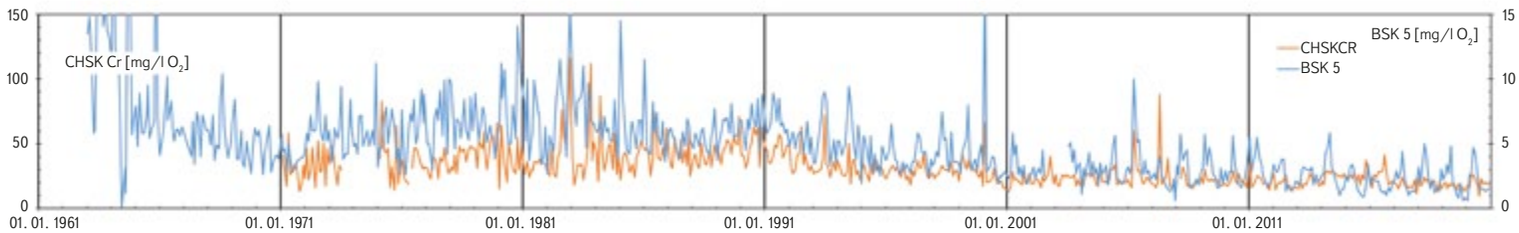
registrů obyvatelstva (uvedených v *tab. 1*), nebo přes 90 % obyvatel připojených na veřejnou kanalizaci a ČOV.

Vltava se jako řeka od Labe výrazně liší, a to nejen tím, že má nad soutokem dvojnásobnou plochu povodí při stejném průměrném průtoku. Labe pramení ve vyšších horách, teče rovinatou krajinou a jsou na něm sice četné jezy, ale žádná větší přehradní nádrž. Od soutoku tak pokračuje až k moři, přes krátkou soutěsku mezi Děčínem a Pirnou. Vltava od oblasti hráze Lipenské přehrady protéká zaříznutým údolím (otevřeným v Budějovické pánvi a lehce kolem Prahy) a je na ní vybudována řada významných vodních děl – hlubokých, s dlouhou průměrnou dobou zdržení a pravděpodobně také s významnější sedimentací. Za sucha je dolní tok Vltavy dotován vypouštěním z nádrže Orlík, což ovlivňuje průtokový režim až v Hřensku, resp. v měrném profilu Děčín.

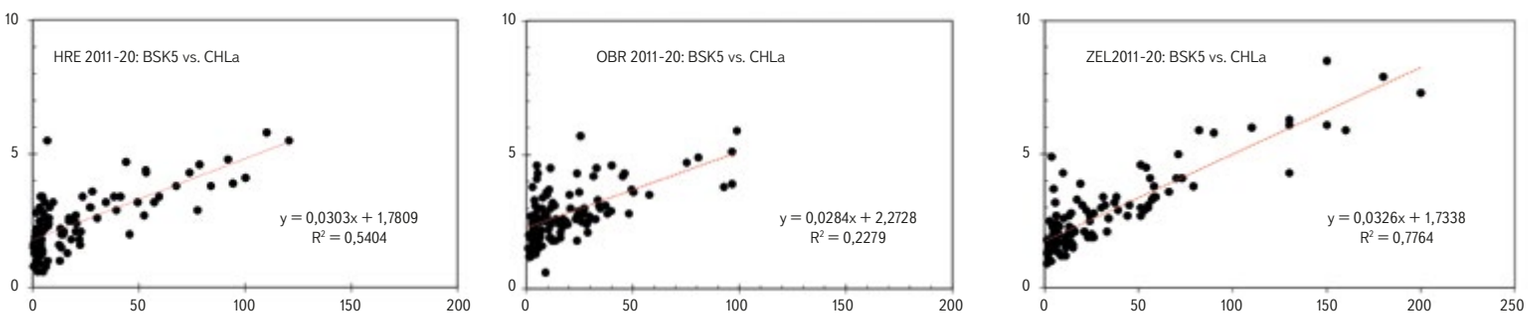
VÝSLEDKY

Vývoj jakosti vody v hraničním profilu Hřensko

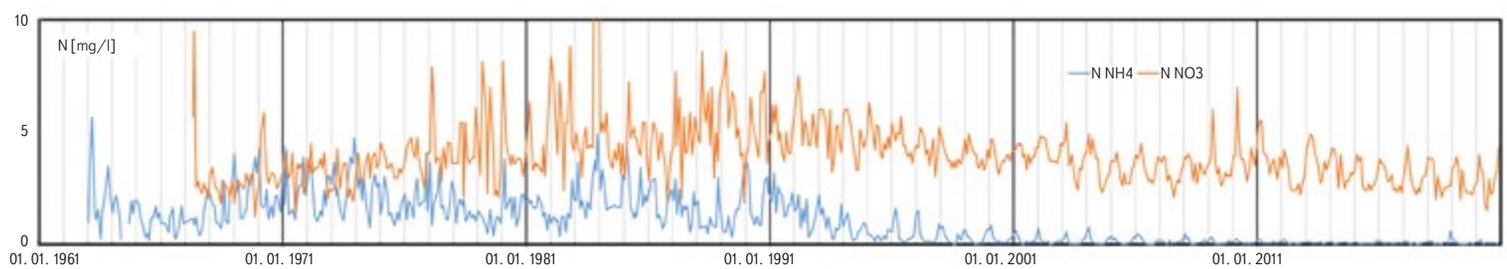
Vývoj základních charakteristik jakosti vody v profilu Hřensko do značné míry odpovídá celkovému vývoji poměrů v České kotlině – jak vývoji znečištění z bodových zdrojů (komunálních i průmyslových), tak vývoji zemědělství a hospodaření v krajině, tedy přísunu znečištění z nebodových zdrojů. Přísun z bodových zdrojů lze kvantifikovat na základě údajů producentů znečištění, i když s jistou mírou nejistoty, ale pro nebodové zdroje je souhrn nejistot již velmi vysoký, zejména pro dolní toky velkých řek. Nebodové zdroje navíc „pracují"



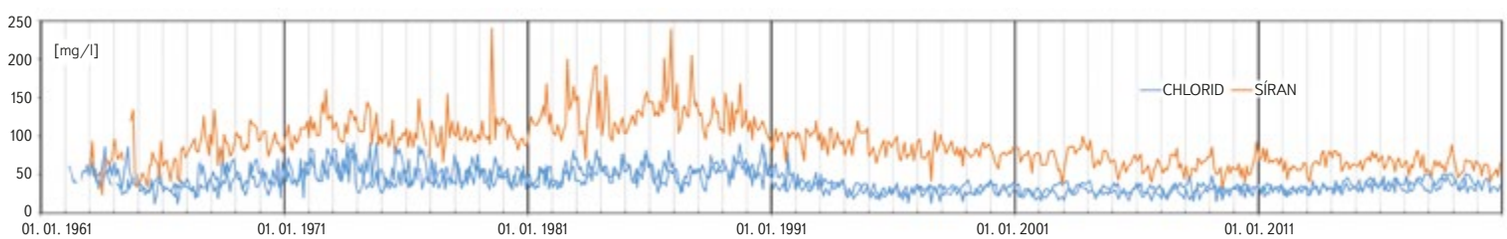
Obr. 1. Průběh hodnot BSK_5 a CHSK-CR [mg/l O_2] v profilu Hřensko v období 1961–2020
Fig. 1. Trends in BOD- and COD values 1961–2020



Obr. 2. Korelace BSK_5 [mg/l O_2] a chlorofylu-a [µg/l] v profilech Hřensko, Zelčín a Obříství v období 2011–2020
Fig. 2. Correlations of BOD-5 values and chlorophyll-a concentrations 2011–2020



Obr. 3. Průběh koncentrací amoniakálního (NH_4-N) a nitrátového (NO_3-N) dusíku [mg/l] v profilu Hřensko v období 1961–2020
Fig. 3. Trends in ammonia and nitrate nitrogen concentrations 1961–2020



Obr. 4. Průběh koncentrací chloridu a síranu [mg/l] v profilu Hřensko v období 1961–2020
Fig. 4. Trends in chloride and sulphate concentrations 1961–2020

podle aktuálního počasí (srážky, sucho atd.), u bilancování bodových zdrojů ovšem zatím nezvládáme problém odlehčení kanalizačních systémů.

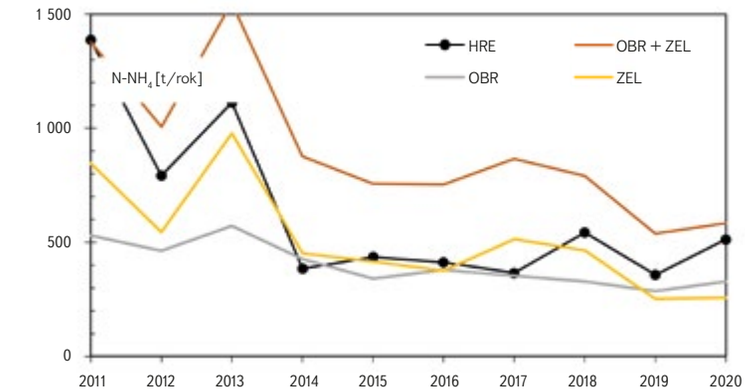
Typickým příkladem historického vývoje jakosti vody je měsíční běh hodnot BSK5 a CHSK-Cr v profilu Hřensko v letech 1961–2020, zpracovaný na *obr. 1* (CHSK bylo stanoveno až od roku 1971). Je zjevné, jak zatížení vodního toku organickým uhlíkem postupně klesalo – se zlomem kolem roku 1995 –, a dnes je celkem stálé. Na grafu je patrné sezonní kolísání a při bližší analýze (*obr. 2*) se ukazuje, že sezonní průběh BSK_5 v posledních letech významně koreluje s koncentrací chlorofylu-a neboli je kontrolován aktuální produkcí fytoplanktonu. Ještě významnější je tato korelace ve Vltavě v profilu Zelčín a nižší v profilu Obříství. Na *obr. 2* jsou zpracovány korelace za poslední desetileté období 2011–2020 (n = 120), zahrnující výrazně rozdílné roky. Ve všech profilech je koncentrace fosforu (P_{celk}) celý rok v nadbytku, takže rozdílná produkce fytoplanktonu je (kromě sezonního cyklu) zřejmě určována rozdílnou morfologií vodního toku.

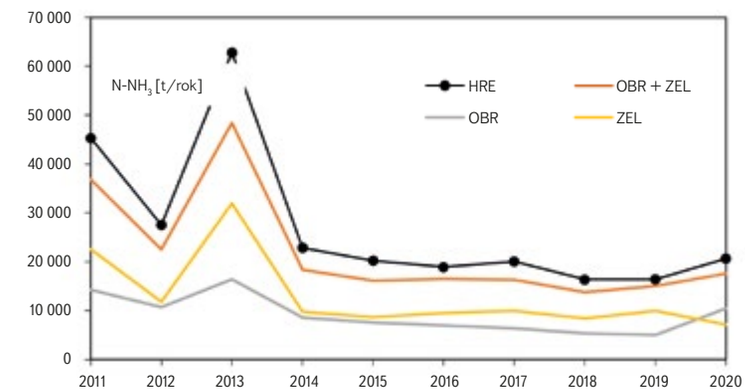
Významné změny vykazují koncentrace amoniakálního ($N\text{-}NH_4$) a dusičnanového dusíku ($N\text{-}NO_3$ stanoven až od roku 1967). Amoniakální dusík v období 1990–1995 prakticky zmizel a v měrných profilech se dnes měřitelné koncentrace vyskytují jen sporadicky, hlavně v zimním období. Srovnání s profilem Podolí (Vltava nad Prahou) ukazuje, že v profilech Obříství, Hřensko a zčásti i Zelčín pocházel $N\text{-}NH_4$ z bodových zdrojů, zejména na Labi nejen komunálních. Teoretická spotřeba kyslíku na jeho nitrifikaci byla srovnatelná s tehdejšími hodnotami BSK5. V současnosti je dusík v řekách přítomen téměř výhradně jako dusičnan. ČOV jej už většinou jako dusičnan vypouštějí a z bilancí vypouštění odpadních vod vyplývá, že podstatným zdrojem dusičnanu je dnes „krajina", tedy přísun z nebodových zdrojů. To je ovšem obecný problém, protože dusičnan je stabilní a může z vodních toků zmizet jedině jako výsledek denitrifikace neboli bakteriální redukce na atmosférický dusík (s jistým podílem skleníkového plynu oxidu dusného). Při dnešním minimálním vypouštění organického uhlíku (*obr. 1*) jsou kyslíkové poměry ve velkých vodních tocích stabilní a dusičnan odchází do oceánu, kde pozitivně ovlivňuje primární produkci a přispívá ke globální klimatické změně. Koncentrace dusičnanů i jejich transport řekami nyní vykazují významné sezonní změny (obecně s maximy v lednu/únoru) odpovídající odnosu z krajiny, spojenému s režimem srážek a průtoků a s biologickými procesy, závislými na cyklu teplot. To by samozřejmě nemělo ubírat ČOV povinnost zbavovat odpadní vody dusíku, ale doby masivních koncentrací $N\text{-}NH_4$ jsou za námi. Fosfor se – na rozdíl od dusíku, který lze „vrátit do atmosféry" – po vstupu do řeky už neztratí a je transportován do oceánu. A ve vegetační sezoně podporuje stálý nadbytek fosforu primární produkci fytoplanktonu, především v nádržích a v dolních tocích řek.

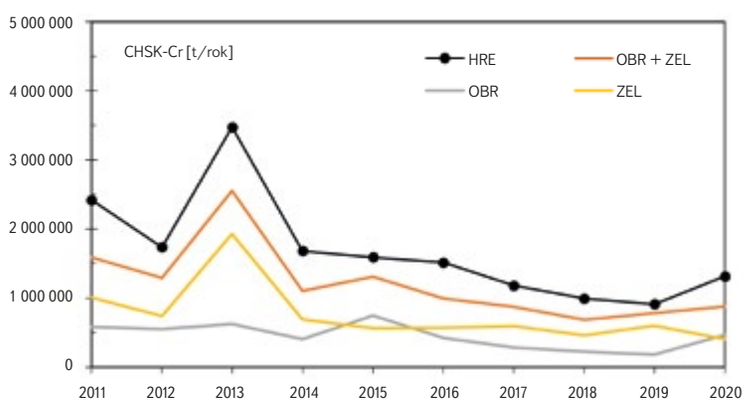
Koncentrace chloridu v Labi jsou v posledních letech poměrně stabilní, ale koncentrace síranu stále postupně klesají ve shodě s odezníváním periody kyselých srážek, dokumentovaným pro horní Vltavu Kopáčkem a kol. [8], včetně poklesu hnojení v povodí horní Vltavy po roce 1990. Situace v německém Labi je dnes obdobná – publikované koncentrace v profilu Magdeburk jsou srovnatelné s profilem Hřensko, resp. Schmilka, koncentrace chloridu a síranu jsou tu ovšem ovlivněny relativně mineralizovanou Sálou.

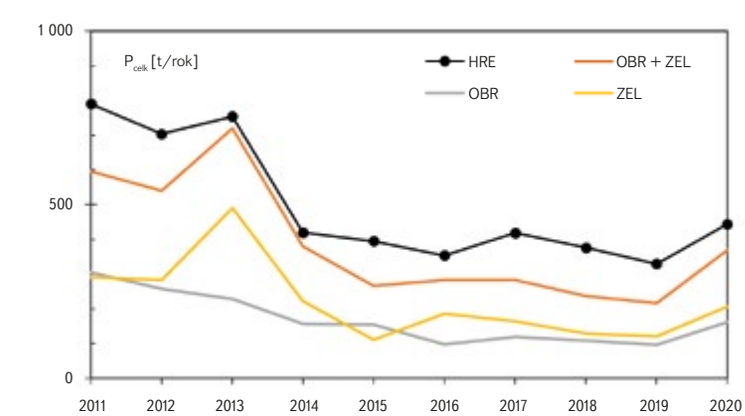
Podíl přísunu z horního Labe a Vltavy

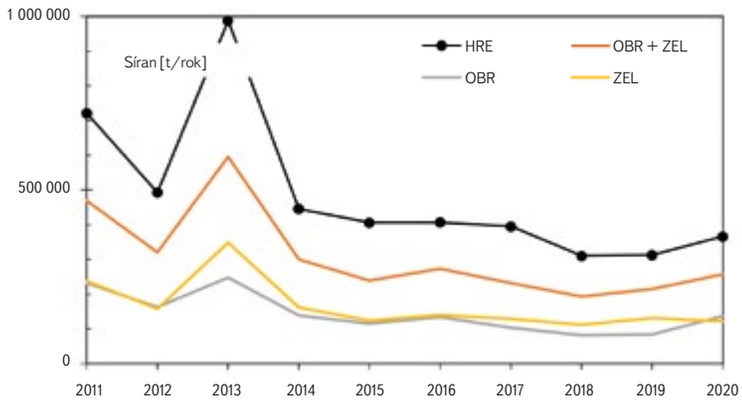
Pro srovnání přísunu je nutno přepočítat koncentrace a průtoky na transport, kvantifikovatelný v jednotkách [g/s], resp. [t/rok]. Výpočet hodnoty koncentrace násobené denním průtokem dává 12 „situací" v roce v pravidelných intervalech, lze s nimi tedy pracovat a vypočítat roční úhrn transportu. Je ovšem nutno zdůraznit, že podstatná část vypočítaného kolísání transportu jde na vrub kolísání průtoku. Na *obr. 5* jsou zpracovány roční transporty v tunách/rok v období 2011–2020. K datům z měrných profilů je přidán součet transportu na soutoku Labe s Vltavou. Vzhledem k velikosti toku už mezi soutokem a profilem Hřensko není žádný relativně velký zdroj znečištění (podle poměru objemu vypouštěných odpadních vod k průtoku v řece), a proto jsou na rozdílu této sumy patrné výsledky











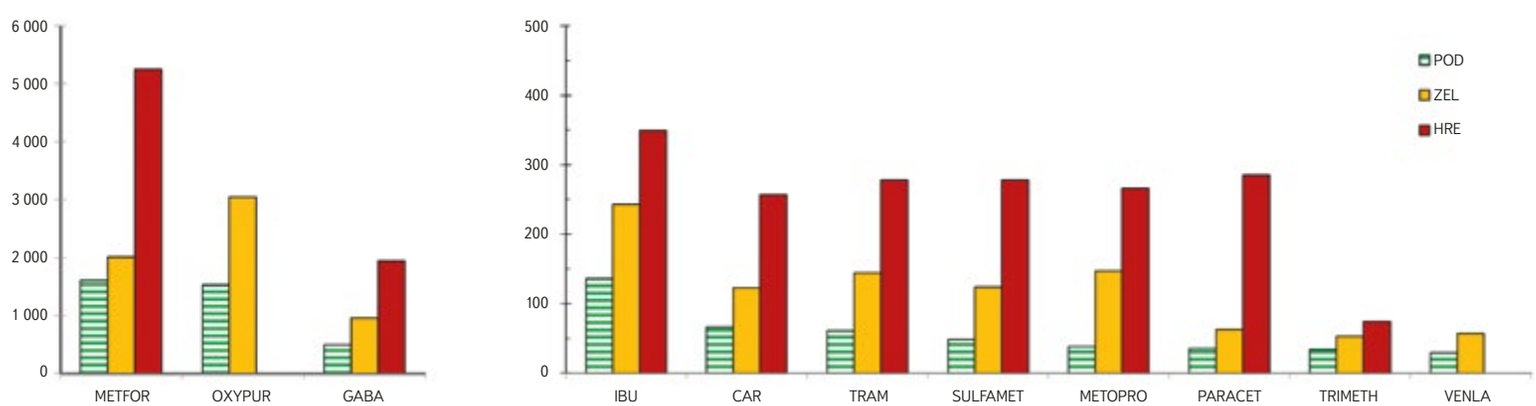
Obr. 5. Látkový transport [t/rok] profily Hřensko, Obříství a Zelčín v letech 2011–2020; graf OBR+ZEL představuje součet vstupů na soutoku Vltavy s Labem
Fig. 5. Transport [tons/yr] through Hřensko, Obříství and Zelčín profiles 2011–2020; OBR+ZEL means the sum of entries at the Vltava/Elbe confluence

biologických procesů na trati soutok – Hřensko: postupná nitrifikace amoniakálního dusíku na dusičnan a pokles zbytkového BSK s ročním cyklem odpovídajícím produkci fytoplanktonu. Na časových změnách je patrný také vliv povodně v roce 2013, která významně zvýšila transport – s výjimkou profilu Obříství, neboť jeho povodí nezasáhla. Pro většinu sledovaných konzervativních ukazatelů je na soutoku přísun Vltavou obecně mírně vyšší než Labem, ale jednoduché srovnávání je problematické, protože Vltava má v letním období pravidelně vyšší průtoky díky dotaci z Orlíka. Stejně jako na *obr. 1, 3* a *4* je i v posledním desetiletém období patrný pokles zatížení celkovým fosforem a síranem; přísun chloridu je celkem konstantní.

Civilizační problém — farmaka

V předešlých dvou kapitolách jsme předvedli, že se znečištění v českém povodí Labe dostává do stacionární fáze a zůstává jen trvalý a stále řešený problém dusičnanu a fosforu, resp. eutrofizace. To ovšem platí pouze pro „klasické ukazatele" a s pokrokem a komfortem přicházejí nové polutanty všeho druhu. Některé jsou opravdu „nové", některé „staré" poznáváme díky novým metodám analýz a také obecnému zájmu o kvalitu životního prostředí. Jedna důležitá skupina jsou pesticidy používané v zemědělství, druhá jsou tzv. PPCP neboli „farmaka a prostředky osobní péče", tj. např. doplňky stravy, kosmetika atd. Pesticidy přicházejí z nebodových zdrojů, farmaka a PPCP se do vodních ekosystémů dostávají výhradně po použití, přes kanalizaci a komunální ČOV, tedy z bodových zdrojů. Jsou to organické látky, jež lze stanovit jako chemická individua nebo úzké skupiny, a vztahují se na ně různé normy na ochranu životního prostředí, včetně povinnosti stanovit jejich toxicitu v životním prostředí. Zejména u farmak je však problém v tom, že se různé typy toxicity projevují až u významně vyšších koncentrací, než se vyskytují v přírodě, resp. v řekách. Tyto „zbytkové" koncentrace nepůsobí toxicky, nýbrž jako biologicky aktivní látky, které ovlivňují obecně chování akvatických společenstev (jejich rozmnožovací cykly, úniky před predátory apod.). Navíc působí společně a kumulativně a představují také významné riziko pro užívání vody. Farmaka nelze zakazovat a jejich spotřeba ve světě obecně roste. Podle veřejných přehledů (SÚKL) dnes průměrný obyvatel ČR (a Evropy) spotřebuje zhruba 650 DDD („definovaných denních dávek") farmak ročně, přičemž přehledy nezahrnují dermatologická použití typická např. pro relativně toxický diklofenak. Před 15 lety to bylo jen cca 500 DDD [4], ačkoli se asi změnilo i výkaznictví. Pro nejužívanější farmaka je transport (2017–2020, n = 48) Vltavou přes Prahu a do Hřenska zpracován na *obr. 6*, převzatém z publikace [11]. Důležitá je *tab. 2*, kde jsou uvedeny teoretické spotřeby v povodí měrných profilů, propočtené podle celkové spotřeby v ČR a počtu obyvatel v dílčích povodích. Sezonní změny transportu lze prokázat jen u některých případů (léčiva pro záněty horních cest dýchacích). Rozsah tohoto příspěvku nedovoluje analyzovat farmakologické studie o úrovni vylučování sledovaných farmak přímo jejich uživateli. Z dat transportu bylo proto pouze propočítáno procento spotřeby farmak, jež odchází do řek. Maximální je pro Allopurinol/Oxypurinol a pak následují „psychofarmaka" Karbamazepin, Gabapentin, Tramadol a antibiotikum Trimethoprim. Z *obr. 6* je patrné, že rezistentní farmaka přicházejí už do Prahy – jako zásadního zdroje z povodí Vltavy – i přes nádrže Orlík a Slapy s celkovou průměrnou dobou zdržení přes 100 dní. Graf i tabulka platí pro „mateřské látky", nikoli pro metabolity farmak, ať už vylučované přímo pacientem, nebo transformované v ČOV, případně až ve vodním toku. Některé metabolity jsou známy a stanovují se (např. metabolity ibuprofenu), ve většině případů jsou však analýzy z různých důvodů vzácné.

