

VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VTEI / 2025 / 6

4 / Současný stav sledování vybraných PFAS v povrchových vodách v České republice

18 / Od kapky k energii: hodnocení hydroenergetického potenciálu vodních toků pomocí výsledků projektu „Pico-Hydropower“

48 / Rozhovor s Mgr. Martinem Ptákem, ředitelem odboru ochrany vod
Ministerstva životního prostředí

Psali jsme před 60 lety

V 3. čísle časopisu VTEI v roce 1959 vyšel článek „Další postup automatizace vodních elektráren v ČSR“. Jméno autora neznáme.

Uvedením prvního soustrojí ve vodní elektrárně Lipno I do plně automatického provozu byla dovršena první etapa automatizace vodních elektráren v ČSR, která se zaměřila na úplnou automatizaci jednotlivého soustrojí.

Všechny úkony potřebné pro spuštění a odstavení soustrojí jsou plně automatizovány, takže pro ovládání soustrojí postačí jednoduché ovládací impulsy vysílané buď místně, nebo dálkově. Pochopitelně vývoj automatizace jednotlivých agregátů bude i nadále pokračovat, ale dosavadní výsledky potvrdily správnost používaného systému.

Další etapa automatizace vodních elektráren se bude týkat automatizace provozu celé elektrárny, v níž pracuje více soustrojí. Spouštění a odstavování soustrojí bude řízeno automatickým zařízením pro skupinové řízení strojů, které bude samočinně spouštět a odstavovat jednotlivá soustrojí podle požadované hodnoty výkonu, podle stavu vodní hladiny nebo podle předem stanoveného programu tak, aby se energie vyráběla v elektrárně s nejvyšší možnou účinností.

Kromě toho bude zatížení automaticky rozdělováno rovnoměrně mezi jednotlivá soustrojí. Takto vybavenou elektrárnu bude možno řídit jednoduchými manipulacemi snadno i ze vzdáleného dispečerského střediska.

Zařízením pro skupinové řízení provozu soustrojí bude v ČSR jako první vybavena vodní elektrárna Orlík.

Konečným cílem automatizace vodních elektráren je jejich zapojení na automatický systém regulace kmitočtu a předávaného výkonu, který bude řídit provoz skupin vodních i parních elektráren tak, aby celý energetický systém byl provozován s nejvyšší účinností.

V porovnání se zahraničím byl zatím v ČSR realizován jen první stupeň automatizace vodních elektráren. Je to však stupeň nejdůležitější, neboť bez spolehlivé a dokonalé automatizace jednotlivého soustrojí by vyšší formy automatizace nebyly možné.

Redakce VTEI



Vodní dílo Orlík je v řetězu vltavských přehrad nejvyšší a nejmohutnější. Jeho 450 m dlouhá betonová hráz dosahuje v koruně výšky 91 m. Výzkumný ústav vodohospodářský modelovým výzkumem vyřešil tvar přelivu a vývaru. Modelově byly testovány i vlastnosti uzávěrů na vtocích do elektrárny a teplotní režim orlické nádrže. Ze stavby orlické přehrady (4. listopadu 1959)

Obsah



3 Úvod

4 Současný stav sledování vybraných PFAS v povrchových vodách v České republice

Diana Marešová, Věra Očenášková, Tomáš Mičaník,
Danica Pospíchalová, Eva Juranová, Eva Bohadlová, David Chrastina



18 Od kapky k energii: hodnocení hydroenergetického potenciálu vodních toků pomocí výsledků projektu „Pico-Hydropower“

Štěpán Marval, Radek Roub, Luděk Bureš, Tomáš Hejduk,
Lucie Poláková, Martin Štich

28 Některé aspekty ochrany povodí nad budoucími nádržemi

Helena Nováková, Milena Forejtníková, Martin Caletka,
Kateřina Sedláčková



38 Počátky plavení dřeva v Novohradských horách

Jaromír Florian

48 Rozhovor s Mgr. Martinem Ptákem, ředitelem odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí

Josef Nistler



52 Jáchymov III.: kde se bere radonová voda?

Zuzana Řehořová

PF 2026

Vážení čtenáři, milé kolegyně a kolegové,

přiblížil se konec roku a s ním i příležitost ohlédnout se za uplynulými měsíci. Při bilancování letošního roku můžeme s jistotou říci, že voda jako zdroj života byla opět středem pozornosti mnoha důležitých konferencí, jednání, setkání i diskuzí. Vzpomeňme např. Světový den vody, jenž se každoročně slaví 22. března a který aktuálně připomněl nutnost ochrany ledovců jako zásadního zásobníku sladké vody, nebo v říjnu uskutečněný Magdeburský seminář o ochraně vod 2025, zaměřený na téma hospodaření s vodou v povodí Labe včera, dnes a zítra. V odborné komunitě rezonovaly i nové poznatky o udržitelnosti vodárenské infrastruktury, o možnostech využití digitálních nástrojů při správě vodních zdrojů a v neposlední řadě i otázky vzdělávání nové generace vodohospodářů. Ukazuje se, že právě propojení zkušeností z praxe s výsledky výzkumu a vývoje je cestou k odolnému a modernímu vodnímu sektoru.

A na co se v prosincovém čísle můžete těšit? Úvodní odborný příspěvek „Současný stav sledování vybraných PFAS v povrchových vodách v České republice“ od Diany Marešové a kolektivu autorů přináší přehled současných znalostí o výskytu PFAS, a to v povrchových, podzemních i pitných vodách. V článku jsou shrnuty legislativní požadavky týkající se PFAS, přehled analytických postupů pro stanovení těchto látek i metody jejich odstraňování z kontaminované vody.

Na problematiku využití energie z vody se zaměřuje článek „Od kapky k energii: hodnocení hydroenergetického potenciálu vodních toků pomocí výsledků projektu „Pico-Hydropower““ od Štěpána Marvala a kolegů. Autoři v něm představují dvoustupňovou metodiku vyvinutou v rámci projektu „Pico-Hydropower“, jejímž cílem je identifikovat na území České republiky lokality vhodné pro instalaci mikrovodních elektráren.

V pořadí třetí odborný příspěvek s názvem „Některé aspekty ochrany povodí nad budoucími nádržemi“ Heleny Novákové a kolektivu autorů se věnuje plošným jevům, které mohou vést ke znečišťování, a tím

i k omezenému využití akumulované vody. Příspěvek popisuje metodiku stanovení kritických míst v okolí budoucích nádrží, kudy se při přívalových srážkách dostává do vodního prostředí nadměrné množství splavenin.

Historický exkurz nabízí článek „Počátky plavení dřeva v Novohradských horách“ od Jaromíra Floriana. Čtenáře přenesení do poslední čtvrtiny 18. století, kdy byl v Novohradských horách vybudován unikátní systém pro plavení dřeva. Jeho jedinečnost spočívala v tom, že umožňoval plavení jak volného (polenového), tak svázaného dřeva (vorů neboli pramenů) i na úzkých a málo kapacitních vodních tocích Novohradských hor.

V prosincovém čísle jsme v našem tradičním rozhovoru vyzpovídali pana Mgr. Martina Ptáka, ředitele odboru ochrany vod MŽP. Vzpomíná v něm nejen na své profesní začátky, ale současně poukazuje, že dnešní vodní hospodářství čelí klimatickým výzvám, potřebě modernizace infrastruktury i nárokům evropské legislativy. Zároveň však nabízí prostor pro inovace, spolupráci a zapojení nové generace odborníků, které jsou podle jeho slov klíčem k udržitelné budoucnosti českých vodních zdrojů.

V informativní části časopisu nás kolegyně Zuzana Řehořová naposledy zavede do Jáchymova, aby nám zodpověděla otázku, odkud pochází zdejší radonová voda. O historii dolu Svornost – nejstaršího funkčního dolu v Evropě a prvního uranového dolu na světě –, o pramenech dosud využívaných ke koupelím pro jáchymovské pacienty i o vzniku Radonové stezky v Jáchymově se více dozvíme v článku „Jáchymov III.: kde se bere radonová voda?“.

Na závěr mi dovolu, abych vám jménem redakce VTEI poděkoval za spolupráci, inspiraci i přízeň, kterou jste nám v roce 2025 věnovali. Přeji vám klidné a radostné Vánoce prožité v kruhu rodinném a do nového roku 2026 mnoho zdraví, optimismu a profesních úspěchů.

Ing. Josef Nistler

Současný stav sledování vybraných PFAS v povrchových vodách v České republice

DIANA MAREŠOVÁ, VĚRA OČENÁŠKOVÁ, TOMÁŠ MIČANÍK, DANICA POSPÍCHALOVÁ, EVA JURANOVÁ, EVA BOHADLOVÁ, DAVID CHRASTINA

Klíčová slova: povrchová voda – PFAS – cílená analýza – necílená analýza – HPLC-MS – Česká republika

SOUHRN

Per- a polyfluorované látky (PFAS), skupina fluorovaných sloučenin antropogenního původu, byly vzhledem ke svým chemickým vlastnostem, širokému užití v řadě průmyslových odvětví, rozšíření v životním prostředí, dlouhodobému bioakumulačnímu potenciálu a z toho vyplývajícím rizikům pro lidské zdraví klasifikovány jako perzistentní organické látky vyvolávající značné obavy. Článek přináší přehled současných znalostí o výskytu PFAS v životním prostředí, především v povrchových, podzemních a pitných vodách, i o metodách jejich odstraňování z kontaminované vody. Dále jsou zde shrnuty legislativní požadavky týkající se PFAS na úrovni Evropské unie (EU) i České republiky (ČR) včetně seznamů látek podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2020/2184 a návrhu novely směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES. Dále je v příspěvku uveden přehled analytických postupů pro stanovení PFAS včetně trifluoroctové kyseliny (TFA) a stanovení celkového organického fluoru. Metody jsou obecně založeny na kapalinové chromatografii ve spojení s hmotnostní detekcí. Liší se především způsobem předúpravy vzorku. Hlavní pozornost je věnována shrnutí dostupných dat o sledování látek ze skupiny PFAS v povrchových vodách na celém území ČR. Do roku 2022 byly v povrchových vodách v ČR soustavně sledovány pouze perfluoroktansulfonát (PFOS) a – kromě povodí Odry a Ohře – i perfluoroktanová kyselina (PFOA). Vzhledem k rozdílným použitým mezím stanovitelnosti v jednotlivých povodích v předchozích letech neumožňuje charakter dat objektivní zhodnocení stavu PFOS a PFOA v celé ČR. S rozšiřováním analytických možností jsou postupně zaváděny analytické metody umožňující vyšší citlivost a zejména širší rozsah sledovaných látek. Od roku 2023 je v jednotlivých povodích zaváděno i sledování látek ze skupiny PFAS v širším rozsahu včetně pilotního monitorování, které je představeno v příspěvku.

ÚVOD

Historie per- a polyfluorovaných látek (PFAS), tzv. „věčných“ chemikálií, začala v roce 1938, kdy chemik Roy J. Plunkett, zaměstnanec firmy DuPont, při výrobě freonu náhodou objevil polytetrafluoroethylen (PTFE). Tento nový fluorovaný plast byl v roce 1941 společností Kinetic Chemicals patentován (U.S. Patent 2230654a) [1] a v roce 1945 byla zaregistrována ochranná známka Teflon [2]. Do skupiny PFAS patří více než 7 000 000 sloučenin. Aby byla sjednocena a harmonizována komunikace o PFAS mezi vědeckými, regulačními a průmyslovými komunitami, byly doporučeny názvy, akronymy, strukturní vzorce a registrační čísla CAS [3]. OECD podle čísla CAS identifikovala více než 4 700 sloučenin [4]. PTFE však není zcela typickou sloučeninou. Mezi PFAS patří PFOS (perfluoroktansulfonát) a PFOA (perfluoroktanová kyselina), jež byly poprvé detekovány v padesátých letech právě při výrobě teflonu.

Aktuální stav poznání

PFAS se do popředí zájmu dostávají v posledních 10 až 15 letech. Díky svému lyofobnímu a hydrofobnímu charakteru našly široké použití v řadě odvětví, např. v textilním a kožedělném průmyslu, hasicích pěnách, prostředcích na ochranu povrchů, v domácích potřebách, obalech v potravinářství, fotoprůmyslu, hydraulických kapalinách v letectví, při galvanizaci, jako povrchově aktivní látky v pesticidech a dalších produktech zemědělské chemie atd. [5]. V devadesátých letech byly tyto látky díky vývoji analytických metod pro jejich stanovení a s rozvojem instrumentace (nástup kapalinové chromatografie ve spojení s hmotnostní spektrometrií) v nízkých koncentracích identifikovány ve všech složkách životního prostředí (voda, půda, vzduch, rostliny, živé organismy) [3, 6].

Vzhledem k významnému rozvoji výroby PFAS dochází také od roku 2000 k nárůstu publikací věnujících se této skupině látek, jejich zdrojům a osudu v životním prostředí a jejich škodlivosti. V roce 2020 bylo vydáno téměř 1 000 publikací zabývajících se danou problematikou [6].

Toxicitě PFAS pro člověka a jejich dopadu na ekosystém je v současnosti věnována mimořádná pozornost. Stále více látek z této skupiny je pravidelně monitorováno a snižují se jejich koncentrace, které jsou ještě považovány za bezpečné. Je potřeba lépe porozumět osudu a dopadům těchto perzistentních chemikálií na životní prostředí, neboť lze předpokládat, že zátěž povrchových a podzemních vod těmito látkami je podceněna [7]. Zpracování řady dosavadních informací o aplikacích, uvolňování do životního prostředí a sanačních technologiích per- a polyfluoralkylových látek je věnována publikace [8].

V souvislosti s regulací a omezováním využití PFAS je třeba věnovat pozornost rovněž alternativním látkám, monohydrogen substituovaným perfluoroalkylkarboxylovým kyselinám (H-PFAS), jež se také objevují v povrchových vodách. V Nizozemsku byla vyvinuta, validována a aplikována UHPLC-MS/MS metoda pro stanovení těchto kontaminantů ve vzorcích povrchových vod [9].

O náhražce PFOA s názvem GenX je dosud velmi málo informací. Tato alternativní látka i přes menší biokumulativní schopnost může znamenat riziko i pro životní prostředí a zdraví člověka [10].

Vzhledem ke globálnímu rozšíření těchto chemikálií byly realizovány studie zabývající se sledováním jejich přítomnosti v rozvojových zemích ve vzorcích vody a dalších vzorcích z abiotického prostředí a bioty. Látky PFAS byly identifikovány v 72 % vzorků [11, 12].

PFAS jednoznačně představují celosvětový problém. Byly testovány hlavní čtyři vybraných perfluorovaných kyselin (PFAA) – kyseliny perfluoroktansulfonové (PFOS), kyseliny perfluoroktanové (PFOA), kyseliny perfluorhexansulfonové (PFHxS) a kyseliny perfluorononanové (PFNA) v různých globálních environmentálních médiích (tj. dešťová voda, půdy a povrchové vody). Mimo jiné bylo prokázáno, že úroveň PFOS v dešťové vodě v některých oblastech

ve vnitrozemí Evropské unie jsou často nad normou environmentální kvality pro povrchové vody. Je velmi důležité, aby využití těchto látek bylo co nejrychleji omezeno [13, 14].

Současné snahy Evropské komise o zahájení projednávání největšího návrhu na omezení PFAS v historii odrážejí špatnou globální situaci hromadění PFAS v životním prostředí a jejich zdravotní dopady. Komplexní analýza však stále chybí. Podařilo se zvýšit zájem o danou problematiku, přičemž zaměření výzkumu se postupně přesouvá k ekologickým otázkám. Zapojení rozvojových zemí je však malé, přestože expozice PFAS je v těchto oblastech enormně vysoká. Je proto potřeba hledat celosvětově propojené a multidisciplinární přístupy k řešení problematiky spojené s PFAS [15]. Kritický přehled globálního výskytu a distribuce těchto perzistentních chemikálií ve vodách včetně odpadních poskytl i další studie [16, 17].

Ve Švédsku byly PFAS nalezeny v surové i pitné vodě i ve vodách podzemních [18, 19].

V ČR byly testovány PFAS v kohoutkové pitné vodě. Ve 192 vzorcích pitné vody z celé republiky bylo analyzováno 28 PFAS pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie s tandemovou hmotnostní spektrometrií po extrakci na pevnou fázi. Bylo zjištěno, že výskyt PFAS v pitné vodě v ČR je ve srovnání s jinými evropskými studiemi velmi nízký. Potenciální zdravotní riziko by mohlo vykazovat přibližně 1 % analyzovaných vzorků [20, 21]. V sedmi lokalitách na řekách Svitava a Svratka v aglomeraci Brno byl monitorován výskyt perfluorovaných látek ve vodě a rybí krevní plazmě. Koncentrace PFHxS, FHUEA, FOSA a N-methyl FOSA byly pod detekčními limity. Hlavní složkou v rybí krvi byl PFOS, následovaný PFNA a PFOA. Ve vodě byla hlavní detekovanou sloučeninou PFOA, následovaná PFOS a PFNA. Byla zjištěna významná korelace pro koncentraci PFOA v krevní plazmě a vodě ($r = 0,74$) [22]. Výskyt PFAS spolu s bromovanými zpmalovači hoření v Praze a okolí monitorovala také Arnika. Vysoké koncentrace byly naměřeny v Kopaninském potoce. Hodnoty byly významně vyšší než běžné hodnoty v povrchových vodách v Evropě. Zdrojem znečištění může být v tomto případě Letiště Václava Havla [23].

Již v roce 2010 byla sledována kontaminace řeky Rýn. Bylo odebráno 75 vzorků vody podél celého toku řeky Rýn od Bodamského jezera po Severní moře včetně několika hlavních přítoků, jako jsou řeky Neckar, Mohan a Ruhr, a vod z delty Rýna-Meuse, konkrétně z řek Meuse a Scheldt. Cílem bylo zjistit možné zdroje kontaminace [24].

PFAS byly monitorovány také v povodí řeky Dunaj. V celkem 95 vzorcích bylo identifikováno 82 PFAS a 72 dalších podezřelých sloučenin. Řada nalezených látek není v současnosti regulována [25].

Díky prohlubujícím se informacím o toxicitě a expozici populace vznikaly obavy z dopadu na zdraví obyvatelstva. Bylo zpracováno několik studií zabývajících se vztahem mezi koncentrací látek ze skupiny PFAS v krevním séru a v pitné vodě [26, 27]. Látky ze skupiny PFAS byly nalezeny i v mateřském mléce a kojené výživě [28].

Do novelizovaných směrnic Evropské komise je zařazena i kyselina trifluoroctová (TFA), která patří do podskupiny PFAS označovaných jako perfluoroalkylové kyseliny s ultrakrátkým řetězcem (PFAA). Jde o velmi perzistentní sloučeninu, jejíž koncentrace se ve složkách životního prostředí (půda, voda, vzduch, rostliny, rostlinné potraviny, lidské sérum) významně zvyšuje. TFA je transformačním produktem mnoha PFAS, navíc se do prostředí uvolňuje z průmyslové výroby TFA. Studie věnující se výskytu TFA v životním prostředí včetně povrchové vody prokazují, že za posledních 20 let koncentrace této látky ve všech environmentálních složkách několikanásobně stoupla a je v současné době v násobcích vyšší než u ostatních per- a polyfluorovaných látek. Údajů o toxicitě i ekotoxicitě TFA je málo, ale přesto je zřejmé, že existuje potenciální globální hrozba nevratné akumulace TFA [29, 30].

Odstraňování PFAS z odpadních vod

Jedním z významných úkolů je hledání vhodného sorbentu pro odstraňování PFAS z kontaminované vody. Jako nákladově efektivní a ekologický adsorbent pro eliminaci PFAS se jeví biochar [31]. Další možné postupy pro odstraňování nejen perfluorovaných látek jsou ozonizace, granulované aktivní uhlí a membránové procesy s reverzní osmózou. PFAS však nebyly ozonizací odstraněny, účinně byly tyto chemikálie eliminovány při použití fyzikálních metod, jako jsou adsorpce na aktivním uhlí a procesy založené na reverzní membránové osmóze [32]. Účinnými adsorbenty pro odstraňování PFAS z vody se jeví také několik magnetických materiálů, včetně oxidů železa, feritů a magnetických uhlíkových kompozitů. Tyto látky prokázaly značný potenciál pro použití v různých aplikacích sanace životního prostředí, stejně jako při úpravě vody kontaminované PFAS [33]. Technologie s využitím membrány se smíšenou maticí (mixed matrix membrane) odstraňují PFAS z odpadních vod z více než 99 % [34]. Přehledný souhrn výskytu, přeměny a odstraňování poly- a perfluoroalkylových látek v čistírnách odpadních vod (ČOV) zpracovali Lenka a kol. [35]. Upozorňují také na skutečnost, že zejména pro rozvojové země jsou informace o PFAS málo dostupné. Komplexnímu přehledu zdrojů PFAS a jejich sanaci je věnována další studie [36].

Jiná studie se zaměřila na osud a transport PFAS a anorganického fluoridu v komunální ČOV provozující spalovnu čistírenských kalů (Sewage Sludge Incinerator – SSI). Robustní statistická analýza charakterizovala koncentrace a hmotnostní toky na všech primárních přítocích/odtocích ČOV a SSI, včetně emisí pocházejících z tepelného zpracování ve vzduchu. Účinnost odstranění PFAS 51 % naznačuje, že SSI může PFAS eliminovat pouze částečně [37]. Přehled současného stavu výzkumu v oblasti technologií čištění vhodných k odstraňování PFAS z životního prostředí, zejména z vody, poskytuje publikace *Per- and Polyfluoroalkyl Substances Treatment Technologies* [38].

Legislativní požadavky týkající se PFAS na úrovni EU i ČR

Legislativní nástroje jsou hlavním opatřením pro omezení perfluorovaných organických sloučenin v životním prostředí. Jedním z prvních bylo zařazení vybraných perfluorovaných organických látek na seznam perzistentních organických látek (POPs) Stockholmskou úmluvou [39]. Podle čl. 3 úmluvy mají státy a organizace (signatáři úmluvy) zakázat a/nebo přijmout právní a správní opatření nezbytná k odstranění výroby a používání chemických látek uvedených v příloze A, dovozu a vývozu chemických látek uvedených v příloze A a omezení výroby a používání chemických látek uvedených v příloze B úmluvy. Na seznamu přílohy A (Eliminace) Stockholmské úmluvy jsou kyselina perfluorhexansulfonová (PFHxS), její soli a jí příbuzné sloučeniny, jež mohou na PFHxS potenciálně degradovat, a kyselina perfluoroktanová (PFOA), její soli a jí příbuzné sloučeniny, které mohou na PFOA potenciálně degradovat. V případě PFOA existují u některých výrob nebo použití specifické výjimky, jež se týkají fotografického průmyslu, některých aplikací v lékařství, v textilním průmyslu (výroba pracovních oděvů do prostředí, kde hrozí nepříznivé účinky na lidské zdraví), do hasicích pěn pro potlačení výparů kapalných paliv a hašení požárů kapalných paliv (požáry třídy B). Nejpозději do roku 2025 se však musí omezit používání hasicích pěn, které obsahují nebo mohou obsahovat PFOA, její soli a sloučeniny související s PFOA, na místa, kde lze veškeré úniky zachytit. Na seznamu přílohy B (Omezení) Stockholmské úmluvy je uvedena perfluoroktansulfonová kyselina (PFOS), její soli a perfluoroktansulfonylfluorid. Použití je možné v technologických procesech pokovování v uzavřených systémech, v hasicích pěnách pro potlačení výparů kapalných paliv a hašení požárů kapalných paliv (požáry třídy B) a v návnadách na hmyz s účinnou látkou sulfluramid (CAS č. 4151-50-2) pro hubení mravenců rodu *Atta spp.* a *Acromyrmex spp.*, a to pouze pro zemědělské účely.

Dalším opatřením je nařízení Evropského parlamentu a Rady 2019/1021 [40], jež stanovuje omezující podmínky pro použití nebo uvádění výrobků s obsahem perfluorovaných látek na trh Evropské unie. Podle čl. 3 tohoto nařízení se výroba, uvádění na trh a používání látek uvedených v příloze I nařízení, a to jak samotných, tak ve formě směsí nebo předmětů, zakazují. V případě PFOS, jejich solí a příbuzných látek, které se na PFAS rozkládají, mohou být tyto látky přítomny ve směsích nebo předmětech jen jako nezáměrná stopová kontaminující látka (čl. 4, odst. 1., písm. b), a to v množstvích, která jsou specifikována v příloze I nařízení. Tato příloha byla pro PFOS několikrát novelizována za účelem zpřísnění nezáměrné kontaminace. Použití PFOS v technologii tvrdého pochromování (Cr^{6+}) v uzavřených systémech bylo možné do 7. září 2025. Členský stát mohl do 7. září 2024 požádat o výjimku na výše uvedený účel, ta mohla být dána na dobu maximálně 5 let. Formou výjimky dle nařízení 2019/1021 mohla být povolena výroba, uvedení na trh a použití PFOA, jejich solí a sloučenin příbuzných PFOA pro tyto účely:

- A. fotolitografická výroba a procesy leptání při výrobě polovodičů, do 4. července 2025;
- B. fotografické povlaky nanášené na filmy, do 4. července 2025;
- C. textil odolný vůči oleji a vodě pro ochranu pracovníků před nebezpečnými kapalinami představujícími riziko pro jejich zdraví a bezpečnost, do 4. července 2023;
- D. invazivní a implantabilní zdravotnické prostředky, do 4. července 2025;
- E. výroba polytetrafluorethylenu (PTFE) a polyvinylidenfluoridu (PVDF) pro výrobu:
 - vysoce výkonných, korozivzdorných membrán pro filtraci plynu, membrán pro filtraci vody a membrán pro lékařské textilie,
 - zařízení pro tepelné výměníky k využití tepla z průmyslového odpadu,
 - průmyslových těsnících materiálů schopných zabránit úniku tekavých organických sloučenin a částic $\text{PM}_{2,5}$ (particulate matter 2,5 – polétavý prach) do 4. července 2023;
- F. v hasicí pění pro potlačení par uvolňovaných z kapalných paliv a hašení požárů kapalných paliv (požáry třídy B), do 3. prosince 2025.

V oběhu (použití) je však množství výrobků s obsahem PFAS, které byly na trh uvedeny před platností výše uvedené směrnice.

Pod restrikcí REACH [41] jsou rovněž deriváty výše uvedených látek. Jde např. o amonium perfluorhexansulfonát nebo tridekafluorhexansulfonovou kyselinu ve směsi s 2,2'-iminodiethanolem v poměru 1 : 1. Mezi látky vzbuzující mimořádné obavy náleží perfluorbutansulfonová kyselina (PFBS) [42]. V roce 2024 nařízením Komise (EU) 2024/2462 [43] byly stanoveny nové omezující podmínky týkající se kyseliny perfluorhexanové (PFHxA), jejich solí a příbuzných látek, jež se na PFHxA mohou rozkládat. Od 10. dubna 2026 je nelze uvádět na trh ani používat v koncentraci rovné nebo vyšší než 25 ppb pro sumu PFHxA a jejich solí nebo 1 000 ppb pro sumu látek příbuzných PFHxA v hasicích pěnách a pěnových hasicích koncentrátech pro veřejné hasičské sbory – s výjimkou případů, kdy tyto sbory zasahují při průmyslových požárech v závodech, na něž se vztahuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU [44], a od 10. října 2029 v hasicích pěnách a pěnových hasicích koncentrátech pro civilní letectví. Ve výše uvedených koncentracích se od 10. října 2026 nesmí dále uvádět na trh a používat PFHxA v textiliích, usních, kožešinách a kůžích, v oděvech a souvisejících doplňcích pro širokou veřejnost, v obuvi pro širokou veřejnost, v papíru a lepence používaných jako materiály určené pro styk s potravinami v oblasti působnosti nařízení (ES) č. 1935/2004 [45], ve směsích pro širokou veřejnost a kosmetických přípravcích ve smyslu čl. 2, odst. 1, písm. a) nařízení (ES) č. 1223/2009 [46].

V oblasti ochrany lidského zdraví byla na úrovni EU schválena směrnice Evropského parlamentu a Rady 2020/2184 [47], která v Příloze I Části B stanovuje mezní hodnoty pro perfluorované sloučeniny ve vodě určené k lidské spotřebě. Mezní hodnoty jsou stanoveny pro sumu 20 vybraných perfluorovaných sloučenin (činí 0,1 $\mu\text{g/l}$) nebo pro celkové PFAS, jež zahrnují sumu všech per- a polyfluorovaných alkylových sloučenin (činí 0,5 $\mu\text{g/l}$). Členské státy mají povinnost přijmout nezbytná opatření k dodržení výše uvedených limitů do 12. ledna 2026. Tyto látky se monitorují tehdy, pokud se při posouzení a řízení rizik částí povodí souvisejících s místy odběru provedeného v souladu s článkem 8 směrnice dospěje k závěru, že je pravděpodobný výskyt těchto látek v daném zdroji vody.

K červnu 2024 byla Evropskou komisí připravena novela několika směrnic týkající se vodní politiky EU [48]. Novelou směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES je navržen nový seznam prioritních látek pro vodní prostředí a k nim příslušné normy environmentální kvality (NEK). Pod číslem 65 byla uvedena skupina per- a polyfluoroalkylových sloučenin (PFAS), která zahrnuje 24 chemických perfluorovaných látek. Pro tuto sumu PFAS je stanovena norma environmentální kvality – roční průměr (NEK-RP) 0,0044 $\mu\text{g/l}$ (4,4 ng/l) pro matrici povrchová voda a 0,077 $\mu\text{g/kg}$ mokré váhy pro biotu. Na rozdíl od směrnice 2020/2184 je pro každou látku PFAS v novele směrnice 2008/105/ES určen přepočtový faktor vztahovaný ke kyselině perfluoroktanové (PFOS = 1), vůči které se poměruje toxické riziko každé další látky PFAS. Analyticky zjištěná koncentrace každé z látek PFAS má být následně násobena příslušným faktorem a výsledná suma je porovnána s normou environmentální kvality. Je třeba zmínit, že seznamy látek PFAS ve směrnicích 2020/2184 a 2008/105/ES se vzájemně nekryjí, shodných je 16 látek PFAS (tab. 1).

Návrh novelizovaných směrnic připravený Evropskou komisí byl na podzim 2024 předmětem jednání v Evropském parlamentu. Od ledna 2025 do začátku podzimu během polského a dánského předsednictví probíhal mezi členskými státy a Radou Evropské unie tzv. dialog, jehož cílem bylo najít konsenzus mezi legislativními návrhy novelizovaných směrnic v oblasti ochrany vod včetně směrnice 2008/105/ES. V době přípravy tohoto článku nebyl proces dialogu ještě ukončen, ale blíží se jeho završení. V posledních fázích dialogu byla do sumy látek PFAS zahrnuta rovněž kyselina trifluoroctová (TFA). Bylo zjištěno, že i tato perfluorovaná organická sloučenina s nejkratším uhlovodíkovým řetězcem vykazuje perzistenci v životním prostředí [49]. Zastoupení TFA v povrchové vodě je v širokém rozmezí hodnot od jednotek po stovky ng/l [50].

Normy environmentální kvality jsou navrženy rovněž v novele směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/118/ES o ochraně podzemních vod před znečištěním a zhoršováním stavu. S ohledem na nejnovější vědecké poznatky se do přílohy I této směrnice doplňuje norma kvality pro součet čtyř nejproblematictějších PFAS (PFHxS, PFOS, PFOA, PFNA) a TFA v souladu s hodnotou navrženou Evropským úřadem pro bezpečnost potravin (EFSA). Aby se zohlednil rozdíl v toxicitě čtyř PFAS a TFA, při výpočtu součtu pěti látek se používají relativní faktory účinnosti těchto látek. Norma environmentální kvality je rovněž 0,0044 $\mu\text{g/l}$ (4,4 ng/l), tedy shodně jako pro povrchovou vodu. Ve směrnici se píše, že s ohledem na nejnovější vědecké poznatky je důležité, aby parametry pro látky PFAS včetně TFA uvedené ve směrnici 2020/2184/ES byly brzy přezkoumány a případně revidovány a aby v takovém případě byly sladěny také normy environmentální kvality uvedené v příloze I směrnice 2006/118/ES. Legislativní schválení novelizovaných směrnic je pravděpodobné do konce roku 2025.