Další analýzu lze provést s použitím dat WHO o exkreci použitých farmak, nejistota spekulací při tom ovšem narůstá. Pro Metformin a Gabapentin se např. udává stoprocentní exkrece původní látky, stejně jako pro Allopurinol exkrece aktivního metabolitu Oxypurinolu. Zásadní problém je ovšem v tom, že efektivní technologické procesy pro odstraňování „veškerých" farmak v ČOV zatím nejsou k dispozici a již zaváděné dočišťování pitné vody vyráběné z povrchových vod sice chrání uživatele, avšak nejde tu o podstatu problému. Opět musíme spoléhat na novou směrnici 2024/3019 [12], která chce problém postupně řešit. O dalším osudu farmak na trati od Hřenska k moři můžeme pouze spekulovat na základě omezených dat ze serverů FGG Elbe [18]. V současné době jsou pro srovnání k dispozici jen data za rok 2023. Koncentrace



Obr. 6. Transport farmak profilem Hřensko; pořadí na ose X odpovídá *tab. 2*
Fig. 6. Transport of pharmaceuticals through profile Hrensko; sequence on the X-axis corresponds to that in *Tab. 2*

Tab. 2. Transport a spotřeba farmak v povodí
Tab. 2. Transport and consumption of pharmaceuticals in the whole basin

Farmakum	Spotřeba [kg/rok]				Transport [kg/rok]			Transport v % spotřeby		
	ČR celkem	POD	ZEL	HRE	POD	ZEL	HRE	POD	ZEL	HRE
METFORMIN	221 539	37 662	70 892	128 493	1 603	2 012	5 249	4,3	2,8	4,1
OXYPURINOL	19 956	3 393	6 386	11 574	1 527	3 044		45,0	47,7	
GABAPENTIN	14 159	2 407	4 531	8 212	490	958	1 939	20,4	21,1	23,6
IBUPROFEN	135 679	23 065	43 417	78 694	136	243	349	0,6	0,6	0,4
CARBAMAZEPIN	3 427	583	1 097	1 988	66	123	257	11,3	11,2	12,9
TRAMADOL	3 166	538	1 013	1 836	61	144	278	11,3	14,2	15,1
SULFAMETOXAZOL	5 597	951	1 791	3 246	48	124	278	5,0	6,9	8,6
METOPROLOL	11 496	1 954	3 679	6 668	38	147	266	1,9	4,0	4,0
PARACETAMOL	90 835	15 442	29 067	52 684	35	63	285	0,2	0,2	0,5
TRIMETHOPRIM	1 119	190	358	649	34	53	74	17,9	14,8	11,4
VENLAFAXIN	2 570	437	822	1 491	29	57		6,6	6,9	

obecně odpovídají datům z ČR, rozdíl je ale v tom, že na 315 km dlouhé trati Schmilka (hraniční) – Magdeburk nejsou přímo položeny relativně velké zdroje (produkce ČOV proti průtoku v řece). Koncentrace Metforminu na trati klesají, koncentrace Karbamazepinu naopak stoupají. Spotřeba farmak a úroveň ČOV jsou jistě srovnatelné.

DISKUZE

V předešlé kapitole jsme na výsledcích předvedli, že znečištění dolního toku českého Labe a Vltavy se stále snižuje, nicméně zůstává problém eutrofizace a přicházejí nové polutanty. To předpokládá další vývoj v oblasti sledování jakosti vody – jak v analýzách, tak v hodnocení jejich výsledků. Kromě hledání a sledování dalších polutantů je zásadní i snižování citlivosti metod stanovení „klasických" polutantů, protože ty nezmizely, jen se jejich koncentrace posunuly pod meze citlivosti současných metod. Kromě farmak, kde je to zásadní, to však platí např. i pro rtuť nebo amonný dusík. Analýzu těchto problémů a obecné návody, jak je řešit (včetně způsobů stanovení limitů), podává např. evropská norma ČSN ISO EN 5667-20 [13], dále ovšem zůstává problém celkového hodnocení, popsaný v úvodu článku.

Zdroje znečištění jsou dvojího typu a významně se liší jak povahou produkovaných látek, tak svými vlastnostmi. Nebodové zdroje jsou zásadně závislé na ročním cyklu (včetně cyklu zemědělských činností) a na srážkách. Bodové zdroje sice představují stálý (nebo předvídatelný) přísun z hlediska obsahu látek i jejich „produkce", ovšem vypouštějí standardně vyčištěnou odpadní vodu do proměnlivých řek/recipientů. Osud znečištění už ve vodních tocích dále závisí na transformačních pochodech *in situ*, závislých na teplotě a také na průtoku (ředění a podélný transport). Cyklus teplot zásadně ovlivňuje transformace dusíku (nitrifikaci, případně denitrifikaci a úniky do atmosféry), organického uhlíku (BSK 5 a CHSK) a produkci fytoplanktonu (koncentrace chlorofylu-a), protože fosfor jako základní složka eutrofizace je ve velkých řekách obecně v nadbytku. Naopak konzervativní složky jako chlorid a síran se již ve vodním toku nemění. Pokud počítáme transport (koncentrace × průtok), obecně platí, že koncentrace jsou poměrně konzervativní složka a významnější složkou rozdílů je kolísání průtoků. Co platí pro vývoj koncentrací „standardních ukazatelů" jakosti vody: koncentrace amoniakálního dusíku se po maximu kolem roku 1985 snížily na úroveň reportovanou v Labi Ullikem v roce 1887, i „pod Prahou" v roce 1913 [2, 3], ale nyní máme stálé koncentrace kolem 4 mg/l dusičnanového dusíku, který byl v jejich době celkem neznámý anion. V současnosti tedy musíme vzít na vědomí „dusíkový paradox" [14], jenž v podstatě praví, že čím čistší (velká) řeka, tím vyšší má koncentrace dusičnanového dusíku. Vzhledem k podílu přísunu z nebodových zdrojů je možnost snížení vzdálená. Na rozdíl od fosforu ve vnitrozemských vodách je pro moře problémem dusík a riziko eutrofizace oceánu se v příbřežních mořích již aktuálně projevuje [15]. Rovněž dnes máme významně vyšší koncentrace chloridu a síranu a také fosforu, i když problém eutrofizace celé říční sítě je „starý" teprve 50 let.

Fosfor – na rozdíl od uhlíku a dusíku – nemůže opustit řeku a vrátit se do atmosféry a je postupně transportován po proudu k moři. Můžeme tedy srovnávat jeho transport s bilancí přísunů do povodí. K dispozici máme několik „výkazů" ročních výkonů komunálních ČOV, nejkompletnější a nejpřístupnější je Informační systém veřejné správy (ISVS). Roční sumy vypouštění fosforu z ČOV v letech 2018, 2020 a 2022 (podle ISVS 2022) v povodí profilu Hřensko se pohybovaly v rozmezí 450–540 tun/rok. Transport profilem Hřensko vykazoval podstatně vyšší variabilitu (díky rozdílům v průtocích), a to 580–1 070 tun/rok. Účinnost odstraňování fosforu v ČOV byla cca 87 %, což je mj. účinnost, kterou nová směrnice UWWTd [12] požaduje „až" v roce 2039. Celkově tedy vychází podíl transportu fosforu profilem Hřensko v jednotlivých letech na 50–77 % jeho vypouštění vykázaného komunálními ČOV v povodí. Do výpočtu byly zahrnuty jen ČOV s více než 1 000 připojenými obyvateli. Z hlediska celkové bilance fosforu je však údaj o vypouštění z ČOV významně podhodnocen, jelikož nepočítá s odlehčením kanalizací. Pokud bychom uvažovali, že odlehčením se během roku do recipientů dostane jenom 10 % nečištěných odpadních vod, představuje při současné účinnosti odstraňování fosforu 85 % už suma zatížení z ČOV a kanalizací dalších více než 50 % vykázaného vypouštění. Odlehčení je dnes předmětem intenzivního zkoumání, a tak zde uvedené spekulace jistě budeme brzy schopni upřesnit. Data o vypouštění ovšem máme pouze pro fosfor celkový, nikoli fosfátový, který významně koreluje s koncentrací chlorofylu-a, tedy měřítkem biomasy fytoplanktonu. Debata o tom, jak nízké koncentrace fosforu musíme dosáhnout a udržet, se vede a bude se ještě vést dlouho. Avšak z bilance se zdá, že nežádoucí produkci fytoplanktonu lze opravdu limitovat významným snížením vypouštění fosforu z komunálních zdrojů, ovšem nejen technologiemi odstraňování v ČOV, nýbrž i zlepšením funkce kanalizací. To je ve

shodě s postupně uplatňovanými požadavky danými novou Evropskou směrnicí pro čištění komunálních odpadních vod (2024/3019 EU) [12].

Jak již bylo zmíněno, zatím nejsou k dispozici technicky přijatelné postupy pro systematické odstraňování farmak (a dalších PPCP) v komunálních ČOV. Farmaka jsou soubor velmi rozdílných organických látek, jež pro mikrobní společenstva v ČOV nepředstavují vedle nespecifického znečištění nějaký zásadní substrát (zdroj uhlíku), a proto ani signál k selekci specifických metabolických drah. Jejich degradace tedy probíhá spíše jako kometabolismus se standardním obsahem splašků na bázi nepříliš specifických bakteriálních oxidáz, navíc jen postupný a na ne vždy známé produkty/metabolity. Pokrok tedy bude pomalý a musí začít podporou systematického monitoringu farmak v ČOV i vodních tocích.

ZÁVĚR

Zpracovali jsme archivní data o jakosti vody v českém dolním Labi a Vltavě – profilu Hřensko a profilech Obříství a Zelčín na soutoku Labe a Vltavy.

Jakost vody v dolním toku českého Labe se významně zlepšila a od období 1995–2020 je stabilní.

Amoniakální dusík po maximu v osmdesátých letech minulého století téměř zmizel, avšak nahradily jej stálé a vysoké koncentrace dusíku dusičnanového, který odchází do oceánu. Bilance transportu dusíku řekami je komplikována vazbou na výměnu s atmosférou (denitrifikace s produkcí oxidu dusného). Podstatná část dusičnanového dusíku v současnosti pochází z nebodových zdrojů.

Fosfor (stanovený jako P_{celk}) je v řekách stále v nadbytku a jeho zásadním zdrojem jsou komunální ČOV – sumy vypouštění celkového fosforu v povodí odpovídají > 50 % transportu měrnými profily. Eutrofizace je stále obecně vysoká a vysoká primární produkce fytoplanktonu v nádržích a dolních tocích řek je limitována spíše jen sezonním cyklem a hydromorfologií vodních toků. Na rozdíl od minulých časů je dnes roční cyklus hodnot BSK_5 ve sledovaných profilech významně kontrolován produkcí fytoplanktonu. Objevily se také nové polutanty typu pesticidů a farmak. Přísun farmak je celoroční a naděje na jejich stoprocentní odstranění v ČOV jsou zatím malé.

Je nutno počítat s ovlivněním vodních toků klimatickou změnou. Ta obecně vede ke vzrůstu maximálních letních teplot vody (následkem jsou vyšší respirační aktivity a nižší rozpustnost kyslíku), k dlouhým obdobím sucha (velmi nízkých průtoků) a intenzivním přívalovým srážkám (standardně aktivujícím odlehčení kanalizace). Současné předpisy kontrolující vypouštění odpadních vod s takovou situací zatím příliš nepočítají a požadavky na kontrolu odlehčení a zahrnutí „vlastností recipientu", tj. podílu vypouštěných odpadních vod v průtoku v místě vypouštění (sledován pět let), se objevuje až v již zmiňované nové UWWTd [12]. V ČR je téměř 1 000 komunálních ČOV vykazujících (podle ISVS) přes 1 000 připojených obyvatel a nejméně 60 z nich vypouští za sucha přes 50 % průtoku v recipientu [16]. Pracovní databázi (výkony ČOV vs. průtoky v místě vypouštění) stále upřesňujeme. V české legislativě se od roku 2000 dokonce nepodařilo splnit ani literu paragrafu 36 Vodního zákona – o minimálním zůstatkovém průtoku a jeho stanovení. Na tento institut přitom navazují požadavky na „ekologický průtok" obsažené i v UWWTd a dalších evropských dokumentech. Pokud je pokrok v oblasti degradace farmak pomalý z důvodu reálných technických problémů, může být pokrok v legislativě ještě pomalejší?

Poděkování

Zpracování textu bylo možné díky projektům Technologické agentury ČR, č. SS 02030018 „Centrum pro krajinu a diverzitu, WP C3 (DivLand)" a č. SS02030008 „Centrum environmentálního výzkumu, WP 2A" (CEVOOH). Možnost propočítat transport farmak, rámcově již publikovaný [14], je výsledkem spolupráce s kolegy ze státních podniků Povodí Vltavy a Povodí Labe.

Literatura

[1] KOSMAS. *Kosmova kronika česká*. Praha: Svoboda, (1125, resp. 1974). 262 s.

[2] ULLIK, F. Bericht über die Bestimmung der während eines Jahres im Profile von Tetschen sich ergebenden Quantitätsschwankungen der Bestandtheile des Elbewassers und der Mengen der von letzterem ausgeführten löslichen und unlöslichen Stoffe. *Pojednání Královské české společnosti nauk*. 1880, VI(10), s. 1–58.

[3] SCHULZ, F. O čistotě a chemickém složení vod v Království českém. Díl I. Labe u Roudnice, Vltava u Prahy, Berounka u Radotína, Botič, Šárecký potok. *Zprávy ústavu ku podpoře průmyslu obchodní a živnostenské komory v Praze*. 1915, 31, s. 1–81.

[4] FUKSA, J. K., SVOBODA, J., SVOBODOVÁ, A. Bolí vás něco? Kolik léčiv od nás přiteče do ČOV? *Vodní hospodářství*. 2010, 60(1), s. 16–19.

[5] MKOL. *Mezinárodní komise pro ochranu Labe: Tabulky hodnot fyzikálních, chemických a biologických ukazatelů mezinárodního programu měření Labe 2010*. Magdeburg: MKOL/IKSE, 2011, s. 1–504.

[6] PROCHÁZKOVÁ, L., BLAŽKA, P. Long-Term Trends of Water Chemistry of the Vltava River (Czechoslovakia). *Limnologica*. 1986, 17(2), s. 263–271.

[7] PROCHÁZKOVÁ, L., BLAŽKA, P., KOPÁČEK, J. Impact of Diffuse Pollution on Water Quality of the Vltava River (Slapy Reservoir), Czech Republic. *Water Science and Technology*. 1996, 33 (4-5), s. 145–152.

[8] KOPÁČEK, J., HEJZLAR, J., PORCAL, P., ZNACHOR, P. Biogeochemical Causes of Sixty-Year Trends and Seasonal Variation of River Water Properties in a Large European Basin. *Biogeochemistry*. 2021, 154(1), s. 91–98. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/s10533-021-00800-z

[9] FUKSA, J. K. Jakost vody v tocích ČR v roce 2013. *Vodní hospodářství*. 2016, 67(1), s. 4–8.

[10] FUKSA, J. K., SMETANOVÁ, L. Vliv pražské aglomerace na jakost vody ve Vltavě. *Vodní hospodářství*. 2020, 70(11), s. 46–51.

[11] FUKSA, J. K., KOŽELUH, M., FERENČÍK, M. Pharmaceuticals in the Elbe. Production and Transport in the Czech Part of the Elbe Basin. In: *Magdeburský seminář o ochraně vod 2023, Magdeburger Gewässerschutzseminar 2023. 11.–12. 10. 2023. Extrémní hydrologické jevy a jejich dopady v povodí Labe. Extreme hydrologisch Ereignisse und deren Folgen in Einzugsgebiet der Elbe. Sborník. Tagungsband*. Chomutov: Povodí Ohře, státní podnik, 2023, s. 87–90. ISBN 978-80-11-03292-0. Dostupné z: https://www.ikse-mkol.org/cz/themen/magdebursky-seminar-o-ochrane-vod/mgs-2023

[12] ANON. Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2024/3019 ze dne 24. listopadu 2024 o čištění městských odpadních vod. *Úřední věstník Evropské unie, CS*. 2024, řada L, 59 s.

[13] ČSN ISO 5667-20: 2018 Jakost vod – Odběr vzorků – Část 20: Návod pro použití údajů, získaných při odběru vzorků, k rozhodování – Shoda s limity a systémy klasifikace.

[14] STRAŠKRABOVÁ, V. Dusíkový paradox. *Vesmír*. 1995, 74(1), s. 11–12.

[15] SEITZINGER, S. P., MAYORGA, E., BOUWMAN, A. F., KROEZE, C., BEUSEN, A. H. W., BILLEN, G., VAN DRECHT, G., DUMONT, E., FEKETE, B. M., GARNIER, J., HARRISON, J. A. Global River Nutrient Export: A Scenario Analysis of Past and Future Trends. *Global Biogeochemical Cycles*. 2010, 24(4), GB0A08. Dostupné z: https://doi.org/10.1029/2009GB003587

[16] FUKSA, J. K. Sucho a vliv čistíren odpadních vod na řeky. *Vodní hospodářství*. 2020, 70(5), s. 4–7.

[17] European Environment Agency. *Europe's State of Water 2024 – The Need for Improved Water Resilience*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2024. 108 s. ISBN 978-92-9480-653-6.

[18] River Basin Community Elbe. *Elbe-Datenportal* [en]. Dostupné z: https://www.fgg-elbe.de/elbe-datenportal-en.html (citováno 2025-05-27)

Autor

RNDr. Josef K. Fuksa, CSc.
✉ josef.fuksa@vuv.cz

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.05.004

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

WATER QUALITY AND TRANSPORT OF POLLUTANTS IN DOWNSTREAM PART OF THE CZECH ELBE

JOSEF K. FUKSA

T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague (Czech Republic)

Keywords: Elbe — Vltava — nitrogen — phosphorus — eutrophication — wastewater treatment plants — health — pharmaceuticals

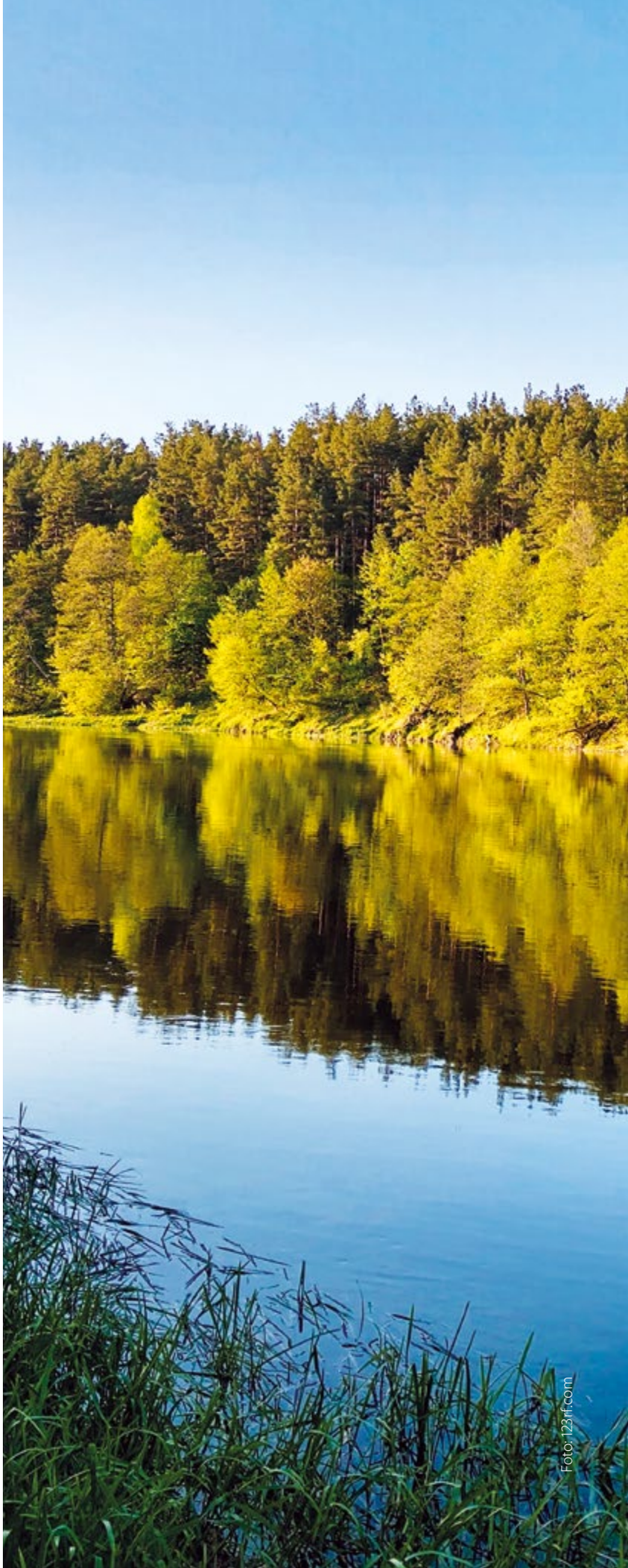
Temporal changes of water quality in the period 1961–2020 were elaborated and compared with reference data from 1880–1913. Transport of nitrogen and phosphorus was compared with production of wastewater treatment plants. In general, quality of water of the Czech Elbe had significantly improved and the situation is stable from the 1995–2000 period.

Concentrations of chloride, sulphate and phosphorus increased substantially. Ammonia nitrogen fell to the 1900 level, but only after 1990. Nevertheless, rivers transport significant amounts of (formerly unknown) nitrate to the ocean, today. Substantial part of nitrate originates from non-point sources.

Phosphorus (determined as P_{total}) is still in excess in rivers and its basic source are communal wastewater treatment plants. High primary production in reservoirs and lowland rivers is controlled now more by seasonal cycle and hydromorphology of watercourses.

New pollutants, especially pesticides and pharmaceuticals, appeared. Load of pharmaceuticals is year-round and a hope for their full abatement by wastewater treatment plants is low as yet.

With progressing climatic change, following changes are to be expected: longer periods of higher water temperatures and of low flow values, and a change in precipitation regime leading to higher frequencies of sewerage system overflows. The legislation is not prepared to control it, and we should rely on the new EU directive 2024/3019 (EU) implementation.



Hydrotechnický výzkum klapkových uzávěrů

MARTIN KRÁLÍK, ONDŘEJ NĚMČANSKÝ

Klíčová slova: dutá klapka — rozražeče — hydraulický model — křivka přepadových součinitelů

ABSTRAKT

Příspěvek se zabývá hydraulickou analýzou klapkového uzávěru v Doksanech a ve Strakonicích na základě vyhodnocení experimentálních měření realizovaných na fyzikálních a matematických modelech ve Vodohospodářském experimentálním centru Fakulty stavební ČVUT v Praze.

Měření v rámci jezu Doksany probíhala na fyzikálním modelu v měřítku 1 : 12,5 a na matematickém 3D modelu v programu Ansys CFX. Na obou modelech byly nastaveny standardní i mimořádné situace, tedy bez zavzdušnění a s překročením maximální provozní hladiny. Pro jez ve Strakonicích byl postaven fyzikální model v měřítku 1 : 7, na němž byly měřeny hladiny a průtoky pro běžné provozní stavy.

V souvislosti s klimatickou změnou dochází ke zvýšení četnosti intenzivních srážek, které častou vedou k náhlým povodním. Tyto extrémní meteorologické jevy představují riziko pro majetek a lidské životy. Vzhledem k této skutečnosti je nutné zpřesňovat přepadové součinitele, jež se používají ke stanovování konzumpčních křivek přelivů. Tyto konzumpční křivky používané v manipulačních řádech a automatizovaných řídicích systémech pak více odpovídají skutečnosti, což pomáhá při operativním řízení povodně přes vodní díla, např. k zdokonalení transformace na vodních nádržích, kdy je potřeba rychle a účinně rozhodovat o manipulacích na vodohospodářských soustavách a minimalizovat případné negativní dopady.

Cílem výzkumu je doplnit stávající křivky přepadových součinitelů pro vyšší stupeň zatopení a pro mimořádné situace. Součástí hydrotechnického výzkumu je porovnání různých typů rozražečů a matematický popis pohybu klapky.

ÚVOD

Klapkové uzávěry jsou dnes nejčastějšími pohyblivými uzávěry, s nimiž se můžeme setkat u jezů či přehrad v České republice (ČR). Zároveň lze o klapkových uzávěrech říci, že díky svým výhodám, zejména možnosti jemné manipulace či ekonomické výhodnosti jejich vybudování i provozu, byl a je tento typ uzávěru nejpoužívanější v rámci rekonstrukcí jezů Labsko-vltavské vodní cesty či dalších jezů v ČR a bezpečnostních hrazených přelivů přehrad, např. vodního díla Nechranice.

Klapkové uzávěry byly předmětem výzkumu Jaroslava Čábelky, Gerharda Wickerta i Gerharda Schmaussera na konci 20. století [1, 2]. V těchto publikacích se však autoři věnují pouze standardním stavům bez velkého vlivu zatopení dolní vodou.

Z tohoto důvodu a s ohledem na zrychlující se vývoj klimatické změny, který přináší častější výskyt extrémních srážek, bylo přistoupeno k doplnění českého výzkumu o běžné stavy s vyšším ovlivněním dolní vodou a současně o mimořádné situace. Mimořádnými situacemi je myšlen stav úrovně hladiny vodního toku, kdy hladina při zvýšeném průtoku stoupne nad úroveň provozní hladiny, anebo stav, kdy dojde u klapkového jezu k zanesení zavzdušňovacího potrubí, což vede k vyšší průtočnosti přes hradicí konstrukci.

METODIKA

V rámci výzkumu byly postaveny výsekové fyzikální modely jezů s nasazenými klapkovými uzávěry ve Vodohospodářském experimentálním centru Fakulty stavební ČVUT v Praze. Současně byly vytvořeny matematické 3D modely pro jeden z jezů. Cílem bylo analyzovat hydraulické chování přelivů při různých průtocích, geometrických změnách na přelivné hraně klapkového uzávěru a proudění vody v okolí přelivů. Z naměřených a vypočtených hodnot byly získány průběhy hladin, jež bylo možno porovnat napříč mezi jednotlivými metodami, včetně numerických výpočtů dle grafů stávajících výzkumů.

DATA

Vodní dílo Doksany

Vodní dílo Doksany (*obr. 1*) leží na vodním toku Ohře v jižní části obce Doksany v Ústeckém kraji. Součástmi vodního díla jsou strojovna, jez, malá vodní elektrárna a rybí přechod. Jez je tvořen železobetonovou konstrukcí, na které je umístěna pohyblivá hradicí konstrukce, tj. ocelový uzávěr – jezová dutá klapka. Klapkové uzávěry mají na přelivné hraně umístěny velké rozražeče profilu U a malé rozražeče profilu L. Vzdouvací objekt má dohromady dvě pole přelivu, přičemž obě mají délku 20 m a kóta pevného přelivu je 150,81 m n. m. Maximální hladina jezové zdrže je podle manipulačního řádu na kótě 153,25 m n. m. U každého jezového pole je v pilíři vedeno zavzdušňovací potrubí DN300 a otvor pro aretační čep klapky. V podjezí se nachází 13,2 m dlouhý vývar, hluboký 1,6 m a zakončený třemi stupni a zvýšeným prahem, jenž je o 0,3 m výše nad opevněným dnem. Prostor koryta kolem jezu je opevněn kamennou dlažbou a ukončen kamenným záhozem. Nutno podotknout, že výškový rozdíl mezi dnem nadjezí a podjezí je 1 m, což výrazně zamezuje vyššímu ovlivnění přepadu zatopením dolní vodou.

Vodní dílo Strakonice

Vodní dílo Strakonice – nebo také stabilizační jez Strakonice – leží na vodním toku Otava ve městě Strakonice v Jihočeském kraji. Stavba je tvořena železobetonovou jezovou konstrukcí o dvou polích s délkou 20 m, na níž je uložena dvojice klapkových uzávěrů s násoskami nasazenými vždy mezi příčnými výztuhami a se zdvihacím mechanismem, strojovnami nad pilíři a sportovní propustí, jež zároveň slouží jako rybí přechod. Kóta pevného přelivu je 387,00 m n. m,

Obr. 1. Jez Doksany
Fig. 1. Doksany weir

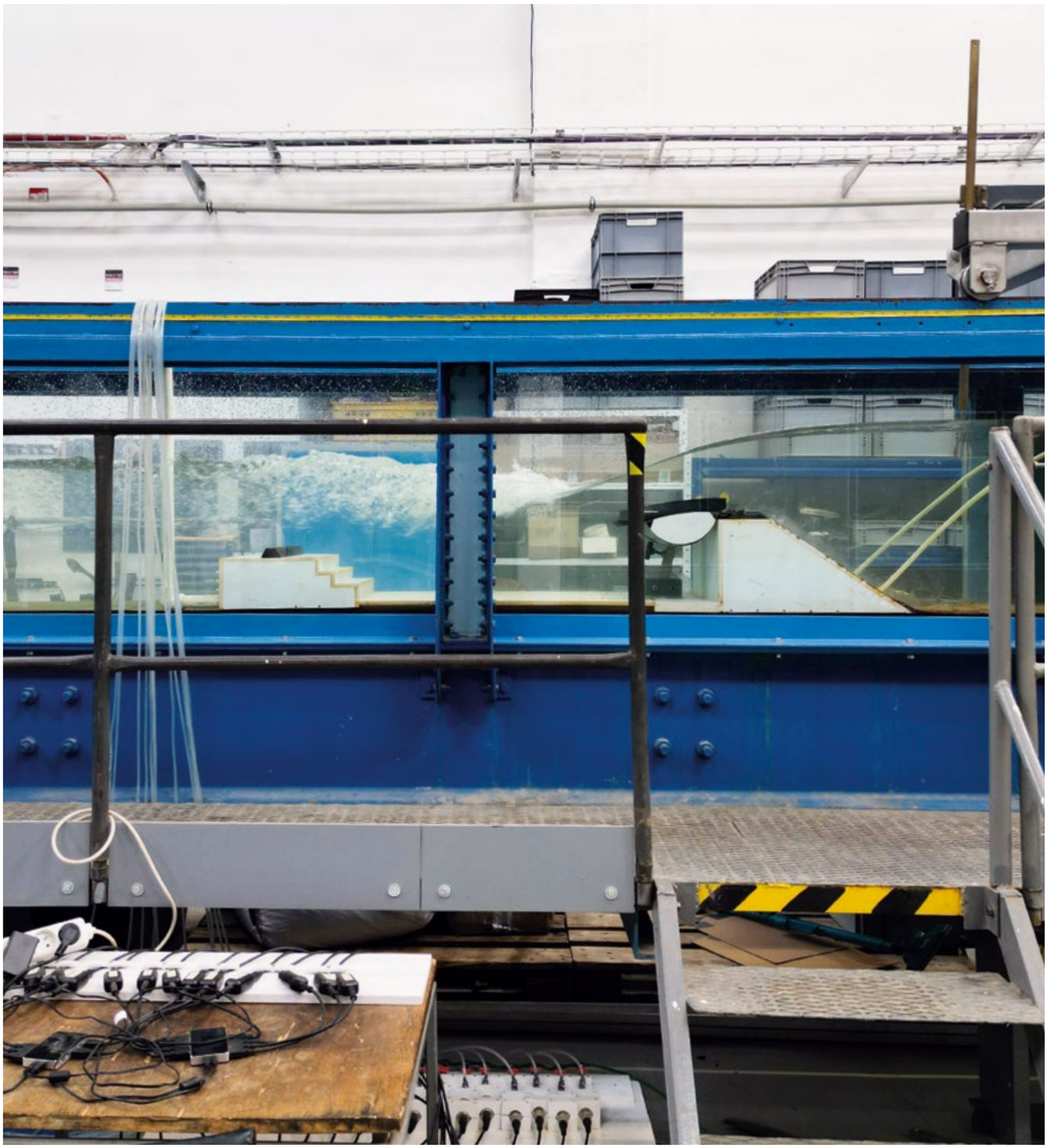
Obr. 2. Jez Strakonice
Fig. 2. Strakonice weir

tedy stejná jako kóta dna v korytě za přelivem. Běžná provozní hladina zdrže je 388,30 m n. m., zatímco maximální hladina zdrže je podle manipulačního řádu na kótě 388,50 m n. m. Podjezí bylo tvořeno 6 m dlouhým vývarem s hloubkou 0,8 m. V roce 2019 byl vývar rekonstruován, aby se vyhovělo hydraulickým podmínkám pro dostatečné tlumení kinetické energie vody přepadající přes jezový uzávěr.

Fyzikální modely

Hydraulické jevy, proudění vody a hydraulické charakteristiky je možno zkoumat na skutečném vodním díle, nicméně z objektivních příčin je tento výzkum značně ztížen, a proto se přistupuje ke zkoumání na zmenšeném modelu v laboratoři. Počáteční, okrajové a limitující podmínky jsou dány rozměrovou, silovou a hmotnostní analýzou, jež vycházejí z podmínek zkoumání jevů na modelu pomocí Froudova zákona mechanické podobnosti [3].

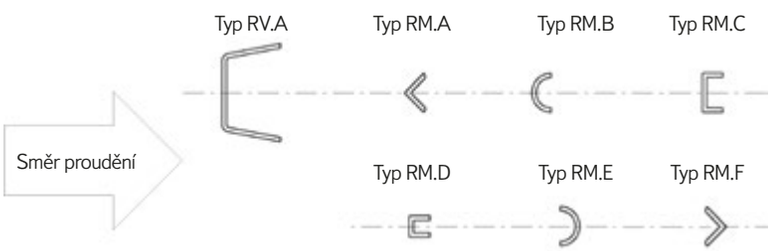
Pro měření ve vodohospodářské laboratoři byly postaveny dva fyzikální modely. První z modelů o šířce 0,4 m pro jez Strakonice, tvořený klapkou s násoskou, byl postaven v měřítku 1 : 7. Na tomto modelu byly měřeny hladiny a průtoky pro různé polohy klapky s vyšším ovlivněním dolní vodou, neboť rozdíl mezi výškou dna v nadjezí a podjezí je 0 m. Druhým modelem o šířce 0,52 m v měřítku 1 : 12,5 byl jez Doksany (*obr. 3*), na němž byly měřeny hladiny a průtoky pro mimořádné situace, kdy není funkční zavzdušňovací potrubí anebo kdy hladina ve zdrži přesahuje maximální provozní hladinu.



Obr. 3. Fyzikální model jezu Doksany
Fig. 3. Physical model of Doksany weir

V rámci tohoto modelu byly rovněž posuzovány navzájem různé typy rozražečů (typ RV.x a RM.x) z hlediska průtočné kapacity (*obr. 4*). Vzhledem k modelovým podmínkám však nebylo možné určit vliv na součinitel přepadu. Přepočet jednotlivých charakteristik z fyzikálních modelů na skutečná vodní díla lze provést pomocí vzorců:

měřítko délek M_L
měřítko rychlostí $M_v = M_L^{1/2}$
měřítko průtoků $M_Q = M_L^{5/2}$ [3]

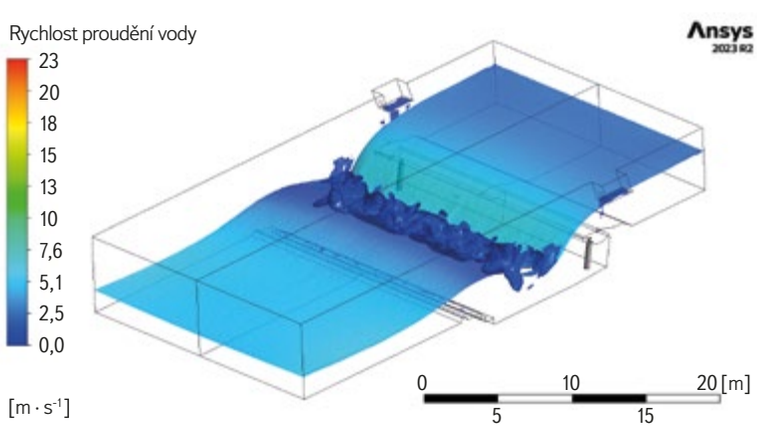


Obr. 4. Typy rozražečů
Fig. 4. Types of baffles

Matematický model

Matematický 3D model byl vytvořen pouze pro jez Doksany (*obr. 5*), přičemž byly zachovány stejné podmínky jako v případě fyzikálního modelu až na šířku modelu, kdy byla vymodelována pouze polovina jezového pole o délce 10 m. Výpočetní síť byla vytvořena v programu ICEM CFD a veškeré výpočty proběhly v programu Ansys CFX. V souvislosti s použitím funkce symetrie na modelu bylo pozdější verifikací zjištěno, že do modelu byla vnášena určitá chybovost, jež způsobovala vyšší průtočnou kapacitu [4, 5].

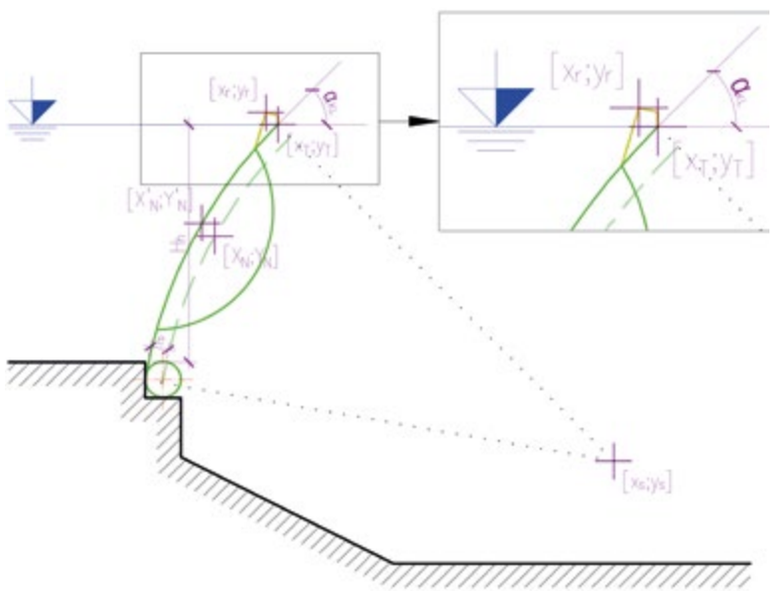
Cílem výběru výpočetní metody pro zjištění průtoku a proudění vody bylo pomocí CFD technologií určit nejistoty výpočtu. Výběr vhodné metody je klíčový pro minimalizaci nejistoty při matematickém modelování. Je nutné pečlivě vybrat metodu s ohledem na hydraulické chování a minimalizovat rizika při měření průtoku vodního díla [6].



Obr. 5. Matematický model jezu Doksany
Fig. 5. Mathematical model of Doksany weir

Matematický model pohybu klapky

Při výpočtu průtoku přepadem přes klapku se v inženýrské praxi často odečítají výšky od klapky, jež se otáčí okolo nejnižší hrany, což však z hlediska skutečnosti není správné. Zavádí se tak do výpočtu chyba v přepadové výšce vlivem rozdílného sklopení klapkového uzávěru vůči skutečnosti, projevující se na konzumpční křivce, jež je důležitá z hlediska manipulací. Manipulace na vodním díle jsou poté nepřesné, což má za následek zhoršení operativního řízení vodních děl v rámci vodohospodářských soustav. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k odvození rovnic popisujících pohyb klapky se zavedením excentricity, která je mezi hradicím plechem a osou ložiska (*obr. 6*). Je nutné podotknout, že rovnice se týkají pohybu pro dutou klapku s poloměrem R = 2,25*H. Zároveň byly stanoveny rovnice pro pohyb rozražečů současně s klapkou. Veškeré rovnice včetně aplikace v rámci kalkulátorů jsou podrobně obsaženy v diplomové práci s názvem *Hydraulická analýza klapkových uzávěrů a Jamborových prahů* [7].



Obr. 6. Schéma klapkového uzávěru
Fig. 6. Diagram of a flap gate

VÝSLEDKY

Naměřená a vypočtená data modelů VD Doksany pro mimořádné situace byla vložena do již stávajícího grafu s křivkami J. Čábelky, v němž lze odečíst součinitel zatopeného přepadu $\mu_{p\sigma}$ (*obr. 7*). Tato data jsou zobrazena ve formě bodů z fyzikálního modelu (FM) a matematického modelu (MM) a nelze z nich vytvořit křivky, neboť každá naměřená hodnota odpovídá různému tlaku a zavzdušnění pod klapkou, jež jsou v praxi při mimořádných situacích neměřitelné. Z tohoto důvodu jsou hodnoty v grafu (*obr. 7*) pro praktickou aplikaci rozděleny podle stupně zatopení dolní vodou, poněvadž tento stupeň hraje významnější roli při použití ve výpočtech na dalších vodních dílech.

Obdobně byla vložena data z měření na fyzikálním modelu VD Strakonice do téhož grafu J. Čábelky (*obr. 8*). Nicméně u těchto dat bylo možné proložení křivkami vzhledem k běžné situaci se zvýšenou hladinou dolní vody. Oproti výzkumu J. Čábelky, kdy poměr H_o/H dosahoval hodnoty 0,7, bylo nyní možné

dosáhnout na FM až hodnoty 0,92, což pomůže při výpočtu konzumpčních křivek na dalších vodních dílech, jakým je např. VD Klášterec na řece Ohři. Užití součinitele zatopeného přepadu je patrné v rovnici přepadu:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu_{p\sigma} \cdot b_0 \cdot \sqrt{2g} \cdot h_0^{\frac{3}{2}}$$

kde:

Q	je	průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$]
$\mu_{p\sigma}$		součinitel zatopeného přepadu [-]
b_0		účinná šířka přelivu [m]
g		tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]
h_0		energetická výška přepadu [m]

Výpočet energetické výšky přepadu se počítá prostřednictvím rovnice:

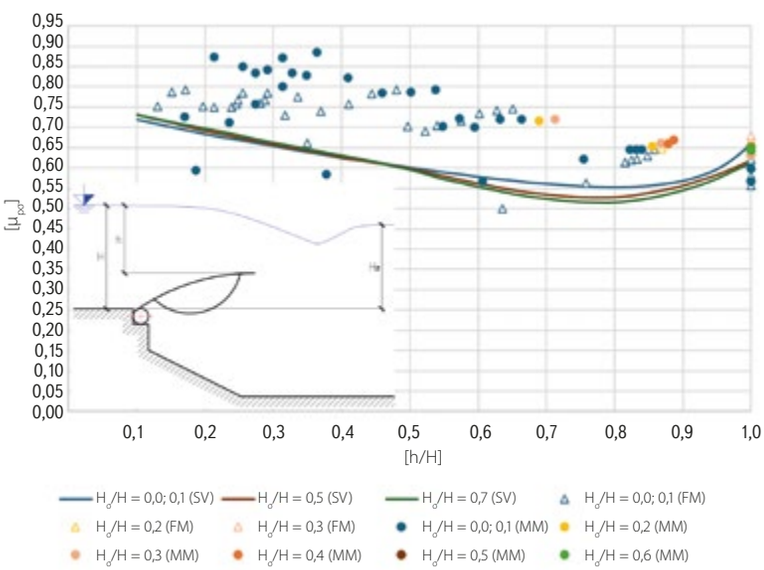
$$h_0 = h + \frac{\alpha \cdot v_0^2}{2g}$$

kde:

h_0	je	energetická výška přepadu [m]
α		Coriolisovo číslo [-]
v_0		přítoková rychlost [$m \cdot s^{-1}$]
g		tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

Pro pochopení odečítání součinitele zatopeného přepadu $\mu_{p\sigma}$ je důležité znát parametry, jimiž se odečítá:

h	je	výška přepadu
H		výška od koruny pevného jezu k hladině v nadjezí
H_σ		výška od koruny pevného jezu k hladině dolní vody



Obr. 7. Graf součinitele zatopeného přepadu pro mimořádné situace (nezavzdušněno)
Fig. 7. Graph of overfall coefficient for extraordinary situations (non-aerated)

Při zkoumání na klapkových uzávěrech vzešla z praxe otázka na podobnost hydraulického chování klapkového uzávěru a Jamborova prahu, přičemž objektem zájmu byla taková poloha klapky, jež by tuto konfiguraci splňovala. Na základě výzkumu J. Čábelky na klapkových uzávěrech a V. Laca [1] na Jamborových prazích bylo vyhodnoceno, že ke shodnému hydraulickému chování klapkového uzávěru dochází při úplném sklopení klapky anebo při zdvižení o cca 5 cm oproti plně sklopené klapce při různé výšce prahu p (*obr. 9*).

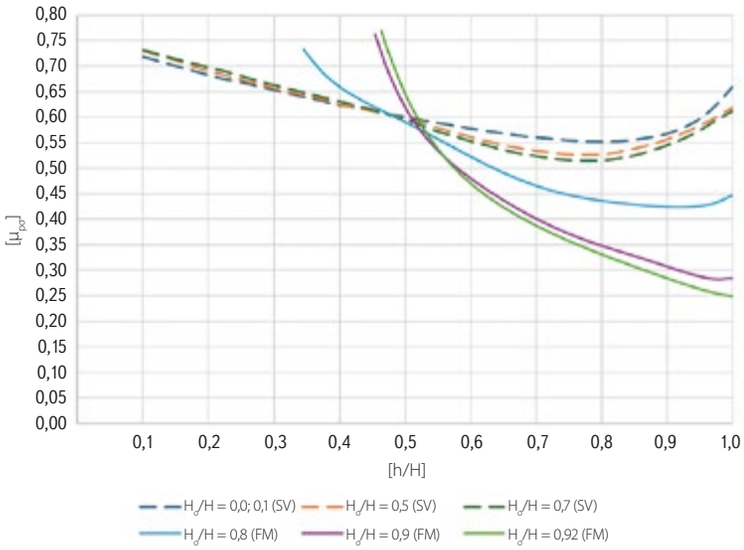
Výzkumem klapkového uzávěru s přidanými velkými rozražeči a výměnnými malými rozražeči bylo docíleno stanovení ideálních typů rozražečů pro použití na skutečných vodních dílech (*obr. 11*), kde pomáhají při kmitání klapkového uzávěru při malých průtocích. Ideálními tvary rozražečů jsou profil L (typ RM.A) a půlkruh (typ RM.B), přičemž vrcholová hrana musí směřovat proti směru proudění vody. Rozražeče byly na fyzikálním modelu klapky rozvrženy v pořadí 1× RM.x, 1× RV.A, 2× RM.x, 1× RV.A, 2× RM.x, 1× RV.A, 1× RM.x, kdy osová vzdálenost mezi rozražeči RM.x byla 52 mm a mezi RV.A a RM.x 60 mm. Osová vzdálenost na modelu mezi rozražeči RV.A v případě bez kombinace s RM.x činila 172 mm. Rozměry samotných rozražečů byly převzaty nebo sjednoceny dle klapkového uzávěru na VD Doksany. V rámci pozorování na modelu byly sledovány – nikoli měřeny – účinné šířky přepadu při nižších průtocích, přičemž pro kombinace rozražečů RV.A s RM.A byly monitorovány jednotlivé vodní paprsky přepadající přes klapku, zatímco u kombinací rozražečů RV.A s RM.B nebo RM.C nebo RM.D bylo pozorováno sjednocení vodních paprsků na krajích klapkového uzávěru. V případě kombinace rozražečů RV.A s RM.E či RM.F se vodní paprsek sjednotil pro celou osovou vzdálenost mezi rozražeči RV.A, tudíž vliv zúžení účinné šířky přepadu okolo rozražečů RM.E či RM.F nebyl patrný [7].