Na půdě EU probíhá zároveň intenzivní diskuze, jak případně sladit normy environmentální kvality pro látky PFAS pro povrchovou vodu, podzemní vodu a vodu určenou k lidské spotřebě, což bude důležité pro další vývoj legislativních nástrojů. Současně je diskutována skutečnost, že normy environmentální kvality zahrnují jen vybrané látky PFAS, ačkoli jich je ve vodním prostředí zastoupeno daleko více (až několik tisíc). Z těchto důvodů Evropská komise připravuje stanovení norem environmentální kvality pro celkové množství PFAS v povrchových vodách. Má se tak stát při příštím přezkumu směrnice 2008/105/ES. Součástí dokumentace k přezkumu směrnice je pro celkové PFAS [51]

dohromady šest návrhů řešení. Největší shoda v současnosti panuje na návrhu, který uvádí pro povrchovou vodu NEK-RP 0,05 µg/l celkového organického fluoru. Joint Research Centre (Itálie) navrhuje měřit celkový organický fluor

neboli „celkový PFAS“ pouze v případě, že jsou splněny (nepřekročeny) příslušné normy kvality sumy 24 PFAS (pro povrchové vody i pro biotu).

Tab. 1. Porovnání seznamů látek PFAS podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2020/2184 a návrhu novely směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES
Tab. 1. Comparison of lists of PFAS substances according to Directive 2020/2184 of the European Parliament and of the Council and the draft amendment of Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council

PFAS podle směrnice 2020/2184	PFAS podle návrhu novely směrnice 2008/105/ES Stav k 10/2025)	CAS	RPF
	Kyselina trifluoroctová (TFA)	76-05-1	0,002
	2,2,3-trifluoro-3-(1,1,2,2,3,3-hexafluoro-3-(trifluoromethoxy)propoxy)propanová kyselina (ADONA)	919005-14-4	0,03
	2,3,3,3-tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy)propionová kyselina (HFPO-DA)	13252-13-6	0,06
Perfluorobutanová kyselina (PFBA)	Perfluorobutanová kyselina (PFBA)	375-22-4	0,05
Pentafluoropentanová kyselina (PFPeA)	Pentafluoropentanová kyselina (PFPeA)	2706-90-3	0,03
Perfluorohexanová kyselina (PFHxA)	Perfluorohexanová kyselina (PFHxA)	307-24-4	0,01
	2-(Perfluorohexyl)ethylalkohol (6:2 FTOH)	647-42-7	0,02
Perfluoroheptanová kyselina (PFHpA)	Perfluoroheptanová kyselina (PFHpA)	375-85-9	0,505
Perfluoroktanová kyselina (PFOA)	Perfluoroktanová kyselina (PFOA)	335-67-1	1
	2-(Perfluoroktyl)ethanol (8:2 FTOH)	678-39-7	0,04
Perfluorononanová kyselina (PFNA)	Perfluorononanová kyselina (PFNA)	375-95-1	10
Perfluorodekanová kyselina (PFDA)	Perfluorodekanová kyselina (PFDA)	335-76-2	7
Perfluoroundekanová kyselina (PFUnDA)	Perfluoroundekanová kyselina (PFUnDA)	2058-94-8	4
Perfluorododekanová kyselina (PFDoDA)	Perfluorododekanová kyselina (PFDoDA)	307-55-1	3
Perfluorotridekanová kyselina (PFTrDA)	Perfluorotridekanová kyselina (PFTrDA)	72629-94-8	1,65
	Perfluorotetradekanová kyselina (PFTeDA)	376-06-7	0,3
	Perfluorohexadekanová kyselina (PFHxDA)	67905-19-5	0,02
	Perfluoroktadekanová kyselina (PFODA)	16517-11-6	0,02
	2,2-difluoro-2-((2,2,4,5-tetrafluoro-5-(trifluoromethoxy)-1,3-dioxolan-4-yl)oxy)octová kyselina (C6O4)	1190931-41-9	0,06
Perfluorobutansulfonová kyselina (PFBS)	Perfluorobutansulfonová kyselina (PFBS)	375-73-5	0,001
Perfluoropentansulfonová kyselina (PFPeS)	Perfluoropentansulfonová kyselina (PFPeS)	2706-91-4	0,3005
Perfluorohexansulfonová kyselina (PFHxS)	Perfluorohexansulfonová kyselina (PFHxS)	355-46-4	0,6
Perfluoroheptansulfonová kyselina (PFHpS)	Perfluoroheptansulfonová kyselina (PFHpS)	375-92-8	1,3
Perfluoroktansulfonová kyselina (PFOS)	Perfluoroktansulfonová kyselina (PFOS)	1763-23-1	2
Perfluoronansulfonová kyselina (PFNS)			
Perfluorodekansulfonová kyselina (PFDS)	Perfluorodekansulfonová kyselina (PFDS)	335-77-3	2
Perfluoroundekansulfonová kyselina (PFUnS)			
Perfluorododekansulfonová kyselina (PFDoS)			
Perfluorotridekansulfonová kyselina (PFTrS)			

RPF = Relative Potency Factor = Faktor relativní účinnosti toxického účinku dané sloučeniny vztažený k toxickému účinku PFOA

Faktor relativní účinnosti (RPF) se používá při hodnocení rizik směsí perfluoralkylovaných a polyfluoralkylovaných látek k vyjádření jejich potenciální škodlivosti v porovnání se specifickou indexovou sloučeninou, typicky PFOA, pro konkrétní sledovaný ukazatel vlivu na zdraví. Přiřazením RPF 1 indexové sloučenině lze srovnatelné množství expozice jakékoli PFAS ve směsi vypočítat jako „ekvivalenty PFOA“. To umožňuje přesnější posouzení kumulativního zdravotního rizika, které představuje více látek PFAS, jež často kontaminují životní prostředí společně.

Do národní legislativy v oblasti ochrany povrchových vod byly transponovány požadavky směrnice 2008/105/ES ve znění novely 2013/39/EU do nařízení vlády č. 401/2015 Sb. [52], kdy jsou v současnosti stanoveny normy environmentální kvality pouze pro PFOS, které činí $6,5 \cdot 10^{-4}$ µg/l (NEK-RP) a 36 µg/l jako nejvyšší přípustná koncentrace.

V novelizované vyhlášce č. 428/2001 Sb. [53] je již zakomponována mezní hodnota jakosti surové povrchové vody (určené pro úpravu na vodu pitnou) pro sumu 20 PFAS dle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2020/2184 (0,1 µg/l) pro všechny tři kategorie úpravy surové vody A1, A2 a A3.

Přehled analytických metod pro stanovení PFAS

Pro monitoring PFAS je vyvíjena řada analytických postupů, které umožňují jejich stanovení v subnanogramových množstvích. Většina metod využívá kapalinovou chromatografii s hmotnostní spektrometrickou detekcí. Liší se zejména způsobem úpravy vzorku – možný je přímý nástřik, on-line a off-line extrakce na pevné fázi (SPE) či disperzní magnetická extrakce na pevné fázi (DMSPE). Metoda aplikovaná při analýze vod na přítoku a odtoku v úpravně pitné vody v Katalánsku je založena na přímém nástřiku 900 µl vzorku bez nutnosti předúpravy [54]. Podobná metoda, také založená na přímém nástřiku 100 µl odstředěného vzorku vody bez jakékoli další úpravy vzorku s využitím UHPLC-MS/MS pro analýzu několika perfluoralkylových kyselin (PFAA) v široké škále vodních matric, vykazovala vysokou citlivost (stanovení subnanogramových množství), rychlost, přesnost a nízký maticový efekt [55]. Metoda přímého nástřiku 150 µl vzorku vody využitím Agilent 1100 HPLC a Waters Quattro Micro tandem hmotnostního spektrometru je popsána ve studii zabývající se vedle analýzy vody také analýzou vzorků půdy [56]. Další analytickou metodou využitelnou pro stanovení těchto kontaminantů je metoda založená na využití SPE následované plynovou chromatografií s negativní chemickou ionizací a hmotnostní detekcí. Metoda je velmi citlivá, výsledky jsou plně srovnatelné s metodami HPLC-MS/MS. Touto metodou byly testovány vzorky povrchové vody z Vltavy a Labe. Ve všech vzorcích byly sledované látky nalezeny [57]. Analytickým metodám pro stanovení PFAS vyvíjeným a používaným v letech 2018 až 2023 je věnována i další souhrnná studie [58]. Pro extrakci PFAS je většinou používána extrakce na pevné fázi a pro vlastní stanovení pak především kapalinová chromatografie ve spojení s hmotnostní spektrometrií [58]. Metoda založená na extrakci na pevné fázi s použitím 100 ml vzorku vody byla užita pro stanovení 22 PFAS v pitné vodě v ČR. Pro vlastní analýzu byla použita vysokoúčinná kapalinová chromatografie ve spojení s hmotnostní detekcí. Touto metodou bylo analyzováno 67 vzorků pitné vody a 31 vzorků vody balené. Příjem PFAS dospělou osobou z kohoutku nebo balené vody dosahoval jednotek % tolerovatelného týdenního příjmu stanoveného Evropským úřadem pro bezpečnost potravin, a proto nepředstavoval závažné riziko [59].

Další přímá injekční metoda pro analýzu PFAS ve vzorcích environmentální vody využívá centrifugaci a membránovou filtraci malých objemů vzorků, které jsou pak analyzovány UHPLC ESI MS/MS metodou zahrnující zpoždovací kolonu pro zmírnění interference způsobené kontaminací PFAS na pozadí. K vlastní analýze je použit hmotnostní spektrometr AB Sciex 6500 plus Q-Trap provozovaný v režimu negativního monitorování více reakcí (MRM). Systém přístroje zahrnuje zpoždovací kolonu mezi pumpami a automatickým vzorkovačem pro zmírnění rušení z PFAS na pozadí. Metoda monitoruje osm PFAS s krátkým/dlouhým řetězcem, jež jsou identifikovány monitorováním specifických prekurzorových

produktových iontových párů a jejich retenčních časů a kvantifikovány pomocí kalibračních grafů na bázi izotopově značeného vnitřního standardu. Metoda je technicky robustní a má dostatečnou citlivost a reprodukovatelnost pro použití jako primární screeningová metoda pro detekci a kvantifikaci PFAS na běžně pozorovaných úrovních v povrchové vodě a pitné vodě. Metoda může přesně detekovat a kvantifikovat běžné druhy PFAS včetně PFOA a PFOS v hladinách pod běžně doporučenou hladinou screeningu 70 ng/l [60].

Stanovením PFAS dle směrnice 2020/2184/EU nařízenými metodami se zabývá další studie [61]. V této práci byly vyvinuty a vyhodnoceny tři různé metody pro stanovení 20 PFAS ve vodě z kohoutku a balené vodě, založené na on-line a off-line extrakci v pevné fázi (SPE) a přímém nástřiku. Ve všech případech byla jako technika stanovení použita ultravysokotlaká kapalinová chromatografie – tandemová hmotnostní spektrometrie (UHPLC-MS/MS). Off-line SPE s patronami Oasis Weak Anion Exchange (WAX) poskytla nejlepší výsledky z hlediska limitů kvantifikace (LOQ ≤ 0,3 ng/l) a přesnosti (R ≥ 70 %) ve vzorcích pitné vody. On-line SPE a přímé vstřikování představovaly některé nevýhody, jako jsou problémy s kontaminací pozadí a nižší přesností pro nejméně polární sloučeniny. Off-line metoda byla použita pro analýzu 46 vzorků pitné vody (11 komerčních lahvových vzorků, 23 španělských a 12 mezinárodních vzorků vodovodní vody) [61].

V Řecku byla vyvinuta, validována a na reálných vzorcích použita metoda vysokoúčinné kapalinové chromatografie (UPLC) spojené s hmotnostní spektrometrií Orbitrap (Orbitrap-MS) využívající rozhraní s ionizací elektrosprejem (ESI) v negativním režimu. Byly analyzovány vzorky jezerní a mořské vody i odpadní vody z komunálních a nemocničních ČOV. Koncentrace v povrchových vodách byly nedetekovatelné nebo významně nižší než v odpadních vodách [62].

Aplikaci disperzní magnetické extrakce na pevné fázi (DMSPE) pro obohacení PFAS v různých vzorcích povrchových vod využívá další vyvíjená metoda zaměřená na zrychlení a zjednodušení celého postupu stanovení. Pro předkoncentraci a extrakci PFAS v různých vzorcích říční vody byl poprvé použit magnetický Fe_3O_4 @ MIL-101 (Cr) jako adsorbent v MSPE. Koncentrace cílových analytů ve vzorcích vody byly stanoveny pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie s diodovým detektorem a ultra-vysokoúčinné kapalinové chromatografie – tandemové hmotnostní spektrometrie [63].

Pro zhodnocení úrovně kontaminace PFAS v kalech pocházejících z vybraných PFAS na 43 ČOV v ČR byla vyvinuta a ověřena analytická screeningová metoda pro 32 zástupců PFAS, včetně nových substitutů (např. GenX, dodekafluor-3H-4 sodný, 8-dioxanonanoát – NaDONA). Pro hodnocení rizik zemědělského využití kalů z ČOV běžně používaných jako hnojivo byla vypočtena expozice člověka PFAS z různých druhů zeleniny pěstovaných v půdě a potenciálně hnojených reálné kontaminovaným kalem v ČR [64].

Ke kvantitativnímu stanovení PFOS byla také vyvinuta metoda využívající vysokoúčinnou kapalinovou chromatografii (HPLC) ve spojení s hmotnostní spektrometrií Orbitrap (Orbitrap-MS) využívající vyhřívané elektrosprejové ionizační (HESI) rozhraní provozované v negativním módu. HPLC separace analytů byla dosažena použitím analytické kolony C18 s reverzní fází (RP-C18). Metoda umožňuje spolehlivé monitorování PFOS a jeho derivátů ve vzorcích životního prostředí podle kritérií normy environmentální kvality s ohledem na maximální přípustné koncentrace a s přihlédnutím k ročním průměrným koncentracím uvedeným ve směrnici 2013/39/EU. Metoda byla aplikována pro rutinní analýzu vybraných PFAS ve vzorcích životního prostředí z oblasti Baltského moře [65].

Pro komplexní charakterizaci PFAS v environmentálních, biologických a technických vzorcích kvůli velmi omezené dostupnosti autentických referenčních standardů PFAS je nezbytný také necílový screening (NTS) založený na hmotnostní spektrometrii s vysokým rozlišením (HRMS). Vzhledem k tomu, že ve stopové analýze nejsou informace o MS/MS vždy dosažitelné a v homologických sériích jsou přítomny pouze vybrané PFAS, jsou velmi žádoucí další techniky pro upřednostnění naměřených dat HRMS podle jejich pravděpodobnosti, že jde o PFAS. Ve studii navrhovaný postup by mohl být využit i pro monitorování dalších skupin sloučenin [66].

Vzhledem k blížící se povinnosti pravidelně sledovat koncentrace vybraných PFAS jsou rychle vyvíjeny metody, jež umožňují velmi citlivou analýzu pro rutinní stanovení PFAS v různých typech vod (pitných, povrchových i podzemních) [67, 68]. Současné jsou vyvíjeny i metody pro kvantifikaci PFAS s krátkým a ultrakrátkým řetězcem [69].

Jelikož látek ze skupiny PFAS existuje velké množství a je poměrně náročné je ve vzorku identifikovat či stanovit všechny, pro screeningové účely se prosazují i jednodušší metody pro stanovení celkového organického fluoru. Nejčastěji je pro tento účel používána metoda stanovení adsorbovatelného organického fluoru (AOF), která poskytuje nespécifické informace o množství organických sloučenin fluoru. Postup využívající spalovací iontovou chromatografii (CIC) pokrývá širokou škálu fluororganických sloučenin, jež nejsou v současnosti detekovatelné pomocí LC-MS/MS. AOF má význam pro odhad neznámých koncentrací PFAS, screening kontaminace PFAS a posouzení expozice PFAS [70, 71].

Jak bylo uvedeno výše, množství publikací věnujících se problematice PFAS je enormní. Hlavními problémy, s nimiž je nutné se vypořádávat při analýze PFAS, jsou vysoké požadované hodnoty, které vyžadují velmi přísné dodržované postupy již při odběru vzorků a volbu vhodných vzorkovnic i dalších nástrojů užívaných při zpracování vzorků. Vzhledem k velmi nízkým normám environmentální kvality navrhovaným v evropské legislativě jsou metody stanovení PFAS velmi náročné na přístrojovou techniku. Díky jejich obecnému rozšíření mohou být vysoké i požadované hodnoty sledovaných látek v běžném laboratorním vybavení. Rovněž některé součástky analytických přístrojů je třeba vyměnit za PFAS-free ekvivalenty.

Vzorkování

Vzhledem k všudypřítomnosti PFAS je komplikovaný už samotný odběr vzorků, a tím i materiál vzorkovnic, do nichž jsou vzorky odebírány. Z běžně používaných materiálů HDPE, jako jsou polypropylen (PP), polystyren (PS), kopolymer polypropylen (PPCO), polyethylentereftalátu (PET), polytetrafluoretylen (PTFE) a skla, byl zkoumán vliv podmínek skladování a přípravy vzorků, tj. doby skladování, složení rozpouštědla, skladovacích teplot (4 °C a 20 °C) a techniky míchání vzorků (třepání a centrifugace) na ztráty PFAS do materiálů vzorkovnice. Nejvyšší ztráty PFAS s dlouhým řetězcem ve vodném roztoku byly pozorovány u polypropylen. Sorpční ztráty PFAS s dlouhým řetězcem se snížily v roztoku 80 : 20 voda : methanol (% v/v). Sorpční ztráty PFAS s teplotou byly závislé na složení rozpouštědla [72]. Při odběru vzorků pro stanovení těchto sloučenin je třeba dodržovat striktní postupy tak, aby bylo zabráněno jejich sekundární kontaminaci. Vzorkovací vybavení a pomůcky nesmějí obsahovat materiály z PTFE, PVDF, PCTFE, ETFE, FEP (např. obchodní značky Teflon®, Hostafion®, Kynar®, Neoflon®, Tefzel®). Materiál LDPE nesmí být použit pro přímý kontakt se vzorkovacím médiem (např. pro vzorkovnice), ale může být obsažen např. v ochranných sáčcích. Nejčastěji se používají vzorkovnice z HDPE, které je vhodné předem otestovat na přítomnost PFAS.

Terénní oblečení a obuv vzorkařů nesmí obsahovat Gore-Tex® nebo jiné voděodolné materiály nebo materiály s povrchovou úpravou proti zašpinění. Vhodné jsou oděvy a obuv z bavlny, PVC nebo polyuretanu, předem vícenásobně vyprané bez umělých změkčovačů. Látky ze skupiny PFAS se mohou vyskytovat v řadě prostředků osobní péče – v kosmetice, krémech, šamponech, repelentech a podobně. Proto je doporučeno neaplikovat tyto prostředky v den a během průběhu vzorkování, aby byl zamezen kontakt těchto prostředků se vzorkovacími pomůckami a vybavením. Při dodržení všech dalších zásad je možné je použít před vzorkovacími pracemi, ale je třeba se vyhnout jejich aplikaci v terénu během vzorkování (např. slunečních krémů nebo repelentů). Základním opatřením je důkladné mytí rukou a používání nepudrovaných nitrilových rukavic.

Ke kontaminaci vzorků může dojít také během jejich transportu. Proto je nezbytné vyhnout se všem výše uvedeným materiálům, voděodolným polepům vzorkovnic i permanentním popisovačům. Pro kontrolu možné kontaminace v průběhu vzorkování a dopravy vzorků se odebírají terénní a transportní slepé vzorky [73].

Stávající sledování PFAS v povrchových vodách v ČR

Látky ze skupiny PFAS nejsou doposud systematicky sledovány na celém území ČR. Byla provedena analýza dostupných dat monitoringu jednotlivých látek z této skupiny získaná od jednotlivých státních podniků Povodí, jež realizovaly jejich sledování v rámci monitoringu jakosti povrchových vod. Při výpočtu průměrných hodnot (roční průměrné hodnoty nebo celkové průměry za období, ve kterém byly sloučeniny ze skupiny PFAS sledovány) byly hodnoty pod mezí stanovitelnosti (MS) započteny na úrovni MS.

V povodí Ohře byl měřen PFOS v jednotlivých letech (v období 2012–2023) na 42–110 profilech. V období 2012–2017 byla použita mez stanovitelnosti 0,010 µg/l, od roku 2018 0,020 µg/l. V celém sledovaném období převažovaly hodnoty nižší než MS, v jednotlivých letech to bylo 70–100 %. Pozitivních hodnot tedy v jednotlivých letech bylo 0–30 %. Souhrnně bylo 83 % hodnot nižších než 0,020 µg/l, 16 % hodnot bylo v rozmezí 0,020–0,100 µg/l, 2 % hodnot bylo vyšších než 0,100 µg/l, maximální zaznamenaná hodnota činila 0,600 µg/l. Roční průměrné hodnoty vyhodnocené pro celé povodí byly v jednotlivých letech 0,010–0,021 µg/l, průměr za celé období 0,017 µg/l. V roce 2024 bylo v povodí Ohře zahájeno sledování PFAS v rozsahu směrnice 2020/2184 o jakosti vody určené k lidské spotřebě ve vodárenských nádržích. Použitá MS byla 0,006 µg/l pro PFBA a 0,001 µg/l pro všechny ostatní látky PFAS. Byly detekovány pouze jednotky hodnot nad MS PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFDA, PFTTrDA, PFBS, PFHpS, PFOS, PFDS, PFTTrDS v rozmezí 0,001–0,014 µg/l.

V povodí Odry byl stanovován pouze PFOS, a to v jednotlivých letech období 2017–2023 na 80–82 profilech říční sítě. V období 2017–2021 byla použita MS 0,100 µg/l, v průběhu roku 2022 došlo ke snížení na 0,010 µg/l. Za celé sledované období byly zjištěny pouze dvě pozitivní hodnoty (0,210 a 0,400 µg/l v roce 2018). Roční průměrné hodnoty vyhodnocené pro celé povodí byly v jednotlivých letech 0,010–0,101 µg/l, průměr za celé období 0,075 µg/l.

V povodí Moravy byly sledovány v období 2013–2023 PFOS a PFOA, a to na 44–100 profilech. V období 2013–2019 byla použita MS pro PFOS 0,020 µg/l, v období 2020–2022 0,010 µg/l a od roku 2023 0,6 ng/l. V celém hodnoceném období převažovaly hodnoty nižší než MS. Pozitivních hodnot bylo v jednotlivých letech do roku 2022 jen 0–2 %. Souhrnně bylo 99,5 % hodnot nižších než 0,020 µg/l, 0,4 % hodnot bylo v rozmezí 0,020–0,100 µg/l, 0,1 % hodnot bylo vyšších než 0,100 µg/l, maximální zaznamenaná hodnota činila 3,65 µg/l. Roční průměrné hodnoty vyhodnocené pro celé povodí byly v jednotlivých letech 0,0006–0,021 µg/l, průměr za celé období byl 0,016 µg/l. Od roku 2023, kdy byla MS snížena na 0,6 ng/l, je podíl výsledků vyšších než MS cca 10 %.

Pro PFOA byla použita MS v celém období 0,010 µg/l. V celém hodnoceném období převažovaly hodnoty nižší než MS. Pozitivních hodnot bylo v jednotlivých letech do roku 2022 pouze 0–2 %. Souhrnně bylo 99,6 % hodnot nižších než 0,010 µg/l, 0,3 % hodnot bylo v rozmezí 0,010–0,100 µg/l, 0,1 % hodnot bylo vyšších než 0,100 µg/l, maximální zaznamenaná hodnota činila 1,8 µg/l. Roční průměrné hodnoty (vyhodnocené pro celé povodí) byly v jednotlivých letech 0,010–0,014 µg/l, průměr za celé období 0,011 µg/l. V roce 2024 bylo na vybraných 27 profilech v povodí Moravy zahájeno sledování PFAS v rozsahu směrnice 2020/2184 o jakosti vody určené k lidské spotřebě a návrhu novely směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES. Použitá MS byla pro jednotlivé látky 0,018–1,0 ng/l. Kromě PFOS a PFOA byly detekovány nad MS ještě PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFBS, PFHxS, a to v rozmezí 0,02–12,6 ng/l.

V povodí Labe byly v období 2012–2024 v jednotlivých letech sledovány PFOS a PFOA na 20–130 profilech. V období 2012–2015 byla použita mez stanovitelnosti pro PFOS 0,020 µg/l, v období 2016–2017 0,002 µg/l a od roku 2018 1 ng/l. V celém sledovaném období převažovaly hodnoty nižší než MS, v celém období to bylo asi 70 %. Souhrnně bylo 96,5 % hodnot nižších než 0,020 µg/l, 3,2 % hodnot bylo v rozmezí 0,020–0,100 µg/l, 0,3 % hodnot bylo vyšších než 0,100 µg/l, maximální zaznamenaná hodnota činila 0,568 µg/l. Roční průměrné hodnoty

vyhodnocené pro celé povodí byly v jednotlivých letech 0,0013–0,031 µg/l, průměr za celé období 0,0054 µg/l.

Pro PFOA byla použita MS v období 2012–2015 0,020 µg/l, v letech 2016–2023 0,005 µg/l a od roku 2018 1 ng/l. V celém sledovaném období převažovaly hodnoty menší než MS, a to asi v 95 %. Souhrnně bylo 99,6 % hodnot menších než 0,020 µg/l a 0,4 % hodnot bylo v rozmezí 0,020–0,100 µg/l, maximální zaznamenaná hodnota činila 0,046 µg/l. Roční průměrné hodnoty (vyhodnocené pro celé povodí) byly v jednotlivých letech 0,0025–0,020 µg/l, průměr za celé období 0,0063 µg/l. Sledování PFAS v širším rozsahu bylo v tomto povodí zahájeno v roce 2025.

V **povodí Vltavy** byly sledovány v jednotlivých letech období 2012–2024 PFOS a PFOA na 28–134 profilech. V období 2012–2013 byla použita MS pro PFOS 0,100 µg/l, v období 2014–2021 0,005 µg/l, v roce 2022 0,003 µg/l a od roku 2023 0,5 ng/l. V celém sledovaném období převažovaly hodnoty nižší než MS. Pozitivních hodnot bylo v jednotlivých letech jen 0–26 %. Souhrnně bylo 87 % hodnot nižších než 0,020 µg/l, 12,9 % hodnot bylo v rozmezí 0,020–0,100 µg/l, 0,1 % hodnot bylo vyšších než 0,100 µg/l, maximální zaznamenaná hodnota činila 0,289 µg/l. Roční průměrné hodnoty vyhodnocené pro celé povodí byly v jednotlivých letech 0,0022–0,100 µg/l, průměr za celé období 0,017 µg/l. Od roku 2023, kdy byla MS snížena na 0,5 ng/l, je podíl výsledků vyšších než MS cca 20 %.

Pro PFOA byla použita MS v období 2012–2013 0,100 µg/l, v období 2014–2021 0,010 µg/l, v roce 2022 0,005 µg/l a od roku 2023 2 ng/l. V celém sledovaném období převažovaly hodnoty nižší než MS. Pozitivních hodnot bylo v jednotlivých letech jen 0–22 %. Souhrnně bylo 87,4 % hodnot nižších než 0,010 µg/l, 12,6 % hodnot bylo v rozmezí 0,010–0,100 µg/l, pouze jedna hodnota byla vyšší než 0,100 µg/l, maximální zaznamenaná hodnota činila 0,111 µg/l. Roční průměrné hodnoty vyhodnocené pro celé povodí byly v jednotlivých letech 0,0022–0,100 µg/l, průměr za celé období 0,020 µg/l. V roce 2023 bylo na vybraných 42 profilech v povodí Vltavy zahájeno sledování PFAS v rozsahu směrnice 2020/2184 o jakosti vody určené k lidské spotřebě a od roku 2024 rozšířeno o další čtyři látky. Použitá MS byla pro jednotlivé látky 0,5–6,0 ng/l. Kromě PFOS a PFOA byly detekovány nad MS ještě PFBA, PFBS, PFHeX, PFHpA, PFHxA, PROS-H4, PFTfDA v rozmezí 1,2–55 ng/l. Více ke sledování těchto látek v Povodí Vltavy uvádí [74].

Hodnoty zjištěné v povrchových vodách v ČR můžeme porovnat s nálezy sloučenin ze skupiny PFAS v dalších zemích. V letech 2004 až 2010 byly analyzovány vzorky povrchových vod ze 41 měst v 15 zemích. PFOS a PFOA byly přítomny ve všech vzorcích s průměrnými koncentracemi v rozmezí od nedetekovatelné hodnoty ND – 0,070 µg/l (PFOS), resp. 0,0002–1,630 µg/l (PFOA). Maximální průměrné koncentrace PFOS v povrchových vodách ve Velké Británii byly 0,019 µg/l. Koncentrace PFOA v povrchových vodách v Ósace činila 1,630 µg/l. V ostatních městech zahrnutých do studie byly průměrné koncentrace PFOA většinou nižší než 0,100 µg/l. V povrchové vodě z řeky Jucar byly PFAS detekovány v koncentracích v rozmezí 0,04 ng/l–0,0831 µg/l [16]. Ve Švédsku byly zjištěny průměrné koncentrace 26 PFAS ve vzorcích odebíraných v oblastech zdrojů pitné vody 0,0084 µg/l, v povrchových vodách 0,112 µg/l a v podzemních vodách 0,049 µg/l [18]. V povrchových vodách v rozvodí řeky Rýn od Bodamského jezera po Severní moře byla zkoumána koncentrace 40 polyfluoroalkylových látek (PFAS) s cílem zjistit vliv bodových i difuzních zdrojů. Mezi PFAS převládá perfluorbutansulfonát (PFBS) s koncentracemi do 0,181 µg/l a kyselina perfluorbutanová (PFBA) s koncentracemi do 0,335 µg/l. Tyto dvě sloučeniny tvoří až 94 % z celkových PFAS [24].

Pilotní rozšíření sledování v dalších profilech

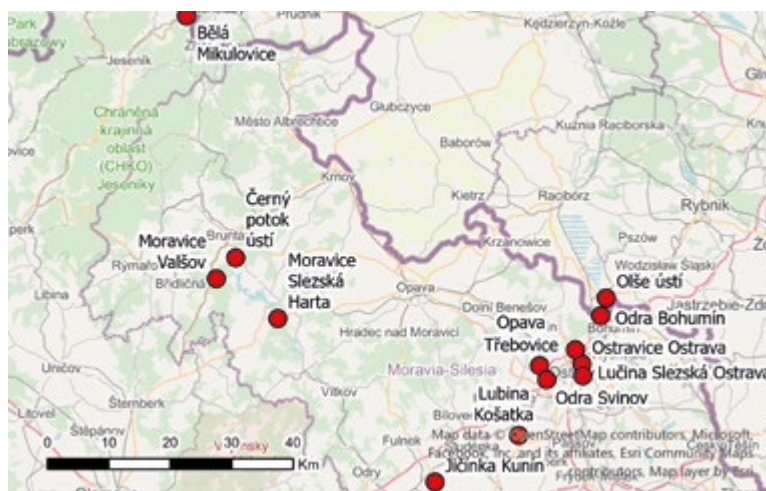
Pro doplnění profilů sledování látek PFAS v širším rozsahu byl navržen pilotní monitoring v Povodí Ohře a Odry. Ve spolupráci se správci obou povodí byly vybrány významné uzávěrové profily a profily s opakovaným výskytem PFOS nad mezí stanovitelnosti. Tyto profily jsou uvedeny v tab. 2. Kromě profilů ze zájmových povodí byl ještě zařazen Kopaninský potok na okraji Prahy, který je významně ovlivněn Letištěm Václava Havla.

Přehled profilů monitorovaných v povodí Ohře je na obr. 1, profily odebrané v povodí Odry jsou na obr. 2. Na obr. 3 je vyznačen odběrný profil na Kopaninském potoce.