DISKUZE

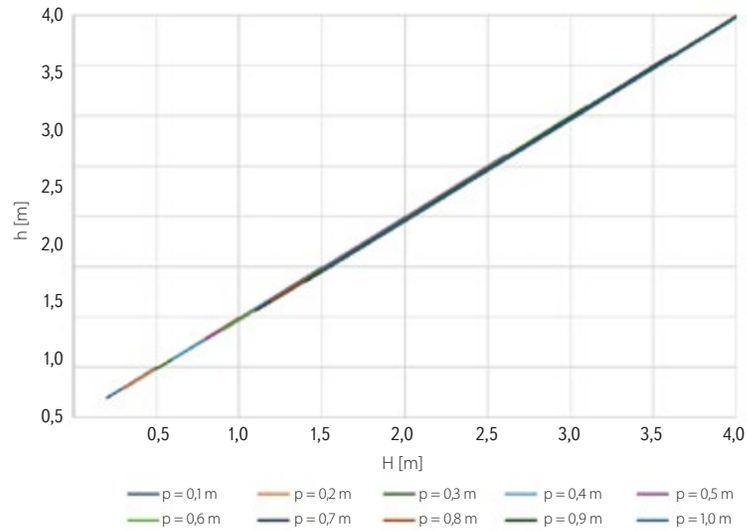
Výsledky součinitele zatopeného přepadu pro mimořádné situace (*obr. 7*) poukazují na fakt, že při různě velkém zatopení zavzdušňovacího potrubí dochází ke zvýšení průtočnosti, přičemž z grafu lze vyčíst rozkolísanost výsledků. Tato rozkolísanost byla způsobena vlivem nestabilních tlaků, resp. podtlaků, které v praxi nesmějí nastat, neboť rozkmitávají konstrukci, což vede k jejímu následnému poškození. Vzhledem ke skutečnosti, že procentuální velikost zatopení zavzdušňovacího potrubí nelze při mimořádné situaci přímo na vodním díle naměřit, je zároveň možné takto naměřené a vypočtené hodnoty z modelů použít i pro další aplikace, avšak je nutno do dalších výpočtů zahrnout i rozptyl hodnot součinitele zatopeného přepadu.

V případě součinitele zatopeného přepadu pro běžné situace (*obr. 8*) při větším sklopení klapky a zároveň vyšším stupni zatopení lze pozorovat též vyšší hodnoty součinitele, což může být způsobeno též podtlaky jako v předchozím případě, a to i přes funkční zavzdušňovací potrubí. Nicméně se vzrůstající přepadovou výškou a s vyšším poklopením klapky hodnoty součinitele zatopeného přepadu v grafu ukazují vliv funkčního zavzdušňovacího potrubí, kdy hodnoty tohoto součinitele jsou znatelně nižší než při malém vlivu zatopení dolní vody. Potvrzení této teze lze očekávat po přepočítání konzumpčních křivek na VD Klášterec pracovníky státního podniku Povodí Ohře, kdy ověřením budou výsledky vodohospodářské bilance mezi profily před a za tímto vodním dílem.

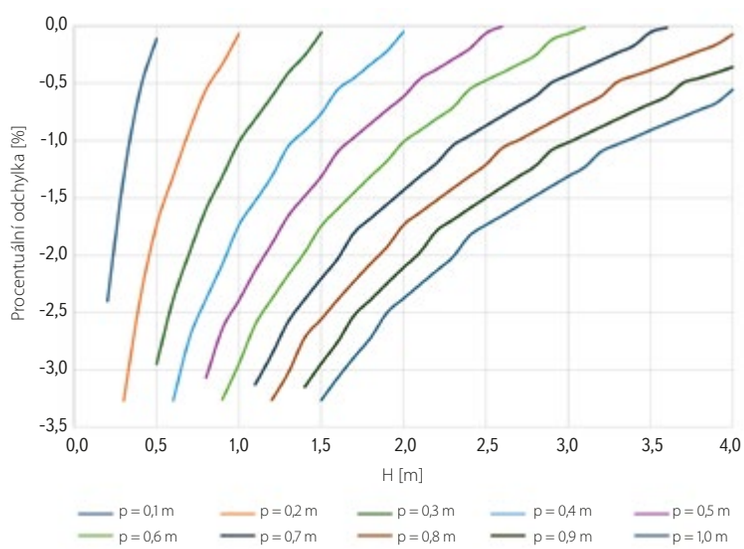
V souvislosti s výše uvedenými výroky v návaznosti na graf závislosti klapkového uzávěru a Jamborova prahu (*obr. 9*) je možné potvrdit hodnoty v tomto grafu. Zároveň v grafu procentuálních odchylek klapkového uzávěru a Jamborova prahu (*obr. 10*) lze konkrétně vyčíst procentuální odchylku pro různá H, kdy tento graf potvrzuje shodné hydraulické chování klapkového uzávěru i při mírném zdvižení klapky o cca 5 cm oproti plně sklopené klapce při různé výšce prahu p. Pro lepší pochopení propojení obou grafů (*obr. 9* a *10*) lze např. odečíst z grafu (*obr. 9*) pro výšku H = 2 m, tj. od koruny pevného jezu k hladině v nadjezí, hodnotu výšky přepadu h mezi 0 až 5 cm, kdy s vyšší výškou prahu p vzrůstá jak výška přepadu, tak procentuální odchylka.



Obr. 8. Graf součinitele zatopeného přepadu pro běžné situace (zavzdušněno)
Fig. 8. Graph of overfall coefficient for ordinary situations (aerated)



Obr. 9. Graf závislosti klapkového uzávěru a Jamborova prahu
Fig. 9. Graph of dependence of a flap gate and Jambor sill



Obr. 10. Graf procentuální odchylky klapkového uzávěru a Jamborova prahu
Fig. 10. Graph of percentage deviation of a flap gate and Jambor sill

Obr. 11. Graf porovnání typů rozražečů
Fig. 11. Graph comparing types of baffles

Na základě porovnání typů rozražečů musíme dojít ke kritickému názoru, že stanovování součinitele přepadu pro různé geometrie rozražečů je pro praktické použití vlastně bezpředmětné. Nicméně výzkumem hydraulického chování právě těchto rozražečů byla pro další aplikace vyhodnocena ta nejlepší geometrie rozražeče, který plní svoji funkci a zároveň nesnižuje průtočnou kapacitu. Graf porovnání typů rozražečů (*obr. 11*) zobrazuje porovnání rozražečů z ukázky typů rozražečů (*obr. 4*), kdy graf lze číst jako porovnání, o kolik jsou horší varianty rozražečů ve sloupcích dle legendy oproti samotnému sloupci daného rozražeče, tzn. že např. v prvním sloupci rozražeče RV.A jsou všechny sloupce dle legendy s kombinacemi rozražečů RV.A + RM.A až RM.F v záporných procentech, poněvadž tyto kombinace rozražečů snižují průtočnou kapacitu celého klapkového uzávěru.

ZÁVĚRY

Výsledky výše popsaného výzkumu přinášejí nové poznatky o různých stavech a situacích na klapkových jezech. Použitím fyzikálních a matematických modelů bylo možné naměřit a dopočítat chybějící data v předchozích výzkumech, díky čemuž je nyní možné nové poznatky využít v inženýrské praxi. Vzhledem k faktu, že dutá klapka je nejpoužívanějším typem hradicího uzávěru na jezech a přehradách v ČR a na Slovensku, je díky tomuto výzkumu možno zpřesnit konzumpční křivky ve stávajících manipulačních řádech a opravit hodnoty v automatizovaných řídicích systémech vodních děl, čímž se zvýší bezpečnost vodního díla a zlepší se manipulace v rámci vodohospodářské soustavy.

U vodních děl s osazenými dutými klapkami s geometrií navrženou J. Čábelkou, tedy R = 2,25H, mohou být využity rovnice matematického popisu pohybu klapky se zavedenou excentricitou, díky čemuž se zjednoduší výpočetní postupy a zanedbají se chyby při odečítání hodnot z výkresové dokumentace. Tento inovativní přístup představuje praktický přínos při návrhu

i následném opětovném posuzování hydraulických, statických a dynamických charakteristik. Současně při problematice kmitání klapkového uzávěru vlivem dynamického zatížení vodou je možné díky tomuto výzkumu použít vhodný typ rozražeče jako tlumícího prvku, který prodlouží životnost konstrukce a sníží negativní účinky při běžných, ale i mimořádných situacích.

Důležité je však zmínit, že neprozkoumanou oblastí grafu součinitele zatopeného přepadu dle J. Čábelky je interval poměru výšky přepadu k výšce hladiny h/H pro hodnoty menší než 0,1, pro jehož stanovení by bylo nutné mít k dispozici větší fyzikální model než doposud.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory grantu ČVUT v Praze SGS25/084/OHK1/2T/11 „Kombinovaný výzkum proudění vody na hydrotechnických stavbách".

Literatura

[1] ČIHÁK, F., MEDŘICKÝ, V. *Hydrotechnické stavby 20. Navrhování jezů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-010-2402-4.

[2] WICKERT, G., SCHMAUSSER G. *Stahlwaserbau: Theorie, konstruktive Lösungen, speziele Probleme*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1971, 582 s.

[3] ČÁBELKA, J., GABRIEL, P. *Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice*. Praha: Academia, 1987. 303 s.

[4] ANSYS, Inc. *ANSYS CFX Tutorials. Release 15. 0. U.S.A.*, 2013.

[5] ANSYS, Inc. *ANSYS CFX – Solver Modeling Guide. Release 15. 0. U.S.A.*, 2013.

[6] SOUČEK, J., NOWAK, P., KANTOR, M., VESELÝ, R. CFD as a Decision Tool for Pumped Storage Hydropower Plant Flow Measurement Method. *Water*. 2023, 15(4), 779. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/w15040779

[7] NĚMČANSKÝ, O. *Hydraulická analýza klapkových uzávěrů a Jamborových prahů*. Praha: ČVUT, FSv, 2025.

Autoři

Ing. Martin Králík, Ph.D.
✉ martin.kralik@fsv.cvut.cz
ORCID: 0000-0002-8147-0260

Ing. Ondřej Němčanský
ondrej.nemcansky@fsv.cvut.cz

Katedra hydrotechniky, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.05.001

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

HYDROTECHNICAL RESEARCH OF FLAP GATES

KRÁLÍK, M.; NĚMČANSKÝ, O.

Department of Hydrotechnics, Faculty of Civil Engineering CTU in Prague (Czech Republic)

Keywords: fish belly gate — baffles — hydraulic model — curve of overflow coefficients

The article deals with the hydraulic analysis of a flap gate in Doksany and Strakonice based on the evaluation of experimental measurements performed on a physical and mathematic model in Water Management Experimental Centre, Faculty of Civil Engineering, CTU in Prague.

Hydrotechnical research describes the measurement of levels and flows for ordinary and extraordinary various conditions and situations.

In connection with climate change, there has been an increase in the frequency of intense rainfall events, which often lead to sudden flooding. These extreme meteorological phenomena pose a significant risk to both property and human lives. Given this reality, it is essential to refine coefficients of overflow discharge, which are used to determine discharge rating curves. These discharge rating curves used in handling regulations and automated control systems are more in line with reality, which helps in the operational management of flooding through water structures, e.g. to improve transformation at reservoirs, where decisions need to be made quickly and efficiently about manipulations on water management systems to minimise possible negative impacts.

The aim of the research is to complement the existing curves of overflow coefficients for higher degree of downstream flooding and for extraordinary conditions. The research includes a comparing of different types of baffles and a mathematical description of the flap gate movement.

Foto: 123rf.com

Kde končí obec? Vymezení urbanizovaných území nejen pro odtokové analýzy

LUDĚK STROUHAL, PETR KAVKA

Klíčová slova: intravilán — urbanizovaná území — odtokové analýzy — datové podklady — ZABAGED

ABSTRAKT

Článek představuje metodiku prostorového vymezení hranic významných urbanizovaných území v České republice především pro účely hydrologických analýz a hodnocení rizik přívalových povodní. Nejprve byla upřesněna definice urbanizovaných území ve vztahu k existující terminologii a poté sestaven komplexní postup tvorby vrstev urbanizovaných a přírodních ploch využívající objekty polohopisu Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®) s podporou dalších otevřených datových zdrojů. Metodika zahrnuje hierarchickou klasifikaci a souběžnou geometrickou úpravu vybraných vrstev polohopisu a následné čištění a filtraci finálních polygonů urbanizovaných území a přírodních prvků. Výsledkem je datová sada významných urbanizovaných území, která umožňuje lépe hodnotit srážkoodtokové procesy v jejich okolí i analyzovat jejich vlastní strukturu, což představuje výchozí bod pro návrhy a posuzování adaptačních opatření. Výstupy budou v blízké době veřejně dostupné pro další hydrologické aplikace a výzkum.

ÚVOD

Jednou z klasických, ale stále aktuálních úloh aplikované hydrologie je analýza drah a míst soustřeďování povrchového odtoku s cílem predikce a prevence dopadů pluviálních povodní na obce a infrastrukturu [1]. Jakkoli jsou základní principy odtokových analýz přímočaré a rozvoj GIS a datových podkladů v posledních 20 letech poskytl mocné nástroje pro jejich objektivizaci a automatizaci, na řešitele zejména velkých územních studií čekají dvě velké výzvy.

Ta první souvisí s rozsahem, detaily a nedostatky ve výškopisných podkladech (modelech terénu) a výpočetních metodách pro jejich analýzy. Jednoduše řečeno jde o to, aby voda v modelu „odtékala" v drahách odpovídajících realitě a respektovala terén i stavební objekty. Druhá výzva je spojena s kvalitou, interpretací a metodou zpracování polohopisných podkladů. Určit povodí nebo místo vstupu odtokové dráhy do vodní nádrže je snadné, pro tuto úlohu existují více či méně kvalitní datové vrstvy vodních ploch. Při snaze určit riziková místa pro vstup povrchových vod do významných sídelních celků nebo obecně urbanizovaných území narážejí řešitelé na problematiku definice takových území a vymezení hranice mezi volnou krajinou a sídlem.

V obecných ani specializovaných polohopisných databázích ČR datová sada vymezující hranice sídel či urbanizovaných území neexistuje. Pojem intravilán sídel, případně zastavěné a zastavitelné území, je využíván v územním plánování a jejich prostorové vymezení existuje jen v decentralizované podobě a vzniká při zpracování konkrétního územního plánu. Pozemkové úpravy (PÚ), jež jsou zaměřeny primárně na zemědělskou půdu, pracují s pojmem *vnitřní obvod PÚ*. Ten vymezuje hranici pozemkové úpravy mimo jiné na styku s plochami sídel a je rovněž zpracováván pro účely konkrétní pozemkové úpravy. Pro hydrologické analýzy větších měřítek nejsou tyto hranice dobře dostupné a použitelné. V řadě výzkumných projektů („*Mapy rizik vyplývajících z povodňového nebezpečí v ČR*" – MŽP, č. SMZP2007SP SP/1C2/121/07, „*Erozní smyv – zvýšené riziko ohrožení obyvatel a jakosti vody v souvislosti s očekávanou změnou klimatu*" – MV č. BV VG20122015092, „*Zvýšení připravenosti urbanizovaných lokalit v ČR propojením metody kritických bodů s indikátorem přívalových povodní*" – TA ČR, č. SS06010059) řešících obdobnou problematiku byla proto vždy řešiteli odvozována ad-hoc dle vlastní metodiky (např. [2]) a účelu použití, přičemž podrobnost dokumentace použitých datových podkladů a metod odvození byla velmi variabilní a ne vždy uspokojivá.

Tento článek se soustředí právě na druhou zmíněnou výzvu odtokových studií – tedy na vyjasnění hranice mezi sídlem a krajinou z pohledu hydrologického režimu a možné adaptace na klimatické změny. Přístupy k nakládání se srážkovými vodami, rizika a možnosti adaptačních opatření spojené s extrémními srážkami jsou rozdílné ve volné krajině a v sídlech. Hranice mezi nimi není zcela ostrá a závisí mimo jiné na rozloze a fragmentaci urbanizovaných ploch. Příspěvek popisuje vymezení pouze *hydrologicky významných urbanizovaných území*, v následujícím textu však bude používán v zájmu čitelnosti pouze zkrácený termín *urbanizovaná území*, případně anglická zkratka *UA* (*Urban Areas*). K vymezení jejich hranic byla využita podrobná a otevřená národní data Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®) [3] s podporou dalších specializovaných datových zdrojů (Digitální technická mapa, Registr územní identifikace, adres a nemovitostí aj.). Článek prezentuje v omezeném detailu postupy při vymezení hranic UA, které byly vytvořeny jako pomocné výsledky při řešení projektu TA ČR č. SS06010386 – *„Adaptace urbanizovaných území na přívalové povodně a sucho"*. Části textu vycházejí z průběžné zprávy o jeho řešení za rok 2024 [4].

METODIKA

Definice intravilánu sídla a urbanizovaných území

Před samotným prostorovým vymezením hranic UA je nejprve nutné jej co nejpřesněji definovat. I přes běžné užívání pojmu intravilán (sídla) nejde o terminologicky jasně zakotvený pojem. Liší se přitom pohled majetkoprávní a územně plánovací, urbanistický. Z právního pohledu (zákon č. 128/2000 Sb., o obcích) je intravilán definován jako zastavěné území obce, které bylo k 1. září 1966 zakresleno v katastrální mapě jako intravilán. Jedná se o historický právní pojem, jenž má význam především v souvislosti s ochranou půdního fondu. Starší i současný stavební zákon (zákon č. 183/2006 Sb., a zákon č. 283/2021 Sb.) již tento termín přímo nepoužívají, místo toho pracují s pojmy zastavěného území (ZÚ)

a zastavitelné plochy (ZP), které jsou vymezovány v územním plánu. Ze znění § 116 zákona 283/2021 Sb., vyplývá, že do plochy ZÚ se zahrnují:

- zastavěné stavební pozemky,
- stavební proluky,
- další oplocené proluky mezi zastavěnými stavebními pozemky,
- veřejná prostranství,
- pozemní komunikace nebo jejich části, z nichž jsou zahrnuty vjezdy na ostatní pozemky zastavěného území a dráhy v části procházející intravilánem a ostatními pozemky zastavěného území,
- další pozemky, které jsou obklopeny ostatními pozemky zastavěného území, s výjimkou pozemků vinic a chmelnic.

Z urbanistického a územně plánovacího pohledu je intravilán vnímán jako kompaktní část obce nebo města, kde převládají funkce zástavby (obytná, komerční, průmyslová). Při uvážení možného prostorového uspořádání pak lze rozlišit sídla kompaktní (hlavní souvislá zástavba obce), rozptýlenou zástavbu a samoty. Samotné prostorové vymezení urbanizovaných území představuje v tomto oboru poměrně komplexní a expertní proces. Např. *Metodika identifikace a klasifikace území s urbanistickými hodnotami* [5], která stanovuje objektivní rámec pro identifikaci a klasifikaci území s urbanistickými hodnotami jako jednoho ze sledovaných jevů pro Územně analytické podklady, doporučuje využití kombinace různorodých mapových podkladů a výsledků terénního průzkumu. Přesné vymezení je přitom ponecháno na odborném posouzení a analýze charakteru konkrétního území.

Z obou výše uvedených přístupů (majetkoprávního a urbanistického) je patrné, že vymezení intravilánu není triviální úlohou, při níž by bylo možné jednoduše seskupit jednotlivé třídy objektů polohopisu bez ohledu na další prostorové vztahy s jejich okolím. Z kombinace těchto přístupů vychází i definice (*hydrologicky významných) urbanizovaných území* aplikovaná ve zmíněném projektu č. SS06010386 jako prostorově rozsáhlejší kompaktní území sestávající ze souvislých ploch s funkcí obytnou či komerčně-průmyslovou a menších vnitřních ostrovů či pozemků spíše přírodního charakteru. Takto definované plochy UA mají oproti okolním *přírodním plochám* (PP), přestože zahrnují i určitý podíl antropogenních ploch, jiný management nakládání se srážkovými vodami, riziky a dopady fluviálních i pluviálních povodní a jsou v nich využívány jiné metody řešení. Prahové hodnoty a kritéria pro třídění objektů či jejich tříd byly stanoveny v průběhu tvorby metodiky na testovacím území o rozloze více než 2 300 km^2, zahrnujícím část hlavního města Prahy, středně velká a menší města i rozptýlenou vesnickou zástavbu. Dále popsané GIS analýzy byly zpracovány v prostředí ArcGIS Pro.

Zpracování objektů polohopisu a iterace vrstvy přírodních prvků

Metodika tvorby datové vrstvy urbanizovaných území byla vytvořena s využitím dat polohopisné databáze ZABAGED® z jara 2024 týkajících se testovacího území a aplikována na celou ČR s využitím aktualizovaného obsahu téže databáze z prosince 2024. Po prvotní analýze prostorových vazeb mezi jednotlivými třídami objektů (vrstvami) a jejich atributové výbavy bylo provedeno postupné třídění vrstev polohopisu či jejich jednotlivých objektů na přírodní a urbanizované plochy v pořadí od nejčetnějších a jednoznačně přírodních prvků po méně početné a nejednoznačně zařaditelné vrstvy s případnou úpravou geometrie některých objektů. Postupně rozšiřovaná vrstva PP byla použita pro třídění objektů nejednoznačných tříd, kdy jako jedno z hlavních kritérií byl použit poměr společného obvodu každého objektu s touto vrstvou. Na konci třídicího procesu byly vybrané urbanizované plochy agregovány do první přibližné vrstvy urbanizovaných území. V závěrečné fázi bylo provedeno její topologické čištění a filtrování z hlediska velikosti a významu výsledných UA. V různých částech procesu byly kromě ZABAGED použity vybrané třídy objektů z Registru územní identifikace, adres a nemovitostí (RÚIAN) [6] a geometrická vymezení půdních bloků evidovaných v Systému identifikace pozemků (Land Parcel Identification System, LPIS) [7].

Klasifikace překryvných vrstev ZABAGED

V českých podmínkách nepostradatelná polohopisná databáze ZABAGED obsahuje z hlediska prostorových vztahů dva typy plošných tříd objektů: překryvné a podkladové. Všechny podkladové třídy reprezentují souvislé plochy s relativně homogenním půdním pokryvem nebo druhem využití (např. trvalý travní porost, účelová zástavba) a dohromady vytvářejí topologicky čistou, spojitou reprezentaci celého území ČR. Oproti tomu překryvné třídy představují nejčastěji člověkem vybudované objekty různého druhu (budovy, zámky), ale i přírodní prvky (bažiny, rašeliniště), jež se překrývají s jedním či více podkladovými vrstvami. Z hlediska vzájemné polohy jsou disjunktní, ale společná hranice není vyloučena. Relevantní překryvné objekty poskytují cennou informaci při rozhodování o zařazení objektů některých podkladových vrstev do urbanizovaných území a vymezení jejich hranic. Po průzkumné analýze byly z překryvných vrstev vybrány relevantní třídy dle *tab. 1*. Podkladové vrstvy byly použity všechny kvůli zajištění celistvosti odvozených polygonů UA/PP.

Tab. 1. Výběr relevantních překryvných vrstev ZABAGED pro třídění podkladových vrstev
Tab. 1. Selection of relevant ZABAGED overlay layers for sorting of the base layers

Relevantní	**Nerelevantní**
Budova jednotlivá nebo blok budov	Bažina, močál
Hrad	Chladicí věž
Kůlna, skleník, fóliovník, přístřešek	Heliport
Stavební objekt zakrytý	Nadzemní zásobní nádrž
Zámek	Pozemní nádrž
Obvod letištní dráhy	Rašeliniště
	Rozvalina, zřícenina
Nerelevantní – regiony	Sesuv půdy, suť
Maloplošné ZCHÚ	Skalní útvary
Velkoplošné ZCHÚ	Tribuna
Ptačí oblast	Věžovitá stavba
Evropsky významná lokalita	Železniční točna, přesuvna

Jak je patrné z jejich názvu v *tab. 1*, ani vybrané překryvné třídy objektů nemusejí mít stejnou relevanci při rozhodování, zda objekt podkladové vrstvy zatřídit do významných urbanizovaných území, nebo ne. Nejvíce problematickou třídou je nejobsáhlejší vrstva *Budova jednotlivá nebo blok budov* (dále jen *Budovy*), která zahrnuje obrovské množství objektů různých velikostí a významu. K jejich rozlišení jen částečně přispívá atributová výbava vrstvy, neboť pouze necelá 2 % z téměř 3,9 milionu objektů mají definovaný jeden z přibližně 40 specifických *druhů budovy*, zbytek objektů je definován jako *Budova blíže neurčená*. Proto byl

objektům nejprve přiřazen doplňkový atribut *ZB_podklad* s názvem podkladní vrstvy ZABAGED.

Protože mnoho z podkladních vrstev (např. *Areál účelové zástavby*) je dále vybaveno podrobnějším údajem o využití plochy, jenž může hrát roli při klasifikaci *Budov*, byl tento specifický atribut přenesen do dalšího pole *ZB_detail*. Následně byly *Budovy* klasifikovány dle uvedených tří atributů, případně dle pomocného kritéria jejich plochy, do tří úrovní významnosti 0–2 podle klíče, který zde detailně neuvádíme kvůli jeho nadměrnému rozsahu. V obecné rovině jsou nejprve jako nevýznamné (význam = 0) označeny budovy s druhem spíše extravilánovým (přečerpávací stanice, chov hospodářských zvířat atd.) a většina zbylých specifických druhů má přiřazen význam 2. Dále jsou jako nevýznamné označeny budovy blíže neurčené na podkladu jasně extravilánovém (lesní půda, solární elektrárna), v případě nejednoznačných podkladů s různým limitem plochy do 16/500/1000 m^2. Specifické kombinace charakteristik byly použity u menších budov ležících na podkladu *Areál účelové zástavby*. Zbylým blíže neurčeným budovám byla přiřazena významnost 1. V následující fázi byla významnost *Budov* zohledněna při třídění objektů podkladových vrstev, kdy v některých případech byly uvažovány pouze *Budovy* významné, zatímco ve specifických případech byly použity *Budovy* všechny.

Třídění a úprava podkladových vrstev ZABAGED

Všechny polygonové třídy objektů ZABAGED – ať už překryvné, nebo podkladové – byly v průzkumné fázi řešení analyzovány z hlediska existence, spolehlivosti a relevance vnitřních atributů. Pečlivé roztřídění více než 60 kategorií *typů zástavby* vyžadovaly objekty vrstvy *Areál účelové zástavby*, které zahrnují obdobné, ale ne totožné kategorie jako *druh budovy* z překryvné vrstvy *Budovy*.

Jako velmi problematické a vyžadující pokročilé přístupy při odvozování UA byly shledány objekty vrstvy *Orná půda a ostatní dále nespecifikované plochy*, resp. jedné ze dvou jejích kategorií, a to *Ostatní dále nespecifikované plochy*, a dále vrstev *Ostatní plocha v sídlech* a *Okrasná zahrada, park*.

Z liniových objektů ZABAGED byly použity datasety komunikací, jmenovitě *Silnice, dálnice*, *Silnice neevidovaná*, *Silnice ve výstavbě*, *Ulice*, *Železniční trať* a *Železniční vlečka*. V případě, že v trase některých z těchto objektů bylo zjištěno souběžné vedení objektu *Tunel*, byly jejich zakryté části z datasetu odebrány.

Postup třídění a úprav jednotlivých podkladových vrstev ZABAGED pro následnou kompilaci do výsledné vrstvy UA/PP byl otestován a následně automatizován pomocí grafického programovacího prostředí ModelBuilder v kombinaci s jednoduchými Python skripty v rámci ArcGIS PRO. Vytvořena byla sada cca 30 provázaných nástrojů pro přehlednější workflow a kontrolu meziproduktů. Spíše než na přímou agregaci objektů tvořících urbanizovaná území se navržený postup soustředí na inverzní úlohu – definuje, které objekty představují typické přírodní prvky, a s velkou mírou jistoty tak nepatří do urbanizovaných území. Poté jsou postupně analyzovány objekty s nevyhraněnou příslušností a na základě míry společného obvodu s PP roztříděny na prvky spíše přírodní nebo k začlenění do UA. Průběžně jsou prováděny geometrické úpravy komplikovaných objektů a nakonec jsou agregovány všechny potenciální UA objekty. Obě pracovní vrstvy PP a UA jsou ve všech fázích postupu udržovány ve dvou variantách: MERGE varianta zachovává vnitřní hranice objektů a relevantní část jejich původní atributové výbavy doplněnou atributem *source* obsahujícím název rodičovské vstupní vrstvy. DISSOLVE variantu tvoří pouze sloučené polygony bez vnitřních hranic, které obsahují celkové či průměrné charakteristiky oblasti (plocha oblasti, celková výměra a podíl ploch obsažených budov, tvarový index aj.). Níže následuje stručný popis zpracování podkladových vrstev, detailní popis přesahuje možnosti tohoto článku.

Šestiúhelníková síť pro rozpad komplexních objektů

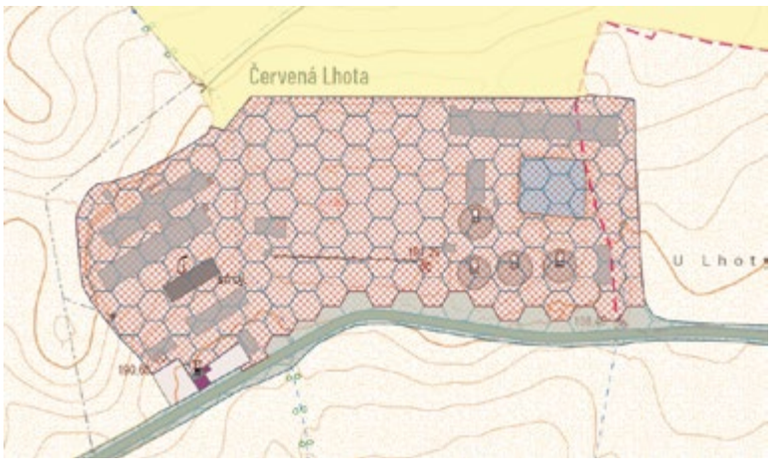
Pro analýzy a úpravu komplexních tříd polohopisu byla vytvořena pomocná polygonová síť pravidelných šestiúhelníků – hexů, a to ve dvou měřítkách. V základním rozlišení byly hexy definovány plochou 400 m^2, tedy o výšce přibližně 21 m. V menším rozlišení byla stanovena výška hexu na 60 m. V obou případech měla hexová síť rozsah celého území ČR s mírným přesahem, pro snížení výpočetní náročnosti byly odstraněny hexy zcela uvnitř polygonů orné půdy a všech tříd lesních půd zmenšených vždy o buffer 80 m. Následně byly pro usnadnění prostorových analýz atributově označeny hexy obsahující významné *Budovy*, *Zámek* nebo *Stavební objekt zakrytý*, dále jejich sousední hexy a variantně i hexy obsahující všechny *Budovy* a ty, jež s nimi sousedí.

Tab. 2. Šířky oboustranného bufferu liniových komunikací dle jejich typu pro jejich separaci z vrstvy Ostatních dále nespecifikovaných ploch
Tab. 2. Buffer widths for linear transport infrastructure according to type for purpose of their separation from Other unspecified areas

Typ komunikace	Kód	Buffer [m]
Dálnice 1. nebo 2. třídy	D1, D2	18
Silnice pro motorová vozidla	M	15
Větve a paprsky dálnic 1. a 2. třídy	D1v, D2v, D1p, D2p	9
Větve a paprsky silnic pro motorová vozidla	Mv, Mp	7,5
Silnice 1. třídy	S1	7
Silnice 2. třídy	S2	5
Silnice 3. třídy, silnice neevidovaná	S3, SN	4
Větve a paprsky silnic 1. třídy	S1v, S1p	3,5
Větve a paprsky silnic 2. třídy	S2v, S2p	2,5
Kolej železniční tratě nebo vlečky	ZT, ZV	2,5
Větve a paprsky silnic 3. třídy	S3v, S3p	2

Ostatní dále nespecifikované plochy

V prvním kroku vlastního zpracování podkladových vrstev byla provedena úprava *Ostatních dále nespecifikovaných ploch (ONP)* v rámci polygonové vrstvy *Orná půda a ostatní dále nespecifikované plochy*. Jak ilustruje *obr. 1*, plochy *ONP* zahrnují jak pozemky liniového charakteru komunikací v extravilánu včetně přiléhající zeleně, tak plošné prvky, které mohou potenciálně obsahovat budovy nebo jiné antropogenní objekty. Tyto plošné prvky byly automatizovaně odděleny pro případné pozdější začlenění do vrstvy UA. Nejprve byly z objektů *ONP* izolovány rovnoměrné buffery liniových komunikací a případné překryvy s vrstvou LPIS. Šířky bufferů uvedené v *tab. 2* byly určeny pro jednotlivé třídy komunikací na základě rešerše technických norem, zkušeností z předchozích projektů a namátkovou verifikací na základě leteckých snímků. Zbytkové plochy po oddělení bufferů komunikací byly následně rozděleny základní hexovou sítí. Pro jednotlivé fragmenty byla určena relativní poloha vůči okraji původního polygonu, vůči komunikaci a indikace přítomnosti nebo blízkosti *Budov*. Fragmenty s vhodně zvolenou kombinací popsaných atributů byly zpět agregovány do spojitého celku (viz červeně šrafovaný objekt na *obr. 1*) a byla vyčíslena výměra obsažených *Budov*, tvarový koeficient aj. Nakonec byly získané polygony pomocí experimentálně určených kombinací parametrů vyfiltrovány a rozděleny na potenciálně UA prvky a prvky k začlenění do vrstvy PP.



Obr. 1. Polygon ONP zahrnující jak plošnou oblast s antropogenizovanými plochami (červená šrafa), tak liniový pozemek komunikace (šedá), jež jsou předmětem automatizovaného oddělení

Fig. 1. Other unspecified areas including both the areal feature of anthropogenized area (red hatch) and the pseudo-linear road parcel (grey) subject to automated separation

Trvalý travní porost

Před vytvořením první iterace PP vrstvy byla ověřována hypotéza, že v případě kompaktní zástavby leží budovy vždy na nějaké typicky intravilánové podkladní vrstvě, jako je *Ostatní plocha v sídlech*, *Okrasná zahrada,* park, *Ovocný sad, zahrada* apod. Tento předpoklad se ukázal jako neplatný v případě vrstvy *Trvalý travní porost (TTP)*. Ta sice zahrnuje více či méně udržované travnaté plochy v extravilánu, stejně tak ale vyplňuje drobné proluky v obcích, nebo dokonce tvoří podkladovou vrstvu relativně kompaktně uspořádaných *Budov* v sídlech ve specifických typech krajiny, např. v horských sídlech. Příklad takového sídla ukazuje *obr. 2*, kde je patrné, že paušální zařazení *TTP* mezi přírodní prvky by v těchto lokalitách vedlo k nepřípustnému rozdrobení a následně vyřazení urbanizovaných ploch, které ve skutečnosti tvoří poměrně kompaktní centrum obce. Proto byly z vrstvy *TTP* vyňaty významné výřezy 20 m okolí *Budov*, kdy kritériem pro výběr byla plocha nad 0,25 ha, přítomnost alespoň tří budov a kontakt nebo alespoň blízkost objektů z vrstev *Ostatní plocha v sídlech*, plošné *ONP* s budovami či polygony komunikací vyčleněné z *ONP*. Zbylé plochy *TTP* byly následně převzaty do první iterace vrstvy PP.

Obr. 2. Významné výřezy TTP (sytě žlutá) pro začlenění do významných urbanizovaných území; světle žlutě je volný travní porost a šrafovaně nevýznamné výřezy s roztroušenou zástavbou

Fig. 2. Significant clipped areas of permanent grassland (deep yellow) for inclusion in urbanized areas; light yellow is open grassland and shaded insignificant clipped areas with scattered settlements

Tab. 3. Výběr podkladových vrstev nebo jejich částí pro první iteraci vrstvy PP
Tab. 3. Selection of base layers or their subsets for the first iteration of the Natural Feature layer

Podkladová vrstva	Kategorie / výřez
Ovocný sad, zahrada	kat. Ovocný sad a Ostatní trvalá kultura
Orná půda a ostatní dále nespecifikované plochy	kat. Orná půda
ONP komunikace	polygony komunikací vydělené z ONP
ONP plochy bez budov mimo komunikace	plochy vydělené z ONP
ONP LPIS	průnik ONP a LPIS bez budov
Trvalý travní porost ostatní	TTP bez významných výřezů kolem budov
Lesní půda se stromy	
Lesní půda s křovinatým porostem	
Lesní půda s kosodřevinou	
Chmelnice	
Vodní plocha	
Povrchová těžba, lom	
Úložné místo	

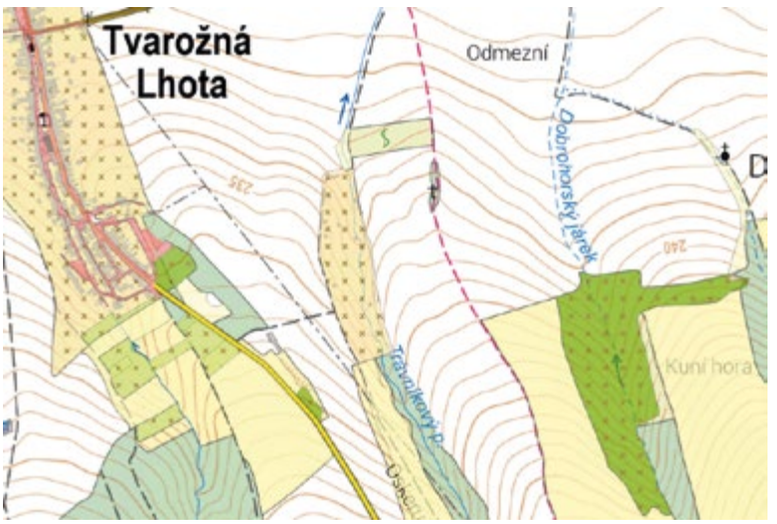
Okrasné parky a zahrady

V třetím kroku byla nejprve vytvořena první iterace polygonové vrstvy PP, do níž byly začleněny buď celé třídy prvků, nebo jejich výřezy dle *tab. 3*. Následovalo poměrně komplexní zpracování objektu *Okrasný park, zahrada* (dále jen *Parky*), který bohužel neobsahuje žádné relevantní vnitřní atributy a zahrnuje zejména intravilánovou sídlištní zeleň, ale i větší udržované areály příměstské zeleně, jako je Průhonický park. Tyto polygony nezřídka obsahují více i méně významné budovy, a to izolované i ve skupinách, stejně jako řadu vnitřních ostrovů (zejména vodní plochy), jež komplikují prostorové analýzy a rozhodování o zatřídění objektu do UA nebo PP, jak ilustruje *obr. 3*. Nejprve jsou z *Parků* vyčleněny polygony potenciálně přírodní (*P_Park)*, pokud jejich společný obvod s PP tvoří alespoň 2/3 vnějšího obvodu (bez zahrnutí vnitřních ostrovů). Vzniká tak druhá iterace PP. Z potenciálně sídelních *Parků* (*U_Park*) jsou provedeny výřezy 75 m okolí významných budov a *Zámků*. Kvůli častým přesahům do sousedních polygonů jsou izolovány jen ty části, které jsou v přímém kontaktu s budovami nebo v blízkosti *Zámku,* a zanedbány jsou ty výřezy, jež tvoří izolované ostrovy uvnitř původních *U_Parků*. Malé odřezky *U_Parků* nebo odřezky bez kontaktu s PP jsou zpět přičleněny k výřezům kolem Budov. U velkých odřezků a těch sousedících s PP je spočtena délka vnějšího obvodu (opět bez vnitřních ostrovů) a podíl tohoto obvodu společného s PP, k nimž jsou dočasně započteny i golfové areály (kategorie vrstvy *Areál účelové zástavby*). Společný obvod je přitom určen pro PP o 10 m rozšířené, aby byly do sousedství s PP započteny i případy, kdy parky odděluje od extravilánu pouze úzká komunikace (nejčastěji na podkladové vrstvě *Ostatní plocha v sídlech*). Velké odřezky s kontaktem s PP menším než 20 % obvodu jsou pak poslední složkou, která společně s výřezy kolem budov tvoří výsledné *U_Park*. Zbylé prvky spolu s primárně vyčleněnými *P_Parky* jsou připojeny k vrstvě PP a vytvářejí její třetí iteraci.

Obr. 3. Průhonický park jako největší výzva pro zpracování a třídění objektů *Okrasný park, zahrada* (zelené objekty s kružnicemi). Typický přírodní prvek, který má však vysoký podíl společného obvodu se sídelními prvky a obsahuje řadu izolovaných budov a ostrovních objektů; světle zelené části postupují do první verze UA
Fig. 3. Průhonice park as the biggest challenge for processing and sorting *Ornamental parks and gardens* (green objects with circles). A typical natural feature, only sharing a high percentage of perimeter with residential elements and containing a number of isolated buildings and island objects; light green elements were included into the first version of Urban Areas layer

Zahrady

Po zpracování *Parků* bylo provedeno třídění objektů z vrstvy *Ovocný sad, zahrada*, resp. její kategorie *Zahrada* (zbylé kategorie *Ovocný sad* a *Ostatní trvalá kultura* již byly v předchozích krocích začleněny do PP). Z hlediska příslušnosti k UA jde rovněž o nevyhraněnou kategorii, neboť zahrnuje jak pozemky rodinných domů v souvislé zástavbě obcí, tak roztroušené areály příměstských satelitů a vesnic nebo bývalých zahradních kolonií, jejichž funkce se postupně změnila na rezidenční (*obr. 4*). Oproti *Parkům* jde však o řádově jednodušší a kompaktnější objekty, čemuž odpovídal i výsledný přístup pro jejich třídění. Nejprve byly izolovány zahrady neobsahující centroidy významných *Budov* (*Zahrady bez budov*) a jejich prvky s obvodem společným s PP nad 2/3 byly přiřazeny do 4. iterace PP. Opět byly zanedbávány vnitřní ostrovy v rámci polygonů. Ze zbylých *Zahrad bez budov* byly dále vyňaty prvky bez kontaktu s polygony všech *Budov* a s obvodem společným s PP nad 40 % a přiřazeny k PP, čímž vznikla 5. iterace této vrstvy. Zbylé *Zahrady bez budov*, stejně jako všechny zahrady obsahující centroidy významných *Budov*, postoupily do dalšího zpracování jako potenciální UA prvky.



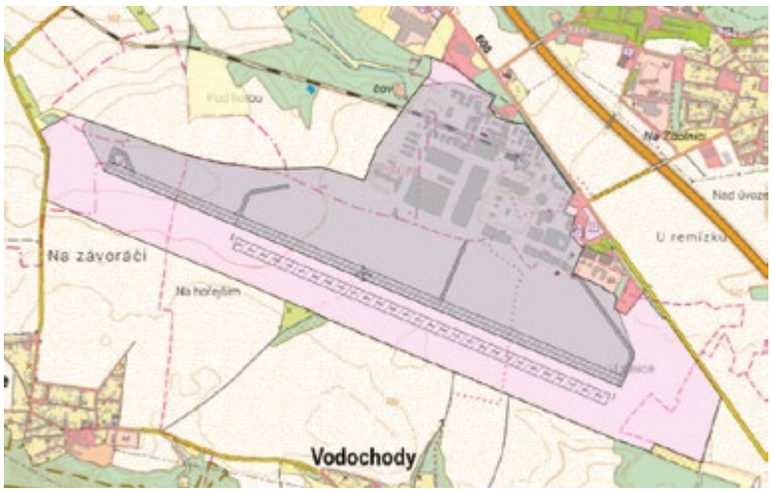
Obr. 4. Vrstva *Ovocný sad, zahrada* (objekty s křížky) obsahuje sady (světle zeleně) zařazené do *Přírodních prvků* a *zahrady* rozlišené podle přítomnosti *Budov* k zařazení do PP (tmavě zeleně) nebo UA (okrově)
Fig. 4. The layer *Orchards and gardens* (objects with crosses) consists of orchards (light green) classified as *Natural Feature* and *Gardens* differentiated according to the built-up area to be classified as NF (dark green) or UA (ochre)

Třídění jednoduchých objektů

V dalším kroku bylo provedeno poměrně přímočaré třídění řady objektů čistě na základě společného obvodu s PP, kdy prvky s podílem přírodní hranice nad 66 % (ve speciálním případě 50 %) byly vyřazeny z potenciálních UA prvků a začleněny do další iterace vrstvy PP. Takto zpracovány byly objekty: *Vinice, Hřbitov, Rozvodna, transformovna, Elektrárna, Skládka, Parkoviště, odpočívka* a *Přečerpávací stanice produktovodu*. V případě *Elektrárny* bylo nezbytné předchozí sloučení dle jejich typu kvůli občasnému výskytu více sousedních objektů. Na uvedené prvky navazovalo o něco komplexnější zpracování objektů z vrstvy *Letiště*, aby byly rozlišeny případy malých extravilánových letišť s malým množstvím objektů a často přírodními vzletovými drahami od větších letišť s komplexní infrastrukturou a značným stupněm antropogenizace ploch, jako je např. případ letiště Vodochody na *obr. 5*. Nejprve byla na základě atributu v objektu *Osa letištní dráhy* přiřazena informace o typu povrchu k objektům *Obvod letištní dráhy*. Poté byl proveden výřez polygonů *Letiště* ve 40m okolí veškerých *Budov* včetně objektů *Kůlna, skleník, fóliovník, přístřešek*. Kolem těchto výřezů a zpevněných letištních drah je vymezena konvexní obálka, kterou je extrahována část původních polygonů *Letiště*. Malé odřezky jsou spojeny se sousedními polygony. Velké odřezky (často téměř celá letiště) jsou považovány za přírodní prvky a připojeny do nyní již 13. iterace vrstvy PP. V další, 14. iteraci jsou antropogenizované výřezy letišť finálně roztříděny na UA a PP prvky, tentokrát však s přísnějším kritériem podílu přírodního obvodu alespoň 80 % a s limitem plochy do 10 ha pro zařazení objektu do PP.

Tab. 4. Skupiny typů zástavby v objektu Areál účelové zástavby s odlišným zpracováním
Tab. 4. Specific treatment for groups of development types in the object Functional development area

Nepodmíněně urbanizovaná území *zařazeno do UA*	Areál zámku; autobusové nádraží; další zdravotní a sociální zařízení; depo; dřevozpracující a papírenský průmysl; hasičská stanice, zbrojnice; hřiště; hutnický průmysl; chemický průmysl; kasárna a vojenské objekty; klášter; koupaliště; kulturní objekt ostatní; letní scéna; muzeum; nemocnice; ostatní nerozlišený průmysl; plavecký areál; policejní areál; polygrafický průmysl; potravinářský průmysl; průmysl skla, keramiky a stavebních hmot; přístav; skanzen; sklad; hangár; skleníkové pěstování plodin; skupinové garáže; stadion; strojírenský průmysl; škola; školské zařízení; technické služby; textilní, oděvní a kožedělný průmysl; věznice; vodojem zemní; výstaviště; zábavní park.
Podmíněně urbanizovaná území *výřezy a dle okolí*	Auto-moto-cyklo areál; botanická zahrada; camping; golfový areál; chatová kolonie; meteorologická stanice; rekreační zástavba; úpravna vody; zoo, safari.
Ostatní typy *tříděno dle okolí*	Areál hradu (zřícenin); archeologické naleziště; čerpací stanice pohonných hmot; čistírna odpadních vod; dostihový areál, parkur; hlubinná těžba; hvězdárna; chov hospodářských zvířat; kostel; kynologické cvičiště; plochy pro SLZ; sportovní areál; střelnice; vysílač; zemědělský areál ostatní.



Obr. 5. Oddělení antropogenizovaných (šedě) a spíše přírodních ploch (růžově) letiště Vodochody
Fig. 5. Separation of anthropogenized (grey) and rather natural areas (pink) of Vodochody Airport

Areál účelové zástavby

Četná úskalí skýtalo zpracování vrstvy *Areál účelové zástavby*. Tato vrstva obsahuje velké množství ploch různého užití specifikovaného v atributovém poli *typzast*. Celkem 61 typů zástavby bylo rozděleno do tří skupin dle *tab. 4*, s nimiž se následně zacházelo odlišným způsobem. U tzv. podmíněně UA prvků byly provedeny výřezy okolí 100 m od významných budov. Tyto výřezy byly připojeny k jednoznačným, tedy nepodmíněně UA kategoriím. Ostatní typy a plošně významné odřezky podmíněných kategorií byly nakonec roztříděny mezi PP a UA prvky na základě poměru přírodního vnějšího obvodu, přičemž pro určení společného obvodu byly PP rozšířeny o 10 m kvůli potlačení umělého oddělení komunikacemi, resp. úzkými polygony *Ostatních ploch v sídlech* (na *obr. 6* zvýrazněné červeně).