Obr. 1. Přehled profilů na povodí Ohře

Fig. 1. Location map of Ohře basin profiles



Obr. 2. Přehled profilů na povodí Odry

Fig. 2. Location map of Odra basin profiles



Obr. 3. Odběrný profil na Kopaninském potoce

Fig. 3. Location of the sampling profile on the Kopaninský stream

Tab. 2. Vybrané odběrové profily
Tab. 2. Selected sampling profiles

Vodní tok	Profil	Kód profilu	Poznámka k výběru
Bílina	Ústí nad Labem	POH_1028	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS, opakovaný výskyt hodnot > 0,05 µg/l
Ohře	Terežín	POH_1001	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS, maximální hodnota 0,046 µg/l
Ohře	Želina	POH_1008	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS, PFOS (biota): 6,67-43,2 µg/kg
Bystřice	Ostrov	POH_1024	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS, maximální hodnota 0,110 µg/l
Převod z PPV Březenecská do VD Otvice	Chomutov	POH_1283	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS, maximální hodnota 0,140 µg/l
Rolava	Rybáře	POH_1022	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS
Reslava	Pomezí – hranice	POH_1105	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS, maximální hodnota 0,083 µg/l
Ploučnice	Březiny	POH_1032	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS>MS, maximální hodnota 0,055, PFOS (biota): 0,99–2,99 µg/kg
Chodovský potok	Dvory	POH_1021	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS
Blšanka	Trnovany	POH_1026	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS
Chomutovka	Postoloprty	POH_1027	PFOS (povrchová voda): opakovaný výskyt PFOS > MS
Mračný potok	Záluží	POH_1080	PFOS (povrchová voda): max. zaznamenaná hodnota PFOS – 0,6 µg/l
Kopaninský pot	Preláta	-	Letiště Václava Havla Praha
Odra	Bohumín	POD_1163	Závěrný hraniční profil
Odra	pod Černým příkopem	POD_5569	Ústí OV z ÚČOV Ostrava do Černého potoka
Odra	Svinov	POD_1161	PFOS (biota): 2,86 až 8,80 µg/kg
Olše	ústí	POD_5407	Ústí páteřního toku z Karvinska
Ostravice	Ostrava	POD_1152	PFOS (biota): 0,264 až 3,360 µg/kg
Lučina	Slezská Ostrava	POD_1154	ČOV Havířov + průmysl
Jičínka	Kunín	POD_1164	ČOV Nový Jičín
Opava	Třebovice	POD_1146	Ústí páteřního toku z Opavska a Jesenicka
Moravice	Valšov	POD_5203	Před vtokem do VD Slezská Harta
Černý potok	ústí	POD_3581	ČOV Bruntál
Moravice	Slezská Harta	POD_101	Před vtokem do VD Kružberk
Bělá	Mikulovice	POD_3596	ČOV Česká Ves (Jeseník)
Lubina	Košatka	POD_1165	Průmysl, letiště, max. zaznamenaná hodnota PFOS – 0,4 µg/l

Součástí odběru vzorků je také měření terénních ukazatelů: teploty vzduchu, teploty a elektrické konduktivity vody. U profilů, kde je to možné, je zaznamenán průtok na nejbližší vodoměrné stanici.

POUŽITÉ ANALYTICKÉ METODY
STANOVENÍ A IDENTIFIKACE PFAS

Cílená analýza

Při vývoji metody pro stanovení PFAS v povrchové vodě jsme vycházeli z publikovaných metod, které k analýzám využívaly obdobnou instrumentaci [67, 68]. Byla zvolena metoda kapalinové chromatografie s hmotnostní detekcí za podmínek ionizace elektrosprejem v negativním módu. Byly zakoupeny metanoloové roztoky standardů od firmy Neochema a Altium International a interní standardy od firmy Wellington Laboratories a přístrojové doplňky pro PFAS analýzu. Analýzy jsou prováděny na kapalinovém chromatografu Exion LC/SCIEX s hmotnostním detektorem Triple QuadTM 7500 s elektrosprejovou ionizací v negativním módu, Q₀D optimalizací a simple módu pro analýzu. Pro separaci analytů byly použity delay kolona Phenomenex Luna Omega C18, 100 Å, 50 × 2,1 mm, 1,6 µm a analytická kolona Phenomenex Luna Omega PS C18, 100 Å, 100 × 3,0 mm, 3 µm. Pro gradientovou eluci analytů byly použity mobilní fáze A (20 mM octan amonný ve vodě) a mobilní fáze B (methanol). Průtok mobilní fáze je 0,6 ml/min. Počáteční koncentrace mobilní fáze A je 90 %, v 0,1 min. poklesne na 45 %. Od 4,50 min. do 4,95 min. je koncentrace mobilní fáze A 1 %, v 5,0 min. je koncentrace fáze A 90 %. Tento gradient je použit pro PFAS s kratším řetězcem. PFAS s dlouhým řetězcem PFHxDA, PFODA jsou hydrofobnější než PFAS s kratším řetězcem a zdá se, že se při koncentraci MeOH < 40 % vážou na polypropylenové kontejnery. Pro tyto sloučeniny bylo nutno metodu upravit, podmínky gradientové eluce byly změněny. Počáteční koncentrace mobilní fáze A je 90 %, v 1,5 min. klesne na 35 %. V 8 min. je koncentrace fáze A 5 %. Od 8,1 min. do 12,0 min. je koncentrace mobilní fáze A 1 %. Ve 12,5 min. se zvedne na 90 %. Kalibrace na interní standard byla připravena v rozsahu 1–200 ng/l. Příprava vzorků probíhá následujícím způsobem: do 2 ml skleněné vialky s 0,65 ml směsného methanolickeho roztoku surogátních standardů (výsledná koncentrace jednotlivých standardů 50 ng/l) se dá 1 ml vzorku vody. Konečná koncentrace MeOH ve zředěném vzorku je 40 % a standardy, blanky a kontrolní vzorky budou připraveny o stejné koncentraci methanolu. Objem nastříkovaného vzorku je 100 µl. Pro jednotlivé PFAS byly naladěny optimální chromatografické podmínky. Pro každý analyt se monitorují dva charakteristické přechody, jeden pro interní

standard. V tab. 3 jsou uvedeny přehled a charakteristika vnitřních (interních) standardů přiřazených jednotlivým analytům. Naměřené MRM přechody jsou uvedeny v tab. 4. Metoda je připravena k testování s analytickými standardy.

Tab. 3. Interní standardy
Tab. 3. Internal standards

Analyt	Interní standard	
PFBA	MPFBA	13C4-PFBA
PFBS	M3PFBS	13C3-PFBS
PFPeA	M5PFPeA	13C5-PFPeA
PFHxA	MPFHxA	13C5-PFHxA
PFPeS	M3PFHxS	13C3-PFHxS
HFPO-DA	M3HFPO-DA	13C3-HFPO-DA
DONA	MPFHxA	13C5-PFHxA
PFHpA	M4PFHpA	13C4-PFHpA
PFHxS	M3PFHxS	13C3-PFHxS
PFHpS	M8PFOA	13C8-PFOA
PFOA	M8PFOA	13C8-PFOA
PFOS	M8PFOS	13C8-PFOS
PFNA	M9PFNA	13C8-PFOS
PFNS	M6PFDA	13C9-PFNA
PFDA	M6PFDA	13C6-PFDA
PFDS	M6PFDA	13C6-PFDA
PFUdA	M7PFUdA	13C6-PFDA
PFUdS	M2PFDoA	13C7-UdA
PFDoA	M2PFDoA	13C2PFDoA
PFDoS	M2PFDoA	13C2PFDoA
PFTTrDA	M2PFDoA	13C2PFDoA
PFTTrDS	M2PFDoA	13C2PFDoA

Tab. 4. Vybrané diagnostické ionty
Tab. 4. Selected diagnostic ions

Analyt	MRM přechody [m/z]		EP [V]	CE [V]	CXP [V]
	Q1	Q3			
MPFBA	217	172,0	-10	-15	-11
PFBA	212,9	169,0	-10	-13	-14
PFPeA	263	219,0	-10	-12	-14
M5PFPeA	268	223,0	-10	-14	-11
M3PFBS	302	79,9	-10	-68	-12
PFBS	299	80,0	-10	-65	-2
	299	99,0	-10	-36	-9
PFHxA	313	269,0	-10	-14	-17
	313	119,0	-10	-27	-7

Analyt	MRM přechody [m/z]		EP [V]	CE [V]	CXP [V]
	Q1	Q3			
M5PFHxA	318	273	-10	-14	-17
PFPeS	349	80,0	-10	-62	-9
	349	99,0	-10	-43	-18
M3PFHxS	402	79,9	-10	-80	-8
PFHxS	399	80,0	-10	-95	-13
	399	99,0	-10	-41	-8
PFHpA	363	319,0	-10	-15	-10
	363	169,0	-10	-24	-10
	363	119,0	-10	-27	-14

Analyt	MRM přechody [m/z]		EP [V]	CE [V]	CXP [V]
	Q1	Q3			
M4PFHpA	367	322,0	-10	-14	-19
PFHpS	449	80,0	-10	-105	-9
	449	99,0	-10	-73	-10
PFOA	413	369,0	-10	-10	-25
	413	169,0	-10	-25	-10
M8PFOA	421	376	-10	-15	-24
PFOS	499	79,9	-10	-103	-13
	499	98,9	-10	-95	-12
M8PFOS	507	80	-10	-103	-13
PFNA	463	419,0	-10	-17	-14
	463	219,0	-10	-25	-11
M9PFNA	472	427	-10	-17	-14
PFNS	549	80,0	-10	-114	-8
	549	99,0	-10	-106	-10
PFDA	513	469,0	-10	-19	-14
	513	269,0	-10	-26	-15
M6PFDA	519	474	-10	-19	-14
PFDS	599	80,0	-10	-132	-8
	599	99,0	-10	-105	-9
PFUdA	563	219,0	-10	-28	-14
	563	319,0	-10	-27	-18
M7PFUdA	570	525,0	-10	-20	-10
PFUdS	649	80,0	-10	-148	-8
	649	99,0	-10	-129	-10
M2PFDoA	615	570,0	-10	-19	-13
PFDoA	613	569,0	-10	-19	-15
	613	169,0	-10	-36	-11
	613	269,0	-10	-30	-19
PFDoS	699	80,0	-10	-173	-39
	699	98,9	-10	-150	-43
	699	280,0	-10	-73	-25
PFTrDA	663	319,0	-10	-31	-19
	663	219,0	-10	-34	-13
	663	169,0	-10	-35	-16
PFTrDS	749	80,0	-10	-176	-36
	749	99	-10	-165	-45
PFTeDA	713,1	669			
	713,1	168,9			

Analyt	MRM přechody [m/z]		EP [V]	CE [V]	CXP [V]
	Q1	Q3			
M2PFTeDA	715,2	670			
C6O4	339	113,0	-10	-17	-44
	339	85,0	-10	-34	-42
DONA	377	251,0	-10	-18	-41
	377	85,0	-10	-34	-3
6:2 FTOH	423	59,0	-10	-48	-15
	423	96,1	-10	-106	-9
8:2 FTOH	523	59,1	-10	-46	-3
	523	116,0	-10	-54	-11
HEPO-DA	285	169,2	-10	-11	-6
	285	185,1	-10	-31	-10
PFODA	913	868,9	-10	-25	-50
	913	169,0	-10	-49	-44
M6PFDA	519	474,0	-10	-15	-26
M2PFDA	515	470,1	-10	-15	-8
M2PFDoA	615	570,0	-10	-18	-38
MPFBA	217	172,0	-10	-15	-11
PFBA	212,9	169,0	-10	-13	-14
PFPeA	263	219,0	-10	-12	-14
M5PFPeA	268	223,0	-10	-14	-11
M3PFBS	302	79,9	-10	-68	-12
	299	80,0	-10	-65	-2
PFBS	299	99,0	-10	-36	-9
	313	269,0	-10	-14	-17
PFHxA	313	119,0	-10	-27	-7
	318	273	-10	-14	-17
PFPeS	349	80,0	-10	-62	-9
	349	99,0	-10	-43	-18
M3PFHxS	402	79,9	-10	-80	-8

Vysvětlivky: Q1 – prekursor, Q3 – produktový ion, EP – vstupní potenciál, CE – kolizní energie, CXP – výstupní potenciál na kolizní cele

Necílená analýza

Pro vývoj metody necílené analýzy zaměřené na látky PFAS byla zvolena kapalinová chromatografie s hmotnostní detekcí s vysokým rozlišením a ionizací elektrosprejem v negativním módu.

Analýzy jsou prováděny na kapalinovém chromatografu Agilent 1290 Infinity II s hmotnostním spektrometrem SCIEX X500R QTOF s ionizací elektrosprejem v negativním módu. V první fázi byla zkoušena univerzální metoda pro necílenou analýzu s mravenčanem amonným jako mobilní fází. Pro látky

PFAS byl nakonec vybrán jako mobilní fáze octan amonný. Pro separaci analytů byla použita analytická kolona Arion Plus C18, 100 × 2,1 mm, 3 µm. Mobilní fáze A je 5 mM octan amonný a mobilní fáze B methanol. Gradient začíná na 95 % A po dobu 0,5 min. a snižuje se na 5 % A do 14 min., kde 4 min. setrvává. V 18,1 min. se zvedne na 95 % A. Od 18,1 min. do 22 min. je koncentrace A 95 %. Teplota kolony je 30 °C, průtok mobilní fáze je 0,2 ml/min. Objem nastříkovaného vzorku je 100 µl. Látky jsou analyzovány pomocí ionizace elektrosprejem v negativním módu (ESI-) kombinací plného skenu v hmotnostním rozsahu 70–1200 Da s datově nezávislou akvizicí. Sprejovací napětí činí –4 500 V, kolizní energie –35 V a deklasterizační potenciál –80 V pro všechny látky. K identifikaci látek se využívá knihovna spekter.

DISKUZE A ZÁVĚRY

Per- a polyfluorovaným látkám (PFAS) je v současnosti věnována velká pozornost. Tyto látky vzhledem ke svým chemickým vlastnostem, širokému užití v řadě průmyslových odvětví, rozšíření v životním prostředí, dlouhodobému bioakumulačnímu potenciálu a z toho vyplývajícím rizikům pro lidské zdraví vyvolávají značné obavy. V příspěvku jsou shrnuty legislativní požadavky týkající se sledování PFAS v EU i ČR včetně seznamů látek podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2020/2184 a návrhu novely směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105ES. Na základě dat poskytnutých jednotlivými státními podniky Povodí byl proveden rozbor současného stavu sledování látek ze skupiny PFAS v povrchových vodách ČR. Stanovení těchto látek je analyticky náročné a vyžaduje zavádění nových metodik včetně odpovídajícího přístrojového vybavení. V jednotlivých povodích jsou tyto látky sledovány v různém rozsahu a s různou citlivostí. Do roku 2022 byl v povrchových vodách v ČR soustavně sledován pouze PFOS a (kromě povodí Odry a Ohře) i PFOA. Charakter dat však vzhledem k rozdílným použitým mezím stanovitelnosti v jednotlivých povodích v předchozích letech, kdy většina výsledků byla menší než uváděné meze stanovitelnosti, neumožňuje objektivní zhodnocení stavu v celé ČR. S rozšiřováním analytických možností jsou postupně zaváděny metody umožňující stanovení jednotlivých sloučenin s vyšší citlivostí a zejména v širším rozsahu sledovaných látek PFAS. Od roku 2023 je tak v jednotlivých povodích zahájeno i sledování látek ze skupiny PFAS dle požadavků směrnice 2020/2184 o jakosti vody určené k lidské spotřebě a případně dle návrhu novely směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES, včetně pilotního monitoringu VÚV TGM popsáno v příspěvku. Po konečném schválení novely směrnice 2008/105/ES vyvstane potřeba transponovat nové normy environmentální kvality pro látky PFAS do nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Podle posledního stavu projednávání (v září 2025) se předpokládá termín transpozice do 21. prosince 2027. Ke stejnému datu mají členské státy zavést doplňkový monitorovací program látek PFAS (včetně dalších nově stanovených prioritních látek) a do 22. prosince 2030 předběžný program opatření týkající se těchto látek.

Poděkování

Příspěvek vznikl při řešení projektu č. SS07010208 – „Výzkum identifikace a kvantifikace vybraných PFAS v povrchových vodách (PFAS-SW)“, financovaného TA ČR v rámci Programu aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti životního prostředí – Prostředí pro život, Podprogramu 1 – Operativní výzkum ve veřejném zájmu. Důležité informace pro projekt poskytly spolupracující státní podniky Povodí Ohře, Povodí Odry, Povodí Vltavy, Povodí Labe a Povodí Moravy, s. p.

Literatura

- [1] PLUNKETT, R. J. *Tetrafluoropolyethylene Polymers*. 4. 2. 1941. Unites States Patent office. US2230654A. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US2230654A/en>
- [2] *The History of Teflon™ Fluoropolymers*. Chemorous.com. [on-line]. [citováno 2025-07-24]. Dostupné z: <https://www.teflon.com/en/news-events/history>
- [3] BUCK, R. C., FRANKLIN, J., BERGER, U., CONDER, J. M., COUSINS, I. T. et al. Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in the Environment: Terminology, Classification, and Origins. [on-line]. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2011, 7(4), s. 513–541. ISSN 1551-3777 [citováno 2025-01-09]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ieam.258>
- [4] BUCK, R. C., KORZENIOWSKI, S. H., LAGANIS, E., ADAMSKY, F. Identification and classification of commercially relevant per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS). [On-line]. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2021, 17(5), s. 1 045–1 055. ISSN 1551-3777. [citováno 2025-10-15] Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ieam.4450>
- [5] GLÜGE, J., SCHERINGER, M., COUSINS, I. T., DEWITT, J. C., GOLDENMAN, G. et al. An Overview of the Uses of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS). [on-line]. *Environmental Science: Processes & Impacts*. 2020, 22(12), s. 2 345–2 373. ISSN 2050-7887 [citováno 2023-09-07]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/D0EM00291G>
- [6] ABUNADA, Z., ALAZAIZA, M. Y. D., BASHIR, M. J. K. An Overview of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in the Environment: Source, Fate, Risk and Regulations. [on-line]. *Water*. 2020, 12(12), 3590. ISSN 2073-4441 [citováno 2025-01-06]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/w12123590>
- [7] ACKERMAN GRUNFELD, D., GILBERT, D., HOU, J., JONES, A. M., LEE, M. J. et al. Underestimated Burden of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Global Surface Waters and Groundwaters. [on-line]. *Nature Geoscience*. 2024, 17(4), s. 340–346. ISSN 1752-0894 [citováno 2025-01-09]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41561-024-01402-8>
- [8] MEEGODA, J. N., KEWALRAMANI, J. A., LI, B., MARSH, R. W. A Review of the Applications, Environmental Release, and Remediation Technologies of Per- and Polyfluoroalkyl Substances. [on-line]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020, 17(21), 8117. ISSN 1660-4601 [citováno 2024-06-04]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijerph17218117>
- [9] AWCHI, M., GEBBINK, W. A., BERENDSEN, B. J. A., BENSKIN, J. P., VAN LEEUWEN, S. P. J. Development, Validation, and Application of a New Method for the Quantitative Determination of Monohydrogen-Substituted Perfluoroalkyl Carboxylic Acids (H–PFCA) in Surface Water. *Chemosphere*. 2022, 287(2), 132143. ISSN 0045-6535. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132143>
- [10] BRANDSMA, S. H., KOEKKOEK, J. C., VANVELZEN, M. J. M., DEBOER, J. The PFOA Substitute GenX Detected in the Environment Near a Fluoropolymer Manufacturing Plant in the Netherlands. *Chemosphere*. 2019, 220, s. 493–500. ISSN 0045-6535. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.135>
- [11] BAABISH, A., SOBHANEI, S., FIEDLER, H. Priority Perfluoroalkyl Substances in Surface Waters – A Snapshot Survey from 22 Developing Countries. *Chemosphere*. 2021, 273, 129612. ISSN 0045-6535. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129612>
- [12] FIEDLER, H., SADIA, M., BAABISH, A., SOBHANEI, S. Perfluoroalkane Substances in National Samples from Global Monitoring Plan Projects (2017–2019). *Chemosphere*. 2022, 307(3), 136038. ISSN 0045-6535. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136038>
- [13] COUSINS, I. T., JOHANSSON, J. H., SALTER, M. E., SHA, B., SCHERINGER, M. Outside the Safe Operating Space of a New Planetary Boundary for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS). *Environmental Science & Technology*. 2022, 56(16), s. 11 172–11 179. ISSN 0013-936X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02765>
- [14] ZENOBI, J. E., NZERIBE, B. N., HILYARD, M., DIGUISEPPI, B. Deciphering PFAS in Rainwater: Sources, Distribution, and Environmental Impact. [on-line]. *Remediation Journal*. 2025, 35(4), e70029. ISSN 1051-5658 [citováno 2025-09-09]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/rem.70029>
- [15] KLINGELHÖFER, D., BRAUN, M., GRONEBERG, D. A., BRÜGGMANN, D. The “Forever” Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS): A Critical Accounting of Global Research on a Major Threat under Changing Regulations. [on-line]. *Chemosphere*. 2024, 354, 141694. ISSN 0045-6535 [citováno 2025-01-06]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141694>
- [16] KURWADKAR, S., DANE, J., KANEL, S. R., NADAGOURA, M. N., CAWDREY, R. W. et al. Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Water and Wastewater: A Critical Review of Their Global Occurrence and Distribution. [on-line]. *Science of The Total Environment*. 2022, 809, 151003. ISSN 0048-9697 [citováno 2025-01-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151003>
- [17] WEE, S. Y., ARIS, A. Z. Revisiting the “Forever Chemicals”, PFOA and PFOS Exposure in Drinking Water. [on-line]. *Npj Clean Water*. 2023, 6(1), 57. ISSN 2059-7037 [citováno 2025-01-09]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41545-023-00274-6>
- [18] BANZHAF, S., FILIPOVIC, M., LEWIS, J., SPARRENBOM, CH. J., BARTHEL, R. A Review of Contamination of Surface-, Ground-, and Drinking Water in Sweden by Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs). [on-line]. *Ambio*. 2017, 46(3), s. 335–346. ISSN 0044-7447 [citováno 2024-09-29]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0848-8>
- [19] MUSSABEK, D., SÖDERMAN, A., IMURA, T., PERSSON, K. M., NAKAGAWA, K. et al. PFAS in the Drinking Water Source: Analysis of the Contamination Levels, Origin and Emission Rates. [on-line]. *Water*. 2023, 15(1), 137. ISSN 2073-4441. [citováno 2024-09-25]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/w15010137>
- [20] DVOŘÁKOVÁ, D., JUŘÍKOVÁ, M., SVOBODOVÁ, V., PAŘÍZEK, O., KOŽÍŠEK, F. et al. Complex Monitoring of Perfluoroalkyl Substances (PFAS) from Tap Drinking Water in the Czech Republic. [on-line]. *Water Research*. 2023, 247, 120764. ISSN 0043-1354 [citováno 2025-01-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120764>

[21] KOŽÍŠEK, F., DVOŘÁKOVÁ, D., KOTAL, F., JELIGOVÁ, H., MAYEROVÁ, L. et al. Assessing PFAS in Drinking Water: Insights from the Czech Republic's Risk-Based Monitoring Approach. [on-line]. *Chemosphere*. 2025, 370, 143969. ISSN 0045-6535 [citováno 2025-08-26]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143969>

[22] KOVÁŘOVÁ, J., MARŠÁLEK, P., BLÁHOVÁ, J., JURČIKOVÁ, J., KAŠÍKOVÁ, B. et al. Occurrence of Perfluoroalkyl Substances in Fish and Water from the Svitava and Svratka Rivers, Czech Republic. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2012, 88(3), s. 456–460. ISSN 0007-4861. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00128-011-0484-8>

[23] MACH, V., STRAKOVÁ, J., BRABCOVÁ, K., GRECHKO, V., MOLLER, M. *Forever Chemicals Round and Round: Contamination of Water Bodies with Perfluorinated Substances and Brominated Flame Retardants in the Prague Area*. Prague, Czech Republic: Arnika, 2020. ISBN 978-80-87651-83-4.

[24] MÖLLER, A., AHRENS, L., SURM, R., WESTERVELD, J., VAN DER WIELEN, F. et al. Distribution and Sources of Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in the River Rhine Watershed. *Environmental Pollution*. 2010, 158(10), s. 3 243–3 250. ISSN 0269-7491. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.07.019>

[25] NG, K., ALYGIZAKIS, N., ANDROULAKAKIS, A., GALANI, A., AALIZADEH, R. et al. Target and Suspect Screening of 4777 Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in River Water, Wastewater, Groundwater and Biota Samples in the Danube River Basin. [on-line]. *Journal of Hazardous Materials*. 2022, 436, 129276. ISSN 0304-3894 [citováno 2023-09-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129276>

[26] BOGDAN, A. R., FOSSEN JOHNSON, S., GOEDEN, H. Estimation of Serum PFOA Concentrations from Drinking and Non-Drinking Water Exposures. [on-line]. *Environmental Health Perspectives*. 2023, 131(6), CID: 067701. ISSN 0091-6765 [citováno 2023-09-07]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1289/EHP12405>

[27] JOHANSON, G., GYLLENHAMMAR, I., EKSTRAND, C., PYKO, A., XU, Y. et al. Quantitative Relationships of Perfluoroalkyl Acids in Drinking Water Associated with Serum Concentrations above Background in Adults Living Near Contamination Hotspots in Sweden. [on-line]. *Environmental Research*. 2023, 219, 115024. ISSN 0013-9351 [citováno 2023-09-07]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115024>

[28] LAKIND, J. S., NAIMAN, J., VERNER, M.-A., LÉVÉQUE, L., FENTON, S. Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Breast Milk and Infant Formula: A Global Issue. [on-line]. *Environmental Research*. 2023, 219, 115042. ISSN 0013-9351 [citováno 2023-09-07]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115042>

[29] ARP, H. P. H., GREDEL, J., GLÜGE, J., SCHERINGER, M., COUSINS, I. T. The Global Threat from the Irreversible Accumulation of Trifluoroacetic Acid (TFA). [on-line]. *Environmental Science & Technology*. 2024, 58(45), s. 19 925–19 935. ISSN 0013-936X [citováno 2025-09-02]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c06189>

[30] CAHILL, T. M. Increases in Trifluoroacetate Concentrations in Surface Waters over Two Decades. [on-line]. *Environmental Science & Technology*. 2022, 56(13), s. 9 428–9 434. ISSN 0013-936X [citováno 2025-09-02]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c01826>

[31] BEHNAMI, A., POURAKBAR, M., AYYAR, A. S.-R., LEE, J.-W., GAGNON, G. et al. Treatment of Aqueous Per- and Poly-Fluoroalkyl Substances: A Review of Biochar Adsorbent Preparation Methods. [on-line]. *Chemosphere*. 2024, 357, 142088. ISSN 0045-6535 [citováno 2024-05-30]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142088>

[32] CHOE, H.-S., KIM, K. Y., OH, J.-E., KIM, J.-H. Parallel Study on Removal Efficiency of Pharmaceuticals and PFASs in Advanced Water Treatment Processes: Ozonation, GAC Adsorption, and RO Processes. [on-line]. *Environmental Engineering Research*. 2022, 27(1), 200509. ISSN 1226-1025 [citováno 2025-01-07]. Dostupné z: <https://doi.org/10.4491/eer.2020.509>

[33] KANG, K. H., SAIFUDDIN, M., CHON, K., BAE, S., KIM, Y. M. Recent Advances in the Application of Magnetic Materials for the Management of Perfluoroalkyl Substances in Aqueous Phases. [on-line]. *Chemosphere*. 2024, 352, 141522. ISSN 0045-6535 [citováno 2024-05-30]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141522>

[34] ZAHMATKESH, S., CHEN, Z., KHAN, N. A., NI, B.-J. Removing Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) from Wastewater with Mixed Matrix Membranes. [on-line]. *Science of The Total Environment*. 2024, 912, 168881. ISSN 0048-9697 [citováno 2025-08-20]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168881>

[35] LENKA, S. P., KAH, M., PADHYE, L. P. A Review of the Occurrence, Transformation, and Removal of Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFAS) in Wastewater Treatment Plants. [on-line]. *Water Research*. 2021, 199, 117187. ISSN 0043-1354 [citováno 2023-09-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117187>

[36] PHONG VO, H. N., NGO, H. H., GUO, W., HONG NGUYEN, T. M., LI, J. et al. Poly-and Perfluoroalkyl Substances in Water and Wastewater: A Comprehensive Review from Sources to Remediation. [on-line]. *Journal of Water Process Engineering*. 2020, 36, 101393. ISSN 2214-7144 [citováno 2024-06-04]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101393>

[37] SEAY, B. A., DASU, K., MACGREGOR, I. C., AUSTIN, M. P., KRILE, R. T. et al. Per- and Polyfluoroalkyl Substances Fate and Transport at a Wastewater Treatment Plant with a Collocated Sewage Sludge Incinerator. [on-line]. *Science of The Total Environment*. 2023, 874, 162357. ISSN 0048-9697 [citováno 2023-09-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162357>

[38] DENG, Y., HUANG, Q., CHIANG, S.-Y. (eds.). Per- and Polyfluoroalkyl Substance Treatment Technologies. [on-line]. *Royal Society of Chemistry*. 2025, 16, 266 s. ISSN 2516-2624 [citováno 2025-09-02]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/9781837677779>

[39] *Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs), UN Environment Programme, Text and Annexes Revised 2023*.

[40] *Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/1021 ze dne 20. června 2019 o perzistentních organických látkách*.

[41] *Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH)*.

[42] *Commission Staff Working Document: Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFAS), SWD(2020) 249 final*. Brussels, 14 October 2020.

[43] *Nařízení Komise (EU) 2024/2462 ze dne 19. září 2024, kterým se mění příloha XVII nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006, pokud jde o undekafluorhexanovou kyselinu (PFHxA), její soli a látky příbuzné PFHxA*.

[44] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU ze dne 4. července 2012 o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek a o změně a následném zrušení směrnice Rady 96/82/ES*.

[45] *Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1935/2004 ze dne 27. října 2004 o materiálech a předmětech určených pro styk s potravinami a o zrušení směrníc 80/590/EHS a 89/109/EHS*.

[46] *Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1223/2009 ze dne 30. listopadu 2009 o kosmetických přípravcích*.

[47] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2020/2184 ze dne 16. prosince 2020 o jakosti vody určené k lidské spotřebě*.

[48] *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Amending Directive 2000/60/EC Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy, Directive 2006/118/EC on the Protection of Groundwater against Pollution and Deterioration and Directive 2008/105/EC on Environmental Quality Standards in the Field of Water Policy Revised Presidency Compromise Text*. 3 June 2024.

[49] BOUTONNET, J. CH., BINGHAM, P., CALAMARI, D., ROOIJ, CH. de, FRANKLIN, J. et al. Environmental Risk Assessment of Trifluoroacetic Acid, in a Freshwater Lake. [on-line]. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 1999, 5(1), s. 59–124. ISSN 1080-7039 [citováno 2025-09-03]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10807039991289644>

[50] BJÖRNSDOTTER, M. K., YEUNG, L. W. Y., KÄRRMAN, A., JOGSTEN, I. E. Mass Balance of Perfluoroalkyl Acids, Including Trifluoroacetic Acid, in a Freshwater Lake. [on-line]. *Environmental Science & Technology*. 2021, 56(1), s. 251–259. ISSN 0013-936X [citováno 2025-09-03]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04472>

[51] *SCHÉER (Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks), Final Opinion on "Draft Environmental Quality Standards for PFAS Total under the Water Framework Directive"*. 6 March 2025.

[52] *Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostí povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech ve znění pozdějších předpisů*.

[53] *Vyhláška č. 428/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích) ve znění pozdějších předpisů*.

[54] BORRULL, J., COLOM, A., FABREGAS, J., POCURULL, E., BORRULL, F. A Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry Method for Determining 18 Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Source and Treated Drinking Water. *Journal of Chromatography A*. 2020, 1629, 461485. ISSN 0021-9673. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2020.461485>

[55] CIOFI, L., RENAI, L., ROSSINI, D., ANCILLOTTI, C., FALAI, A. et al. Applicability of the Direct Injection Liquid Chromatographic Tandem Mass Spectrometric Analytical Approach to the Sub-ngL⁻¹ Determination of Perfluoro-Alkyl Acids in Waste, Surface, Ground and Drinking Water Samples. [on-line]. *Talanta*. 2018, 176, s. 412–421. ISSN 0039-9140 [citováno 2025-01-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.08.052>

[56] HUSET, C. A., BARRY, K. M. Quantitative Determination of Perfluoroalkyl Substances (PFAS) in Soil, Water, and Home Garden Produce. [on-line]. *MethodsX*. 2018, 5, s. 697–704. ISSN 2215-0161 [citováno 2025-01-07]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.06.017>

[57] DUFKOVÁ, V., CABALA, R., ŠEVČÍK, V. Determination of C₅–C₁₂ Perfluoroalkyl Carboxylic Acids in River Water Samples in the Czech Republic by GC–MS after SPE Preconcentration. *Chemosphere*. 2012, 87(5), s. 463–469. ISSN 0045-6535. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.12.029>

[58] JIMÉNEZ-SKRZYPEK, G., GONZÁLEZ-SÁLAMO, J., HERNÁNDEZ-BORGES, J. Analytical Methodologies and Occurrence of Per- and Polyfluorinated Alkyl Substances – A Review. [on-line]. *Journal of Chromatography Open*. 2023, 4, 100089. ISSN 2772-3917 [citováno 2025-01-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jcoa.2023.100089>

[59] JURIKOVA, M., DVORAKOVA, D., PULKRABOVA, J. The Occurrence of Perfluoroalkyl Substances (PFAS) in Drinking Water in the Czech Republic: A Pilot Study. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022, 29(40), s. 60 341–60 353. ISSN 0944-1344. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20156-7>

[60] MOTTALEB, M. A., DING, Q. X., PENNELL, K. G., HAYNES, E. N., MORRIS, A. J. Direct Injection Analysis of Per and Polyfluoroalkyl Substances in Surface and Drinking Water by Sample Filtration and Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *Journal of Chromatography A*. 2021, 1653, 462426. ISSN 0021-9673. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2021.462426>

[61] LÓPEZ-VÁZQUEZ, J., MONTES, R., RODIL, R., CELA, R., MARTÍNEZ-PONTEVEDRA, J. Á. et al. Determination of Regulated Perfluoroalkyl Substances (PFAS) in Drinking Water according to Directive 2020/2184/EU. [on-line]. *Environmental Science and Pollution Research*. 2024. ISSN 1614-7499 [citováno 2025-01-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34852-z>

[62] MISERLI, K., ATHANASIOU, V., BOTI, V., HELA, D., KONSTANTINO, I. Determination of PFAS in Wastewaters and Natural Waters by Solid Phase Extraction and UHPLC LTQ/Orbitrap MS for Assessing Occurrence and Removals. [on-line]. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2023, 8, 100505. ISSN 2666-0164 [citováno 2024-06-04]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.csee.2023.100505>

[63] SELAHLE, S. K., MPUPA, A., NOMNGONGO, P. N. Liquid Chromatographic Determination of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Environmental River Water Samples. [on-line]. *Arabian Journal of Chemistry*. 2022, 15(8), 103960. ISSN 1878-5352 [citováno 2024-06-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.103960>

[64] SEMERÁD, J., HATASOVÁ, N., GRASSEROVÁ, A., ČERNÁ, T., FILIPOVÁ, A. et al. Screening for 32 Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Including GenX in Sludges from 43 WWTPs Located in the Czech Republic – Evaluation of Potential Accumulation in Vegetables after Application of Biosolids. [on-line]. *Chemosphere*. 2020, 261, 128018. ISSN 0045-6535 [citováno 2025-01-07]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128018>

[65] ZACS, D., BARTKEVICS, V. Trace Determination of Perfluorooctane Sulfonate and Perfluorooctanoic Acid in Environmental Samples (Surface Water, Wastewater, Biota, Sediments, and Sewage Sludge) Using Liquid Chromatography – Orbitrap Mass Spectrometry. [on-line]. *Journal of Chromatography A*. 2016, 1473, s. 109–121. ISSN 0021-9673 [citováno 2025-01-07]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2016.10.060>

[66] ZWEIGLE, J., BUGSEL, B., ZWIENER, CH. Efficient PFAS Prioritization in Non-Target HRMS Data: Systematic Evaluation of the Novel MD/C-m/C Approach. [on-line]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2023, 415(10), s. 1 791–1 801. ISSN 1618-2642 [citováno 2024-06-26]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00216-023-04601-1>

[67] CLAEYS, L., VAN GEENEN, F., PRIVAT, K., VAN DAELE, F., VANDEKERCKHOVE, L. et al. *A robust and Sensitive Routine Analysis Method of 40 PFAS Compounds in Surface Water Using the SCIEX 7500 system*. [Online]. DH Tech. Dev. Pte. Ltd. MKT-34156-A, 2025. [cit. 2025-10-15]. Dostupné z: <https://sciex.com/tech-notes/environmental-industrial/water-and-soil/a-robust-and-sensitive-routine-analysis-method-of-40-pfas-compou>

[68] NIELAND B., JASPERS, R.-J., HUP, K., CHAHBOUNI, A., STAHL-ZENG, J. An Ultra-High Sensitivity Analysis of PFAS Compounds in Multiple Water Sources Using the SCIEX 7500 SystEm. *SCIEX*. 2022, RUO-MKT-02-15059-A. [on-line]. Dostupné z: https://sciex.com/content/dam/SCIEX/pdf/tech-notes/food-and-beverage/food-and-beverage/RUO-MKT-02-15059-A_PFA5_on_the_7500_sensitivity_and_contamination_mitigation_Final.pdf

[69] LEE, H., BUTT, C. M., LODGE, S., YE, R., NISTORESCU, I. et al. Quantification of Ultrashort- and Short-Chain PFAS in Beverages by a Direct Injection LC-MS/MS Method. [on-line]. *SCIEX*. 2025, MKT-35579-A. Dostupné z: <https://sciex.com/tech-notes/food-beverage/food-and-beverage/quantitation-of-ultrashort-and-short-chain-pfas-in-beverages-by-a-direct-injection-lc-ms-ms-method>

[70] VON ABERCRON, E., FALK, S., STAHL, T., GEORGII, S., HAMSCHER, G. et al. Determination of Adsorbable Organically Bound Fluorine (AOF) and Adsorbable Organically Bound Halogens as Sum Parameters in Aqueous Environmental Samples Using Combustion Ion Chromatography (CIC). [on-line]. *Science of the Total Environment*. 2019, 673, s. 384–391. ISSN 0048-9697 [citováno 2025-09-01]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.068>

[71] HAN, Y., PULIKKAL, V. F., SUN, M. Comprehensive Validation of the Adsorbable Organic Fluorine Analysis and Performance Comparison of Current Methods for Total Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Water Samples. [on-line]. *ACS ES&T Water*. 2021, 1(6), s. 1 474–1 482. ISSN 2690-0637 [citováno 2025-09-01]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acsestwater.1c00047>

[72] FOLORUNSHO, O., KIZHAKKETHIL, J. P., BOGUSH, A., KOURTCHEV, I. Effect of Short-Term Sample Storage and Preparatory Conditions on Losses of 18 Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) to Container Materials. [on-line]. *Chemosphere*. 2024, 363, 142814. ISSN 0045-6535 [citováno 2024-10-14]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142814>

[73] EGLE: *General PFAS Sampling Guidance*, EGLE, Michigan Department of Environment, Great Lakes, and Energy, 800-662-9278, 2024. [on-line]. Dostupné z: <https://www.michigan.gov/-/media/Project/Websites/PFAS-Response/Sampling-Guidance/General.pdf?rev=6217442052bf4fedb89bbf786560d645>

[74] KULE, L., ŠIKOROVÁ, L., KOŽELUH, M. PFAS kolem nás. Sledování perfluorovaných látek (PFAS) ve vodách povodí Vltavy. [on-line]. *Vodní hospodářství*. 2023, 73(12), s. 25–27. ISSN 1211-0760 [citováno 2025-07-23]. Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/pfas-kolem-nas-sledovani-perfluorovanych-latek-pfas-ve-vodach-povodi-vltavy/>

Autoři

RNDr. Diana Marešová, Ph.D.¹
✉ diana.maresova@vuv.cz
ORCID: 0000-0001-9047-6747

Ing. Věra Očenášková¹
✉ vera.ocenaskova@vuv.cz
ORCID: 0000-0001-8692-2417

Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.²
✉ tomas.micanik@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-5867-0985

Ing. Eva Juranová, Ph.D.¹
✉ eva.juranova@vuv.cz
ORCID: 0000-0001-9021-7307

Ing. Danica Pospíchalová¹
✉ danica.pospichalov@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-5803-3302

Ing. Eva Bohadlová¹
✉ eva.bohadlova@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-0518-4705

Ing. David Chrastina²
✉ david.chrastina@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-9945-3100

¹Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha (Česká republika)
²Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Ostrava (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.09.004

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

CURRENT STATUS OF MONITORING SELECTED PFAS IN SURFACE WATERS IN THE CZECH REPUBLIC

**MAREŠOVÁ, D.¹; OČENÁŠKOVÁ, V.¹; MIČANÍK, T.²;
POSPÍCHALOVÁ, D.¹; JURANOVÁ, E.¹; BOHADLOVÁ, E.¹;
CHRASTINA, D.²**

¹T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague (Czech Republic)

²T. G. Masaryk Water Research Institute, Ostrava (Czech Republic)

Keywords: surface water — PFAS — target analysis —
non-target analysis — HPLC-MS — Czech Republic

Per- and polyfluorinated compounds (PFASs), a group of fluorinated compounds of anthropogenic origin, have been classified as a persistent organic substances of significant concern due to their chemical properties, widespread use in a number of industrial sectors, environmental spread, long term bioaccumulation potential and resulting risk to human health.

This article brings an overview of current knowledge about the occurrence of PFASs in the environment, mainly in surface, ground and drinking water and about methods of their removal from contaminated water.

Furthermore, the legislative requirements regarding PFASs at the level of the EU and the Czech Republic are summarised here, including the list of compounds according to the Directive of the European Parliament and the Council 2020/2184 and the Proposal for a Directive of the European Parliament and the Council 2008/105/EC.

Overview of analytical methods for determination of PFASs, including trifluoroacetic acid (TFA), and the determination of total organic fluorine is in this paper. The methods are generally based on liquid chromatography coupled with mass detection. Differences are primarily in sample pre-treatment.

The main attention is focused on summary of relevant data PFAS monitoring in surface water from all Czech Republic territory. Until the year 2022 only perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) and (except for the Odra and Ohře basins) perfluorooctanoic acid (PFOA) were consistently monitored in surface waters in the Czech Republic. Detection limits of methods used in individual basins were different. That is why the objective summary relevant dates about PFAS monitoring in the Czech Republic is impossible.

Methodologies enabling determination with higher sensitivity and, in particular, a wider range of monitored substances are gradually being introduced with the expansion of analytical possibilities. From 2023, monitoring of substances from PFAS group compounds is introduced in individual basins on a wider scale, including pilot monitoring, which is presented in this article.



Od kapky k energii: hodnocení hydroenergetického potenciálu vodních toků pomocí výsledků projektu „Pico-Hydropower“

ŠTĚPÁN MARVAL, RADEK ROUB, LUDĚK BUREŠ, TOMÁŠ HEJDUK, LUCIE POLÁKOVÁ, MARTIN ŠTICH

Klíčová slova: vodní energie – drobný vodní tok – hydroenergetický potenciál – spád – průtok vody

ABSTRAKT

Zvyšující se poptávka po decentralizovaných obnovitelných zdrojích energie vede k novému zájmu o využití hydroenergetického potenciálu drobných vodních toků. Příspěvek představuje dvoustupňovou metodiku vyvinutou v rámci projektu „Pico-Hydropower“ (TA ČR, č. TK04030223), jejímž cílem je identifikace a hodnocení vhodných lokalit pro instalaci mikrovodních elektráren na území České republiky (ČR). První fáze zahrnuje celoplošné prostorové hodnocení teoretického hydroenergetického potenciálu (HEP) všech povodí IV. řádu, založené na kombinaci digitálního modelu reliéfu (DMR 5G), interpolovaných hodnot průměrného ročního průtoku (Q_p) a výpočtu průměrného spádu toku (H). Výsledná geodatabáze umožňuje prioritizaci povodí s nadprůměrným potenciálem a slouží jako vstup pro podrobnější analýzy.

Ve druhé fázi byl vyvinut specializovaný softwarový nástroj SCR (Sklony_ČR), který umožňuje identifikaci konkrétních úseků vodních toků s využitelným spádem a průtokem. Nástroj propojuje topografická a hydrologická data s uživatelsky definovanými technickými parametry (např. minimální spád, průtok nebo požadovaný výkon) a umožňuje rychlý screening vhodných lokalit bez nutnosti rozsáhlého terénního průzkumu. Metodika byla ověřena pilotním testováním v povodí Otavy, jež potvrdilo její praktickou využitelnost pro regionální energetické plánování, projektovou přípravu i akademický výzkum.

Výsledky ukazují, že nejvyšší hydroenergetický potenciál se soustředí zejména v severních a severovýchodních oblastech ČR, konkrétně v povodích Moravy, Jizery, Úpy, Olše a Lužické Nisy. Kombinace prostorového modelování a interaktivní analýzy představuje škálovatelný a uživatelsky přívětivý přístup k využití dosud opomíjeného potenciálu drobných vodních toků, který může významně přispět k udržitelnému rozvoji decentralizované vodní energetiky v horských a venkovských oblastech. V dalších fázích projektu bude metodika ověřena prostřednictvím demonstračních studií, včetně právního a environmentálního posouzení vybraných lokalit.

ÚVOD

Využívání obnovitelných zdrojů energie (OZE) představuje jeden z hlavních směrů současné evropské i národní energetické politiky [1, 2]. Zatímco většina dosavadních investic směřuje do velkých, centralizovaných zdrojů, narůstá zájem o decentralizovaná, nízkonákladová a prostorově rozptýlená řešení, jež umožňují zvyšovat energetickou soběstačnost lokálních komunit. Tento přístup nachází uplatnění také ve vodní energetice, a to zejména formou

mikro- a pikohydroelektráren, které jsou schopny efektivně využívat i nízký hydroenergetický potenciál na drobných vodních tocích.

V souvislosti s probíhající klimatickou změnou se zároveň mění i charakter srážkového a odtokového režimu na území ČR. Přestože celkové množství ročních srážek se v dlouhodobém horizontu výrazně nemění, dochází k zásadním změnám v jejich časové a prostorové distribuci [3] a zároveň i k nárůstu intenzity krátkodobých srážkových událostí, jež jsou častější a extrémnější než v minulosti [4]. Zvyšuje se podíl intenzivních srážkových událostí a zkracuje se doba mezi epizodami sucha a příválových dešťů. Tyto změny se promítají do kolísavosti průtoků na malých vodních tocích a ovlivňují jejich dynamiku, stabilitu a energetickou využitelnost.

Drobné vodní toky (DVT) tvoří významnou část říční sítě ČR a jejich rozložení pokrývá i oblasti, kde jiné obnovitelné zdroje – např. větrná nebo fotovoltaická energie – nejsou dostatečně efektivní a realizovatelné. Ačkoli jejich průtoky a spády často neumožňují přímé energetické využití ve smyslu klasické vodní energetiky, celkový hydroenergetický potenciál DVT může být v kontextu decentralizované energetiky významný. Pro jeho efektivní využití je však zásadní disponovat patřičnými nástroji pro systematickou identifikaci vhodných lokalit a předběžné technicko-energetické posouzení jejich parametrů.

Projekt „Pico-Hydropower“ (TA ČR, č. TK04030223) reaguje na výzvu k efektivnímu využití DVT vytvořením metodiky pro stanovení jejich hydroenergetického potenciálu. Tento článek navazuje na předchozí publikaci ve VTEI [5], v níž byla řešena metodika interpolace průtoků v povodích bez přímého měření, která tvoří klíčový vstup do výpočtů potenciálu. V předešlé fázi projektu byl vypočítán teoretický hydroenergetický potenciál (HEP) všech povodí IV. řádu na území ČR, a to kombinací digitálního modelu reliéfu a interpolovaných hodnot průměrného ročního průtoku (Q_p). Výsledkem je prostorová vrstva umožňující prioritizaci povodí s nadprůměrným potenciálem, která slouží jako vstupní filtr pro podrobnější analýzu na úrovni konkrétních úseků vodních toků [6].

Na základě testování přesnosti různých typů DMR (DMR 4G, DMR 5G a jejich derivátů) [7] byl následně v rámci projektu vyvinut specializovaný nástroj SCR (Sklony_ČR), který umožňuje interaktivní selekci konkrétních dílčích úseků vodních toků s využitelným potenciálem. Tento nástroj kombinuje prostorová data o spádech a průtocích s uživatelsky nastavitelnými technickými parametry (např. požadovaný výkon či minimální spád) a umožňuje rychlou identifikaci vhodných lokalit pro mikroenergetické využití bez nutnosti rozsáhlého terénního průzkumu.

Cílem článku je představit metodiku lokalizace vhodných úseků DVT s využitím prostorové databáze HEP pro povodí IV. řádu a nástroje SCR a demonstrovat, jak lze propojit hydrologickou analýzu povodí s technickým návrhem konkrétních míst pro instalaci vodních mikrozdrojů.

METODIKA

Prvním krokem při hodnocení využitelného hydroenergetického potenciálu vodních toků bylo prostorové vymezení a kvantitativní posouzení všech povodí IV. řádu v ČR. Tato úroveň povodí byla zvolena jako optimální kompromis mezi hydrologickou homogenitou a územní podrobností a zároveň navazuje na zavedenou strukturu členění povodí dle správcovských databází (např. DIBAVOD, CEVT, interní databáze VÚV TGM).

Použité datové vstupy

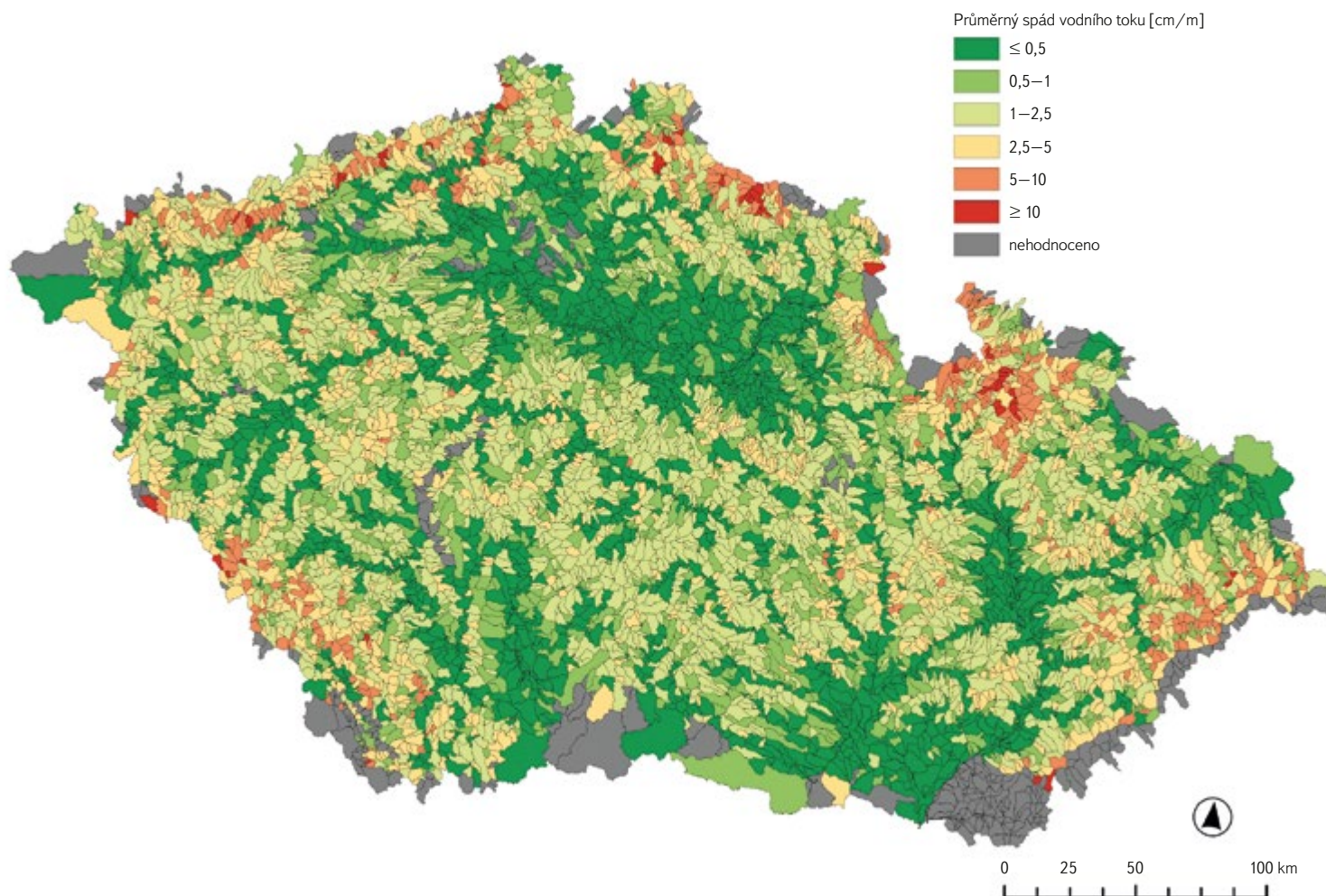
K výpočtu byly využity následující primární datové sady:

- Digitální model reliéfu DMR 5G (ČÚZK): raster s horizontálním rozlišením 5 m a přesností $Z \leq 0,2$ m v otevřeném terénu. Slouží k určení sklonu toků.
- Vektorová síť vodních toků – Hrubé úseky z databáze DIBAVOD: reprezentuje hlavní osy vodních toků. Identifikátor HLGP_ID byl doplněn tak, aby úseky vodních toků byly v souladu s vrstvou povodí IV. řádu.
- Polygony povodí IV. řádu: prostorové jednotky z interní databáze VÚV TGM sjednocené s daty o vodních tocích.
- Mapa specifického odtoku (q_s) v jednotkách $[l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}]$: interpolovaná vrstva, vytvořená geostatistickou metodou *krigingu s externím driftem* [8] na základě vybraných profilů ČHMÚ s dlouhodobou řadou průtokových dat. Vrstva byla kalibrována vůči sumární bilanci a verifikována v pilotním území povodí Otavy [5].

Přestože hlavní pozornost v rámci řešeného projektu byla zaměřena na DVT, byly základní hydrologické charakteristiky stanoveny systematicky pro všechna povodí IV. řádu v ČR. Pro každé povodí byl vypočten průměrný spád toku a průměrný roční průtok Q_a (jako ukazatel dlouhodobé vodnosti) a z těchto údajů byl následně odvozen využitelný hydroenergetický potenciál (HEP). Tento postup umožnil nejen souhrnné zhodnocení všech povodí IV. řádu, ale také následné detailní porovnání s výsledky pro vybrané DVT.

Metodika stanovení základních parametrů (H, Q_a , HEP)

Následující text popisuje postup stanovení využitelného hydroenergetického potenciálu vodních toků na území ČR. Základem je prostorové členění na povodí IV. řádu a využití kombinace geodatových podkladů, digitálního modelu reliéfu a hydrologických dat. Popsané kroky vedly k vytvoření jednotné databáze, obsahující pro každé povodí hodnoty průměrného spádu (H), průměrného ročního průtoku (Q_a) a odvozeného hydroenergetického potenciálu (HEP – P), jež je výsledkem řešeného projektu a je dostupná v [7].



Obr. 1. Průměrný spád vodních toků ČR (H) – měřítko povodí IV. řádu
Fig. 1. Mean head of rivers in the Czech Republic (H) – fourth-order catchment scale

a) Průměrný spád hlavního toku (H)

Hodnota H byla odvozena z výškového rozdílu mezi počátkem a ústím tzv. hlavního toku, definovaného jako nejdelší propojený úsek toku v rámci daného povodí IV. řádu. Hlavní linie toku je přítom v databázi členěna na dílčí úseky „od přítoku k přítoku“, případně v pramenné části „od pramene po první soutok“. Počáteční a koncové body příslušného úseku v rámci jednoho povodí byly určeny průnikem hlavní linie toku s hranicí povodí. Výškové hodnoty těchto bodů byly následně extrahovány z rastru digitálního modelu reliéfu DMR 5G prostřednictvím nástrojů prostorové analýzy. Spád byl vyjádřen buď v metrech (celkový rozdíl), nebo jako průměrný podélný sklon v $\text{cm} \cdot \text{m}^{-1}$, resp. v % (obr. 1).

b) Průměrný roční průtok (Q_a)

Průměrný roční průtok Q_a byl stanoven pro všechna povodí IV. řádu na území ČR. Základním podkladem byla mapa izolinií průměrného specifického odtoku q_a [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$] [9, 10]. Tato mapa byla nejprve vektorizována a následně reklasifikována s využitím lineární interpolace, jejímž cílem bylo zpřesnit krok mezi jednotlivými hodnotami q_a oproti původní tištěné mapě, a získat tak detailnější prostorovou distribuci. Reklasifikace byla provedena v několika intervalech: v rozmezí $1,16\text{--}9 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ byl zvolen krok 0,5; v intervalu $9\text{--}20 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ krok 1; a v intervalu $20\text{--}30,5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ krok 2. Prakticky to znamená, že např. po minimální hodnotě 1,16 následovala hodnota 1,5, dále 2,0; 2,5; ... až do $9,0 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Do této nejnižší kategorie spadá většina území ČR, zatímco interval $9\text{--}20$ charakterizuje převážně horské oblasti a hodnoty $20\text{--}30,5$ se vyskytují jen ojediněle (např. v Krkonoších).

Hodnoty q_a byly přiřazeny jednotlivým povodím IV. řádu na základě průniku polygonu povodí s vektorizovanou mapou izolinií. V případech, kdy povodí zasahovalo do více intervalů q_a , byl výsledný specifický odtok stanoven jako plošně vážený průměr. Následně byl pro každé povodí dopočten průměrný roční průtok Q_a [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$] podle vztahu:

$$Q_a = q_a \cdot A$$

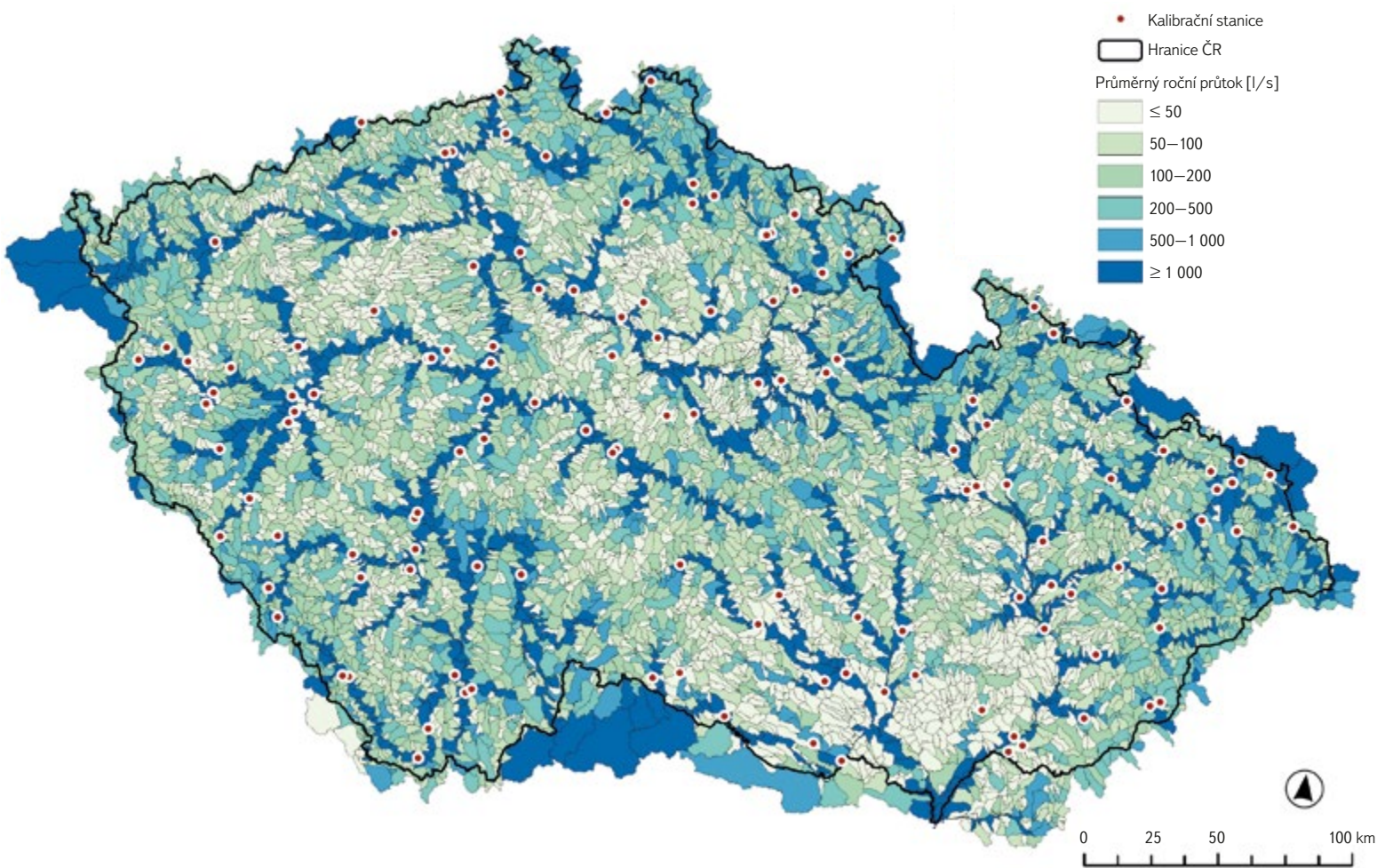
kde:

A představuje plochu povodí [km^2]

Pokud došlo k rozdělení povodí na více částí, byl výsledný průtok určen jako součet dílčích odtoků.

Takto získané hodnoty Q_a byly dále kalibrovány na základě dat z limnigrafických stanic (137) Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Výběr stanic byl proveden tak, aby nedocházelo k nadměrné prostorové hustotě profilů a aby každá stanice reprezentovala dostatečně velkou uzavřenou plochu povodí. Tím bylo zajištěno, že kalibrační databáze pokrývá území ČR rovnoměrně a zároveň se minimalizovala nadbytečná pracnost spojená s velmi malými povodími.

Kalibrace spočívala v porovnání vypočtených hodnot Q_a s měřenými průtoky v profilech stanic a v jejich následné úpravě. Rozdíly byly rozpočítány na



Obr. 2. Průměrný roční průtok (Q_a) – měřítko povodí IV. řádu
Fig. 2. Mean annual streamflow (Q_a) – fourth-order catchment scale

jednotlivá povodí IV. řádu proporcionálně podle velikosti původně stanovených odtoků z mapy izolinií. Tímto způsobem byla odstraněna systematická zkreslení a dosaženo vyšší spolehlivosti odhadů Q_a , což je uvedeno na obr. 2.

c) Hydroenergetický potenciál (P)

Pro odhad teoretického hydroenergetického potenciálu P [kW] byla použita zjednodušená pracovní rovnice:

$$P = 6 \cdot Q_a \cdot H$$

kde:

koeficient 6	zahrnuje převod jednotek a gravitační konstantu
Q_a	představuje roční průměrný průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
H	je výškový rozdíl [m]

V této fázi výpočtu není zohledněna účinnost turbíny, takže výsledná hodnota vyjadřuje hrubý teoretický výkon využitelný především pro srovnání relativního potenciálu mezi povodími.

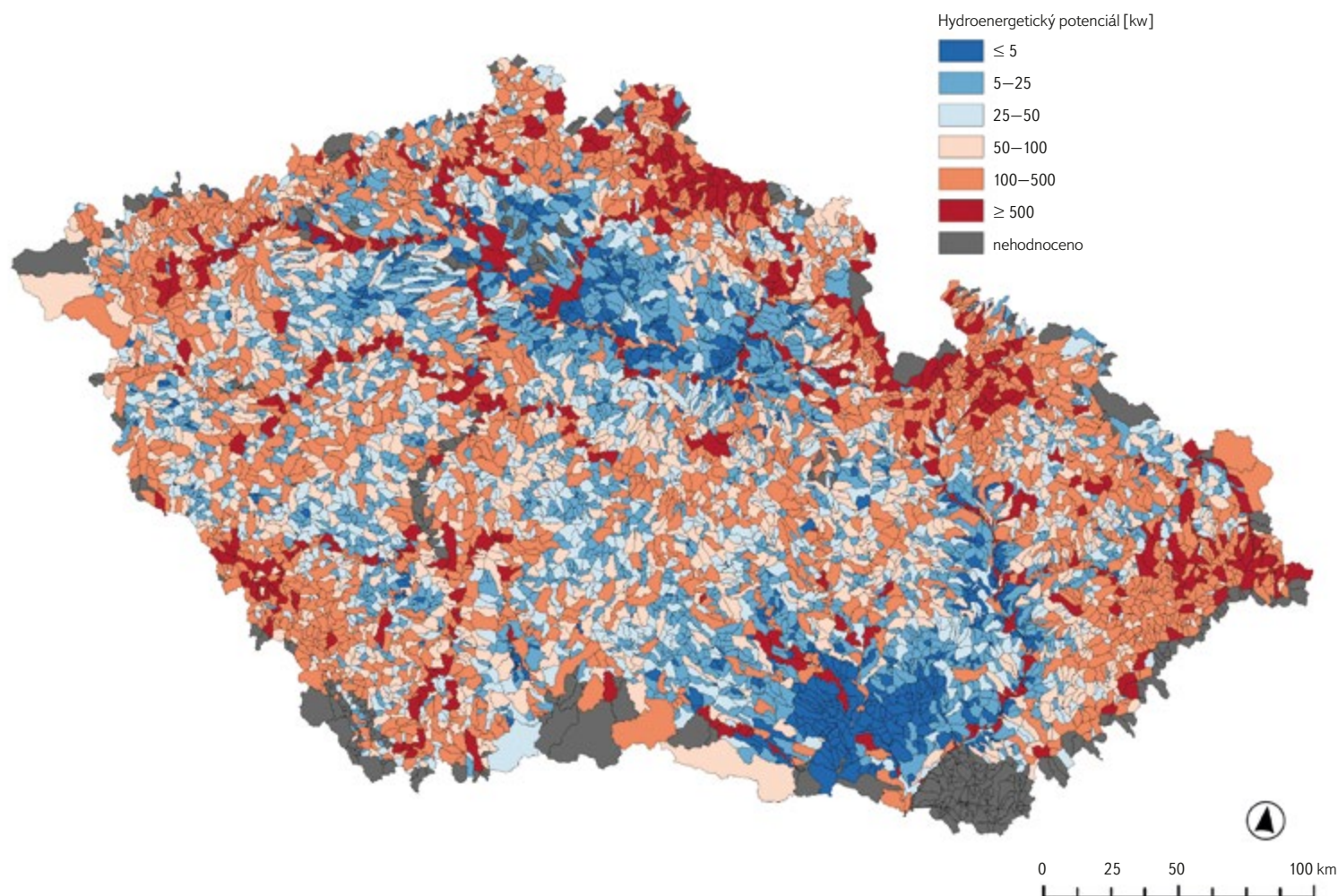
Tento zjednodušený vztah vychází z obecné rovnice odvozené z Bernoulliho zákona pro potenciální energii vodního sloupce:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta$$

kde:

ρ	je hustota vody ($1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
g	tižové zrychlení ($9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)
Q	roční průměrný průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
H	výškový rozdíl [m]
η	účinnost (neuplatňuje se v této fázi výpočtu)

Výsledná prostorová vrstva obsahující atributy průměrného spádu (H), průměrného ročního průtoku (Q_a) a odvozeného hydroenergetického potenciálu (HEP) umožňuje jednotné a srovnatelné vyhodnocení všech povodí IV. řádu na území ČR (obr. 3). Tato vrstva slouží jako podklad pro následné analýzy a tvoří základní vstup pro další fáze hodnocení hydroenergetického potenciálu.