Obr. 6. Separace antropogenizované části botanické zahrady (oranžově) od ploch přírodního charakteru (šrafovaně) z polygonu *Areál účelové zástavby*; modré pozadí je jednou z iterací vrstvy PP
Fig. 6. Separation of the anthropogenized part of the botanical garden (orange) from the areas of natural character (hatched) within the layer of the *Functional development area*; the blue background is an iteration of the Natural Feature layer

Ostatní plocha v sídlech

Jednoznačně nejproblematičtější třídou objektů ZABAGED je vrstva *Ostatní plocha v sídlech* (dále jen *OPS*), jejíž objekty nejenže není možné jednoznačně označit za součást sídel, ale kromě toho komplikují klasifikaci okolních vrstev. Jak je patrné na *obr. 7*, tento objekt navzdory svému názvu zahrnuje i velké množství extravilánových ploch, ale především problematické polygony podél komunikací všeho druhu. Ty je žádoucí odstranit a převést do vrstvy PP, přičemž kvůli jejich obrovskému množství tak nelze činit manuálně. Pro automatizaci procesu byl zvolen podobný přístup jako u *ONP*. V tomto případě nebyly generovány buffer polygony podél komunikací, protože velké množství *OPS* je vedeno okolo liniového objektu *Ulice*, jehož odřezáváním by vzniklo enormní množství problematických případů uvnitř sídel. Vrstva *OPS* tak byla pouze rozdělena pravidelnou hexovou sítí a byly identifikovány hexy, jež obsahovaly dva a více segmentů přírodní hranice *OPS*. Tyto „zdrojové" hexy byly poté iterativně rozšiřovány o své sousedy, dokud vznikající výřez nenarazil na blízkost *Budovy*, potenciální UA objekt nebo na hexy umístěné hlouběji uvnitř plošných částí *OPS*. Výsledné výřezy byly dotříděny na základě geometrických atributů (počet hexů, tvarový koeficient aj.). Celý proces přitom musel být proveden dvakrát s různými měřítky hexové sítě, neboť kromě úzkých polygonů podél ulic a silnic nižší třídy se ve vrstvě *OPS* vyskytují i mnohem širší pruhy kolem nájezdů a přivaděčů dálnic a silnic vyšší třídy, které poněkud nekonzistentně nejsou zařazeny do vrstvy *ONP*. Ani hexy o velikosti 60 m nestačily pro identifikaci všech případů, jako třeba v případě Pražského okruhu před Komořanským tunelem (*obr. 7*). Tyto polygony však byly vyfiltrovány z vrstvy UA v pozdější fázi řešení právě díky úspěšnému odpojení úzkých pruhů *OPS* pomocí popsané procedury.

Obr. 7. Komplexní objekt *Ostatní plochy v sídlech* (červeně) zahrnuje liniové i plošné areály jak v sídlech, tak v extravilánu; nežádoucí prvky liniového charakteru podél různých druhů komunikací, odstraněné automatizovaným procesem, jsou zvýrazněny černě
Fig. 7. The complex object *Other areas in settlements* (red) includes linear and areal features both within and outside of settlements; unwanted linear features along various road types, removed by automated process, highlighted in black

Železniční stanice a kolejiště

Jako poslední podkladové vrstvy polohopisu byly zpracovány objekty tříd *Areál železniční stanice, zastávky* (dále jen *Areál zastávky*) a *Kolejiště*. Kvůli jejich častému, ale ne vždy současnému výskytu a specifickému charakteru obou objektů i jejich polohy vůči sídlům byly tyto vrstvy zpracovány mírně odlišnými postupy. Nejprve byly provedeny výřezy *Areálu, zastávky* v blízkosti 50 m kolem objektů z vrstev *Budovy, Stavební objekt zakrytý* a *Kůlna, skleník, fóliovník, přístřešek*. Zbylé větší odřezky v kontaktu s PP byly přeřazeny do této vrstvy a výřezy kolem objektů byly do UA vrstvy zařazeny pouze tehdy, pokud měly kontakt s některým z dříve identifikovaných UA objektů, bez uvážení *Kolejišť*. Takto byly vyřazeny *Areály, zastávky* izolované dále od sídel. Jako poslední byly zpracovány objekty *Kolejiště*, na něž byl použit podobný přístup s využitím hexů jako v případě *OPS*.

Čištění urbanizovaných území a zacelování proluk

Po úpravě a roztřídění všech podkladových vrstev polohopisu ZABAGED byly objekty identifikované spíše jako sídelní agregovány do první hrubé verze vrstvy *urbanizovaných území*, a to jak ve variantě MERGE, tak ve scelené variantě DISSOLVE. Vedle ní existovala poslední iterace vrstvy PP, rovněž v dělené i scelené variantě. Společně beze zbytku a bez překryvu pokrývaly celé řešené území. Jak je patrné na *obr. 8*, první verze UA (oranžově) vykazuje několik nedostatků a komplikací pro vymezení smysluplných hranic urbanizovaných území. Zejména jde o nežádoucí rozdělení UA celků vodními toky tam, kde nemají již pouze liniovou reprezentaci, ale i příslušný polygon ve vrstvě vodní plochy. Dále první iterace UA vrstvy obsahuje velké množství proluk – vnitřních ostrovů různých velikostí. Tuto skutečnost dokládá více než 36 tisíc polygonů ve vrstvě PP, z nichž přes 33 tisíc nepřesáhlo plochu 1 ha.

Obr. 8. První hrubá verze vrstvy UA s přerušením vodními toky a řadou proluk
Fig. 8. First incomplete version of the UA layer with sub-areas separated by watercourses and with a number of gaps

Před provedením jakékoli filtrace polygonů UA objektů bylo nejprve nutné zbavit se přerušení vodními toky. Proto byl proveden dvojitý buffer obálek UA prvků o 40 m ven a 50 m zpět, odebrána plocha původních UA prvků a v prostoru výsledných polygonů nad 0,25 ha byly vyňaty „liniové" polygony tekoucích vodních ploch, komunikací z vrstvy *ONP*, pruhů *OPS* a fragmenty *Kolejišť*, které byly dříve zařazeny do vrstvy PP a přeneseny do druhé iterace vrstvy UA.

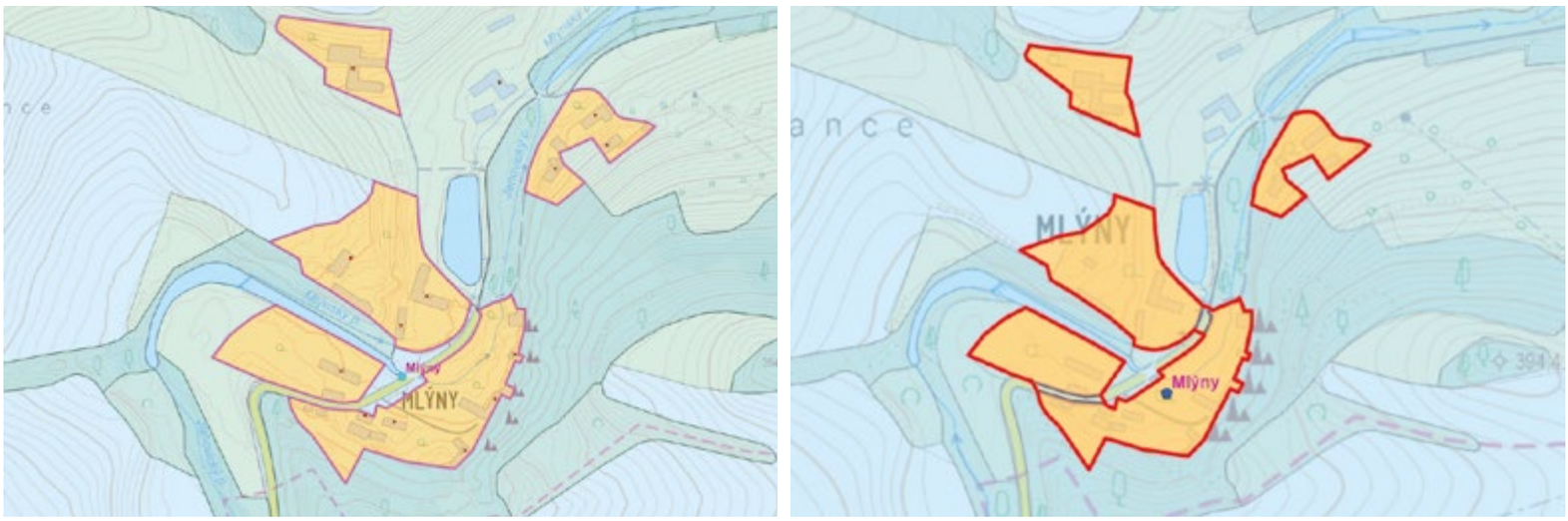
Vzhledem k dříve uvedeným definicím intravilánu a zastavěného území bylo dále přikročeno k řízenému zacelování proluk v následujících krocích:

- V rámci proluk do 5 ha byly potenciálně sídelní prvky z vrstvy PP přesunuty do UA.
- Prvky všech kategorií PP uvnitř proluk do 1 ha přesunuty do UA.
- Prvky všech kategorií uvnitř proluk do 5 ha ve vzdálenosti větší než 40 m od ostatních PP přesunuty do UA.

Po uvedeném zacelování proluk, zejména vlivem odstranění „liniových" přerušení vodními toky, mírně klesl počet UA polygonů na cca přes 97 tisíc. Zacelením menších proluk však dramaticky klesl počet polygonů PP, a to z původních 36 tisíc na pouhých 1 120 prvků.

Filtrování významných UA

Jak je patrné z *obr. 8*, odvozená vrstva UA obsahuje množství drobných samostatných polygonů mimo hlavní sídla. Tyto plochy mají oproti velkým souvislým urbanizovaným územím zanedbatelný vliv na hydrologii území, proto bylo přikročeno k jejich odfiltrování. V prvním kroku byla provedena filtrace UA prvků významných z hlediska správních celků.



Obr. 9. Vlevo oddělené polygony urbanizované plochy obce Mlýny s definičním bodem mimo odvozené hranice; vpravo polygony spojené nástrojem *Aggregate polygons* a po korekci polohy definičního bodu

Fig. 9. On the left, separated polygons of the urban area of the Mlýny village with the definition point outside the derived settlement boundaries; on the right, polygons connected by the Aggregate polygons tool and after definition point correction

Pro stanovení významných UA byla kromě aspektu rozlohy brána v úvahu existence definičního bodu sídla. V rámci ZABAGED jsou k dispozici dva bodové objekty *Definiční bod správního celku* a *Definiční bod části obce*. První z nich se ukázal jako příliš konzervativní, příliš mnoho kompaktních UA významných obcí by bylo vyřazeno, proto byl použit druhý, podrobnější objekt. I tento objekt vykazoval drobné vady, zejména polohovou nepřesnost – řada bodů se nacházela zřetelně mimo vymezené hranice UA. Jelikož jde o převzatou bodovou vrstvu, byl místo ZABAGED použit původní, kompletnější, datový zdroj – vrstva *Část obce* z databáze RÚIAN. I zde byly nalezeny prostorové nepřesnosti, kdy některé definiční body ležely zcela mimo vymezená území UA s chybou v řádu i stovek metrů. U bodů s větší chybou (vzdáleností od objektů vrstvy UA) byly proto nutné manuální korekce polohy bodů.

Druhou komplikaci pro filtrování nevýznamných UA ilustruje *obr. 9*. Některá jinak kompaktní sídla a dostatečně významná na to, aby měla vlastní definiční bod, se z hlediska vrstvy UA skládala z několika nesouvislých, ale blízkých polygonů, neboť zde v podkladových datech ZABAGED nebyl vymezen jinak běžně používaný objekt *Ostatní plocha v sídlech*. Proto byl před filtrací aplikován nástroj Aggregate polygons s prahovou hodnotou 40 m, který spojil polygony bližší než uvedená prahová hodnota. Dodatečně musely být zaceleny všechny nově vzniklé vnitřní ostrovy PP do 1 ha rozlohy, jež vznikly v důsledku spojování blízkých UA polygonů.

Pro závěrečnou filtraci byly na základě analýzy velikosti a prostorových vztahů všech doposud definovaných UA zvoleny dvě prahové hodnoty, a to 1 ha (plocha dvou fotbalových hřišť) a 5 ha. Všechny osamělé UA prvky s výměrou do 1 ha byly označeny za nevýznamné a přesunuty do vrstvy PP. Všechny UA prvky s výměrou nad 5 ha jsou považovány za významné, a to i bez přítomnosti *Definičního bodu části obce*, díky čemuž jsou zachovány i rozsáhlé logistické parky a skladové areály. Výjimečné případy např. v podobě roztroušených vojenských objektů na lesních pozemcích chybně v ZABAGED vedených jako ONP byly i přes svou velikost nad 5 ha vyřazeny. V kategorii mezi 1 a 5 ha jsou v současné fázi řešení projektu (probíhá validace metodiky) za významné považovány ty polygony UA, jež splňují alespoň jednu z následujících podmínek:

- Obsahují definiční bod *Části obce*.
- Na jejich území se vyskytuje dominantní stavba (kostel, zámek atp.).
- Protínají se s vrstvou kanalizace z Digitální technické mapy.
- V jejich blízkosti (do 100 m) se vyskytuje bod evidence vypouštění (ČOV).
- Protíná je silnice 1. třídy nebo dálnice.

ZÁVĚRY

Článek prezentoval metodiku vymezení hranic *významných urbanizovaných území (intravilánů)* primárně pro účely hydrologických analýz s využitím českých otevřených dat ZABAGED. Výsledné datové sady přírodních prvků a urbanizovaných území budou veřejně přístupné na portálu rain.fsv.cvut.cz, a doplní tak srážková a půdní data poskytovaná pro účely hydrologického modelování. Data UA budou přitom poskytována ve dvou variantách. První je čistá verze v podobě výše prezentovaného finálního produktu významných UA, druhá představuje širší variantu zahrnující rovněž všechny původně definované UA plochy o velikosti 1–5 ha. Tyto vrstvy jsou určeny primárně pro hydrologické analýzy, především ve vztahu k hodnocení rizik ze strany povrchového odtoku a pluviálních (přívalových) povodní.

Kritéria pro filtraci drobných urbanizovaných ploch mezi 1 a 5 ha se mohou v budoucnu mírně vyvíjet především v souvislosti s postupným plněním Digitální technické mapy, která zatím není pro celé území kompletní, ale je deklarován její intenzivní rozvoj. Autoři jsou si rovněž vědomi, že automatické procedury a jejich parametry byly nastaveny a ověřeny na omezeném území a za reportování nalezených nedostatků uživateli budou vděční.

Ohrožení jednotlivých UA pluviálními povodněmi a půdní erozí, ale z druhé strany i možné dopady odvodnění těchto území na stav vodních toků souvisejí s využitím okolních přírodních ploch, jejich morfologií a technickými prvky (příkopy, cestní síť atp.), které ovlivňují trasu soustředěného povrchového odtoku. Důležitou roli hrají též charakteristiky samotných urbanizovaných území, jako je podíl a konektivita propustných a nepropustných ploch nebo stav technické infrastruktury sídel. Právě korektní prostorové vymezení *významných urbanizovaných území* je nezbytnou počáteční podmínkou pro hodnocení těchto aspektů, jež je předmětem navazujících výzkumných aktivit.

Poděkování

Článek vznikl díky projektu č. SS06010386 „Adaptace urbanizovaných území na přívalové povodně a sucho" podpořeného Technologickou agenturou ČR.

Literatura

[1] BAUER, M., DOSTÁL, T., KRÁSA, J., JÁCHYMOVÁ, B., DAVID, V., DEVÁTÝ, J., STROUHAL, L., ROSENDORF, P. Risk to Residents, Infrastructure, and Water Bodies from Flash Floods and Sediment Transport. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019, 191(2), 85. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/s10661-019-7216-7

[2] ROSENDORF, P., DOSTÁL, T., KRÁSA, J., HANEL, M. a kol. *Metodika stanovení území potenciálně ohrožených dopady přívalových srážek spojených s erozí půdy při zohlednění očekávané změny klimatu. Certifikovaná metodika.* Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., 2016. 58 s. Certifikováno Ministerstvem zemědělství ČR pod č. j. 30205/2016-MZE-10052. ISBN 978-80-87402-35-6.

[3] Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK). *Katalog objektů ZABAGED®* [on-line]. Praha: ČÚZK, průběžně aktualizováno [cit. 2025-05-12]. Dostupné z: https://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/ZABAGED_katalog/CS/

[4] KOŽÍN, R., VIZINA, A., KAVKA, P., STRÁNSKÝ, D., STROUHAL L., HANEL, M., MÁCA, P., STRNAD, F., ŠTĚPÁNEK, P., BERNSTEINOVÁ, J., FISCHER, M., METELKA, T. *Odborná zpráva o řešení projektu SS06010386 – Adaptace urbanizovaných území na přívalové povodně a sucho. Průběžná zpráva za rok 2024.* Praha, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., 2024. 79 s. Neveřejný interní dokument projektu č. SS06010386.

[5] KUBEŠ, M. a kol. *Metodika identifikace a klasifikace území s urbanistickými hodnotami* [on-line]. 1. vyd. Praha: Národní památkový ústav, 2015 [cit. 2025-05-29]. Dostupné z: https://www.npu.cz/cs/e-shop/18517-metodika-identifikace-a-klasifikace-uzemi-s-urbanistickymi-hodnotami

[6] Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK). *RÚIAN – výstupní data ve výměnném formátu (VFR) [geografická data]*. Praha: ČÚZK, 2024. Dostupné z: https://vdp.cuzk.cz/vdp/ruian/vymennyformat

[7] Ministerstvo zemědělství ČR. *Veřejný registr půdních bloků LPIS* [on-line]. Praha: Ministerstvo zemědělství, [cit. 2024-09-06]. Dostupné z: https://mze.gov.cz/public/portal/mze/farmar/LPIS/export-lpis-rocni-shp

Autoři

Ing. Luděk Strouhal, Ph.D.[1, 2]
✉ ludek.strouhal@fsv.cvut.cz
ORCID: 0000-0002-3979-4894

doc. Ing. Petr Kavka, Ph.D[1]
✉ petr.kavka@fsv.cvut.cz
ORCID: 0000-0002-6511-9518

[1]České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Praha (Česká republika)
[2]Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.05.002

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

WHERE DOES A SETTLEMENT END? DEFINING URBAN AREAS FOR MORE THAN JUST RUNOFF ANALYSES

STROUHAL, L.[1, 2]**; KAVKA, P.**[1]

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

Keywords: urban areas — runoff analyses — spatial data sources — ZABAGED

The article presents a methodology for the spatial delineation of significant urban areas in the Czech Republic, primarily for the purposes of hydrological analyses and flash flood risk assessments. First, the definition of urban areas was refined in relation to existing terminology, followed by the development of a comprehensive procedure for creating layers of urban and natural features using the planimetric layers of the Fundamental Base of Geographic Data of the Czech Republic supported by additional open data sources. The methodology includes hierarchical classification and concurrent geometric processing of selected topographic layers, as well as subsequent cleaning and filtering of the final polygons of both urban areas and natural features. The result is a dataset of significant urban areas that supports better evaluation of runoff processes in their neighbourhood and analysis of their internal structure, providing a starting point for designing and assessing adaptation measures. The outputs will soon be publicly available for further hydrological applications and research.

Foto: 123rf.com

Foto: J. Unucka

Autoři VTEI

RNDr. Dana Baudišová, Ph.D.

Státní zdravotní ústav, Praha (Česká republika)
✉ dana.baudisova@szu.cz
www.szu.cz

RNDr. Dana Baudišová, Ph.D., v roce 1988 ukončila obor Obecná biologie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy a v roce 2000 na téže fakultě doktorandské studium mikrobiologie. Od roku 1993 pracovala 23 let ve VÚV TGM, v. v. i., kde se zabývala mikrobiologií vody (metody mikrobiologických analýz, mikrobiální kontaminace povrchových a odpadních vod, výzkum mikrobiálního znečištění, jeho zdrojů a eliminace). Od roku 2017 pracuje v oddělení hygieny vody Státního zdravotního ústavu se zaměřením na mikrobiologii pitných, koupacích a recyklovaných vod.

RNDr. Josef K. Fuksa, CSc.

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

RNDr. Josef K. Fuksa, CSc., vystudoval hydrobiologii na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze (1968). Kandidátskou disertaci obhájil v Hydrobiologické laboratoři BÚ ČSAV (1982). V letech 1969–1989 pracoval v n. p. Stavební geologie jako vedoucí mikrobiologické laboratoře, od roku 1989 je zaměstnancem VÚV TGM, v. v. i. Zabývá se jakostí vody a transformací znečištění v řekách a antropogenními tlaky na povrchové vody. Vede kurzy Mikrobiální ekologie vody a Ekologie tekoucích vod na PřF UK, je vedoucím pracovní skupiny „Voda" Výboru pro krajinu, vodu a biodiverzitu Rady vlády pro udržitelný rozvoj.

Ing. Martin Králík, Ph.D.

ČVUT v Praze (Česká republika)
✉ martin.kralik@fsv.cvut.cz
www.fsv.cvut.cz

Ing. Martin Králík, Ph.D., je zaměstnancem Katedry hydrotechniky Fakulty stavební ČVUT v Praze od roku 2005, a to jako odborný asistent. Vystudoval obor Vodní hospodářství a vodní stavby na Fakultě stavební ČVUT v Praze. Jako hlavní řešitel nebo člen řešitelského týmu se podílí či podílel na řešení několika výzkumných projektů v oboru fyzikálního modelování.

Ing. Luděk Strouhal, Ph.D.

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

Ing. Luděk Strouhal, Ph.D., vystudoval magisterský a doktorský program Inženýrství životního prostředí na Fakultě stavební ČVUT v Praze, doktorskou práci obhájil v roce 2017. V rámci doktorského studia působil šest měsíců na švýcarské Univerzitě Curych. Od roku 2017 je zaměstnancem oddělení hydrologie ve VÚV TGM, v. v. i. Na ČVUT působí nadále jako vědecký pracovník a spoluřešitel řady projektů. Specializuje se na modelování hydrologie a erozních jevů v malých povodích a na experimentální činnost. Podílí se na řešení projektů *„Adaptace urbanizovaných území na přívalové povodně a sucho"*, *„PERUN"* a dalších.

Foto: MSID, a. s.

Rozhovor s Mgr. Petrem Birklenem, generálním ředitelem Povodí Odry

Začátkem března tohoto roku se stal generálním ředitelem státního podniku Povodí Odry. Jak dlouhá byla cesta na tento post a co pro něj znamená? Jak se vypořádal s následky povodní v roce 2024 a jak zvládá boj proti dezinformacím? A bude konečně vybudována již mnoho let diskutovaná přehrada Nové Heřminovy? Na naše otázky odpovídá Mgr. Petr Birklen.

Pane řediteli, vystudoval jste obor Systematická biologie a ekologie se zaměřením na hydrobiologii na Univerzitě Palackého v Olomouci. Co bylo impulzem, respektive co vás přivedlo k tomuto oboru?

Už jako kluk jsem byl fascinován dvěma fenomény: světem živých organismů – jak celý komplexní systém funguje – a pak zcela konkrétně lidským tělem. Když jsem se na gymnáziu rozhodoval, jakou cestu po maturitě zvolím, vyhrálo studium medicíny. Jsem ale z generace tzv. Husákových dětí a počty zájemců o studium nejen medicíny byly tehdy omračující, což nakonec v kombinaci s mými trochu rebelskými roky vedlo k tomu, že jsem se na žádnou školu nedostal. To byla tvrdá, ale jak čas ukázal, i docela užitečná rána. Jakousi náhodou jsem narazil na nově otevírané pomaturitní studium v Ostravě, které se zaměřovalo na aplikovanou ekologii. Bylo mi to blízké, tak jsem to zkusil s tím, že ten rok alespoň využiju k intenzivní přípravě na další přijímací zkoušky. Nakonec se mé rozhodnutí ukázalo jako skvělá volba. Ten obor totiž tehdy teprve začínal, moc se o něm nevědělo a studentů tam bylo jenom pár. Vyučujícími byli tenkrát přednášející z Katedry biologie a ekologie Přírodovědecké fakulty Ostravské univerzity. Tam jsem se setkal s osobnostmi jako třeba se Zdeňkem Ďurišem, Zdeňkem Majkusem, Jaroslavem Ašmerou nebo Alešem Dolným, kteří k nám měli naprosto fantastický přístup. Navíc tím, jak nás bylo málo, vznikla skvělá parta a zažili jsme i spoustu legrace. Tato krátká, ale intenzivní zkušenost se nakonec stala zásadním impulzem k tomu, že další přihlášku jsem si po roce

dal rovnou na obor Systematické biologie a ekologie. Studium jsem začínal na Ostravské univerzitě, takže jsem de facto pokračoval se stejnými pedagogy. Magisterský titul jsem si pak dodělal v Olomouci na Palackého univerzitě.

Po dokončení studií jste – s malou přestávkou – více než osm let působil jako vedoucí regionálního pracoviště AOPK v Ostravě. S jakými „postudijními“ ambicemi jste na tuto pozici nastupoval? Vzpomenete si na svůj první projekt?