Obr. 3. Odhad teoretického hydroenergetického potenciálu (P) – měřítko povodí IV. řádu
Fig. 3. Estimation of theoretical hydropower potential (P) – fourth-order catchment scale

Identifikace dílčích úseků pomocí nástroje SCR (Sklony_ČR)

Zatímco výpočet hydroenergetického potenciálu povodí IV. řádu umožňuje prostorově identifikovat území s vyšší pravděpodobností výskytu vhodných lokalit, pro navazující využití je nezbytné i detailnější hodnocení konkrétních úseků vodních toků. Za tímto účelem byl v rámci projektu vyvinut nástroj SCR (Sklony_ČR) – specializovaný softwarový nástroj pro lokalizaci a hodnocení hydroenergetického potenciálu úseků vodních toků.

Tato aplikace je koncipována jako samostatně spustitelná (*.exe) a vyvinutá v programovacím jazyce C++. Je postavena na geodatabázi generované z digitálního modelu reliéfu ČR, interpolovaných průtokových charakteristik a topologicky navazujících linií vodních toků. Nástroj umožňuje v uživatelském rozhraní vyhledávat a filtrovat konkrétní úseky toků na základě definovaných technických parametrů a následně je vizualizovat i analyzovat dle zadaných parametrů.

Základem pro fungování nástroje SCR je předzpracovaná geodatabáze úseků s využitelným spádem, vytvořená metodou semi-automatické detekce z DMR 5G. Tato databáze obsahuje následující typy dat:

A. Spádové linie (tzv. sklonové segmenty)

Jde o vektorové úseky (hrubé úseky vodních toků) vedené po ose toku, vzniklé segmentací hlavní linie na základě výrazných změn sklonu. Segmenty mají definovaný počátek, konec, délku, výškový rozdíl (ΔH) a vypočtený průměrný sklon. Zpřesnění bylo provedeno pomocí algoritmu detekujícího inflexní body ve výškovém profilu linie odvozené z DMR 5G.

B. Průtoková charakteristika (Q_a)

Každému úseku byl přiřazen odhadovaný průměrný roční průtok (Q_a) na základě prostorové interpolace z mapy specifického odtoku (viz kap. Metodika stanovení základních parametrů).

C. Identifikátory a technické atributy

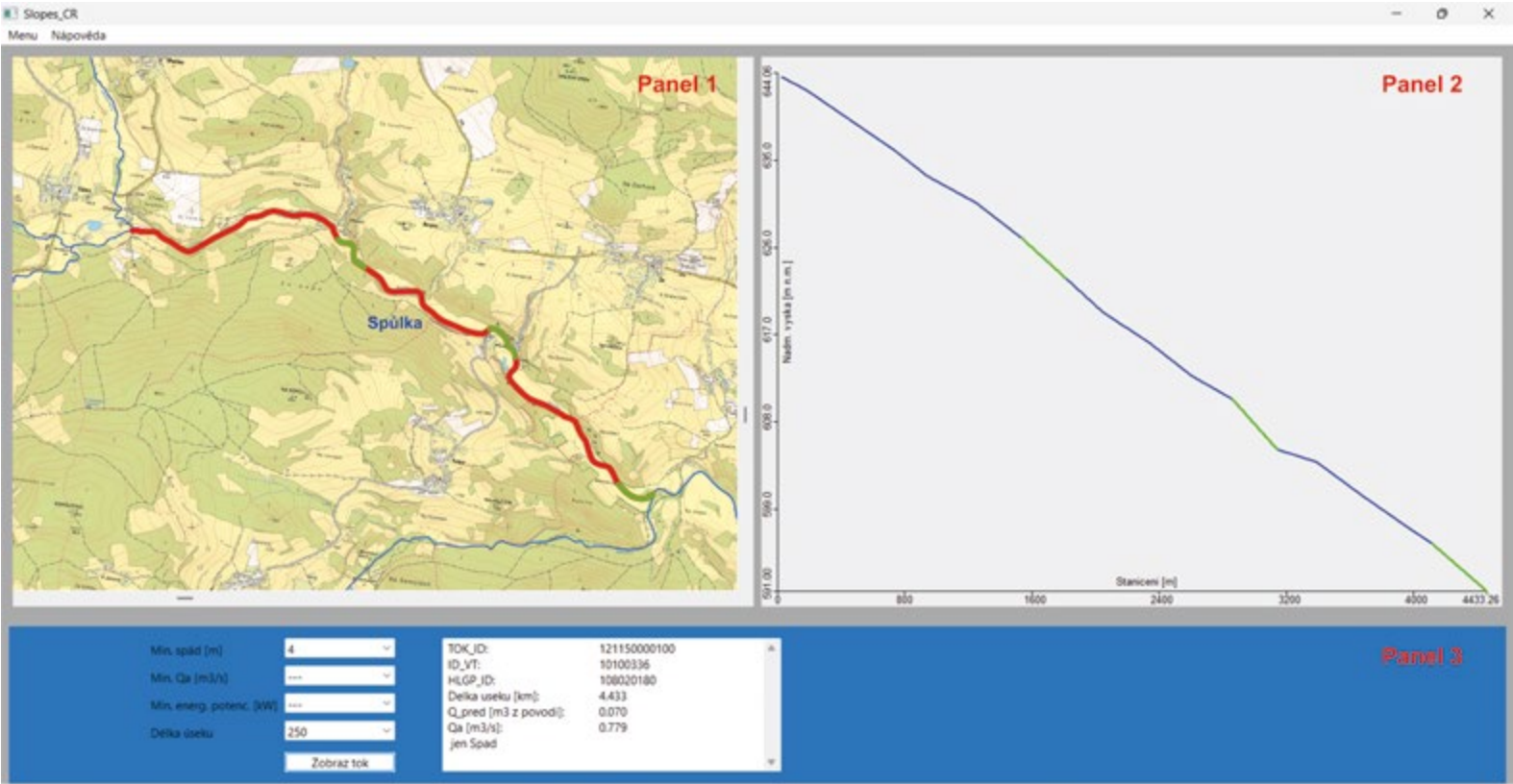
Každý segment nese jednoznačné ID (UTOKH_ID), odkaz na povodí (IDVT) a úsek toku (HLGP_ID). Dále databáze obsahuje výpočty:

- délky úseku L (m),
- výškového rozdílu – minimálního spádu ΔH (m),
- minimálního energetického potenciálu – odhadovaného výkonu P (kW).

Uživatelské rozhraní a vyhledávací algoritmus

Pro prezentaci uživatelského rozhraní nástroje SCR [11] byl vybrán vodní tok Spůlka (HLGP_ID 108020180). Aplikace je navržena jako průvodce výběru úseků vodních toků, jenž reflektuje logiku rozhodovacího procesu při předběžném hodnocení hydroenergetické využitelnosti. V první fázi práce uživatel definuje zájmové území výběrem povodí IV. řádu, resp. konkrétního hrubého úseku vodního toku.

Na definovaný úsek vodního toku jsou následně aplikována uživatelsky nastavitelná technická kritéria. Mezi filtry patří minimální délka úseku (50, 100, 250 a 500 m), minimální výškový rozdíl (1–5 m po 1 m), minimální hodnota průtoku Q_a (0,1–0,5 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ po 0,1 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), případně přímý požadavek na výsledný výkon (1–5 kW po 1 kW). Kombinace těchto parametrů umožňuje předem



Obr. 4. Identifikace vodních úseků dle nastavených parametrů (panel 1), podélný profil vybraného vodního toku s definovanými úseky (panel 2) a zadané parametry spolu s tabulkovými hodnotami vybraného úseku vodního toku (panel 3)
Fig. 4. Identification of river reaches according to the defined parameters (panel 1), longitudinal profile of the selected river with delineated reaches (panel 2), and input parameters with tabular values of the selected reach (panel 3)

vyloučit úseky s nedostatečnými podmínkami a zefektivnit vyhledávání vhodných kandidátních lokalit.

Výsledky jsou uživateli zpřístupněny formou prostorové vizualizace i tabulového výpisu, jak je uvedeno na obr. 4. V mapovém okně jsou vyhovující úseky barevně odlišeny a lze je dále prokliknout pro získání detailních informací. Zároveň je možné zobrazit interaktivní podélný profil toku, kde jsou segmenty zřetelně označeny, včetně jejich parametrů a prostorové polohy. V textové podobě je k dispozici tabulka s klíčovými údaji (délka, spád, Q_0). Tímto způsobem poskytuje aplikace podporu pro rychlou identifikaci dílčích úseků toků, které odpovídají zadaným parametrům, a to s minimální vstupní znalostí uživatele. Výstupy slouží jako podklad pro následné kroky projektové přípravy nebo pro srovnávací analýzy na regionální úrovni.

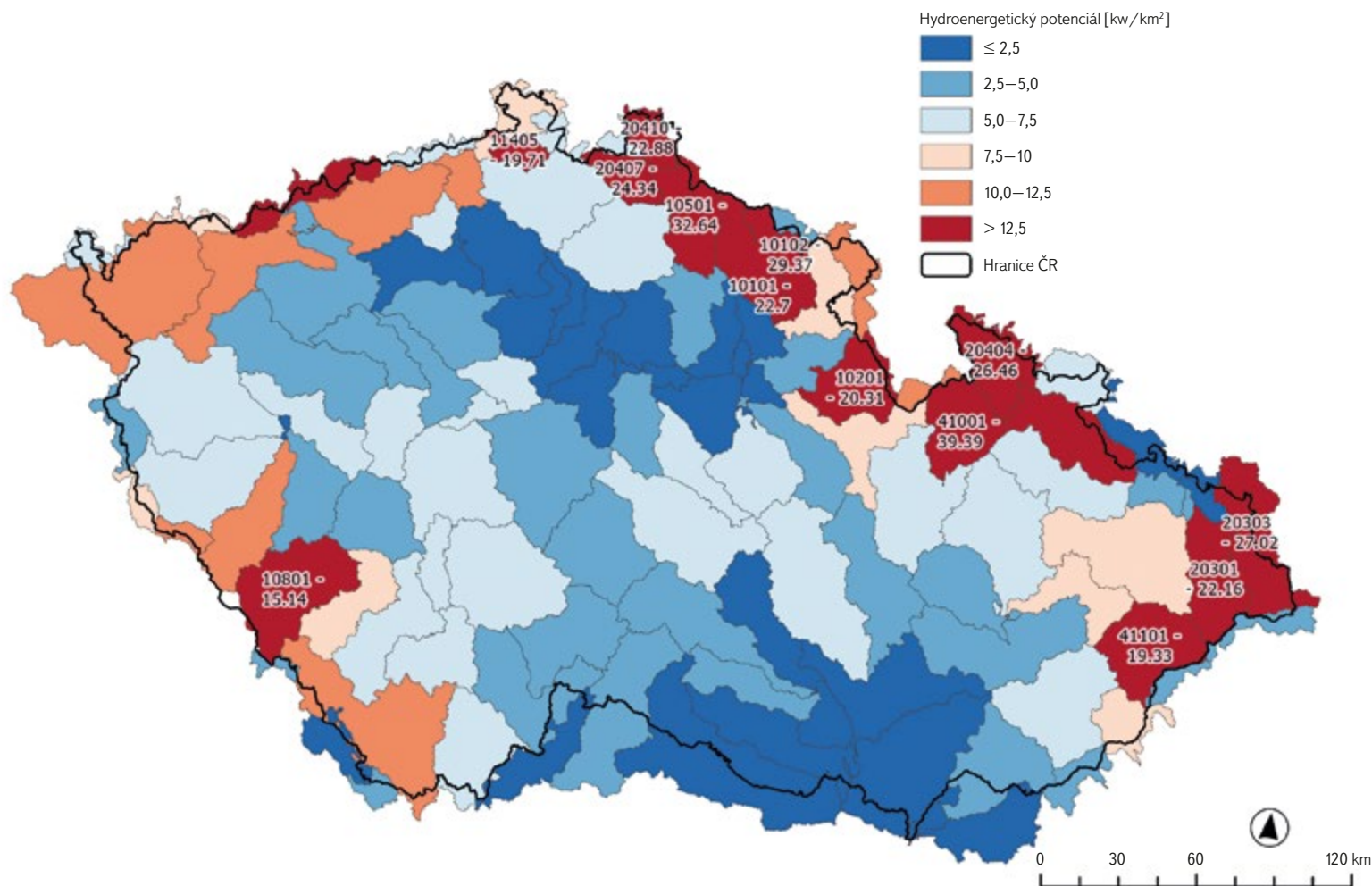
VÝSLEDKY

Databáze hydroenergetického potenciálu na úrovni povodí IV. řádu poskytuje jednotný přehled o rozložení HEP drobných vodních toků a umožňuje rychlou identifikaci regionů s vyššími hodnotami pro následné podrobnější posouzení. Díky vizualizaci v mapách a tabulkách lze provést předběžnou analýzu bez náročného terénního průzkumu. Na databázi navazuje aplikace Sklony_ČR, jež umožňuje detailní analýzu jednotlivých úseků toků na základě zadaných technických parametrů (např. spád, průtok či výkon). Výsledky jsou prezentovány

formou map a tabulek s podélným profilem toku, což usnadňuje vyhledání lokalit s reálným energetickým využitím. Kombinace databáze a aplikace tak poskytuje komplexní nástroj – od plošného hodnocení až po detailní lokalizaci vhodných úseků.

Pro demonstraci využití databáze byl proveden postup, při němž byla povodí IV. řádu s průměrným ročním průtokem nižším než $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ z analýzy vyloučena. Zbývající povodí byla následně agregována na úroveň povodí III. řádu a hodnoty jejich hydroenergetického potenciálu byly sečteny. Zároveň byly výsledné hodnoty normalizovány na plochu povodí, což umožnilo srovnání jednotlivých celků nezávisle na jejich velikosti. Tento postup poskytl přehled nejen o absolutním souhrnném potenciálu, ale také o jeho relativní intenzitě na jednotku plochy.

Výsledky ukázaly, že největší hydroenergetický potenciál se soustředí především v severní a severovýchodní části ČR. Výrazně se uplatňují povodí Moravy k Šumperku, Kamenice a Jizery, Úpy či Olše, dále také menší povodí Lužické Nisy, Smědé a Vidnavky s Bělou. Zvýšené hodnoty byly identifikovány rovněž v horských a podhorských oblastech Krkonoš, Jizerských hor, Jeseníků a Beskyd, kde kombinace vyšších spádů a stabilnějších průtoků vytváří příznivé podmínky pro rozvoj mikrohdroenergetiky. Přehled nejvýznamnějších povodí je znázorněn prostřednictvím mapového výstupu a grafu, které ukazují prostorové rozložení potenciálu na území ČR. Základní charakteristiky jsou specifikovány v tab. 1.



Obr. 5. Hydroenergetický potenciál povodí III. řádu přepočtený na jednotku plochy (km^2)

Fig. 5. Hydropower potential of third-order catchments recalculated per unit area (km^2)

Tab. 1. Povodí III. řádu s nejvyšším hydroenergetickým potenciálem
Tab. 1. Third-order catchments with the highest hydropower potential

Kód povodí III. řádu	Název povodí	Rozloha povodí III. řádu [km²]	Rozloha povodí DVT [km²]	Celkový HEP [kW]	Počet povodí IV. řádu	HEP [kW · km²]
41001	Povodí Moravy k Šumperku	818,67	635,19	25,02	69,00	39,39
10501	Povodí Kamenice a Jizery k soutoku	782,09	531,40	17,35	49,00	32,64
10102	Povodí Úpy	512,89	366,05	10,75	45,00	29,37
20303	Povodí Olše	1 112,65	484,61	13,09	45,00	27,02
20404	Povodí Vidnavky a Bělé	773,75	657,20	17,39	86,00	26,46
20407	Povodí Lužické Nisy	377,09	240,48	5,85	27,00	24,34
20410	Povodí Smědé	324,25	258,22	5,91	30,00	22,88
10101	Povodí Labe k Jaroměři	711,72	579,40	13,15	68,00	22,70
20301	Povodí Ostravice	826,74	590,44	13,08	59,00	22,16
10201	Povodí Divoké Orlice	777,78	489,17	9,93	63,00	20,31
11405	Povodí Kamenice	220,06	193,54	3,81	21,00	19,71
41101	Povodí Rožnovské a Vsetínské Bečvy k soutoku	988,39	793,37	15,33	87,00	19,33
10801	Povodí Otavy	1 289,08	1 054,55	15,97	107,00	15,14

Vytvořená databáze i aplikace Sklony_ČR nacházejí uplatnění nejen při hodnocení hydroenergetického potenciálu, ale také v dalších oblastech. Pro státní správu a samosprávu mohou sloužit jako podklad pro energetické koncepce, strategické dokumenty a územní plány. Správci vodních toků je mohou využít při plánování hospodaření s vodními zdroji a při vyhodnocování dopadů klimatické změny. Investoři a projektanti získávají nástroj pro rychlý výběr vhodných lokalit a zefektivnění přípravy projektů, což snižuje náklady na průzkum. Akademická sféra je pak může použít pro modelování, výzkum i výuku. Díky těmto možnostem představují oba výstupy univerzální podklad pro propojení energetického, vodohospodářského a environmentálního plánování.

DISKUZE

Jedním z klíčových přínosů představeného přístupu je jeho dvoustupňová struktura, jež umožňuje propojit celoplošné mapové hodnocení hydroenergetického potenciálu povodí IV. řádu s lokální identifikací konkrétních úseků vodních toků na základě volitelných technických parametrů [12, 13].

Tento přístup efektivně kombinuje vysokou míru standardizace a přehlednosti v mapové fázi s možností detailního posouzení konkrétních lokalit pomocí aplikace SCR. Uživatelé mohou z mapových výstupů (např. specializovaných N_{map}) snadno vytipovat povodí s nadprůměrným HEP a následně se pomocí softwarového nástroje zaměřit na identifikaci vhodných úseků s konkrétním spádem, průtokem a výkonem. Tím se eliminuje nutnost manuální prohlídky celého vodního toku nebo jeho kartografické analýzy v prostředí GIS.

Navržený přístup má vysokou míru aplikačního potenciálu pro různé cílové skupiny. Pro veřejnou správu (obce, kraje, správce vodních toků) představuje dostupný podklad pro strategické plánování využití obnovitelných zdrojů a může se uplatnit při zpracování územně-energetických koncepcí. Projektanti a investoři mohou využít softwarový nástroj pro rychlé posouzení lokalit před

zpracováním technické studie, čímž se výrazně zkracuje přípravná fáze záměru. Nástroj je přitom použitelný bez pokročilých znalostí GIS technologií, což rozšiřuje jeho využitelnost i pro menší subjekty nebo obce bez odborného zázemí. Praktický přínos byl ověřen v rámci pilotních testů v povodí Otavy, kde byla úspěšně provedena identifikace vhodných lokalit.

Je však nutné zdůraznit, že přístup nese i určité metodické a technické limity. Jedním z klíčových omezení je nejistota v odhadnutých průtocích, které jsou odvozeny na základě interpolace mapy izolinií specifického odtoku [10] a kalibrace podle měřených profilů. V lokalitách bez dostupného měření tedy nelze garantovat vysokou přesnost údajů o průtoku [14], což může mít vliv na spolehlivost odhadovaného výkonu [15]. Rovněž nebyly v současné fázi řešení zahrnuty ekologické a majetkoprávní aspekty, jež mají zásadní význam při reálném posuzování vhodnosti lokality pro výstavbu malé vodní elektrárny [16]. Tyto aspekty (např. ochranná pásma, migrační bariéry, kolize s územním plánem) by měly být posouzeny v navazujících krocích projektové přípravy.

Přesto lze konstatovat, že kombinací robustní mapové analýzy a cíleného softwarového nástroje vznikl praktický a dobře škálovatelný přístup, který rozšiřuje možnosti využití hydroenergetického potenciálu v podmínkách DVT a přispívá k modernizaci plánování malých obnovitelných zdrojů energie v ČR. Další výsledek podporující konkrétní realizaci bude proveden v podobě ověřené technologie (Z_{tech}), kde bude testováno několik demonstračních studií. V některých povodích IV. řádu bude uskutečněno modelové ověření záměru výstavby nejmenší vodní elektrárny, doplněné o majetkoprávní prověření a zhodnocení environmentálních aspektů s důrazem na prostupnost vodních toků. Součástí navazujícího výsledku bude také rámcové zhodnocení ekonomické proveditelnosti vybraných variant, což umožní komplexnější posouzení vhodnosti lokalit pro instalaci malých vodních elektráren. Tento výstup bude sloužit jako příklad aplikace navrženého postupu v reálných podmínkách a jako podklad pro ověření proveditelnosti jednotlivých variant.

ZÁVĚR

Představený přístup ke stanovení hydroenergetického potenciálu DVT v ČR kombinuje celoplošné prostorové hodnocení s detailní analýzou konkrétních úseků vodních toků pomocí nástroje SCR. Tato dvoustupňová metodika umožňuje efektivní identifikaci lokalit s využitelným energetickým potenciálem i bez přímého měření průtoků, a tím výrazně zkracuje úvodní fázi projektové přípravy. Aplikovatelnost tohoto přístupu byla ověřena na datech z celé ČR i na pilotním území povodí Otavy.

Navržený nástroj a metodika představují praktický základ pro územní screening lokalit vhodných pro realizaci mikroenergetických zařízení, zejména tam, kde jiný obnovitelný zdroj není technicky nebo ekonomicky dostupný. Přístup bude dále rozvinut v rámci výsledku typu Z_{tech} – ověřená technologie, který se zaměří na prověření reálné proveditelnosti výstavby mikroenergetických zařízení na vybraných lokalitách a na modelování provozních režimů zahrnujících akumulaci a distribuci vody.

V tomto článku nejsou diskutovány další konkrétní okolnosti spojené se skutečnou realizací malých vodních elektráren, jako jsou stavební omezení, legislativní procesy, ekonomické náklady nebo provozní rizika. Tyto faktory mají zásadní vliv na konečnou proveditelnost záměrů a měly by být zohledněny až v navazujících fázích projektové přípravy. Zde prezentovaný přístup se proto zaměřuje především na mapové a analytické zhodnocení potenciálu, které může sloužit jako první krok k systematickému vyhledávání vhodných lokalit.

V souhrnu lze konstatovat, že kombinace prostorového modelování, dostupných hydrologických podkladů a jednoduchého nástroje pro technické hodnocení může významně přispět k identifikaci doposud opomíjeného potenciálu DVT a podpořit udržitelný rozvoj decentralizované obnovitelné energetiky v ČR.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory Technologické agentury ČR, projektu č. TK04030223 „Stanovení hydroenergetického potenciálu ‚Pico-Hydropower‘ v současných i predikovaných klimatických podmínkách ČR“ a za institucionální podpory Ministerstva zemědělství (MZE- RO0223).

Literatura

- [1] EUROPEAN COMMISSION. *Renewable Energy Directive – Revised RED II (Directive (EU) 2018/2001). European Energy – Renewable Energy Directive: Targets and Rules* [on-line]. 2023 [citováno 2025-07-09]. Dostupné z: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en
- [2] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu. Aktualizace – prosinec 2024*. Praha: MPO, 2024. Dostupné z: https://mpo.gov.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/2024/12/Vnitrostatni-plan-Ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu-_prosinec-2024_.pdf
- [3] KAŠPÁREK, L., KOŽÍN, R. Changes in Precipitation and Runoff in River Basins in the Czech Republic during the Period of Intense Warming. *Water Management Technical and Economical Information Journal (VTEI)*. 2022, 64(2), s. 17–26. ISSN 0322-8916.
- [4] CRHOVÁ, L., BLIŽŇÁK, V., KAŠPAR, M., MÜLLER, M., SVOBODA, V., ŠERCL, P., ŠTĚPÁNEK, P. *Souhrnná výzkumná zpráva (Vsouhrn) S502030040-V46: Návrhové hodnoty srážek*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2023. 40 s. Dostupné z: <https://www.perun-klima.cz/results/navrhSrážekZprava.pdf>
- [5] BUREŠ, L., SAMCOVÁ, M., ROUB, R., POLÁKOVÁ, L., HEJDUK, T., ŠTICH, M. Interpolace vybraných průtoků v nepozorovaných povodích IV. řádu v povodí Otavy. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2024, 66(4), s. 12–18. ISSN 0322-8916. Dostupné z: <https://doi.org/10.46555/VTEI.2024.05.002>
- [6] ROUB, R., BUREŠ, L., MARVAL, Š., HEJDUK, T., TOMEK, M., ŠTICH, M., POLÁKOVÁ, L., FUČÍK, P., PETRŮ, J., BURKET, J., ZAJÍČEK, A., VLČEK, L. *Hydroenergetický potenciál drobných vodních toků v horizontu 2100. Specializovaná mapa s odborným obsahem*. 2024. 30 s. ISBN 978-80-88664-14-7 (print), ISBN 978-80-88664-15-4 (PDF).
- [7] ROUB, R., BUREŠ, L., MARVAL, Š., HEJDUK, T., POLÁKOVÁ, L., ŠTICH, M. *Hydroenergetický potenciál drobných vodních toků. Databáze*. 2024. Dostupné z: <https://www.fzp.czu.cz/scr>

[8] SKØIEN, J. O., BÖLSCHL, G., LAAHA, G., PEBESMA, E., PARAJKA, J., VIGLIONE, A. Rtop: An R Package for Interpolation of Data with a Variable Spatial Support, with an Example from River Networks. *Computers & Geosciences*. 2014, 67, s. 180–190. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.02.009>

[9] PATOČKA, E., NĚMEC, J. *Mapa izolinií specifického průměrného ročního odtoku*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 1956.

[10] KEMEL, M. *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Praha: ČVUT, 2000. 290 s. ISBN 8001014568.

[11] BUREŠ, L., ROUB, R., POLÁKOVÁ, L., HEJDUK, T., MARVAL, Š., ŠTICH, M. *SCR (Skłony_ČR): analytický nástroj pro identifikaci potenciálních úseků toků pro Pico-VE (verze [1.0])* [software]. Praha: Fakulta životního prostředí ČZU, 2024. Dostupné z: <https://www.fzp.czu.cz/scr>

[12] ROJANAMON, P., CHAISOMPHOB, T., BUREEKUL, T. Application of Geographical Information System to Site Selection of Small Run-of-River Hydropower Project by Considering Engineering/Economic/Environmental Criteria and Social Impact. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2009, 13(9), s. 2336–2348. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2009.07.003>

[13] LEHNER, B., LIERMANN, C. R., REVENGA, C., VÖRÖSMARTY, CH., FEKETE, B., CROUZET, P., DÖLL, P., ENDEJAN, M., FRENKEN, K., MAGOME, J., NILSSON, C., ROBERTSON, J. C., RÖDEL, R., SINDORF, N., WISSER, D. High-Resolution Mapping of the World's Reservoirs and Dams for Sustainable River-Flow Management. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2011, 9(9), s. 494–502. Dostupné z: <https://doi.org/10.1890/100125>

[14] BLÖSCHL, G., SIVAPALAN, M., WAGENER, T., VIGLIONE, A., SAVENIJE, H. (eds.). *Runoff Prediction in Ungauged Basins: Synthesis across Processes, Places and Scales*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

[15] CASTELLARIN, A., VOGEL, R. M., MATALAS, N. C. Probabilistic Behavior of a Regional Envelope Curve. *Water Resources Research*. 2005, 41(6), W06018. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/2004WR003042>

[16] LARINIER, M. Fish Passage Experience at Small-Scale Hydro-Electric Power Plants in France. *Hydrobiologia*. 2008, 609(1), s. 97–108. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9398-9>

Autoři

Ing. Štěpán Marval¹

✉ marval.stepan@vumop.cz

ORCID: 0009-0001-5793-685X

Ing. Radek Roub, Ph.D.²

✉ roub@fzp.czu.cz

ORCID: 0000-0002-6838-2047

Ing. Luděk Bureš, Ph.D.²

✉ buresl@fzp.czu.cz

ORCID: 0000-0002-8358-8932

Ing. Tomáš Hejduk, Ph.D.¹

✉ hejduk.tomas@vumop.cz

ORCID: 0009-0007-8702-5911

Ing. Lucie Poláková^{1,2}

✉ polakoval@fzp.czu.cz

Ing. Martin Štich³

✉ stich@vrv.cz

¹ Výzkumný ústav monitoringu a ochrany půdy, Praha (Česká republika)

² Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha (Česká republika)

³ Vodohospodářský rozvoj a výstavba, Praha (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.09.001

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

FROM A DROP TO ENERGY: ASSESSING THE HYDROPOWER POTENTIAL OF WATERCOURSES USING RESULTS FROM THE "PICO-HYDROPOWER PROJECT"

MARVAL, Š.¹; ROUB, R.²; BUREŠ, L.²; HEJDUK, T.¹; POLÁKOVÁ, L.^{1,2}; ŠTICH, M.³

¹Research Institute for Soil and Water Conservation, Prague (Czech Republic)

²Faculty of Environmental Sciences Czech University of Life Sciences Prague (Czech Republic)

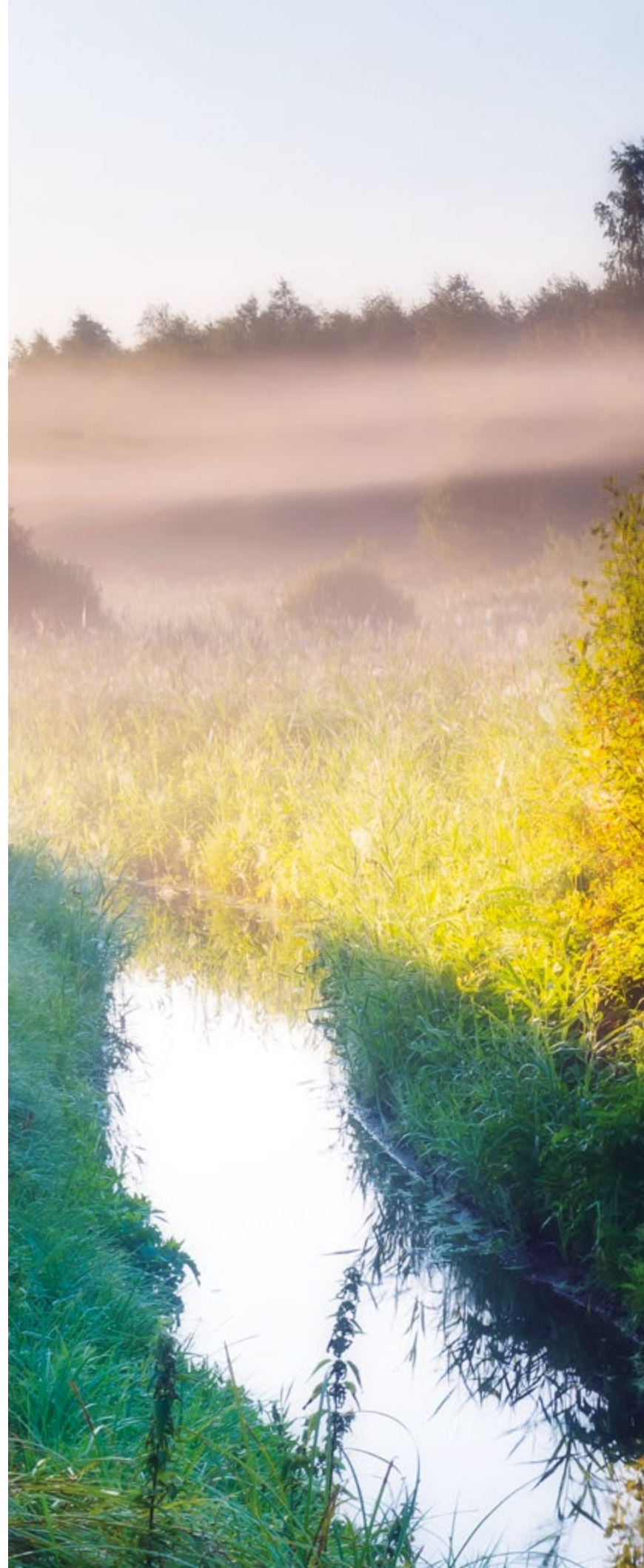
³Vodohospodářský rozvoj a výstavba, a. s., Prague (Czech Republic)

Keywords: hydropower — small water courses — hydropower potential — head — water flow

The growing demand for decentralized renewable energy sources has sparked renewed interest in harnessing the hydroenergetic potential of small watercourses. This paper presents a two-stage methodology developed within the *Pico-Hydropower project* (TA CR, no. TK04030223), aimed at identifying and evaluating suitable locations for micro-hydropower installations in the Czech Republic. The first stage involves a nationwide spatial assessment of theoretical hydroenergetic potential (HEP) across all 4th-order catchments, based on a combination of digital elevation models (DMR 5G), interpolated values of mean annual streamflow (Q_a), and calculated average channel slope (H). The resulting geodatabase enables prioritization of catchments with above-average potential and serves as input for more detailed analyses.

In the second stage, a specialized software tool called SCR (Sklony_ČR) was developed to identify specific river segments with usable head and flow. The tool integrates topographic and hydrological data with user-defined technical parameters (e.g., minimum head, flow rate, or desired power output) and allows for rapid screening of suitable locations without the need for extensive field surveys. The methodology was validated through pilot testing in the Otava catchment, confirming its practical applicability for regional energy planning, project development, and academic research.

The results show that the highest hydroenergetic potential is concentrated in the northern and northeastern regions of the Czech Republic, particularly in the catchments of the Morava, Jizera, Úpa, Olše, and Lužická Nisa rivers. The combination of spatial modeling and interactive analysis offers a scalable and user-friendly approach to utilizing the previously overlooked potential of small streams, which can significantly contribute to the sustainable development of decentralized hydropower in mountainous and rural areas. In the next phases of the project, the methodology will be verified through demonstration studies, including legal and environmental assessments of selected locations.





Některé aspekty ochrany povodí nad budoucími nádržemi

HELENA NOVÁKOVÁ, MILENA FOREJTNIKOVÁ, MARTIN CALETKA, KATEŘINA SEDLÁČKOVÁ

Klíčová slova: lokality akumulace povrchových vod — povodí — vodní nádrž — modifikované kritické body — eroze — zranitelná oblast — komplexní pozemkové úpravy

ABSTRAKT

Lokality budoucí akumulace povrchových vod jsou dlouhodobě sledované a chráněné. Malá pozornost byla však dosud věnována povodí, jež bude v budoucnosti zdrojem vod pro tyto nádrže, z pohledu ovlivňování jejich jakosti. Článek se zaměřuje na některé plošné jevy, které mohou vést ke znečišťování, a tím i k omezenému využití akumulované vody. Popisuje metodiku stanovení kritických míst v okolí budoucí nádrže, kudy se do vodního prostředí dostane při přívalových srážkách nadměrné množství splavenin. Tím bude docházet k zanášení nádrže, ale i ke vnosu rozpuštěných znečišťujících látek. Metodika byla použita na všech 61 vybraných lokalitách, výsledky jsou přehledně uvedeny v tab. 1 a dále komentovány. Jako další plošný aspekt je vyhodnoceno zastoupení tzv. zranitelných oblastí v povodí nádrže. Ačkoli jsou tyto oblasti posuzovány z pohledu nadměrného výskytu dusičnanů ve vodách, mohou se tu vyskytovat i další nežádoucí sloučeniny využívané v zemědělství. Jako třetí aspekt je v článku popisován stav zpracování komplexních pozemkových úprav ve sledovaných povodích a je diskutován jejich přínos pro ochranu povodí. V závěru se konstatuje, že by bylo potřebné zakotvit legislativně ochranu povodí LAPV, zejména u těch nádrží, kde se předpokládá jejich vodárenské využití.

ÚVOD

Při hodnocení účelnosti a efektivnosti výstavby nové vodní nádrže jsou na jedné straně důležité mnohé parametry, které můžeme pokládat za základní, technické a jež lze jednoznačně popisovat a vyčíslit. Jde o typ nádrže, objem a zaplavenou plochu, hydrologické poměry apod.

Na druhé straně je množství parametrů, které můžeme nazvat socioekonomické. Jde např. o postoje místních lidí, již budou výstavbou dotčeni, o zájmy různých specialistů, kteří mají definovány různé cíle, jichž chtějí výstavbou nádrže (nebo jejím vyloučením) dosáhnout. Každý, kdo chce zdůraznit svůj postoj a cíl, si vybírá argumenty na jejich podporu a potlačuje ty, které jeho záměrům nevyhovují, nebo jim nevěnuje pozornost.

Projekt „Centrum Voda I“ se zaměřil na výzkum 61 lokalit z Generelu 2020 [1]. Tento výběr bral v úvahu hydrologické poměry, tedy území, jež bude potřeba řešit z hlediska zásobování vodou přednostně [2].

Je důležité si uvědomit, že úvahy o budoucí nádrži nemají dopad pouze na plochy dotčené vlastní stavbou hráze a na plochu budoucí záplavy. Nádrž přináší problémy a sociální a ekonomické dopady po proudu i proti proudu dotčeného toku: zlepšuje celkové podmínky v povodí (i širším území) pod nádrží, ale vytváří tlak na možnosti využití území nad nádrží. Tomuto aspektu nebyla v případě ochrany lokalit akumulace povrchových vod (dále LAPV) dosud věnována

dostatečná pozornost – většina ochranných opatření se vztahuje k prostoru budoucí hráze a předpokládané záplavové plochy. V tomto rozsahu byly také převzaté a zaznamenané jako Územní rezerva [3] v Zásadách územního rozvoje (dále ZÚR) krajů. Obr. 1 ukazuje grafické zobrazení pro LAPV Terežín ze ZÚR Jihomoravského kraje [4]. Pokud jsou zmiňovány nároky na způsob hospodaření a využívání krajiny v povodí nad budoucí nádrží, jsou všeobecné, neadresné a nejsou sledovány jejich dopady na život dotčených obyvatel, nároky na infrastrukturu, zemědělství a místní firmy. Přitom ochrana příslušného povodí by měla být trvalou součástí ochrany LAPV a u lokalit A (pitná voda) pak zaměřena zejména na ochranu kvality vody.



Obr. 1. Ukázka ze ZÚR Jihomoravského kraje [4]: územní rezerva LAPV Terežín – modře šrafováno

Fig. 1. Example of spatial development principles of the South Moravian Region [4]: LAPV Terežín – blue hatching

Proto se v projektu zaměřujeme především na pojmenování, popis a výčet různých aspektů a dopadů uvažované výstavby vodních děl na jednotlivce i celé komunity a na různé typy hospodářské činnosti v zasaženém území. Pro tento příspěvek jsme vybrali tři jevy, které mají souvislost s přirozenou konfigurací krajiny a s jejím plošným využíváním a přetvářením. Cílem této analýzy je shromáždit podklady pro vzájemné porovnávání uvažovaných nádrží podle jednotlivých aspektů a podle jejich kombinace z pohledu výhodnosti i problémů, jež výstavba může způsobit.

METODIKA

V prvním kroku byla provedena plošná analýza relevantních povodí LAPV či mezipovodí ke každé lokalitě. Pro tyto plochy byl zobrazen průnik s vyhlášenými

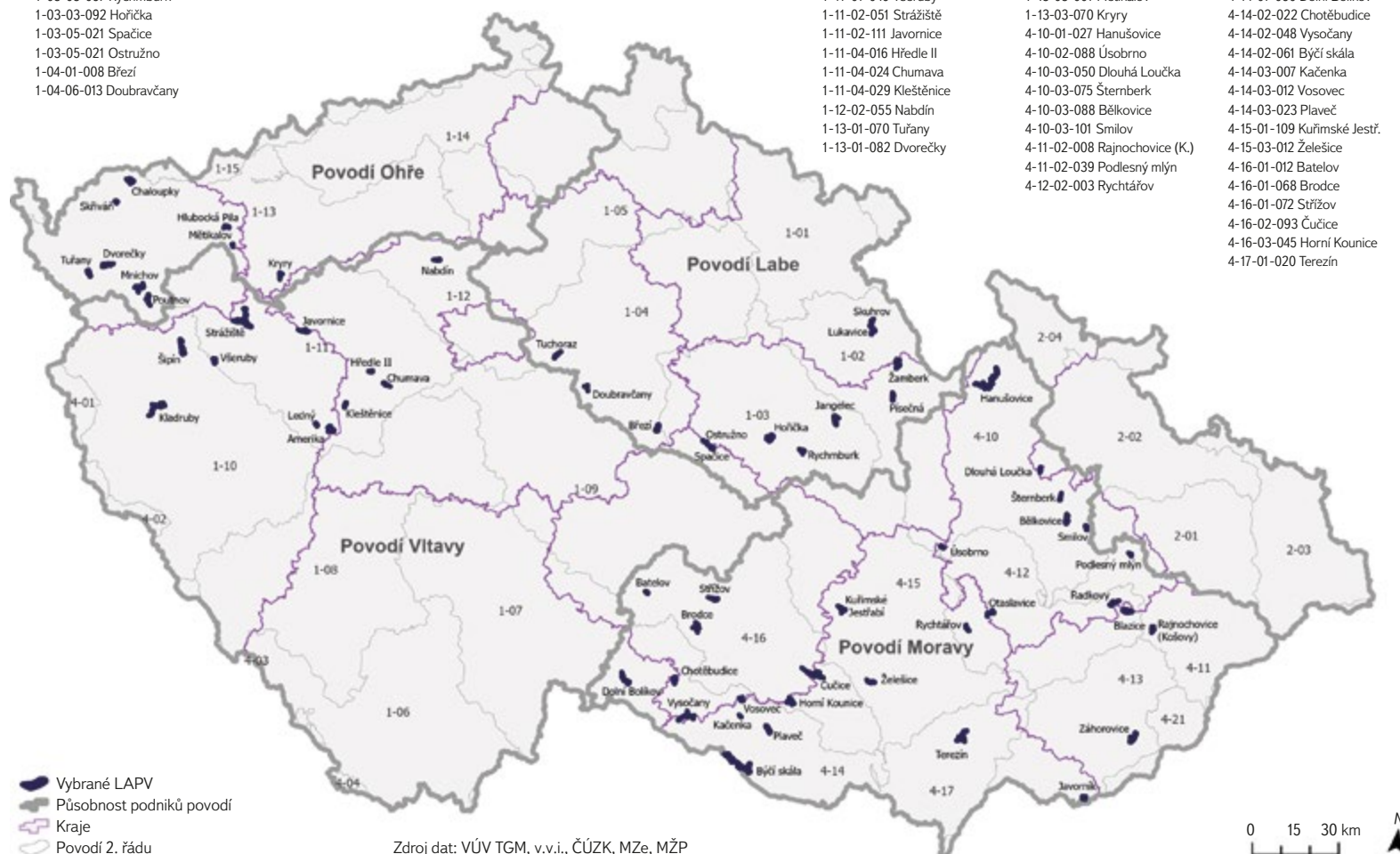
Seznam vybraných LAPV

1-02-01-021 Žamberk
1-02-01-059 Sukhrov
1-02-01-069 Lukavice
1-02-02-030 Písečná
1-03-02-044 Jangelec
1-03-03-057 Rychmburk
1-03-03-092 Hořická
1-03-05-021 Spačice
1-03-05-021 Ostružno
1-04-01-008 Břeží
1-04-06-013 Doubravčany

1-04-06-036 Tuchoraz
1-10-01-125 Kladruby
1-10-01-151 Šipín
1-11-01-010 Amerika
1-11-01-015 Ledný
1-11-01-049 Všeruby
1-11-02-051 Strážiště
1-11-02-111 Javornice
1-11-04-016 Hředle II
1-11-04-024 Chumava
1-11-04-029 Kleštěnice
1-12-02-055 Nabdín
1-13-01-070 Tuřany
1-13-01-082 Dvorcečky

1-13-01-111 Skřiván
1-13-01-155 Chaloupky
1-13-02-005 Poutnov
1-13-02-008 Mnichov
1-13-03-001 Hlubocká Pila
1-13-03-001 Mětkalov
1-13-03-070 Kryry
4-10-01-027 Hanušovice
4-10-02-088 Úsobno
4-10-03-050 Dlouhá Loučka
4-10-03-075 Šternberk
4-10-03-088 Bělkovice
4-10-03-101 Smilov
4-11-02-008 Rajnochovice (K.)
4-11-02-039 Podlesný mlýn
4-12-02-003 Rychtářov

4-12-02-049 Otaslavice
4-12-02-078 Blazice
4-12-02-083 Radkovy
4-13-01-095 Záhrovice
4-13-02-038 Javorník
4-14-01-050 Dolní Bolikov
4-14-02-022 Chotěbudice
4-14-02-048 Vysočany
4-14-02-061 Býčí skála
4-14-03-007 Kačenka
4-14-03-012 Vosovec
4-14-03-023 Plaveč
4-15-01-109 Kuřimské Jestě
4-15-03-012 Želešice
4-16-01-012 Batelov
4-16-01-068 Brodce
4-16-01-072 Stržňov
4-16-02-093 Čučice
4-16-03-045 Horní Kounice
4-17-01-020 Terezín



Obr. 2. Poloha LAPV vybraných pro projekt

Fig. 2. Location of protected areas of natural water accumulation selected for the project

zranitelnými oblastmi a s plochami pod další ochranou, významnou z vodohospodářského hlediska, dále výčet dotčených vodních útvarů, jejich současný stav a očekávaná opatření v nich podle plánů dílčích povodí. Zdrojem některých těchto informací byly příslušné plány dílčího povodí [5–13].

V rámci katastrů obcí příslušných k povodí jednotlivých lokalit je sledován stav zpracování a provádění komplexních pozemkových úprav (dále KPÚ).

Všechny zjištěné údaje zpracované pro každou lokalitu jsou ukládány do databáze vedené v Excelu a jsou využívány v dalších výstupech projektu.

Do analýzy vstupovalo 61 lokalit LAPV vybraných pro projekt Technologické agentury ČR č. SS02030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda)“, jehož garantem je Ministerstvo životního prostředí. Lokality jsou přehledně zobrazeny na mapě (obr. 2).

Modifikované kritické body

Hlavní část analýzy byla zaměřena na posouzení nejbližšího okolí budoucích vodních ploch z hlediska nebezpečí erozních smyčů při přívalových deštích. Byla využita metoda kritických bodů, jež je založena na morfometrické

a hydrologické analýze digitálního modelu terénu (DMT) v prostředí ESRI ArcGIS for Desktop, resp. novějšího ArcGIS Pro [14]. Mimo prostředí ESRI existují i další, volně dostupné softwarové nástroje umožňující obdobné analýzy DMT. Významným je např. SAGA GIS (Systém for Automated Geoscientific Analyses), který je kromě analýzy DMT využíván také pro modelování povrchového odtoku a erozně-sedimentačních procesů [15]. Další standardně využívanou robustní platformou je GRASS GIS (Geographic Resources Analysis Support System), jenž rovněž nabízí řadu pokročilých nástrojů pro analýzy DMT a simulace povrchového odtoku [16]. Na základě výsledků případové studie [17] lze konstatovat, že oba open source nástroje se stávají stále robustnějšími platformami pro morfometrické a hydrologické analýzy DMT/DMR, ať již bereme v úvahu relativně jednoduché stanovení směru a akumulace odtoku, anebo sofistikovanější analýzy.

Kritické body se stanovují v místech, kde linie drah soustředěného odtoku, vygenerované na podkladu DMT, vnikají do zastavěného území obcí. Modifikovaný postup nahrazuje hranici intravilánu vymezenou linií rozlivu chráněné LAPV. Vzhledem k charakteru přívalových srážek (na které je metodika nastavena) a jejich zejména lokálních důsledků se uvažují jen kritické body, jejichž přispívající plocha nepřesáhne velikost 10 km². U každé přispívající plochy jsou vypočítány fyzicko-geografické charakteristiky:

$P_{p,r}$ – relativní velikost (vzhledem k maximu 10 km²) [-]
 I_p – průměrný sklon [%]
ORP – podíl orné půdy [%]
CNII – průměrná hodnota CNII [-]
 $H_{m,r}$ – relativní hodnota úhrnu jednodenních srážek s dobou opakování 100 let [-]

Ukazatel kritických podmínek vzniku negativních projevů povodní z přívalových srážek F [-] kombinuje fyzickogeografické podmínky, způsoby využití území, regionální rozdíly krajinného pokryvu a potenciální výskyt extrémních srážek (ve vazbě na synoptické podmínky) pro konkrétní přispívající plochy. Relevantní veličiny jsou ve výpočtu doplněny vahami podle jejich významu pro riziko vzniku přívalové povodně.

$$F = P_{p,r} \cdot H_{m,r} \cdot (a_1 \cdot I_p + a_2 \cdot ORP + a_3 \cdot CNII)$$

kde:
 a je vektor vah [$a_1 = 1,48876$; $a_2 = 3,09204$; $a_3 = 0,467171$]

Do finálního výběru kritických bodů (KB) vstupují čtyři kritéria. Ta jsou rozdílná pro přispívající plochy převážně zemědělského charakteru s podílem orné půdy větším než 40 % (označujeme jako variantu A) a plochy, kde je podíl orné půdy pod hranicí 40 % (varianta B). Do vymezení tedy vstupují i plochy, jež nemají primárně zemědělský charakter, ale na základě šetření provedených na modelových povodích byly i zde zaznamenány škody způsobené transportem splavenin.

Varianta A – vstupují kombinovaná kritéria:		
K1	velikost přispívající plochy	0,3–10,0 km ²
K2	průměrný sklon přispívající plochy	≥ 3,5 %
K3	podíl orné půdy v povodí	≥ 40 %
K4	F – ukazatel kritických podmínek	≥ 1,85

Varianta B – vstupují kombinovaná kritéria:		
K1	velikost přispívající plochy	1,0–10,0 km ²
K2	průměrný sklon přispívající plochy	≥ 5 %
K3	podíl orné půdy v povodí	< 40 %
K4	F – ukazatel kritických podmínek	≥ 1,85

Hlavním výstupem procesu identifikace KB je grafické zobrazení plošné lokalizace vybraných KB (obr. 3) a přehledná tabulka LAPV s vybranými KB. Pro každý zvolený KB je uvedeno označení a hodnoty plochy (km²), podílu plochy orné půdy (%) a průměrného sklonu přispívající plochy (%). Identifikace KB je prvním krokem ke stanovení opatření v povodí určených ke zmírnění nebo eliminaci možného zanášení prostoru nádrže splaveninami transportovanými při intenzivních srážkách.

Základními datovými podklady pro analýzu KB byly datové sady Digitálního modelu reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G) [18] a 5. generace (DMR 5G) [19]. Jde o mračna bodů z leteckého laserového skenování zemského povrchu. Z bodových vrstev byly vytvořeny nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN) a následně rastr digitálního modelu terénu (DMT) s rozlišením 5 m. DMT byl následně upraven metodou tzv. „vypálení“ (z angl. termínu burn) [20, 21] prvků, které v původním DMT nemusejí být zachyceny, ale mohou mít zásadní vliv na směr a akumulaci povrchového odtoku, a tedy i na popis reálného charakteru jeho formování a v konečném důsledku na správné vymezení přispívajících ploch KB. Konkrétně byly použity vrstvy z polohopisné části databáze ZABAGED® – vodní toky, propustky a mosty.



Obr. 3. Zobrazení identifikovaných modifikovaných kritických bodů pro LAPV Terežín
Fig. 3. Location of identified modified critical points for Terežín protected area of natural water accumulation

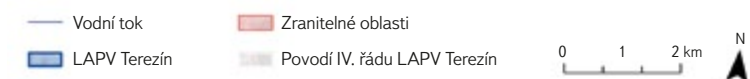
Zranitelné oblasti

Erozní smyvy v povodí nádrže s sebou přinášejí nejen riziko zanášení nádrže sedimentem, ale i vnosu polutantů, zejména z plošných zdrojů znečištění, a tím nežádoucího zhoršení jakosti vody v nádrži. V Generelu území chráněných pro akumulaci povrchových vod [1] jsou lokality rozděleny podle jejich významu na dvě kategorie:

Kategorii A tvoří území, jejichž vodohospodářský význam spočívá především ve schopnosti vytvořit či doplnit zdroje pro zásobování pitnou vodou, případně plnit i další funkce.

Kategorii B tvoří území, která jsou svou polohou a parametry vhodná pro akumulaci za účelem protipovodňové ochrany, pokrytí požadavků na odběry vody a nadlepšování průtoků (zabezpečení ekologických průtoků ve vodních tocích).

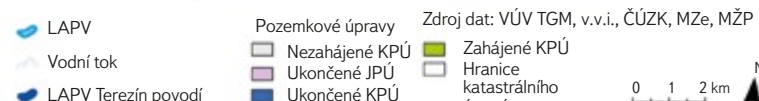
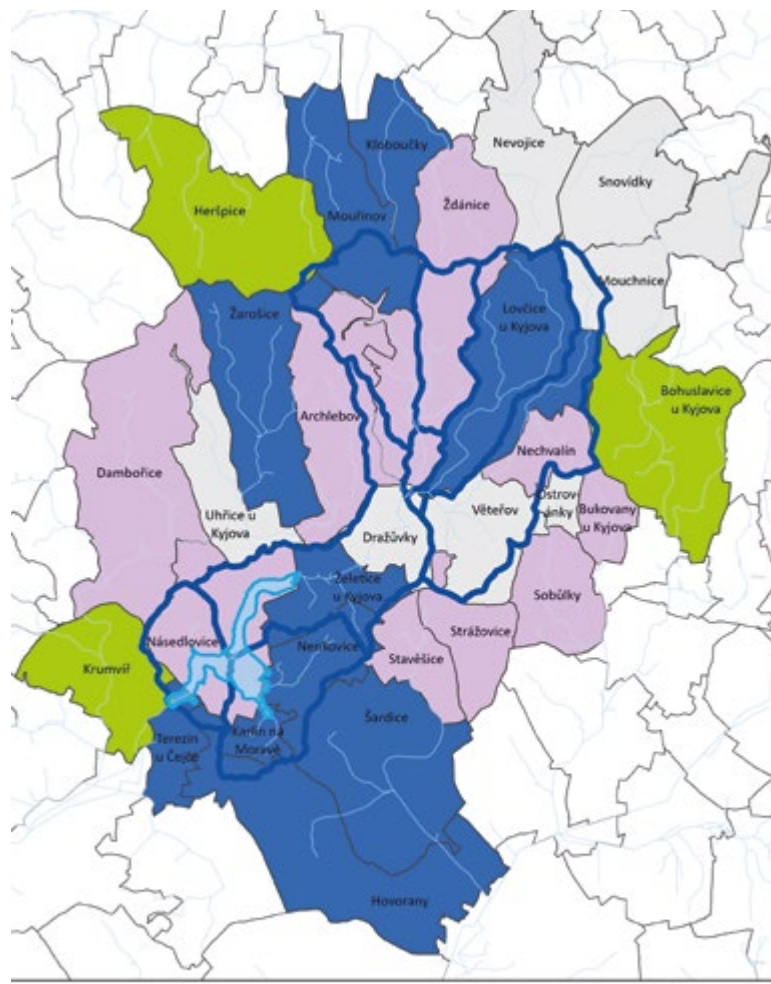
Mezi faktory ohrožující kvalitu vody v nádržích je zahrnován vnos znečištění ze zemědělských zdrojů. S ohledem na tyto skutečnosti a v souvislosti s potenciálním využíváním některých LAPV coby zdrojů pitné vody, bylo jako další kritérium zahrnuto procentické zastoupení zranitelných ploch v povodí, případně mezipovodí hájené LAPV a stanovená zranitelnost ploch zátopy LAPV.



Obr. 4. Průnik s vyhlášenými zranitelnými oblastmi pro povodí nad LAPV Terežín
Fig. 4. Intersection with declared vulnerable areas for the catchment area upstream of Terežín protected area of natural water accumulation

Stanovení zranitelných oblastí vychází z nitrátové směrnice [22], jejímž cílem je snížit znečištění vod způsobované dusičnany ze zemědělských zdrojů a předcházet dalšímu takovému znečišťování.

V České republice transponuje nitrátovou směrnici § 33 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách [23] a definuje zranitelné oblasti jako území, kde se vyskytují povrchové nebo podzemní vody, zejména využívané nebo určené jako zdroje pitné vody, v nichž koncentrace dusičnanů přesahuje hodnotu 50 mg/l nebo mohou této hodnoty dosáhnout, či povrchové vody, u nichž v důsledku vysoké koncentrace dusičnanů ze zemědělských zdrojů dochází nebo může dojít k nežádoucímu zhoršení jakosti vody. Zranitelné oblasti se stanovují nařízením vlády. V době zahájení projektu bylo v platnosti nařízení vlády č. 277/2020 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu [24]. V rámci řešení projektu proběhla 5. revize zranitelných oblastí a byla stanovena opatření 6. akčního programu [25]. Revize byla vyhlášena nařízením vlády č. 193/2024 Sb., s účinností od 1. července 2024 [26]. Zranitelné oblasti jsou územně vymezeny katastrálními územími ČR [27]. Pro řešení projektu byla využita datová sada obsahující seznam katastrálních území vymezených jako zranitelná oblast k 1. červenci 2020 [28]. Jako příklad je na obr. 4 znázorněn průnik s vyhlášenými zranitelnými oblastmi pro povodí nad LAPV Terežín.



Obr. 5. Stav komplexních pozemkových úprav v povodí LAPV Terežín
Fig. 5. Status of comprehensive land consolidation in the catchment of Terežín protected area of natural water accumulation

Česká republika vyhláší společný akční program pro všechny vymezené zranitelné oblasti.

Způsob vedení evidencí o stavu povrchových a podzemních vod je pak stanoven vyhláškou č. 252/2013 Sb., o rozsahu údajů v evidencích stavu povrchových a podzemních vod a o způsobu zpracování, ukládání a předávání těchto údajů do informačních systémů veřejné správy [29].

Komplexní pozemkové úpravy

Pozemkové úpravy jsou jednou z forem krajinného plánování a měly by zabezpečit využívání a ochranu krajiny pomocí biotechnických, organizačních a právních opatření. Stanovují definitivní podobu krajinnotvorných opatření, dílčím cílem je pak např. zjednodušení evidence pozemků nebo přidělového řízení. Komplexní pozemkové úpravy (KPÚ) se kromě vlastnických práv řešených pozemků zabývají také protierozními a vodohospodářskými opatřeními, návrhem cestní sítě a opatřeními pro zlepšení ochrany přírody a ekologické stability krajiny. Většinou se provádějí pro celý katastr (na rozdíl od jednotné pozemkové úpravy, která probíhá obvykle na menším území a mezi méně vlastníky) [30].

Vzhledem k tomu, že KPÚ zahrnují i protierozní a vodohospodářská opatření, výstavba nové vodní nádrže může změnit jejich funkci. Proto byly řešeny nejen všechny katastry, jež jsou dotčeny potenciální zátopou, ale bylo důležité se soustředit i na katastry, které náležejí pod povodí ovlivněná nádrží, jelikož vybudování vodní nádrže změní odtokové poměry právě i na okolních menších povodích. Proložení vrstvy katastrálních map a ploch dotčených povodí v GIS byly určeny dotčené katastry a na portálu pozemkového úřadu byl zjištěn stav KPÚ na daném katastrálním území [31]. Ukázka metody na příkladu LAPV Terezín je na obr. 5.

VÝSLEDKY

Celkem bylo hodnoceno 61 území chráněných pro akumulaci povrchových vod (LAPV – lokalita pro akumulaci povrchových vod). Následující tab. 1 obsahuje shrnutí výsledků analýz výběru modifikovaných kritických bodů a zranitelnosti oblastí z hlediska nitrátové směrnice u vybraných LAPV (tab. 1).

Pokud se zaměříme na výsledky analýzy modifikovaných KB (MKB), dvě lokality – Nabdín a Hředle II – můžeme označit za nerizikové. V jejich povodí nebyl vyhodnocen ani jeden modifikovaný KB. Na druhém pólu výsledkového pole, tedy mezi lokalitami s vysokým počtem vybraných MKB (> 10 MKB) jsou zařazeny

Kladruby (10 MKB), Trkmanka (11 MKB), Vysočany (11 MKB), Strážiště (13 MKB) a Hanušovice (17 MKB). Druhou hodnotou, která vzešla z analýzy, je celková plocha povodí – přispívajících ploch MKB. Upřesňuje plochu, kde bude potřebné provést opatření ke zmírnění nebo eliminaci erozních jevů. Největší souhrnnou plochu povodí MKB vykazují lokality: Poutnov (25,84 km², 6 MKB), Čučice (28,09 km², 8 MKB), Vysočany (28,59 km², 11 MKB) a Hanušovice (51,30 km², 17 MKB).

Souhrnná tab. 1 obsahuje také údaje o procentuálním zastoupení zranitelné plochy z celkové plochy povodí (mezipovodí) LAPV a výčet katastrálních území stanovených jako zranitelné oblasti ležící v záplavě LAPV.

Do databáze byly vloženy také výsledky rozboru provedených KPÚ v povodích, a to pro všech 61 LAPV. V článku ovšem neuvádíme celý jejich přehled, zejména vzhledem k časové proměnlivosti těchto údajů. Celý proces stále probíhá, a to bohužel velmi pomalu. Také údaj „dokončené“ v praxi znamená, že byl dokončen projekt a proběhlo majetkové vypořádání. Realizace tzv. Plánu společných zařízení, který má nejbližší vztah k vodohospodářské funkci krajiny, je pak často odkládán na pozdější dobu. Rozdíly ve zpracování pozemkových úprav v katastrech na povodí LAPV jsou aktuálně velké: např. u povodí nádrže Strážiště na Střele, kam přísluší nejvíce katastrů, tedy 98, má vzhledem k jeho převážně zalesněnému charakteru pouze 14 z nich zpracované pozemkové úpravy. Pro nádrž Kryry, jež má nejbližší k realizaci, je z celkem 23 katastrů dokončeno 13 a rozpracováno šest.