AOPK pro mne sice byla po škole meta, ale nakonec to nebyla moje první pracovní zkušenost. Čekala mne civilní služba a já jsem si dal za cíl dělat to, co nebude úplně ztráta času a bude to užitečné pro moji další profesní dráhu. Tehdy jsem přišel na středisko AOPK v Olomouci a ptal jsem se, jestli by mne nevyužili jako civilkáře. Vedoucí Jirka Šafář mne sice trpělivě vyslechl, ale řekl mi, ať přijdu, až budu mít po civilní službě. Takže na AOPK jsem musel zapomenout, nicméně v novinách jsem našel inzerát informující o výběrovém řízení na vodohospodářského technika v Českém rybářském svazu v Ostravě. Drze jsem se tam vypravil s tím, že pokud mne vezmou, musejí mi tam nejdříve umožnit absolvovat civilní službu, což bylo, jak jsem si zjistil, na rybářském svazu možné. A oni mne skutečně vzali! Ačkoli to tehdy nebylo zcela dle pravidel civilní služby, rovnou jsem tam mohl vykonávat i práci na inzerované pozici. Tím se můj záměr naplnil a já tam nakonec zůstal ještě další dva roky jako zaměstnanec. Zmiňuji to hlavně proto, že pro mou další kariéru to byla zcela zásadní zkušenost. Tam jsem se ponořil do vodohospodářské praxe a díky spravovanému území, jež zahrnovalo celé povodí Odry a částečně i Moravy, jsem dost detailně poznal nejen hydrografickou síť v území, ale i místní specifika. Zde se také odehrálo jedno z mých důležitých profesních setkání, a sice s docentem Milanem Jařabáčem, lesnickým a vodohospodářským výzkumníkem, jenž byl tehdy členem orgánů svazu. S ním jsem absolvoval nespočet terénních výjezdů, jednání se správci toků a projektanty, čímž jsem si v podstatě doplnil i vodohospodářské vzdělání. Těch několik let naší spolupráce byla opravdu velká škola. Až po této první pracovní zkušenosti přišla nabídka pracovat v AOPK, ve středisku v Ostravě. Při řešení revitalizace řeky Jičínky mne tehdy oslovil vedoucí střediska Vladimír Mana, jestli bych jim nepomohl s vyhlášením národní přírodní památky Skalická Morávka a nepřipravil podklady pro plán péče. Tento projekt se tedy stal zároveň i mým prvním projektem v AOPK, který jsem začínal ještě jako externí spolupracovník. Záhy jsem byl do AOPK přijat na místo zoologa a ještě dřív, než jsem se stihl v této roli rozkoukat, jsem byl jmenován do funkce vedoucího pracoviště v Ostravě. To byl pro mne velký skok. I v AOPK jsem se pak věnoval hlavně vodě, revitalizacím toků a zprůchodňování migračních bariér.

Vaše profesní působení je spojené i se soukromým sektorem. Přes pět let jste pracoval ve společnosti Ekotoxa, s. r. o. Jak moc jste vnímal tuto změnu ve srovnání s vašimi dosavadními profesními zkušenostmi?

Kdo takovou změnu zažil, jistě potvrdí, že rozdíl mezi světy veřejného a soukromého sektoru je opravdu značný. I když měla Ekotoxa vždy i výzkumné ambice a byla primárně orientována na podporu veřejné správy, stále šlo o „eseróčko“, co se musí na trhu uživit primárně ze zakázek, a to není v oboru environmentálního poradenství vždy úplně jednoduché. Já byl do té doby zvyklý pracovat s přiděleným rozpočtem a nemusel jsem se až tak starat o to, kde na výdaje vezmu peníze a jak zaplatím lidi. Najednou to pro mne jako výkonného ředitele byl denní chleba a bylo nezbytné chápat znalosti a zkušenosti jako kapitál, o který buď na trhu aktuálně zájem je, nebo není. Když to zjednoduším, tak to na jedné straně znamená neustálé přemýšlení o nových produktech podle poptávky nebo konkurence a na druhé straně cashflow, tedy stabilní přísun peněz do firmy. Myslím, že se nám za tu dobu spolupráce pár věcí podařilo, zejména v oblastech, jímž jsem se věnoval i předtím, třeba na Ministerstvu životního prostředí. Rozjel jsem produkty, jako je Strategie adaptace měst na změny klimatu nebo Územní studie krajiny, které jsme pomáhali Ministerstvu pro místní rozvoj metodicky i realizací pilotního projektu nastavit. Za mého působení jsme byli docela úspěšní i ve výzkumné oblasti a podařilo se nám získat několik výzkumných projektů podpořených Technologickou agenturou ČR.

Následujících zhruba pět let vašeho profesního života bylo spojeno s regionální rozvojovou agenturou Moravskoslezské Investice a Development, a. s. (MSID). Během několika měsíců jste se tak z pozice experta na životní prostředí vypracoval až do vedení společnosti se zodpovědností za úspěšné realizace projektů. Na jaké projekty jste pyšný a jaké se naopak nepodařilo realizovat?

Bezesporu jsem hrdý na ten první, jehož řízení mne vlastně do MSID přivedlo. Je jím desetiletý integrovaný projekt LIFE COALA, který jsem vymyslel s kamarádem a následně připravil i žádost o podporu jeho financování. Moravskoslezskému kraji a dalším dvanácti partnerům se na něj podařilo získat dotaci z programu LIFE ve výši bezmála deseti milionů eur, což je šedesát procent celkových nákladů. Tento projekt stále běží a dodnes je teprve druhým integrovaným projektem programu LIFE v ČR a prvním realizovaným pouze na regionální úrovni. Věřím, že Moravskoslezskému kraji pomůže posílit jeho klimatickou odolnost a podpoří i celkovou transformaci našeho uhelného regionu. Jsem ale hrdý také na rozvojový program POHO 2030, který jsem s týmem vybudoval na základě Koncepce rozvoje pohornického území na Karvinsku vytvořené mými předchůdci. Z tohoto programu vzešel jako vlajková loď nakonec jeden ze strategických transformačních projektů Moravskoslezského kraje – POHO Park Gabriela. Ten řeší přeměnu bývalého černouhelného dolu, dnes kulturní památky, na kulturně-vzdělávací centrum Karvinska. Projekt získal stavební povolení, má zajištěné financování z Operačního programu Spravedlivá transformace ve výši 400 milionů korun a v příštím roce by se mělo začít se stavebními pracemi. Co se naopak v rámci programu POHO 2030 nepodařilo, je konverze dvou likvidovaných černouhelných dolů na ekonomické zóny. To je pro region velmi potřebné, protože s koncem těžby uhlí odchází z části regionu ekonomická aktivita, kterou je třeba nejen nahradit, ale aktivně vytvářet podmínky pro rozvoj či zasidlování nových a perspektivních odvětví průmyslu. Pokud ale vím, nově založená státní společnost SIRS by tyto předpřipravené projekty MSID měla převzít a pokračovat v nich. Důležité je, že to nebyla marná práce.

Od prvního března letošního roku zastáváte funkci generálního ředitele státního podniku Povodí Odry. Do této pozice jste, jak jste sám poznamenal, nastoupil v důležitém období odstraňování povodňových škod, realizace protipovodňových opatření a naplnění harmonogramu přípravy vybudování vodního díla Nové Heřminovy. Co všechno se podařilo realizovat v otázce odstraňování povodňových škod od doby vašeho nástupu do funkce generálního ředitele?

Bylo by dost nepokorné mluvit po tak krátké době o nějakých zásluhách. Já jsem převzal po svém předchůdci mimo jiné už zahájenou likvidaci povodňových škod včetně harmonogramu na další období, jehož se víceméně držím. Moc v tomto procesu urychlit nelze, chci se zaměřit zejména na eliminaci možných bariér, které by mohly přípravu a následnou realizaci zpomalit. Je to především intenzivní spolupráce se samosprávami i veřejností, zejména vlastníky pozemků v území. Pokud bych to měl vzít postupně, od loňského roku bylo za likvidaci povodňových škod efektivně utraceno kolem 240 milionů korun, což byly prostředky určené především na prvotní zabezpečovací práce všude tam, kde to bylo potřeba, abychom alespoň provizorně zabránili dalším škodám. Částečně jsme se pustili i do obnovy vodohospodářského majetku. Dokončili jsme například obnovu rozplavených hrází v Opavě – Palhanci, v Krnově – Kostelci nebo na soutoku Odry s Opavou v Ostravě. Vzhledem k tomu, že škody jen na vodohospodářském majetku Povodí Odry byly vyčísleny na 6,1 miliardy

korun, stále nás hlavní nápor práce čeká. Aktuálně spolupracujeme na studii obnovy protipovodňové ochrany na vybraných úsecích Opavy a Opavice, kterou zpracovává AOPK. Na její výsledky, které budeme mít do konce července, navážeme projekčními pracemi (*rozhovor vznikal v květnu, pozn. red.*). Leckde, zejména pak na řece Opavě mezi Vrbnem a Novými Heřminovy, půjde pravděpodobně i o změnu celé koncepce protipovodňové ochrany přírodě blízkým způsobem. Na Bělé a Vidnávce sice takové studie nebudou, ale projekční přípravu obnovy budeme konzultovat s AOPK také. Na řadě toků jsme již ryze v naší režii zahájili projekční přípravu obnovy úseků především v zastavěných územích, jichž se zmíněná studie netýká. Zde není zpravidla jiná obnova než v původních parametrech možná. Dále nyní intenzivně dokončujeme dokumentaci k podání žádosti o stavební povolení pro vodní nádrž Nové Heřminovy, včetně dořešení majetkoprávních vztahů. Z komplexu opatření na horní Opavě vedle vlastní přehrady připravujeme také úpravy toků pod přehradní hrází od Zátoru po Krnov. Pro dva úseky již bylo vydáno stavební povolení, pro další dokončujeme dokumentaci. Letos chceme ještě zahájit projektovou přípravu protipovodňových opatření ve městě Krnov, kterou tak po dohodě s městem o několik let urychlíme.

Jaké aktuální projekty protipovodňových opatření jsou nyní ve fázi realizace a u kterých předpokládáte „přestřihávání pásky"?

Na prvním místě musím zmínit protipovodňová opatření v Bohumíně – Pudlově. Stavba za 400 milionů korun by měla být dokončena v roce 2026. Po provedení technických opatření v rámci této stavby budou zastavěné části zájmového území chráněny před zaplavením při povodni do výše průtoku 1555 m^3/s, což nyní odpovídá stoletému ovlivněnému průtoku v řece Odře s bezpečnostním převýšením 0,5 m. Je to také jedna z ostře sledovaných staveb, která zásadním způsobem přispěje k ochraně města Bohumína. V letošním roce budeme pomyslně stříhat pásku na vodním díle Baška, kde prochází rekonstrukcí bezpečnostní přeliv za 130 milionů korun, jenž následně umožní bezpečné a spolehlivé převedení extrémních povodní a odolá účinkům kontrolní tisícileté povodňové vlny. Toto vodní dílo je provozováno v rámci víceúčelové Vodohospodářské soustavy Povodí Odry a svým celkovým objemem nádrže zhruba 1,1 milionu m^3 je nejmenší přehradou v povodí Odry. Koncem roku bude dokončena stavba jezu Ráj – Karviná za 94 milionů korun. Tento jez se nachází v území postiženém důlními vlivy a byl ve stavu, kdy neplnil svou hlavní funkci, tedy zajištění odběru vody. Na financování rekonstrukce se podílí rovněž OKD, které je za škody způsobené důlní činností zodpovědné.

Územní rozhodnutí o přehradě Nové Heřminovy napadla ekologická organizace Děti Země, současně bylo nutné dořešit majetkoprávní vztahy osmnácti majitelů pozemků v katastru obce. Jak se vám daří v této oblasti?

Dnes už rozhodnutí soudu známe. Žaloba spolku Děti Země byla zamítnuta, čímž se odstranila celkem významná nejistota v přípravných pracích na realizaci přehrady. Pro korektnost je však třeba uvést, že je zde stále možnost opravného prostředku, a sice kasační stížnosti k Nejvyššímu správnímu soudu, který ještě může spolek využít. Chci k tomu ale říci, že jedna věc je napadený průběh správního řízení o povolení umístění stavby přehrady, konkrétně způsobu vypořádání vznesených připomínek spolku v napadeném rozhodnutí, a věc druhá je obsah připomínek spolku. Já jsem schopen ovlivnit to, jakým způsobem můžeme s těmito připomínkami pracovat i bez ohledu na aktuální rozsudek. I proto jsem se s panem Patrikem z hnutí Děti Země potkal, abychom připomínky prošli. Dohodli jsme se, že s nimi v rámci dokumentace k povolení záměru, případně následně ve stavebním řízení a realizaci stavby, budeme pracovat. Pokud jde o majetkoprávní vypořádání, s většinou vlastníků jsme se dohodli na podmínkách výkupu nemovitostí. K vyvlastnění dojde pravděpodobně pouze v jednom

Zahájení akce *Ukliďme Česko* na přehradě Slezská Harta. Vlevo na fotografii Petr Birklen, vpravo hrázný Petr Poledna (zdroj: archiv P. Birklena)

případě, u dvou dalších pokračujeme v jednáních, ale již řešíme zcela konkrétní formu nabytí pozemků. Ještě zmíním, že obec Nové Heřminovy zorganizovala 26. dubna referendum, v němž občané vyjádřili souhlas s realizací přehrady i protipovodňových opatření v obci, což otevřelo cestu k dlouholeté blokaci jakýchkoli jednání. S vedením obce jsem v intenzivním kontaktu. Potřebujeme, aby došlo ke změně územního plánu, a začneme chystat i kompenzační opatření pro obec, jejichž příprava se zastavila někdy v roce 2010. Jejich možnou podobu už jsme představili na veřejném slyšení. Zřídili jsme také společnou pracovní skupinu za účasti zástupců obce, občanů i projektanta určenou k dopracování těchto opatření a také ke zlepšení komunikace.

Poslední důležitou věcí, kterou jste při svém nástupu do pozice generálního ředitele vyzdvihl, byla kvalitní komunikace směrem k samosprávám obcí a měst. Jakým způsobem zde pracujete s dezinformacemi?

Ano, to je podle mého názoru zásadní. Není to nějaká líbivá politika, ale zcela klíčová součást činnosti podniku, která může ušetřit hodně komplikací zejména v krizových dobách nebo při prosazování důležitých projektů. Zmíním tady jen základní princip, protože téma je při rozsahu činnosti podniku velmi

široké. Je potřeba si uvědomit, že dezinformace nebo nesprávné informace se šíří v dnešní době velmi snadno, protože jsou často atraktivní ať už svou formou, nebo obsahem. Pokud neexistuje jiná srozumitelná a objektivní alternativa, stává se pro mnohé taková informace jediným zdrojem a šíří se snadno dál. Pak už nezbývá, než se defenzivně bránit, což už je sama o sobě většinou nevýhodná pozice, byť máme oporu v legislativě, v technických standardech nebo třeba v nějakém společensko-kulturním konsenzu. Mým cílem je tedy nastavit úroveň informací o činnostech podniku tak, aby vedla k obecnému povědomí o tom, co děláme a jak z toho populace dlouhodobě těží. Získat si tím veřejnost na svou stranu, abychom v dobách krizí měli na čem stavět a mohli se opřít o určitou míru znalostí, že se věci dějí z nějakého důvodu. Chápu, že takový výklad je příliš obecný, ale mám z předešlých působení s takovými soustavnými kampaněmi zkušenosti. Podrobněji to aktuálně zpracováváme v nové komunikační strategii podniku, na které aktuálně pracujeme a která nám pomůže jak se zacílením, tak s hlavními tématy, jež chceme průběžně komunikovat.

Prozraďte na závěr čtenářům, kde vidíte vaše další působení ve vodním hospodářství.

Nad tím teď opravdu nepřemýšlím. Já mám v současné době jedinou ambici, a to pracovat s plným nasazením pro Povodí Odry, konkrétně na splnění úkolů, kterým se věnuji u předešlých otázek. Vnímám však, že péči o vodní hospodářství je dnes nezbytné systematicky propojovat také s širšími environmentálními aspekty, zejména v kontextu klimatických a dalších globálních výzev. Proto považuji za přirozené své dosavadní zkušenosti a odborné znalosti z této oblasti v rámci své práce dále rozvíjet a uplatňovat.

Pane řediteli, děkuji za čas, který jste věnoval našemu rozhovoru.

Ing. Josef Nistler

Mgr. Petr Birklen

Mgr. Petr Birklen se narodil 27. října 1974 v Opavě. Po maturitě na Mendelově gymnáziu v Opavě studoval na Přírodovědecké fakultě Ostravské univerzity a poté Palackého univerzitě v Olomouci, kde se zaměřil na studium hydrobiologie. Po dokončení studia pracoval deset let v oblasti státní ochrany přírody, kde zastával funkci vedoucího střediska AOPK v Ostravě, ředitele odboru péče o krajinu na MŽP a následně vedoucího Správy CHKO Poodří. Po odchodu ze státní správy byl výkonným ředitelem ve společnosti Ekotoxa, s. r. o., a následně působil v představenstvu krajské rozvojové agentury MSID, a. s. Je autorem a spoluautorem řady projektů zaměřených na problematiku udržitelného využívání krajiny a dopadů klimatické změny. Od 1. března 2025 je generálním ředitelem Povodí Odry, s. p. V současnosti žije v Ostravě, je ženatý, má dvě dospělé děti.

Foto: 123rf.com

Jáchymov II.: ve správný čas na správném místě

Podkrušnohorské městečko Jáchymov je součástí Karlovarského kraje a leží poblíž státních hranic s Německem. Jak již bylo řečeno v letošním dubnovém čísle VTEI [1], s rozlohou 51 km^2 a necelými dvěma a půl tisíci stálých obyvatel je z rodiny západočeských lázní nejmenší, a snad proto někdy i opomíjený člen. Nicméně právě Jáchymov nabízí léčbu zcela specifickou – díky vysoké koncentraci radonu ve zdejší přírodní minerální vodě zde vznikly první radonové lázně na světě a úspěšně fungují dodnes.

Z historie Jáchymova

Příběh Jáchymovska, krajiny pod mohutným hřbetem Klínovce (*obr. 1*), se začal psát již před stamiliony let, kdy se v puklinách hornin rozlily a v podobě žil usadily různé rudy a nerosty. Vydatnost některých z nich posloužila regionálním historikům z počátku 20. století, aby minulost krajiny začali zjednodušeně členit na věk stříbra a na věk uranu, přičemž do prvého zahrnovali rovněž dobývání olova, bizmutu a kobaltu, zatímco k věku uranu přiřazovali epochu prvku radia [2].

Rozvíjející se evropský trh na konci 15. století spolu s nedostatkem zlatých mincí v oběhu způsobily jakýsi „hlad po hrubé stříbrné minci" [2]. Její ražba a proniknutí na trh závisely na jakosti a množství surovinových zdrojů. Sousední Německo tehdy v těžbě stříbra už dlouho vynikalo, ale čím více byly zásoby tohoto vzácného kovu postupně vytěženy, tím více se rozvíjela „stříbrná horečka" i na české straně. První nálezy stříbra v roce 1512 působily až neuvěřitelným dojmem – rudné žíly se nacházely velice blízko pod povrchem a stříbro se objevovalo i v kořenech vyvrácených stromů – a svědčily o velkém bohatství. Tehdy se důlního podnikání na Jáchymovsku ujal majitel ostrovského panství hrabě Štěpán Šlik. Podnikatelské a diplomatické vlohy svých předků prokázal tím, že po vytvoření spolku obdobně smýšlejících feudálů navázal spojení s finančními domy v Augšpurku *(dnes Augsburg, poznámka autorky)* a v Norimberku, získal potřebný kapitál, a od dosavadního majitele tak mohl vykoupit pozemky, aby z nich učinil základy budoucího hornického revíru. Následně pozval nejlepší báňské odborníky a od roku 1516 se dosud bezvýznamná a neznámá osada Konradsgrün stala hornickým sídlištěm, jehož původní název postupně zcela zanikl. Jako již několikatisícové město poté dostalo vznešený název Sankt Joachimsthal (Údolí svatého Jáchyma). Vysvětlení místních kronikářů a historiků, proč je v názvu právě Joachim/Jáchym, je více než logické – blízko hranic na německé straně již totiž existovala hornická města zasvěcená Anně, Josefovi a Marii, a tak šlo vlastně o doplnění svaté rodiny.

Hornictví a s ním spojený vývoj těžebních technologií tak zažívaly nebývalý rozmach a odrazily se i v podobě rodového znaku Šliků (*obr. 2*). Odhaduje se, že v letech 1516–1554 bylo v Jáchymově vytěženo více než 250 000 kg stříbra [3]. S důlní činností souvisely i zvýšená spotřeba dřeva, rozvoj průmyslu a obchodu. Když byl Jáchymov v roce 1520 povýšen na svobodné horní město, počet jeho stálých obyvatel již činil téměř 5 000. O dalších 13 let později to bylo 18 000 obyvatel, čímž se Sankt Joachimsthal stal po Praze druhým největším městem v Čechách a jedním z nejlidnatějších měst tehdejší Evropy [3].

S rozvojem města v něm čile kvetl i obchod, a proto se tu od roku 1520 začaly oficiálně razit již zmíněné stříbrné mince, za čímž stál právě hrabě Štěpán Šlik. Vzhledem k tomu, že rod Šliků byl německé národnosti, ujal se pro minci hornoněmecký název joachimsthaler. Zkrácením vznikl thaler nebo také taler, počeštěním pak tolar. A jak ve středověku bujel i přeshraniční obchod a české tolary (*obr. 3*), oceňované pro svůj vysoký obsah stříbra, se dostávaly do různých koutů Evropy, ovlivnily i názvy mnoha dalších platidel (např. v Polsku, Maďarsku, Itálii či Holandsku). Odtud pak pronikly do Ameriky, kde získaly název dollar. Dnešní americké dolary tak nejenže byly pojmenovány po české měně, ale přímo po jáchymovských stříbrných tolarech [3].

Léta rozmachu Jáchymova v 16. století dodnes dokládají budovy radnice (původní palác Šliků) a mincovny v horní části města (*obr. 4, 5*). Z Královské mincovny je nyní muzeum se stálou expozicí věnovanou dějinám od těžby stříbra a ražby stříbrných mincí přes temnou minulost města spojenou s uranovými doly a tábory politických vězňů v padesátých letech 20. století až po současnou radonovou léčbu. Součástí prohlídkové trasy je i rozsáhlé podzemí. Přímo naproti radnici na dnešním náměstí Republiky stojí dosud funkční Krušnohorská apatyka, jež navázala na tradici původní bylinkárny. Ta byla založena roku 1520 a stala se první lékárnou v Čechách. Dodnes se v ní prodávají pouze čistě přírodní produkty, jež pocházejí z Krušných hor a jsou vyráběné ručně (*obr. 6*).

Zásoby stříbronosné rudy v jámě Konstantin (*dnešní důl Svornost, poznámka autorky*; *obr. 7*) i v ostatních těžebních jámách však postupně ubývaly a těžba ze stále větších hloubek byla technicky i finančně čím dál náročnější. Také na evropských trzích poptávka po stříbře pomalu klesala. Těžba ustávala, doly přinášely stále menší výnos a horníci začali odcházet za lepšími nalezišti. Obyvatel ubývalo a Jáchymov postihlo období úpadku. Mírného oživení se Jáchymov dočkal až v 18. století, kdy se po stříbře obrátila pozornost i k dalším kovům, zejména kobaltu, který se ve zdejší továrně používal k výrobě barev na sklo a porcelán. Město začalo postupně ožívat. To nejlepší však mělo teprve přijít.