Tab. 1. Shrnutí výsledků analýz u vybraných LAPV
Tab. 1. Summary of analysis results for selected protected areas of natural water accumulation

Označení podle generelu 2020	Číslo hydrol. pořadí	Název LAPV	Vodní tok	Kategorie	Plocha zátopy [km²]	Počet vybraných MKB	Plocha povodí MKB [km²]	Zranitelné oblasti (nitrátová směrnice)*
14	1-02-01-021	Žamberk	Rokytenka	B	1,90	2	6,70	1 %; Oblast záplavy není stanovena jako zranitelná
Příl. č. 4	1-02-01-059	Skuhrov	Bělá	A	0,97	2	2,44	24 %; 773476 Malý Uhřínov; 749109 Skuhrov nad Bělou
7	1-02-01-069	Lukavice	Kněžná	B	0,70	3	12,24	98 %; 773476 Malý Uhřínov, 682535 Prorubky, 688851 Lukavice u Rychnova nad Kněžnou
10	1-02-02-030	Písečná	Potočnice	B	0,63	4	11,04	Oblast není stanovena jako zranitelná
6	1-03-02-044	Jangelec	Loučná	B	1,93	2	3,51	94 %; 617504 Pekla, 648752 Hrušová, 767263 Tisová u Vysokého Mýta, 788228 Vysoké Mýto
11	1-03-03-057	Rychmburk	Krounka	B	0,79	5	2,29	59 %; 695947 Miřetín, 719226 Perálec, 640034 Hněvětice, 734241 Předhradí u Skutče
5	1-03-03-092	Hoříčka	Ležák	B	2,69	4	13,45	32 %; Oblast záplavy není stanovena jako zranitelná
12	1-03-05-021	Spačice	Doubrava	B	0,45	3	5,03	68 %; 672190 Úhrov, 781924 Heřmanice u Vilémova
8	1-03-05-021	Ostružno	Doubrava	B	0,50	5	5,17	70 %; 658553 Jeřišno, 658570 Vestecká Lhotka
2	1-04-01-008	Březí	Klejnárka	B	0,72	3	4,27	89 %; 738310 Radostice u Brna, 757438 Střelice u Brna, 712612 Ořechov
3	1-04-06-013	Doubravčany	Výrovka	B	0,54	1	3,23	98 %; 643190 Bohouňovice II, 791091 Vršice, 600920 Hryzely, 600911 Barchovice, 791075 Nesměň u Zámuk
13	1-04-06-036	Tuchoraz	Šembera	B	0,88	2	4,02	83 %; 631205 Doubravčice, 771384 Tuchoraz, 767182 Vrátkov
70	1-10-01-125	Kladruby	Úhlavka	A	3,06	10	22,71	46 %; 792888 Telice, 792896 Zhoř u Stříbra, 733717 Prostiboř, 612677 Tuněchody u Stříbra
82	1-10-01-151	Šipín	Úterský p.	A	2,11	5	10,97	35 %; 775614 Olešovice, 716031 Krsov
59	1-11-01-010	Amerika	Klabava	A	2,06	1	1,46	Oblast není stanovena jako zranitelná

Označení podle generelu 2020	Číslo hydrol. pořadí	Název LAPV	Vodní tok	Kategorie	Plocha zátopy [km ²]	Počet vybraných MKB	Plocha povodí MKB [km ²]	Zranitelné oblasti (nitratová směrnice)*
Příl. č. 4	1-11-01-015	Ledný	Ledný p.	B	0,48	2	7,75	Oblast není stanovena jako zranitelná
85	1-11-01-049	Všeruby	Třemošná	B	0,68	3	1,22	1 %; Oblast záplavy není stanovena jako zranitelná
80	1-11-02-051	Strážiště	Sřela	A	3,80	13	16,94	33 %; 763756 Štichovice, 697133 Černá Hať, 763748 Křečov, 691461 Česká Doubravice, 691496 Manětín, 697168 Strážiště u Mladotic, 691526 Vysočany u Manětína, 691453 Brdo u Manětína, 697150 Mladotice
69	1-11-02-111	Javornice	Javornice	B	1,03	7	12,86	96 %; 614874 Břežany u Rakovníka, 762601 Milíčov, 654574 Slatina u Chříče, 672068 Kožlany, 632996 Hedčany
66	1-11-04-016	Hředle II	Stroupínský p.	B	0,66	0	0,00	18 %; Oblast záplavy není stanovena jako zranitelná
68	1-11-04-024	Chumava	Chumava	B	0,90	3	3,87	88 %; 683205 Libomyšl, 704202 Neumětely
72	1-11-04-029	Kleštěnice	Jalový p.	B	0,62	1	1,82	11 %; Oblast záplavy není stanovena jako zranitelná
76	1-12-02-055	Nabdín	Bakovský p.	B	0,89	0	0,00	11 %; Oblast záplavy není stanovena jako zranitelná
58	1-13-01-070	Tuřany	Šitbořský p.	B	1,43	1	1,04	Oblast není stanovena jako zranitelná
50	1-13-01-082	Dvorečky	Libava	A	1,52	1	2,71	Oblast není stanovena jako zranitelná
56	1-13-01-111	Skřiváň	Skřiváň	B	0,36	1	2,20	Oblast není stanovena jako zranitelná
52	1-13-01-155	Chaloupky	Rolava	A	1,93	2	11,67	Oblast není stanovena jako zranitelná
55	1-13-02-005	Poutnov	Teplá	A	1,23	6	25,84	1 %; Oblast záplavy není stanovena jako zranitelná
Příl. č. 4	1-13-02-008	Mnichov	Pramenský p.	A	1,82	2	4,29	Oblast není stanovena jako zranitelná
51	1-13-03-001	Hlubocká Pila	Liboc	A	0,78	2	6,20	Oblast není stanovena jako zranitelná
54	1-13-03-001	Mětikalov	Liboc	B	0,32	3	11,30	Oblast není stanovena jako zranitelná
53	1-13-03-070	Kryry	Podvinecký p.	B	0,73	5	21,99	36 %; Oblast záplavy není stanovena jako zranitelná
24	4-10-01-027	Hanušovice	Morava	A	5,34	17	51,30	0 %; Oblast záplavy není stanovena jako zranitelná
40	4-10-02-088	Úsobrno	Úsobrný p.	B	0,38	1	2,23	1 %; Oblast záplavy není stanovena jako zranitelná
22	4-10-03-050	Dlouhá Loučka	Huntava	A	0,38	1	1,55	7 %; 626465 Křivá, 626457 Horní Dlouhá Loučka
38	4-10-03-075	Šternberk	Sitka	B	0,65	3	5,98	Oblast není stanovena jako zranitelná
17	4-10-03-088	Bělkovice	Trusovický p.	A	1,26	4	8,08	Oblast není stanovena jako zranitelná
36	4-10-03-101	Smilov	Lichnička	A	0,36	1	2,74	Oblast není stanovena jako zranitelná
34	4-11-02-008	Rajnochovice (Košovy)	Juhyně	A	0,91	5	15,12	Oblast není stanovena jako zranitelná
32	4-11-02-039	Podlesný mlýn	Velíčka	B	0,30	2	8,45	2 %; Oblast záplavy není stanovena jako zranitelná
35	4-12-02-003	Rychtářov	Velká Haná	B	0,53	2	2,52	6 %; 744425 Rychtářov
30	4-12-02-049	Otaslavice	Brodečka	B	1,02	3	5,42	6 %; Oblast záplavy není stanovena jako zranitelná
18	4-12-02-078	Blazice	Libosvářka	B	2,10	2	6,02	Oblast není stanovena jako zranitelná
33	4-12-02-083	Radkovy	Dolnonětčický p.	B	1,17	3	2,40	Oblast není stanovena jako zranitelná
Příl. č. 4	4-13-01-095	Záhorovice	Kladenka	B	1,20	3	3,49	0,5 %; 704415 Nezdenice
Příl. č. 4	4-13-02-038	Javorník	Hrubý p.	A	0,62	3	6,15	Oblast není stanovena jako zranitelná

Označení podle generelu 2020	Číslo hydrol. pořadí	Název LAPV	Vodní tok	Kategorie	Plocha zátopy [km ²]	Počet vybraných MKB	Plocha povodí MKB [km ²]	Zranitelné oblasti (nitrátová směrnice)*
23	4-14-01-050	Dolní Bolíkov	Bolíkovský p.	B	1,54	5	17,10	16 %; 718718 Liděřovice, 617865 Cizkrajov, 684325 Lipolec, 623113 Dolní Bolíkov-Nová Ves, 617873 Dolní Bolíkov
27	4-14-02-022	Chotěbudice	Želetavka	B	0,61	7	15,47	100 %; 686816 Lomy u Jemnice, 652946 Chotěbudice, 615218 Budeč, 780391 Vesce u Dačic, 644030 Horní Slatina
43	4-14-02-048	Vysočany	Želetavka	A	1,46	11	28,59	98 %; 688045 Lubnice, 625736 Malý Dešov, 670596 Kostníky, 787850 Vysočany u Znojma, 725285 Police u Jemnice, 791571 Zblovce
Příl. č. 4	4-14-02-061	Býčí skála	Dyje	B	4,68	4	11,56	100 %; 669121 Popice u Znojma, 793426 Znojmo-Hradiště, 638056 Havraníky, 688991 Lukov nad Dyjí, 640000 Hnanice, 642606 Čížov, 724114 Podmolí
28	4-14-03-007	Kačenka	Jevišovka	B	0,21	1	1,57	100 %; 718319 Pavlice, 636215 Grešlové Mýto, 608491 Boskovštejn
42	4-14-03-012	Vosovec	Nedveka	B	0,63	3	20,77	100 %; 630187 Dolní Smrčné, 758060 Přímělkov, 758078 Střížov, 717614 Panská Lhota
31	4-14-03-023	Plaveč	Jevišovka	B	0,80	2	3,76	100 %; 743305 Rudlice, 781282 Vevčice, 721557 Plaveč
29	4-15-01-109	Kuřimské Jestřabí	Libochovka	B	0,88	5	4,91	29 %; 677698 Kuřimské Jestřabí, 629669 Dolní Loučky, 624853 Deblín, 745570 Říkonín
44	4-15-03-012	Želešice	Bobrava	B	0,80	3	2,29	61 %; 738310 Radostice u Brna, 757438 Střelice u Brna, 712612 Ořechov
16	4-16-01-012	Batelov	Hraniční p.	A	0,40	1	0,53	100 %; 628875 – Dolní Cerekev, 740497 – Rohozná u Jihlavy, 601144 – Batelov
20	4-16-01-068	Brodce	Brtnice	A	0,90	5	7,02	100 %; 666998 Brodce, 612979 Brtnička, 612961 Jestřebí u Brtnice, 711471 Opatov na Moravě
37	4-16-01-072	Střížov	Brtnice	A	0,50	2	3,84	100 %; 630187 Dolní Smrčné, 758060 Přímělkov, 758078 Střížov, 717614 Panská Lhota
21	4-16-02-093	Čučice	Oslava	A	2,55	8	28,09	66 %; 705659 Nová Ves u Oslavan
25	4-16-03-045	Horní Kounice	Rokytná	B	0,97	3	10,04	100 %; 741876 Šemíkovice, 643106 Horní Kounice, 741868 Rouchovany, 740161 Rešice
39	4-17-01-020	Terezín	Trkmanka	B	3,16	11	13,29	58 %; 675211 Krumvř, 766542 Terezín u Čejče, 663263 Karlín na Moravě, 796018 Želetice u Kyjova, 703362 Nenkovice, 701653 Násedlovice

* Údaje vyjadřují % z plochy povodí (mezipovodí) stanovené jako zranitelné; katastrální území stanovená jako zranitelná ležící v záplavě LAPV
Zeleně jsou zvýrazněny nerizikové lokality, kde nebyly stanoveny žádné MKB, červeně jsou označeny lokality,, kde bylo stanoveno více než 10 MKB nebo souhrnná plocha povodí nad MKB přesáhla 25 km².

DISKUZE

Jako modelový případ byla v tomto článku již několikrát prezentována LAPV Terezín na Trkmance. Jde o nádrž v mírně zvlněné krajině jižní Moravy, jejíž povodí začíná na severu až ve Žďánickém lese. Vlastní nádrž je ovšem v otevřené zemědělské krajině a téměř celé okolí představuje přispívající plochy MKB. Charakter těchto ploch ukazuje obr. 6. Půdy jsou často přesušené, degradované bez schopnosti zadržovat vodu, a tím spíš jsou náchylné k erozi při přívalových deštích, ale i k erozi větrné. V případě rozhodnutí o výstavbě nádrže bude třeba dalších protierozních opatření, aby v krátké době nedošlo k jejímu zanesení splachem. Představená metoda výpočtu pomůže projektantovi při návrhu opatření i při kontrole jejich dostatečného účinku.

Zranitelné oblasti se jednoznačně vztahují k plošnému zemědělskému hospodaření. Proto jsou možnosti a povinnosti v nich určovány převážně resortem zemědělství, i když dopady zasahují i do vodního prostředí. Rozsah těchto oblastí je pravidelně aktualizován – podkladem k těmto aktualizacím jsou výsledky monitoringu podzemních vod. Nadměrné množství dusičnanů se z podzemních vod prostřednictvím pramenů a drénování dostává následně do vod povrchových, kde se stávají součástí dalších přírodních procesů. Pro povrchové vody v budoucích nádržích se však může stát větším problémem případný výskyt pesticidních látek a jejich metabolitů, přičemž zvýšený obsah dusičnanů může být brán jako indikátor, že do vod pronikají nežádoucí látky z rostlinné výroby. Problematika pesticidů, jejich sledování a dopady v životním prostředí je zatím rozvíjející se obor; z roku na rok dochází ke změnám účinných látek a používaných prostředků. Vzhledem k výše uvedenému by bylo



Obr. 6. Fotodokumentace LAPV Terezín – současný stav

Fig. 6. Terezín protected area of natural water accumulation – current state

vhodné soustředit pozornost na zranitelné oblasti prioritně v povodí LAPV skupiny A, přepokládáné jako potenciální zdroj pitné vody. Ukazuje se, že některé tyto polutanty se vyskytují ve vodách i dlouho po zákazu jejich používání.

Komplexní pozemkové úpravy probíhají průběžně po dlouhou dobu. Během jejich trvání se postupně měnily nároky na jejich provedení. Zpočátku bylo jejich cílem zejména majetkové vypořádání s vlastníky a scelení pozemků. Důraz na prvky protierozní ochrany přišel postupně a po období sucha je nyní zdůrazňována potřeba zadržování vody v krajině. KPÚ tak mohou být ideálním nástrojem pro zmírnění či eliminaci jevů identifikovaných při vyhledávání MKB. Jejich nevýhodou je naopak velká administrativní, časová a finanční náročnost, a to ve fázi projektování, projednávání i realizace. Jejich provedení pak ovlivní využívání a funkčnost krajiny na mnoho let.

Při stavbě většího vodního díla je vždy nutné uvažovat i změny v dotčených povodích, které mohou ovlivnit stávající nebo budoucí KPÚ. Proto by mělo být vždy označeno a zohledněno celé příslušné povodí LAPV v dokumentech územního plánování. KPÚ by pak měly být standardně dokončeny a vyhodnoceny v celém povodí spolu s případnými protierozními zásahy.

Také vodoprávní úřady by při svém rozhodování měly ve větší míře uplatňovat ochranu příslušných povodí, k tomu by však bylo potřebné doplnit legislativní nástroje, např. formou ochranného pásma budoucího vodního zdroje. Jednou ze stávajících možností je rovněž větší využívání zákazu či omezování činnosti ve vyhlášených CHOPAV, eventuálně rozšíření těchto oblastí na celá povodí LAPV [32].

ZÁVĚR

Dlouhodobě jsou v rámci územního plánování chráněny lokality budoucí akumulace povrchových vod, chybí však cílená ochrana povodí těchto nádrží. Šetření provedené v rámci projektu ukázalo, že obecná ochrana životního prostředí nemusí v těchto případech dostačovat. Lepší situace některých lokalit je přičítána spíše přírodním poměrům a historickému vývoji krajiny než cíleným opatřením. To platí zejména v případě bodů kritických pro soustředěný odtok

a vnos splaveného materiálu do vodních toků při přívalových deštích. V článku je dále dokladován vliv plošných, převážně zemědělských činností v dotčených povodích. Jde o dlouhodobé negativní vlivy s dlouhotrvajícím dozníváním i v případě provedení cílených zásahů. Bylo by proto potřebné zavést již nyní legislativní ochranu příslušných povodí, zejména v případě předpokladu využívání budoucí nádrže jako zdroje pitné vody.

Poděkování

Článek vznikl v rámci projektu Technologické agentury ČR č. SS02030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda)“ v části WP3 – Voda pro lidi.

Literatura

- [1] *Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území*. Praha: Ministerstvo zemědělství, Ministerstvo životního prostředí, srpen 2020.
- [2] HRABÁNKOVÁ, A., DATEL, J., BERAN, A., SKLENÁŘ, P., KOŽÍN, R., MORAVEC, V. „Centrum Voda“. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2023, 65(5), s. 46–47. ISSN 0322-8916. Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2023/10/centrum-voda-2/>
- [3] *Zákon č. 283/2021 Sb., stavební zákon, ve znění pozdějších předpisů*.
- [4] *Zásady územního rozvoje Jihomoravského kraje ve znění Aktualizací č. 1, 2, 3a, 3b a 4 (úplné znění)* [on-line]. Krajský úřad Jihomoravského kraje, 2025. Dostupné z: https://jmk.cz/archiv/oup/zur_jmk_UZ_po_4/
- [5] *Plán dílčího povodí Horní Vltavy 2021–2027* [on-line]. Povodí Vltavy, státní podnik, 2013. Dostupné z: <https://www.pvl.cz/planovani-v-oblasti-vod/iii-planovaci-cyklus-2021---2027/plan-dilciho-povodi-horni-vltavy>
- [6] *Plán dílčího povodí Berounky 2021–2027* [on-line]. Povodí Vltavy, státní podnik, 2013. Dostupné z: <https://www.pvl.cz/planovani-v-oblasti-vod/iii-planovaci-cyklus-2021---2027/plan-dilciho-povodi-berounky>
- [7] *Plán dílčího povodí Dolní Vltavy 2021–2027* [on-line]. Povodí Vltavy, státní podnik, 2013. Dostupné z: <https://www.pvl.cz/planovani-v-oblasti-vod/iii-planovaci-cyklus-2021---2027/plan-dilciho-povodi-dolni-vltavy>
- [8] *Plán dílčího povodí ostatních přítoků Dunaje 2021–2027* [on-line]. Povodí Vltavy, státní podnik, 2013. Dostupné z: <https://www.pvl.cz/planovani-v-oblasti-vod/iii-planovaci-cyklus-2021---2027/plan-dilciho-povodi-ostatnich-pritoku-dunaje>

[9] *Plán dílčího povodí Ohře, dolního Labe a ostatních přítoků Labe 2021–2027* [on-line]. Povodí Ohře, státní podnik. Dostupné z: <https://www.poh.cz/plan-dilciho-povodi-ohre-dolniho-labe-a-ostatnich-priroku-labe/ds-1078>

[10] *Plán dílčího povodí Horního a středního Labe 2021–2027* [on-line]. Povodí Labe, státní podnik, 2017 [30. 11. 2022]. Dostupné z: <https://plapdp.cz/2022/>

[11] *Plán dílčího povodí Lužické Nisy a ostatních přítoků Odry 2021–2027* [on-line]. Povodí Labe, státní podnik, 2017 [30. 11. 2022]. Dostupné z: <https://plapdp.cz/2022/>

[12] *Plán dílčího povodí Moravy a přítoků Váhu 2021–2027* [on-line]. Povodí Moravy, státní podnik, 2022. Dostupné z: https://pop.pmo.cz/download/web_PDP_Morava_2127/index.html

[13] *Plán dílčího povodí Dyje 2021–2027* [on-line]. Povodí Moravy, státní podnik, 2022. Dostupné z: https://pop.pmo.cz/download/web_PDP_Dyje_2127/index.html

[14] DRBAL, K. et al. *Metodický návod pro identifikaci kritických bodů*. Brno, listopad 2009.

[15] CONRAD, O., BECHTEL, B., BOCK, M., DIETRICH, H., FISCHER, E., GERLITZ, L., WEHBERG, V., WICHMANN, V., BÖHMER, J. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development*. 2015, 8(7), s. 1 991–2 007. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>

[16] NETELER, M., MITASOVA, H. *Open Source GIS: A GRASS GIS Approach*, 3rd ed. New York: Springer, 2008.

[17] FÁREK, V., UNUCKA, J. Modelování povrchového odtoku v extrémním reliéfu. In: *Sborník symposia 4 v h 1/2014 GIS Ostrava*. Ostrava: VŠB-TUO, 2010. 9 s. ISBN 978-80-248-2171-9.

[18] Český úřad zeměměřický a katastrální. *ZABAGED* – Výškopis – DMR 4G. Digitální model reliéfu České republiky 4. generace v S-JTSK, Bpv [datová sada]*. Praha: ČÚZK, 2017 [citováno 2025-09-08]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(qfxcjeaeuirdbkgpanilxh1u\)\)/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadatalD=CZ-CUZK-DMR4G-V&mapid=8&menu=301](https://geoportal.cuzk.cz/(S(qfxcjeaeuirdbkgpanilxh1u))/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadatalD=CZ-CUZK-DMR4G-V&mapid=8&menu=301)

[19] Český úřad zeměměřický a katastrální. *ZABAGED* – Výškopis – DMR 5G. Digitální model reliéfu České republiky 5. generace v S-JTSK, Bpv [datová sada]*. Praha: ČÚZK, 2025 [citováno 2025-09-08]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(zjr0nirhdg2kuwqhosbsrmp4\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadatalD=CZ-CUZK-DMR5G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=302](https://geoportal.cuzk.cz/(S(zjr0nirhdg2kuwqhosbsrmp4))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadatalD=CZ-CUZK-DMR5G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=302)

[20] DANIELS, M. H., MAXWELL, R. M., CHOW, F. K. Algorithm for Flow Direction Enforcement Using Subgrid-Scale Stream Location Data. *Journal of Hydrologic Engineering*. 2011, 16(8), s. 677–683. Dostupné z: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000340](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000340)

[21] CHEN, Y. M., WILSON, J. P., ZHU, Q. S., ZHOU, Q. M. Comparison of Drainage-Constrained Methods for DEM Generalization. *Computers & Geosciences*. 2012, 48, s. 41–49. Dostupný z: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.05.002>

[22] CEC. Council Directive of 12 December 1991 Concerning the Protection of Waters against Pollution Caused by Nitrates from Agricultural Sources, 91/676/EEC. *Official Journal of the European Communities*. 31. 12. 1991, No L 375, s. 1. Dostupné z: <https://www.legislation.gov.uk/eudr/1991/676/adopted>

[23] *Zákon č. 254/2001, ze dne 28. června 2001, o vodách a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů*.

[24] *Nařízení vlády č. 277/2020 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu, ve znění pozdějších předpisů*.

[25] *Důvodová zpráva ze dne 24. 4. 2024 k návrhu nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu*. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2024-193/souvlosti>

[26] *Nařízení vlády č. 193/2024 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu, ve znění pozdějších předpisů*.

[27] *Katalog evidencí ISVS VODA vedených VÚV TGM, v. v. i. Verze: 25. 4. 2022, uživatelská dokumentace*.

[28] *Zranitelné oblasti. Revize 4. červenec 2020. Esri Shapefile, ISVS\$ZRAN_OBL_2020.zip*. Dostupné z: [https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/isvs/zranitoblasti/HTML_ISVS\\$ZranitOblasti\\$stazeni.asp?doc=full](https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/isvs/zranitoblasti/HTML_ISVS$ZranitOblasti$stazeni.asp?doc=full)

[29] *Vyhláška č. 252/2013 Sb., o rozsahu údajů v evidencích stavu povrchových a podzemních vod a o způsobu zpracování, ukládání a předávání těchto údajů do informačních systémů veřejné správy*.

[30] SKLENIČKA, P. *Základy krajinného plánování*, 2. vyd. Praha: Naděžda Skleničková, 2003. 321 s. ISBN 80-903206-1-9.

[31] *Mapa – Přehled pozemkových úprav* [on-line]. Ministerstvo zemědělství, 2009 [citováno 2025-09-06]. Dostupné z: <https://mze.gov.cz/public/app/eagriapp/PU/Prehled/>

[32] SEDLÁČEK, Z., NOVOTNÁ, J., FOREJTNIKOVÁ, M. Chráněné oblasti přirozené akumulace vod – jejich význam v současném systému ochrany vodního prostředí. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2024, 66(1), s. 28–36. ISSN 0322-8916. Dostupné z: <https://doi.org/10.46555/VTEI.2023.11.003>

Autoři

Ing. Helena Nováková
✉ helena.novakova@vuv.cz

Ing. Milena Forejtníková
✉ milena.forejtnikova@vuv.cz

Mgr. Martin Caletka, Ph.D.
✉ martin.caletka@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-0772-3247

Ing. Kateřina Sedláčková
✉ katerina.sedlackova@vuv.cz

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Brno
(Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.09.003

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

SOME ASPECTS OF CATCHMENT PROTECTION
UPSTREAM OF FUTURE RESERVOIRS

NOVÁKOVÁ, H.; FOREJTNIKOVÁ, M.; CALETKA, M.;
SEDLÁČKOVÁ, K.

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

Keywords: protected areas of natural water accumulation –
catchment – water reservoir – modified critical points –
erosion – vulnerable zone – comprehensive land consolidation

Protected areas of natural water accumulation have been long monitored and protected. So far, little attention has been paid to the catchment area, which will be the future source of water for these water reservoirs, from the point of view of influencing their quality. The article focuses on certain diffuse (non-point) processes that may lead to pollution and thus to limited use of accumulated water. It describes the methodology for identifying critical points in the vicinity of the future reservoir, where an excessive amount of sediment loads will enter the aquatic environment during torrential rainfall events. This will lead to sedimentation of the reservoir as well as in the input of dissolved pollutants. The methodology was applied to all 61 selected sites, the results are clearly presented in a table and further discussed. As another non-point aspect, the representation of so-called Nitrate Vulnerable Zones within the reservoir catchment areas is evaluated. As a third aspect, the article describes the status of land consolidation process in the monitored catchments and discusses their contribution to catchment protection. In conclusion, it is stated that it would be necessary to enshrine to legislation the protection of LAPV catchments, especially for those reservoirs intended for drinking water supply.



Počátky plavení dřeva v Novohradských horách

JAROMÍR FLORIAN

Klíčová slova: plavení dřeva – voroplavba – Novohradské hory – jižní Čechy

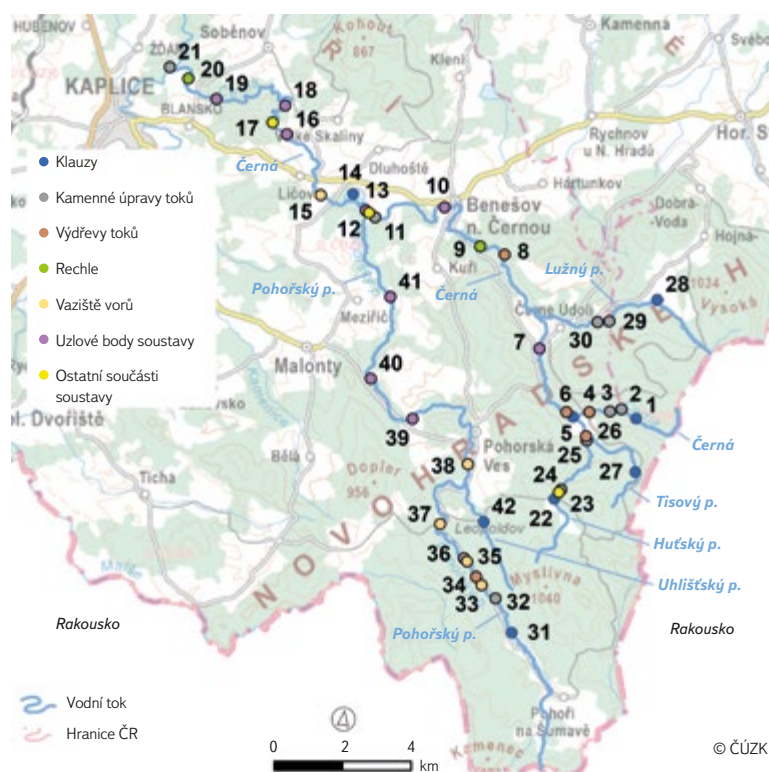
ABSTRAKT

V poslední čtvrtině 18. století byl v Novohradských horách a podhůří vybudován unikátní systém k plavení dřeva. Jeho vznik je spojen se jménem tehdejšího majitele novohradského panství Johanna Nepomuka Buquoye; autorem projektu a garantem vlastní realizace byl inženýr Johann Franz Riemer. Jedinečnost celého systému spočívala v tom, že umožňoval plavení jak volného (polenového), tak svázaného dřeva (vorů neboli pramenů) i na úzkých a málo kapacitních vodních tocích Novohradských hor. Základ plavebního systému tvořily upravené (splavněné) vodní toky, na nichž se nacházely plavební nádrže (rybníky) zajišťující potřebné množství vody pro splavení dřeva. Počátky budování novohradského plavebního systému spadají do druhé poloviny sedmdesátých let 18. století. Materiály dochované v písemné pozůstalosti buquoyové pozemkové vrchnosti poskytují vhled do počátků jeho výstavby v letech 1780–1784. V roce 1783 byla završena první část budování plavebního systému. Od tohoto roku se plavilo polenové dřevo do Českých Budějovic a první prameny putovaly do Prahy. V úseku po České Budějovice plavební cesta zahrnovala Pohořský potok a na něj navazující řeky Černou a Malši. Po roce 1783 pokračovalo rozšiřování plavebního systému také na horní tok Černé a její přítoky. Plavební systém byl dotvořen na přelomu 18. a 19. století splavněním menších přítoků Černé a výstavbou plavebních nádrží na nich. Novohradský plavební systém byl udržován a provozován až do první poloviny čtyřicátých let 20. století.

ÚVOD

Od konce sedmdesátých let 18. století do přelomu 18. a 19. století byl v Novohradských horách a podhůří budován unikátní plavební systém umožňující splavení volného i svázaného dřeva. Klíčová část plavebního systému ležela na panství Nové Hradě, jež bylo od roku 1621 v držení původem francouzského rodu Buquoyů [1]. Ke splavení bohatých zásob dřevní hmoty z lesních revírů Novohradských hor bylo využito řeky Černé a jejích přítoků. Od Kaplice se dřevo plavilo dále k Českým Budějovicím po Malši (obr. 1).

Tato studie se na základě souboru dochovaných a dosud systematicky nezpracovaných pramenů z fondu Velkostatek Nové Hradě pokouší podrobněji zmapovat budování a provozování plavebního systému v poslední čtvrtině 18. století s hlavním důrazem na léta 1780–1784. Studie je zaměřena na obecnější aspekty výstavby a vývoje plavebního systému a navazuje na poznatky prezentované dosavadní odbornou literaturou, která se plavebním systémem zabývala ve vrcholném a pozdním období jeho existence.



Obr. 1. Mapa klíčové části plavebního systému
Fig. 1. Map of key parts of the navigation system

Účel plavebního systému a kontext jeho vzniku

V důsledku tzv. dřevní krize – vyvolané masivní exploatací lesů v souvislosti se zvýšeným zájmem o dřevo jako palivový, technologický a stavební materiál – kolem poloviny 18. století prudce vzrůstala poptávka po palivovém a stavebním dřevu především ve velkých městech. Vlastníkům velkých lesních komplexů se tím otvírala možnost zpeněžit dosud takřka nedotčené zásoby dřevní hmoty. Vodní cesta představovala nejlevnější a ve své době prakticky jediný způsob transportu dřeva. Po technické stránce existovaly dva způsoby plavby dřeva po vodních tocích. Prvním z nich je volná plavba polen (Holztrift, Holzschwemme). Takto se dopravovalo palivové (Brennholz) a později též brusné dřevo (Schleifholz) určené k výrobě celulózy. Druhý způsob představovala voroplavba (Holzfloßung) užívaná ke splavování dlouhých klád. Jednotlivé klády byly spojeny do vorů neboli tabulí (Flöße) a ty pak svázaný

v pramen (Prahm) dlouhý mnoho desítek metrů. Takto se dopravovalo stavební dřevo. Prameny mohly nést další náklad, např. polenové dřevo, různé dřevěné výrobky (šindele, dřevěné tyče, prkna) či další zboží (v případě jihočeských řek zejména sůl z alpských zemí). Tím se zvyšovala výnosnost voroplavby. Z dochovaných historických materiálů víme, že již v první polovině osmdesátých let 18. století byly činěny pokusy zvýšit takto ziskovost buquoyského plavebního systému. I později to byla patrně běžná praxe: koncem 19. a počátkem 20. století se např. na pramenech plavilo palivové dříví, dříví pro doly (Grubenholz) a pražce (Schwellen) [2–4].

Počátky snah o plavení dřeva z lesů Novohradských hor sahají do poloviny 18. století. Roku 1748 navrhoval František Karel Berner volnou plavbu dřeva s využitím plavebních nádrží. První pokus o plavení dřeva z lesů Novohradských hor uskutečnili podnikatelé Goldberg a de Sommer v polovině 18. století [5, 6]. Plavili kmeny na výrobu stožárů do Hamburku, ale zůstalo pouze při tomto pokusu; soustavné plavení vyžadovalo splavnění a úpravu vodních toků. Tehdejšímu majiteli novohradského panství hraběti Franzu Leopoldu Buquoyovi (1703–1767) bylo svého času předloženo více návrhů, jak ve velkém plavit dřevo z Novohradských hor, značně se však rozcházely v otázce finančních nákladů na vybudování systému. Byl mezi nimi i návrh inženýra Johanna Franze Riemera z roku 1761 spočívající ve vybudování plavebních nádrží a ve splavnění vodních toků. V důsledku nepříznivých okolností – za všechny jmenujme hladomor z let 1770–1772 – se Riemerův návrh dočkal realizace až ve druhé polovině sedmdesátých let 18. století za hraběte Johanna Nepomuka Buquoye (1741–1803) [7].

Geografické vymezení plavebního systému

Kostru plavebního systému tvořily plavební toky. Ústřední postavení zaujímaly Malše (Maltsch), Černá (Schwarzaubach) a Pohořský potok (Buchersbach). Do systému byly postupně začleňovány: Uhlištěský potok (Kohlstätterbach) jako přítok Pohořského potoka a přítoky Černé – Lužný (Luggaubach), Huťský (Gereutherbach) a Tisový potok (Eibenbach).