Marie Curie-Skłodowská

Symbolem novodobé historie Jáchymova se stala Marie Curie-Skłodowská (1867–1934), nesmírně nadaná a inteligentní žena, jež i přes nepřízeň osudu dosáhla vysokoškolského vzdělání a stala se světově uznávanou vědkyní. Narodila se ve Varšavě, která tehdy náležela ruské části Polska, jako nejmladší z pěti dětí. O matku přišla v pouhých 12 letech. Po ukončení gymnázia prahla po dalším vzdělání, to však bylo ženám odpíráno. Proto navštěvovala tzv. „létající univerzitu" (Uniwersytet Latajacy), což podle historika a jáchymovského patriota Ing. Jaroslava Ochece znamenalo, že studenti se scházeli pokaždé v jiném bytě (*obr. 8*) [4]. Roku 1891 opustila Polsko a odstěhovala se do Paříže,

Obr. 1. Vysílač na Klínovci

Obr. 2. Změny v rodovém znaku Šliků

Obr. 3. Jáchymovské tolary

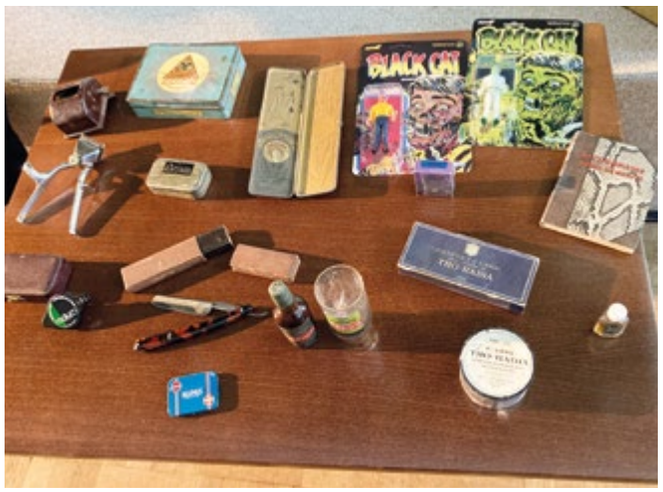
Obr. 4. Dnešní podoba radnice a muzea

Obr. 5. Znak původní Královské mincovny

Obr. 6. První česká lékárna vznikla v Jáchymově

Obr. 7. Důl Svornost

Obr. 8. Ing. Jaroslav Ochec po své přednášce



Obr. 9. Předměty zachované z dob radonové horečky

Obr. 10. Model putny Josefa Prenniga

Obr. 11. Ke koupelím sloužily dřevěné kádě

kde pokračovala ve studiích na Sorbonně. Jako první žena v historii tam získala doktoráty z fyziky a chemie, později také z matematiky. Zabývala se především uranem a radioaktivitou a při svém výzkumu se seznámila i se svým budoucím manželem Pierrem, jenž byl tehdy doktorandem v laboratoři Henriho Becquerela a věnoval se magnetismu. Poté již pracovali společně a výsledkem byl v červenci roku 1898 objev polonia – nového prvku, který Marie pojmenovala po svém rodném Polsku. Ještě téhož roku v prosinci objevila další prvek, silně radioaktivní radium. Za tento počin získala Marie spolu s manželem Pierrem a kolegou Henrim Becquerelem v roce 1903 Nobelovu cenu za fyziku. A nezůstalo u jedné. V roce 1911 jí Královská švédská akademie věd za izolaci čistého radia udělila rovněž Nobelovu cenu za chemii. Tu již získala sama, neboť Pierre roku 1906 zemřel.

Jáchymovský smolinec

Vraťme se však zpět do Jáchymova. Již zmíněný rok 1898 se nezapsal do dějin pouze objevy nových prvků polonia a radia, ale byl také okamžikem prvního styku manželů Curieových s Čechami a Jáchymovem. Oba prvky byly totiž izolovány z odpadu, který byl Marii a Pierrovi poskytnut místní továrnou na uranové barvy. Po čtyřletém úsilí se manželům povedlo získat desetinku gramu objeveného prvku radia. Tímto historickým úspěchem položili základ nového věku lidského poznání a uvedli do povědomí také jméno města Jáchymov [2].

Okamžitě vzaly za své i úvahy o omezení, či dokonce zrušení nerentabilních jáchymovských dolů. Jak Curieovi pokračovali ve výzkumu, potřebovali také stále víc důlního odpadu – kilogramy, metráky, později tuny. Tímto vzácným odpadem byl uraninit neboli oxid uraničitý, černý minerál, kterému horníci již v dobách stříbrné horečky neřekli jinak než smolinec. Věřili totiž, že jim nosí smůlu, jelikož kdykoli na něj v šachtách narazili, bylo jasné, že končí stříbrná žíla a dál už se nachází pouze smolinec. Na svůj okamžik slávy tedy smolinec čekal více než 300 let.

Poměrně brzy se v Jáchymově začalo s přípravami na průmyslovou výrobu radia a radiových preparátů přímo u surovinového zdroje. První gram čistého radia byl v jáchymovské továrně vyroben roku 1907. Roční výroba dosáhla později až pěti a půl gramu radia, což svého času tvořilo podstatnou část světové produkce [2]. Zájem o radium stoupal s tím, jak se odkrývaly možnosti využití jeho vlastností. Ponechme nyní stranou poněkud bláznivou dobu radonové horečky, kdy obchod s ním jen kvetl a radon byl pro své fascinující záření přidáván i do produktů běžné spotřeby, např. do mýdel, parfémů, cigaret nebo inkoustu, aniž by byly známy jeho škodlivé účinky (viz fotografie z mezinárodní konference *Odkaz Marie Curie-Skłodowské v Lázních Jáchymov a 100. výročí od její návštěvy*, konané v Jáchymově ve dnech 12.–14. června; *obr. 9*) [5], a zaměřme se na účinky léčivé povahy. Ty totiž začaly psát novou kapitolu historie města.

Údolí „živé vody“

Již počátkem 16. století znali horníci léčivé účinky jáchymovských důlních vod. Do zatopených částí šachet se po práci chodili nejen umýt, ale také relaxovat, a brzy pochopili, že důlní voda má na jejich unavená těla blahodárný vliv a zbavuje je bolesti. Svědčí o tom i spisy jejich lékařů [3].

První snahy o lázeňství v Jáchymově byly velice skromné. Zpočátku poskytl prostory ke koupelím místní pekař Josef Kühn v domě čp. 282 na náměstí (*dnes náměstí Republiky, poznámka autorky*), kterému tam okresní lékař Dr. Leopold Gottlieb s ordinací v tomtéž domě zřídil dvě koupelové kabiny. Léčivou vodu z pramenů objevených v dole Werner mu do nich v zakryté dřevěné putně přinášel vysloužilý horník Josef Prennig (*obr. 10*). Tehdy ještě nebylo jasné, co přesně při koupeli na tyto první pacienty působí, ale léčivá síla „živé vody“, jak ji začali nazývat, již byla nezpochybnitelná.

První na světě

Vědecky byla radioaktivita důlních pramenů ověřena až roku 1905 díky výzkumu manželů Curieových. Poté už snahám vybudovat v Jáchymově lázně nestálo nic v cestě. V továrně na uranové barvy byly vyhrazeny prostory pro další koupelové kabiny (*obr. 11*), což mj. obnášelo i vybudování čtyři kilometry dlouhého potrubí, jež by do nich radioaktivní vodu přivádělo. Dá se tak říci, že Marie a Pierre Curieovi stáli u zrodu zdejších lázní. Za oficiální počátek bývá označován rok 1906. Zatímco Pierre v dubnu toho roku tragicky zemřel pod koly koňského povozu, a Marie tak ztratila nejen kolegu v práci, ale také manžela a otce jejich dvou malých dcer Ireny a Evy, v Jáchymově vznikly malé privátní lázně. A díky zcela unikátní minerální vodě obohacené radonem se staly prvními radonovými lázněmi na světě.

Jak přibývalo lázeňských hostů, bylo nezbytné postavit pro ně důstojné ubytování. První lázeňskou budovou se stal v roce 1911 Kurhaus (dnešní centrální část Lázeňského centra Agricola; *obr. 12*). Neoklasicistní stavba s prvky vídeňské secese byla ve své době prvním lázeňským ústavem tohoto typu v historii. Kurhaus měl kapacitu 40 koupacích kabin a v jeho okolí byl vytvořen lázeňský lesopark, který dodnes vyniká pečlivou úpravou a překrásnými zákoutími (*obr. 13*). V současnosti je budova Agricoly do obou stran rozšířena a slouží i jako aquacentrum a saunový důl pro veřejnost (*obr. 14*).

Obr. 12. Lázeňské centrum Agricola

Obr. 13. Lesopark s jezírkem

Obr. 14. Bazén v Agricole

Obr. 15. Hotel Astoria

Obr. 16. Radium Palace

Obr. 17. Schodiště v přízemí hotelu

Chlouba zvaná Radium Kurhaus

Horečná stavební činnost poté pokračovala a Jáchymov se začal měnit v lázeňské město. Činili se i místní podnikatelé, kteří poblíž první lázeňské budovy stavěli další penziony a hotely, z nichž dosud nejznámější je hotel Astoria (*obr. 15*). Zároveň vznikla v Jáchymově akciová společnost sdružující prominentní osobnosti vysoké aristokracie a vídeňského průmyslu, v jejímž čele stál Arnošt Emanuel hrabě Sylva-Tarouca. Roku 1912 byl slavnostně otevřen velkohotel a sanatorium Radium Kurhaus (*dnes Radium Palace, poznámka autorky; obr. 16*), který již pacientům nabídl vše pod jednou střechou – ubytování, stravování i lázeňské procedury. Svou noblesní architekturou i citlivým zasazením do krušnohorské krajiny se stal chloubou a symbolem Jáchymova a brzy i celých Krušných hor. Byl vybaven nejmodernějšími technickými vymoženostmi své doby a od počátku cílil především na bohatší klientelu a zahraniční hosty (*obr. 17*). Již první sezony po jeho otevření slibovaly, že návratnost vložených investic bude otázkou několika nejbližších let. Ve dvacátých letech byl upraven prostor před budovou, dobudována byla i bohatě zdobená terasa s kolonádou a balustrádami (*obr. 18*) a poblíž hotelu vznikly tenisové kurty a lesní kavárna. Radium Kurhaus se stal jedním z nejluxusnějších hotelů v Evropě, který začala vyhledávat i řada světových osobností – léčil se v něm kupř. britský král Edward VIII., egyptský král Fuad I., německý hudební skladatel a dirigent

Obr. 18. Bohatě zdobené balustrády

Richard Strauss i spisovatel a tvůrce Vinnetoua Karel May, z významných Čechů tu často pobýval např. prezident T. G. Masaryk (po němž dodnes nese jméno hlavní lázeňská ulice), Karel Čapek či později prezident Václav Havel.

Na jednu světovou návštěvu se však v Jáchymově vzpomíná dodnes. V červnu 1925 sem zavítala Marie Curie-Skłodovská, jež stála doslova u kolébky radia, radioaktivity a zdejší unikátní léčby. Po krátké zastávce v Praze a v Lánech, kde se setkala s prezidentem T. G. Masarykem, přijela do Jáchymova a ubytovala se v hotelu Radium Palace (*obr. 19*). Prohlédla si lázně i radiologické centrum, sfárala do

Obr. 19. V českých médiích dosud nepublikovaná fotografie Marie Curie-Skłodowské, pořízená v červnu 1925 před hotelem Radium Palace. Pochází z archivu Ing. Jaroslava Ochece, jenž ji autorce článku věnoval

Obr. 20. Dr. Dana Drábová

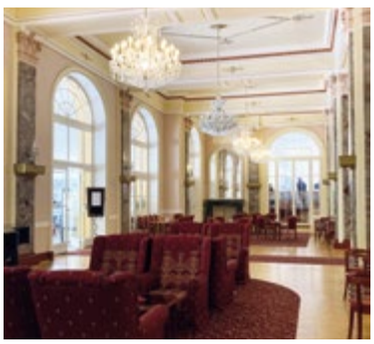
Obr. 21. Ing. Martin Přibil

Obr. 24. LD Běhounek

Obr. 22. Primář MUDr. Jindřich Maršík

Obr. 23. Z dopisu vnučky Curieových

Obr. 25. LD Curie



Obr. 26. Lobby Radium Palace

dolu Svornost a navštívila také Klínovec. Letos v červnu uplynulo od této historické události přesně 100 let a na počest tohoto výročí se v Jáchymově konala již zmíněná mezinárodní konference [5]. S přednáškou zde vystoupila např. předsedkyně Státního ústavu pro jadernou bezpečnost Ing. Dana Drábová, Ph.D., Dr.h.c. (*obr. 20*), vedoucí dolu Svornost Ing. Martin Přibil (*obr. 21*), primář jáchymovských lázní MUDr. Jindřich Maršík, MBA (*obr. 22*), a mnoho dalších významných hostů. V rámci konference byl také přečten dopis Hélène Langevin-Joliot, 97leté vnučky Marie a Pierra Curieových (*obr. 23*). Večer poté byla před vchodem do Radium Palace slavnostně instalována dřevěná lavička s vyrytým jménem madame Curie a na záhonku před lavičkou byly vysazeny dva růžové keře rovněž nesoucí Mariino jméno. Jak příznačné – když se tehdy v Lánech setkala s prezidentem T. G. Masarykem, média o této schůzce psala, že byla „ve správný čas na správném místě". Jako by tedy v Jáchymově a v hotelu Radium Palace laureátka dvou Nobelových cen žila dál.

Obr. 27. Část podlahy letní terasy tvoří šachovnice

Nové léčebné domy

V říjnu 1975 byl v Jáchymově otevřen další léčebný dům. Byl pojmenován Sanatorium akademika Běhounka (*nyní Běhounek, poznámka autorky; obr. 24*) podle významného českého fyzika a chemika Františka Běhounka, jenž se zabýval právě radiologií a v červnu 1925 byl při cestě Marie Curie-Skłodowské do Jáchymova jejím průvodcem. V červenci 1992 byl pak slavnostně otevřen ústav s všeříkajícím jménem Curie, který výrazně změnil okolí křižovatky v lázních (*obr. 25*). Obě budovy jsou velice moderní a svým klientům rovněž nabízejí vše pod jednou střechou – ubytování, stravování i procedury. Obliba hotelu Radium Palace však přetrvává a jeho interiéry (*obr. 26*) i okolí dodnes nabízejí kouzlo „starých dobrých časů" (*obr. 27*).

Jáchymovská léčba radonem

V čem vlastně spočívá léčba radonem? Nemáme se ho spíš bát? Podle primáře lázní Jáchymov MUDr. Jindřicha Maršíka, MBA [6], je samozřejmě nejdůležitější dávka. Zatímco vysoké dávky záření mohou mít pro člověka fatální následky, malé dávky mohou naopak prospívat. Koneckonců celá planeta Země a život na ní vznikaly za daleko vyšší radiace, než je v současnosti. Vyskytují se místa, jako je právě podloží Jáchymova, kde je vyšší radiační pozadí. Klienti jáchymovských lázní tím však nejsou ohroženi, protože zde stráví zhruba dva až čtyři týdny. Za tu dobu dostanou jen velmi malou dávku záření, která na ně má prokazatelně pozitivní efekt. Problém mohou mít samozřejmě obyvatelé Jáchymova, kteří v něm žijí trvale, a také pracovníci lázní. Proto existuje velmi přísný systém pravidel a předpisů ohledně kvalitní vzduchotechniky a dalších nezbytností, jež přímo určují, kolik dávek záření může člověk získat za rok, a na to pak navazují opatření radiační ochrany daná Státním úřadem pro jadernou bezpečnost.

V Jáchymově jsou pacienti ozařováni pouze z nenádorových příčin, nádorová onemocnění jsou tu naopak kontraindikací. Jak říká primář Maršík, „když bych měl srovnat dávky těchto dvou ozáření, u nádorových příčin je cílem nádorovou tkáň zničit, nikoli vyléčit, takže tam jsou dávky záření až šedesátkrát vyšší, než tu používáme my. Co se týče bezpečnosti klientů, jediná forma aplikace radonových vod jsou radonové koupele a jakékoli negativní účinky takto malých dávek záření nebyly nikdy prokázány. Pouze kůže může být po koupelích trochu dráždivější, třeba na osvit sluncem, ale to vše vymizí po návratu pacientů domů."

Obr. 28. Vana k radonové koupeli

Obr. 29. Cvičení v bazénu

Obr. 30. Masér Samuel Kolman

Jak tedy přesně funguje léčba a jaké jsou její pozitivní účinky? „Ohledně benefitů našich radonových koupelí máme řadou studií klinicky potvrzeno, že změny probíhají od molekulární úrovně přes buněčnou po systémovou odezvu ve formě protizánětlivé odpovědi a nastavení modulace imunitní odpovědi až po tu klinickou odpověď, kdy se zmírní příznaky daného onemocnění. Nyní již víme, že na úrovni molekulární dochází ke změnám na úrovni DNA a že ta změna je opravitelná spolu s mnoha dalšími změnami, k nimž na DNA běžně dochází například při zánětu či jiných metabolických procesech. Tyto běžné fyziologické procesy, o kterých ani nevíme, ale je jich opravdu hodně, nepracují na sto procent, a tím, že my tomu pomůžeme, se jejich využitelná kapacita zvedne a spolu s tím, co způsobíme my, se začnou opravovat i změny, které způsobil zánět. Tato odpověď je systémová, protože záření ve vodě není lokalizováno na jednu konkrétní tkáň, ale na celé tělo – jde o takzvaný otevřený zářič, kterým je samotná vana a voda v ní. V rámci této odpovědi dochází k účinku na imunitní systém a zde hovoříme o T-lymfocytech a především o cytokinech, což jsou látky, jež spustí celou kaskádu protizánětlivých pochodů. Jedním z těch, o kterém se mluví právě v souvislosti s radonem a byla prokázána jeho zvýšená aktivita, je TGF-β, který má výrazný protizánětlivý účinek. Z klinických studií máme doloženo, že statisticky signifikantní účinek přetrvá ještě šest až devět měsíců po ukončení léčby, a to u všech čtyř skupin našich pacientů – patří sem bechtěrevici, revmatici, artrotici a klienti s klasickými funkčními bolestmi zad. Zjednodušeně řečeno, naše radonová léčba má výrazný protizánětlivý efekt, ale také analgetický efekt, jelikož se při ní zároveň vyplavují endorfiny," shrnuje primář Maršík [6].

Klienti jáchymovských lázní dostávají 18 až 24 radonových koupelí, 24 je maximální dávka na jeden rok. První koupel trvá 15 minut, všechny další pak 20 minut. Koupele probíhají od pondělí do soboty a ve standardních vanách (*obr. 28*), radon je přítomen ve formě plynu rozpuštěného ve vodě. Voda je dohřáta na teplotu 36 °C a musí být napouštěna spodem, aby z ní radon nevyprchal. Obsah radonu v jedné vaně činí 4,5 kBq/l. Pro zvýšení léčebného účinku setrvají pacienti po koupeli ještě 10 minut v zábalu.

Kromě radonových koupelí docházejí pacienti zpravidla také na perličkové či přísadové koupele, na suché uhličité koupele, cvičení v bazénu (*obr. 29*) a řadu dalších procedur dle typu onemocnění. Nedílnou součástí léčby jsou fyzioterapie a masáže, jež patří vedle radonových koupelí k tomu nejlepšímu, co lázně Jáchymov nabízejí (*obr. 30*).

Závěrem je nutné zmínit ještě jeden jáchymovský unikát, jímž jsou tzv. jáchymovské krabičky neboli brachyradioterapie (BRT). Jde o ozařování postiženého místa (např. kloubu, části páteře apod.) ionizujícím zářením zblízka. Zdrojem záření je tu radium-226. Léčba probíhá v Radiologickém pavilonu a vede k výrazné úlevě od bolesti. Tento léčebný efekt přetrvá půl roku až jeden rok. BRT se provádí na jediném místě na světě a tím je Jáchymov.

Poděkování

Ráda bych poděkovala primáři lázní Jáchymov MUDr. Jindřichu Maršíkovi, MBA, za jeho ochotu poskytnout mi rozhovor o zdejší radonové léčbě. Rovněž musím poděkovat MUDr. Radovanu Kamencovi za jeho skvělou péči o mé zdraví, ale i za zájem o mou práci. Můj velký dík patří jáchymovskému historikovi Ing. Jaroslavu Ochecovi za jeho zajímavou přednášku o Marii Curie-Skłodowské i za to, že mi věnoval její fotografii z návštěvy Jáchymova. Jsem si vědoma její hodnoty a jsem mu za ni velice vděčná. Děkuji také mediálnímu zástupci lázní Janu Laufkovi za osobní pozvání na mezinárodní konferenci ke 100. výročí návštěvy Marie Curie-Skłodowské v Jáchymově. Bylo mi velkou ctí se jí zúčastnit. Chci poděkovat panu Antonínu Kreisslovi z Návštěvnického informačního centra lázní Jáchymov za jeho pomoc i podporu. Veliké díky patří panu recepčnímu v Radium Palace Radovanu Přiklopilovi, jemuž jsem nesmírně vděčná za podporu při psaní tohoto článku i za knihu o historii Jáchymova, kterou mi ochotně věnoval. Na závěr bych ráda poděkovala všem lázeňským pracovníkům z hotelu Radium Palace, kteří se podíleli na mé léčbě. Velice si jejich práce vážím.

Literatura a zdroje

[1] ŘEHOŘOVÁ, Z. Jáchymov: po stopách mlýnů a mlýnků. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace.* 2025, 65(2), s. 50–53. ISSN 0322-8916.

[2] JEŽEK, O. *Jáchymov – Od stříbrných dolů k radonovým lázním.* ATYPO, spol. s r. o., 2009. 88 s. ISBN 80-902378-1-9.

[3] *AquaViva*, zvláštní vydání k zahájení lázeňské saisony. 25. 05. LP 2018.

[4] OCHEC, J. Přednáška *Marie Curie-Skłodowská a Jáchymov.* Lázeňský dům Běhounek, Jáchymov, 27. května 2025.

[5] Konference *Odkaz Marie Curie-Skłodowské v lázních Jáchymov a 100. výročí od její návštěvy.* Lázeňský dům Běhounek, Jáchymov, 12.–14. června 2025.

[6] Rozhovor s primářem lázní Jáchymov MUDr. Jindřichem Maršíkem, MBA, na téma radonová léčba v Jáchymově. Hotel Radium Palace, 3. června 2025.

Autorka

Mgr. Zuzana Řehořová
✉ zuzana.rehorova@vuv.cz

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha (Česká republika)

Informativní článek, který nepodléhá recenznímu řízení.

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

VTEI/2025/4

Od roku 1959

VODOHOSPODÁŘSKÉ
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

WATER MANAGEMENT
TECHNICAL AND ECONOMICAL INFORMATION

Odborný dvouměsíčník specializovaný na výzkum v oblasti vodního hospodářství.
Je uveden v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR.
VTEI je součástí databází Scopus a DOAJ.

Ročník 67

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., Mgr. Zuzana Řehořová,
archiv Ing. Jaroslava Ochece, archiv Mgr. Petra Birklena, archiv MSID, a. s.

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 říjnu. 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

JAVORNÍK PŘI POVODNI

V rámci nepravidelného seriálu o mlýnech a náhonech na Jesenicku se aktuální zastavení bude věnovat Javorníku ležícímu na severovýchodním úpatí Rychlebských hor v Javornickém výběžku na rozhraní geomorfologických podcelků Travenské hornatiny a Vidnavské nížiny. První písemná zmínka o městě Javorníku pochází ze sklonku 13. století, kdy město náleželo Vratislavskému biskupství s tehdejším názvem Jawornik; oficiální statut města však získalo až v roce 1549. Nejdůležitějším a prakticky jediným větším vodním tokem v intravilánu města je Javornický potok. Ten pramení v nadmořské výšce 712 m na Travné. Jeho historické názvy jsou také Krautewalde Bach nebo Jauenig Bach. Na polském území se s názvem Jaworna připojuje jako levostranný přítok k vodnímu toku Raczyna, která po průchodu soustavou protipovodňových hrází a kanálů ústí u města Otmuchów do Kladské Nisy. Na Javornickém potoce v intravilánu města či v jeho těsném sousedství prokazatelně existovaly čtyři mlýny, konkrétně ve směru po toku Horní, Reinholdův, Dolní (v těsném sousedství předpokládaného umístění nové stanice) a Kunertův mlýn. Detailní popisy a karty jednotlivých mlýnů lze nalézt na webové stránce www.vodnimlyny.cz. Fotografie ilustruje tvorbu nových koryt během povodně v září 2024 blízko lokality mlýna Horní Fořt u silnice mezi Javorníkem a Bernarticemi.

Text a fotografii dodal doc. RNDr. Jan Unucka, Ph.D.

VÝZKUMNÝ ÚSTAV
VODOHOSPODÁŘSKÝ
T. G. MASARYKA
veřejná výzkumná instituce

VTEI.cz