Klíčový prvek plavební soustavy reprezentují plavební rybníky či nádrže zbudované na každém z plavebních toků. Jelikož vodní toky zpravidla neposkytovaly dostatek vody pro splavení dřeva, plavební systémy obecně se bez tohoto prvku neobešly. V pramenech z osmdesátých a devadesátých let 18. století jsou plavební rybníky označovány jako rezervoáry (Reservoir), tedy nádrže. Některé z nich původně skutečně sloužily jako rybníky, většina však byla zřízena až jako součást plavebního systému. Na konci 19. a v první polovině 20. století se nádrže označovaly výhradně jako plavební rybníky (Triftteiche). Součástí plavebního systému býval vždy ještě jeden rybník ležící mimo plavební cesty pod soutokem Černé a Pohořského potoka. Dodával vodu pro plavbu po dolním toku Černé a po Malši. Skladba plavebních rybníků se v průběhu vývoje systému poněkud měnila. V první polovině 20. století – ve vrcholné a pozdní fázi plavebního systému – byly v provozu: Pohořský (Buchersteich) a Uhlištěský rybník (Kohlstätterteich) na stejnojmenných potocích, Zlatá Ktiš (Goldener Tisch) na Černé, Mlýnský rybník (Mühlbergteich) na Lužném potoce, Huťský (Gereutherteich) a Tisový rybník (Eibenteich) na stejnojmenných potocích



Obr. 2. Uhlištěský rybník – ukázka jedné z plavebních nádrží (foto: M. Bureš, červenec 2024)

Fig. 2. Uhlištěský Pond – one of the navigable reservoirs (photo: M. Bureš, July 2024)



Obr. 3. Pozůstatky dřevěné výpustní roury na Huťském rybníce (foto: M. Bureš, červenec 2024)

Fig. 3. Remains of a wooden outlet pipe at Huťský Pond (photo: M. Bureš, July 2024)

(obr. 2). Těsně pod soutokem Černé a Pohořského potoka měli Buquoyové od českokrumlovské prelatury pronajatý Kancelářský rybník (Kanzlerteich) [3].

Vypouštěním vody z rybníků (nádrží) byla vytvořena plavební vlna potřebná ke splavení volného či svázaného dřeva na trase z Novohradských hor do Českých Budějovic. Voda se vypouštěla dřevěnými rourami umístěnými v nejnižším místě hráze (obr. 3). Regulace množství vypouštěné vody byla zajištěna osazením rybníků větším počtem rour (dvěma až čtyřmi, počet se u jednotlivých rybníků lišil) a možností otevřít každou rouru jen z poloviny.

Vodní toky musely být pro účely plavby upraveny. Splavnění zahrnovalo celou řadu úprav, jejichž cílem bylo vytvořit hladce průchodnou plavební cestu. Řečiště musela být vyčištěna od skal a nánosů písku. Tam, kde to bylo žádoucí a technicky proveditelné, byla koryta narovnána; říční zákruty prodlužovaly plavební cestu a zvyšovaly riziko vyplavení polenového dřeva na břeh a jeho devastaci, stejně tak komplikovaly i voroplavbu. V exponovaných částech a zákrutách byly břehy chráněny vřdřevami, v ohybech vodních toků byla budována kamenná obezdění (obr. 4). Průchodnost vodních toků pro plavené dřevo zajišťovaly vorové propusti zřízené na jezích. Tam, kde měly být vázány vory, byla zřizována vaziště s vlastními jezy (Bindwehre).

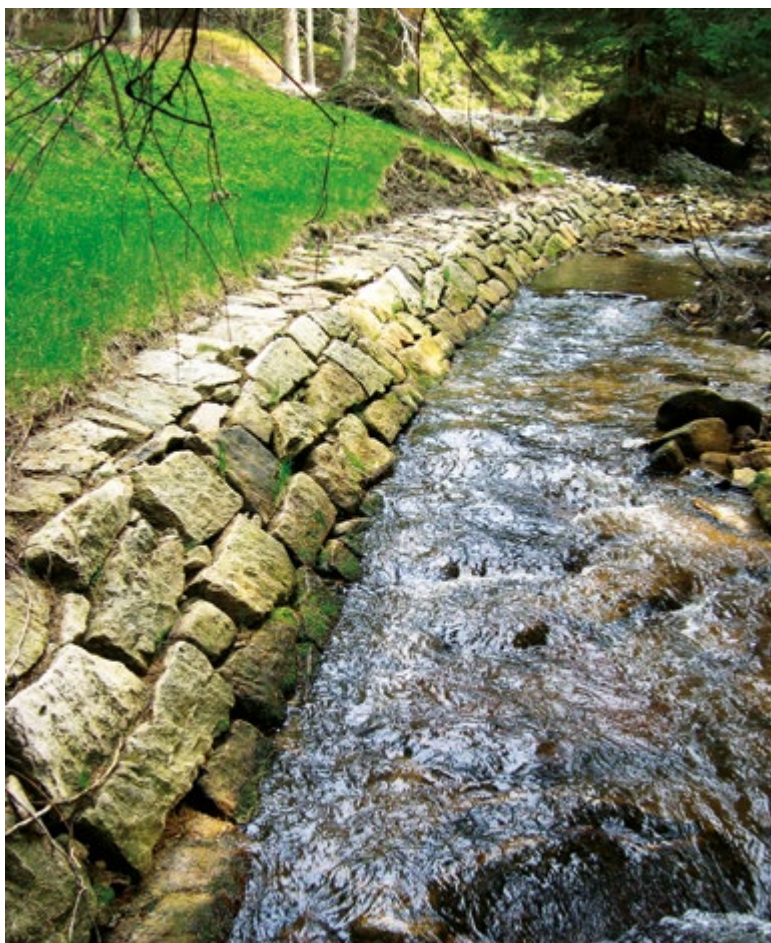
V lesích byla budována místa pro skladování klád a polenového dřeva. V cílových místech plavby dřeva byla zřizována skladiště dřeva (Legstätte) a při skladištních rechle (Rechen, Holzfangrechen, česky též hrable) umožňující zastavit a vytáhnout z vody plavené dřevo (obr. 5) [5, 8]. V polovině osmdesátých let 18. století existovala na plavební cestě do Českých Budějovic skladiště na Černé v Ličově a v Ponholzi nedaleko Blanska u Kaplice, na Malši ve Velešíně a na jižním okraji Českých Budějovic u tzv. Špitálského jezu.

MATERIÁL A METODY

Budování tak rozsáhlého a promyšleného systému zabralo mnoho let a ve své době dalo vzniknout řadě písemných dokumentů. Do dnešních dnů se dochoval soubor písemností pokrývajících se značnými mezerami léta 1780–1799. Je uchovávan ve Státním oblastním archivu v Třeboni v archivním fondu Velkostatek Nové Hradky [9]. Vzhledem k torzovitosti dokumentů lze budování plavebního systému kontinuálněji sledovat jen v letech 1780–1784. Právě toto období ovšem představuje klíčovou etapu vzniku plavebního systému.

Dosavadní odborná literatura o buquoyském plavebním systému není četná. Komplexněji toto téma mapuje stať Michala Bureše a Jana Pařeza [5], částečně též Jana a Eriky Andreskových [6] v knize *Novohradské hory a podhůří*. Jiný autorský kolektiv, jehož členem byl i autor této studie, rekapituloval historii plavebního systému s důrazem na plavbu polenového dřeva; archeolog Michal Bureš zde zhodnotil význam dochovaných částí plavebního systému z hlediska památkové péče [1]. Předkládaná studie navazuje na výsledky bádání publikované v tomto příspěvku. Historie plavení dřeva v Novohradských horách se významně dotýká také Jarmila Hansová ve studii o rechlech [8]. Z drobnějších starších příspěvků lze uvést článek Petra Jelínka [10]. Cenné svědectví o průběhu plavení dřeva v Novohradských horách ve třicátých letech 20. století podává Josef Klouda v příspěvku z roku 1960 [11].

Zdroj základních informací o buquoyském plavebním systému dodnes představují tři publikace buquoyského vedoucího lesního úředníka Theodora Wagnera vydané v letech 1895 [2], 1904 [3] a 1913 [4]. Dosavadní literatura tak plavební systém představuje v jeho vrcholné podobě z přelomu 19. a 20. století.



Obr. 4. Ohbí toku Černé pod Zlatou Ktiší vystavěné z opracovaných kamenných kvádrů (foto: M. Bureš, květen 2003)

Fig. 4. Bend on the Černá River below Zlatá Ktiš Pond, built from dressed stone blocks (photo: M. Bureš, May 2003)

Nejhojněji zastoupený a informačně velmi bohatý pramen představují tzv. stavební zprávy (Bauberichte) podávané v týdenních intervalech Johannem Franzem Riemerem nebo jiným úředníkem vedoucím výstavbu plavebního systému. Zprávy dokumentují ponejvíce čištění potoků, budování, případně opravování propustí, jezů a výdřev dna a břehů. Dále v nich najdeme informace o průběhu plaveb volného i svázaného dřeva. Prostřednictvím stavebních zpráv dostával majitel panství hrabě Johann Nepomuk Buquoy aktuální informace o postupu budování plavebního systému a zároveň mu byly předkládány rozmanité záležitosti k rozhodnutí, jako např. roku 1783 návrh na zřízení nové plavební nádrže. V mnoha stavebních zprávách najdeme jeho rozhodnutí a pokyny, jeho připomínky, ale i pochvalná uznání. Hrabě aktivně zasahoval do budování systému a provozování plavby a od svých úředníků vyžadoval plně pracovní nasazení.

U stavebních zpráv občas nalezneme také přílohy ve formě tabelárních výkazů, jež zachycují práce vykonané za určité období (obvykle týden), zaznamenávají druh a počet stavebního personálu (zedníci, tesaři, pomocníci, odstřelovači kamene), výši vyplacených odměn apod. Nejucelenější dochovaný soubor písemností se vztahuje k plavení polenového dřeva a pramenů (vorů) v dubnu a květnu 1783.

Vysokou informační hodnotu mají také některé další písemné dokumenty – svou povahou návrhy či dobrozdání –, jež se dotýkají řady aspektů budování a provozování plavebního systému od techniky vázání pramenů přes otázku obstarání dostatečného množství plavců (vorařů) a financování stavebních



Obr. 5. Jednoduché rechle (zdroj: převzato z publikace Roučka, Z. *Předválečnou Šumavou. Život – práce – krajina*. Plzeň, 2006)

Fig. 5. Simple timber barrier a so called rechle (from the German Rechen, meaning rake) (source: Roučka, Z. *Předválečnou Šumavou. Život – práce – krajina*. Plzeň, 2006)

nákladů až po zařazení lesního hospodářství v souladu s potřebami plavby. Nelze opomenout ani bohatou mapovou dokumentaci z druhé poloviny 18. století opatřenou v mnoha případech obsáhlými slovními komentáři. Ta je rovněž uložena ve fondu Velkostatek Nové Hradky.

Významný zdroj informací o počátcích plavebního systému představuje strojopisný opis původní zprávy z roku 1795 uložený ve Státním oblastním archivu v Třeboni ve fondu Krajské vodohospodářské rozvojové a investiční středisko České Budějovice [7].

Veškerý výše uvedený pramenový materiál sestávající primárně z desítek ručně psaných písemností z poslední čtvrtiny 18. století bylo potřebné nejprve pročíst, a získat tak představu o tom, jaké spektrum témat pokrývá. Vybrány z něj byly informace, jež umožnily sestavit chronologický nástin počátků plavení dřeva v Novohradských horách. Řada tvrzení z odborné literatury i pramenů samotných byla z hlediska kritického přístupu ověřena (např. informace o tom, že vory se do Prahy poprvé plavily již v roce 1783). K získání mnoha dílčích informací bylo nutné kombinovat a porovnávat informace obsažené v jednotlivých pramenech (písemnostech či mapách). Samostatným úkolem bylo utřídit jednotlivé informace chronologicky, protože prameny nejsou v archivním fondu řazeny tak, aby se daly číst jako souvislé vyprávění.

Vzhledem k tomu, že jádro této studie (část Výsledky) vysloveně stojí na zpracování a interpretaci pramenového materiálu, nebylo únosné každou zjištěnou informaci citovat, neboť citace by musela následovat v podstatě za každou větou a nezhledka by odkazovala na dvě i více písemností. Proto tam, kde je

odkazováno obecně na prameny, nebo není uváděn jiný zdroj, se čerpá z výše představeného souboru pramenů (stavební zprávy a další písemnosti, mapy) z fondu Velkostatek Nové Hradky, z něhož pochází naprostá většina informací.

VÝSLEDKY

Rok 1780

Budování plavebního systému započalo roku 1778 po předchozím zevrubném prozkoumání Riemerova návrhu a získání úředního povolení ke stavbě. Buquoyův plavební systém byl starší než oba proslulé šumavské dřevoplavební kanály Schwarzenberský (budován od roku 1789) a Vchynicko-tetovský (budován od roku 1800). Z hlediska technického řešení byl zcela unikátní, neboť umožňoval provozovat voroplavbu i na málo kapacitních a úzkých vodních tocích Novohradských hor.

Souvislejší řada fragmentárně dochovaného souboru pramenů z fondu Velkostatek Nové Hradky začíná rokem 1780. Tehdy už byly stavební práce v plném proudu a Pohořský potok i část řeky Černé byly již natolik upraveny, že se od 9. do 13. dubna mohlo splavit 955,5 (kubického) sáhu polenového dřeva do skladiště v Ličově (Litschau) pod soutokem Černé a Pohořského potoka. Chceme-li si učit představu, kolik dřeva se v přepočtu na dnes užívané kubické metry splavilo, musíme vzít v úvahu, že šlo o tzv. kubické sáhy prostorové, tedy o objem dřeva srovnaného do hrání (hromad) včetně mezer mezi poleny. 955,5 prostorového kubického sáhu odpovídá asi 6 500 prostorových kubických metrů. Tento orientační převod počítá s kubickým sáhem dle dolnorakouské měrné soustavy, která v osmdesátých letech 18. století v Čechách platila. Podle ní kubický sáh odpovídal zhruba 6,82 metrům kubickým. Objem vlastního dřeva (udávaný v tzv. plnometrech) byl ve skutečnosti o dvě třetiny až polovinu menší. Polena bývala dlouhá dvě nebo tři stopy (stopa dle dolnorakouské měrné soustavy odpovídá přibližně 1/3 metru) [12].

Plavební cesta pod Ličovem byla intenzivně upravována pro účely prodloužení volné plavby a zavedení voroplavby. Patrně v letních měsících roku 1780 byl na Uhlištském potoce vybudován Uhlištský rybník (Theodor Wagner ve spisku z roku 1904 uvádí rok 1775). Smlouva na vybudování Uhlištského rybníka byla uzavřena na jaře (snad duben 1780) s jistým Josephem Wagnerem ze Stropnice za sumu 1 200 zl. Potřebné nářadí, jako např. kolečka, krumpáče, železné tyče, vrtáky či kladiva, mu měla stejně jako střelný prach na rozbíjení kamenů dodat buquoyová vrchnost. V roce 1780 byly postaveny rechle v Ponholzi [8]. Ze stavebních zpráv se dozvídáme kromě jiného o záměru zbudovat rechle ve Velešíně (duben), o čištění dolního toku Pohořského potoka, úpravách jezů na dolním toku Černé (říjen) či výstavbě dvou propustí na jezích u papírny (Papiermühl) nedaleko Blanska u Kaplice (konec roku 1780).

Tomuto druhu splavňovacích a stavebních prací je ve stavebních zprávách věnován poměrně velký prostor. Prováděla je buquoyová vrchnost ve vlastní režii, využívající služeb vlastních (panských) tesařů (Zimmerleiten), zedníků (Maurer), jímž pomáhali tovaryši (Geßelle) a pomocníci (Handlanger), a odstřelovačů kamene (Steinschießer). Za vykonanou práci byli odměňováni v týdenních intervalech. Část prací pozemková vrchnost přenechala na základě smlouvy lidem zvenčí, jako např. u stavby Uhlištského rybníka. Stavebního dřeva měli Buquoyové dost z panských (vlastních) lesů. Zdrojem financování výstavby plavebního systému byly v ideálním případě příjmy z prodeje dřeva; Buquoyové v první polovině osmdesátých let 18. století obchodovali se dřevem z revírů mimo oblast Novohradských hor – k roku 1782 je výslovně zmiňován prodej dřeva z revírů libějovického panství, jež tehdy Buquoyové také drželi. Jako další finanční zdroj mohl sloužit výnos z obchodu s obilím nebo příjmy plynoucí do vrchnostenské pokladny z feudálních rent. Pokud si měl plavební systém sám na sebe vydělat, bylo třeba jej co nejrychleji dobudovat.

Rok 1781

Na jaře 1781 se ve dnech 23. až 28. dubna plavilo polenové dříví do Ličova, k papírně u Blanska a do Ponholze. Volná plavba tak byla v tomto roce rozšířena na celou řeku Černou od soutoku s Pohořským potokem. Ve všech třech jmenovaných skladištích dřeva bylo dohromady vytaženo 1 471,5 sáhu polenového dřeva. Nejvíce se plavilo do Ponholze – 1 102 sáhů. Nejpozději na podzim 1781 proběhly asi také první voroplavební zkoušky. Dochované stavební zprávy z listopadu nás informují pouze o splavení klád v úhrnném množství téměř 1 200 k (panské) lužnické pile (Luschnitzer Breth-Saag, Luschnitzer Saag Mühle) ležící při Pohořském potoce u Terčí (dnes Pohorské) Vsi. Klády byly zřejmě plaveny z více míst na horním toku Pohořského potoka, mj. snad i od tzv. Baronova mostu (Baronwehr) pod Pohořským rybníkem, kam se později posunul počáteční bod voroplavby [3]. Z dochovaných pramenů vyplývá, že minimálně do roku 1795 se prameny plavily až od lužnické pily, kdežto na horním spáditém toku Pohořského potoka se plavily volné klády [7]. Lužnická pila se nacházela nedaleko Terčí Vsi (obr. 6), proto i tamní skladiště dřeva je běžně označováno jako terčoveské (Theresiendorfer Legstatt). U Terčí Vsi stály rechle umožňující vytažení klád z vody. Ve skladišti mohlo dřevo před další plavbou do místa určení řádně vyschnout.



Obr. 6. Lokalizace Lužnické pily (Herrschaftliche Luschnitzer Saag Mühle) nedaleko Terčí (Pohorské) Vsi (zdroj: Státní oblastní archiv v Třeboni, oddělení Třeboň, fond Velkostatek Nové Hradky, mapa č. 2 759)

Fig. 6. Location of Lužnice sawmill (Herrschaftliche Luschnitzer Saag Mühle) near Terčí (nowadays Pohorská Ves) (source: State Regional Archives in Třeboň, Satellite Office Třeboň, archival fond Nové Hradky Estate, map no. 2 759)

Rok 1782

Roku 1782 se polenové dřevo patrně poprvé ve velkém plavilo po řece Malši. Od 8. do 19. dubna bylo do skladiště ve Velešíně splaveno 2 115,75 sáhu dřeva. Ve dnech 22. až 28. května se plavilo do Ličova (214 sáhů) a Ponholze (352 sáhů). Pro rok 1782 máme doloženu také první podzimní plavbu realizovanou od 4. do 9. listopadu; polenové dřevo tehdy putovalo do Ličova (319,25 sáhu) a Ponholze (258,5 sáhu).

Z jara 1782 pocházejí první zprávy o zkušebních voroplavbách na Pohořském potoce a Černé, a to v úseku od skladiště v Terčí Vsi, kam se klády plavily jednotlivě, do Ponholze. Prameny hovoří o sérii čtyř zkušebních voroplaveb, které proběhly od konce dubna do první poloviny května. Při čtvrté plavbě konané 13. května bylo z Terčí Vsi do Ponholze úspěšně splaveno 13 156 vídeňských sáhů dřeva. Pramen dorazil do Ponholze za velkého obdivu přihlížejících lidí. Cesta k Českým Budějovicím byla otevřená. Na rok 1783 se počítalo s splavením

Franze Riemera a panských úředníků (správních, finančních, lesních) a dalších zúčastněných – plavců (vorařů), řemeslníků (zedníků, tesařů) i námezdních pracovníků (odstřelovačů kamenů a řadových pomocníků).

V následujících letech byl plavební systém dále rozšiřován. Plavební nádrž na Černé navrhovaná roku 1783 musela být zbudována buď v roce 1784, nebo 1785, neboť v roce 1785 se již mělo na horním toku Černé plavit polenové dřevo, prameny pak od roku 1792. Na konci osmdesátých let 18. století se začalo se stavbou druhé plavební nádrže na Černé – Zlaté Ktiše, jež byla dokončena nedlouho po roce 1795. Na přelomu 18. a 19. století byly splavněny potoky Lužný, Huťský a Tisový. Na posledních dvou byly zbudovány stejnojmenné plavební nádrže.

Budování a provozování plavebního systému znamenalo proměnu dosud řídké osídlených lesů Novohradských hor v kulturní krajinu protkanou sítí zcela nových horských sídel. Plavební systém fungoval a prosperoval po celé 19. století a téměř celou první polovinu 20. století. Vorořplavba byla provozována do léta 1938. Polenové dřevo se prokazatelně plavilo ještě v první polovině čtyřicátých let minulého století [1, 10].

DISKUZE

Studie navazuje na dosavadní výsledky bádání o buquoyském plavebním systému, přičemž se zaměřuje na počáteční léta jeho existence. Poskytuje řadu nových poznatků, zčásti pak upřesňuje informace tradované v literatuře především pod vlivem spisů Theodora Wagnera z konce 19. a počátku 20. století.

Díky dochovaným pramenům lze poměrně dobře sledovat postupné rozšiřování plavební cesty v letech 1780–1783. Roku 1783 byl buquoyský plavební systém jak pro volné dřevo, tak pro prameny (vory) doveden do Českých Budějovic, což koresponduje s údaji ve Wagnerových spiscích a v odborné literatuře. Výzkum také umožnil posunout vybudování Uhlíšťského rybníka do roku 1780; Wagner uvádí rok 1776 [3]. Z pramenů také vyplývá, že součástí plavebního systému byl v počátečních letech panský (buquoyský) Velký ličovský rybník (v dobových pramenech označován německy jako Seifritzteich nebo Seifriedsteich), teprve později nahrazený Kancléřským rybníkem pronajímáním od českokrumlovské prelatury.

Zejména díky souboru pramenů z fondu Velkostatek Nové Hradky bylo možné poodhalit organizačně-institucionální pozadí budování a provozu plavebního systému – např. zapojení vrchnostenských úřadů a jejich personálu či aktivní roli hraběte Buquoye. Cenné jsou informace o prvních zkušebních vorořplavbách, které dokumentují technické problémy, s nimiž se první plavci (voraři) potýkali. Písemnosti z let 1783 a 1784 vydávají svědectví o nelehkých počátcích vorořplavby a její nedostatečné rentabilitě v prvních letech provozu plavebního systému.

Limity výzkumu představovala torzovitá a přece jen omezená pramenná základna, takže řadu otázek nebylo možné zcela spolehlivě rozřešit nebo zůstaly otevřené. Jde např. o otázku, zda a v jaké míře se na Pohořském potoce a Černé plavilo volné dřevo již před rokem 1780. Prakticky nic bližšího nevíme ani o průběhu a rozsahu vorořplavby z podzimu 1783. Jen velmi kusé informace máme k dispozici o splavňování Černé nad soutokem s Pohořským potokem, jakož i o vybudování nejstarší plavební nádrže na Černé, tzv. Leberhartského rezervoáru. Vzhledem k tomu, že klíčový archivní fond Velkostatek Nové Hradky není dosud zpracován, není vůbec vyloučené, že ještě ukrývá písemnosti, jež by mohly vnést více světla do osudů plavebního systému.

Rozsáhlý – třebaže mezerovitě dochovaný – pramenný materiál nebylo možné vytěžit beze zbytku. K tomu by bylo zapotřebí delšího času a úzké spolupráce s dalšími odborníky, zejména archeology, kteří by dokázali interpretovat informace týkající se technické stránky výstavby systému, a odborníky na lesní hospodářství.

ZÁVĚR

V poslední čtvrtině 18. století byl na vodních tocích Novohradských hor a podhůří vybudován unikátní plavební systém umožňující plavení nejen volného, ale i svázaného dřeva (pramenů, vorů), a to na málo kapacitních vodních tocích o značném spádu. Klíčová část plavebního systému ležela na panství Nové Hradky vlastněném hraběcí rodem Buquoyů. Dílo bylo realizováno podle projektu inženýra Johanna Franze Riemera, jenž stavbu vedl a zásadním způsobem určoval další rozvoj plavebního systému až do podoby, již získal na konci 18. století a ve které pak s jistými změnami přetrval až do první poloviny 20. století. Hlavní plavební osu systému tvořily Pohořský potok, Černá a Malše vlévající se v Českých Budějovicích do Vltavy.

Budování plavebního systému započalo na konci sedmdesátých let 18. století. Do roku 1783 byl systém připraven k plavení polenového dřeva a vorů (pramenů) do Českých Budějovic; vory pak pokračovaly přes České Budějovice a Týn nad Vltavou do Prahy. V roce 1783 zahrnoval plavební systém Pohořský potok, Černou od soutoku s Pohořským potokem a Malši. Existovaly tehdy tři plavební rybníky (nádrže): Pohořský (druhá polovina sedmdesátých let 18. století) a Uhlíšťský (1780) zřízené na stejnojmenných tocích a Velký ličovský rybník pod soutokem Pohořského potoka a Černé ležící mimo vlastní plavební trasu. Skladiště dřeva při plavební trase se nacházela v Terčí (Pohorské) Vsi, Ličově, Ponholzi, Velešíně a v Českých Budějovicích. Zatímco polenové dřevo se plavilo k příslušným skladištům dřeva přímo z nejvyšších úseků plavební cesty, byla vorořplavba poněkud složitější. Klády se plavily volně z lesa až ke skladišti v Terčí Vsi, kde byly teprve svázané do pramenů. U papírenského mlýna nedaleko Blanska bylo několik pramenů plujících z Terčí Vsi svázané v jeden dlouhý a ten pak pokračoval do Českých Budějovic.

Od roku 1785 se plavilo polenové dřevo také na horním toku Černé, tj. nad soutokem s Pohořským potokem. Předcházelo tomu splavnění Černé a vybudování dalšího vodního rezervoáru na Černé; pravděpodobně šlo o později zaniklý Leberhartský rezervoár při soutoku Černé a Huťského potoka. Pro nedostatek zdrojů si o rozšiřování plavebního systému během osmdesátých a devadesátých let 18. století můžeme učinit jen základní představu. Další vývoj šel cestou splavňování vyšších partií Černé a jejích přítoků – Lužného, Huťského a Tisového potoka. Od roku 1792 se měly plavit vory také na horním toku Černé. To je zajímavá informace, jelikož z konce 19. a první poloviny 20. století nemáme zprávy o tom, že by byla v této části plavebního systému vorořplavba provozována. Roku 1796 byla dokončena Zlatá Ktiš na Černé a následně byly kolem roku 1800 zřízeny plavební rybníky na Huťském a Tisovém potoce (Mlýnský rybník na Lužném potoce byl staršího původu). Tím bylo pod vedením inženýra Riemera dovršeno budování celého plavebního systému.

Poděkování

Studie vznikla v rámci plnění grantového projektu NAKI III, č. DH23P03OVV007 „Komplexní přístupy k identifikaci, ochraně a údržbě historických systémů retence a distribuce vody v horských oblastech České republiky s ohledem na památkovou péči“. Na tomto místě bych rád poděkoval oběma recenzentům – Ing. Magdaleně Nesládkové a Radku Štovičkoví.

Literatura a prameny

- [1] VYSKOČIL, A., FLORIAN, J., SVITÁK, Z., BUREŠ, M. Plavení dřeva na Novohradsku ve světle meziválečných plavebních programů a reliktů dochovaných v krajině. *Památky. Jižní Čechy*. 2024, 3(2), s. 5–46.
- [2] WAGNER, B. *Statisticko-topografický a lesnický popis hraběcích Buquoyových lesů světského panství Nových Hradů vyhotovený za příčinou návštěvy České lesnické jednoty při 47. valné a plné hromadě v městě Nových Hradech dne 5., 6. a 7. srpna 1895*. Praha, 1895.
- [3] WAGNER, T. *Entstehung, Wesen und Betrieb der auf der Exzellenz Karl Graf Buquoy'schen Domäne Gratzen in Böhmen bestehenden künstlichen Trift und Flößerei des Brenn- und Rundholzes*. Wien: Selbstverlag, 1904.
- [4] WAGNER, T. *Statistisch-topographische Beschreibung der Forste der Karl Graf von Buquoy'schen Fideikommiß-Herrschaft Gratzen (Böhmen)*. Gratzen: Selbstverlag, 1913.
- [5] BUREŠ, M., PAŘEZ, J. Plavení dřeva. In: DUDÁK, V. (ed.). *Novohradské hory a novohradské podhůří. Příroda, historie, život*. Praha: Nakladatelství Miloš Uhlíř Baset, 2006.
- [6] ANDRESKA, J., ANDRESKOVÁ, E. Lesnictví. In: DUDÁK, V. (ed.). *Novohradské hory a novohradské podhůří. Příroda, historie, život*. Praha: Nakladatelství Miloš Uhlíř Baset, 2006.
- [7] *Státní oblastní archiv v Třeboni, oddělení Třeboň, fond Krajské vodohospodářské rozvojové a investiční středisko České Budějovice 1880–1958 (1969)*, balík M 7, opis zprávy datované 1. dubna 1795.
- [8] HANSOVÁ, J. Rechle nejsou krytá lávka. Historie a podoba plavebního zařízení na příkladu rechlí Ponholz v Blansku u Kaplice. *Památky. Jižní Čechy*. 2024, 3(2), s. 47–91.
- [9] *Státní oblastní archiv v Třeboni, oddělení Třeboň, fond Velkostatek Nové Hradky 1359–1945*.
- [10] JELÍNEK, P. Dvě a půl století od počátku splavňování říček v Novohradských horách. *Výběr. Časopis pro historii a vlastivědu jižních Čech*. 2002, 39(3), s. 241–245.
- [11] KLOUDA, J. Plavení dříví po Malši. *Výběr z prací členů Historického klubu při Jihočeském muzeu v Českých Budějovicích*. 1965, 2(1), s. 14–21.
- [12] HLAVÁČEK, I., KAŠPAR, J., NOVÝ, R. *Vademecum pomocných věd historických*. 3. opr. a dopl. vyd. Jinočany: Nakladatelství H + H, 2002.

Autor

Mgr. Jaromír Florian, Ph.D.

✉ jaromir.florian@centrum.cz

ORCID 0000-0001-9651-1443

Historický ústav Akademie věd ČR, pobočka Brno (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.09.002

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

THE BEGINNINGS OF TIMBER FLOATING IN THE REGION OF NOVOHRADSKÉ HORY

FLORIAN, J.

Institute of History of the Czech Academy of Sciences, Brno (Czech Republic)

Keywords: timber floating — timber rafting — Novohradské hory (Gratzen Mountains) — South Bohemia

In the last quarter of the 18th century, a unique system for floating timber was built in the region of Nové Hradky. Its creation is linked to the name of the then owner of the Nové Hradky estate, Johann Nepomuk Buquoy, while the author of the project and guarantor of its implementation was engineer Johann Franz Riemer. The uniqueness of the system lay in the fact that it allowed the floating of both loose (logs) and bound wood (rafts) even on the narrow and low-capacity streams of the Novohradské hory (Gratzen Mountains). The basis of the navigation system was formed by modified (navigable) watercourses, on which there were navigation reservoirs (ponds) ensuring the necessary amount of water for wood floating. The beginnings of the construction of the navigation system date back to the second half of the 1770s. Materials preserved in the archival fond of the Nové Hradky estate provide insight into the beginnings of the waterway construction in 1780–1784. In 1783, the first part of the construction of the navigation system was completed. From that year on, log wood was transported to České Budějovice and the first rafts to Prague. In the section to České Budějovice, the waterway included the Pohořský Stream, which connects to the Černá and Malše rivers. After 1783, the expansion of the waterway system continued to the upper reaches of the Černá River and its tributaries. The navigation system was completed at the turn of the 18th and 19th centuries with making smaller tributaries of the Černá River navigable and with the construction of reservoirs on those streams. The navigation system was maintained and operated until the first half of the 1940s.



Autoři VTEI

Mgr. Jaromír Florian, Ph.D.

Historický ústav AV ČR, v. v. i., Brno (Česká republika)

✉ jaromir.florian@centrum.cz

www.hiu.cas.cz



Mgr. Jaromír Florian, Ph.D., působí od roku 2023 na brněnském pracovišti Historického ústavu Akademie věd ČR. V roce 2016 ukončil magisterské studium na Filozofické fakultě Masarykovy univerzity, obor Archivnictví, a na téže fakultě roku 2024 doktorský studijní program Pomocné vědy historické. Profesně se zabývá dějinami státní správy a úřednictva v Předlitavsku v 19. a 20. století a jako člen řešitelského týmu vodohospodářských projektů se zabývá též historickogeografickou tematikou.

Ing. Štěpán Marval

VÚMOP, v. v. i., Praha (Česká republika)

✉ marval.stepan@vumop.cz

www.vumop.cz



Ing. Štěpán Marval působí ve Výzkumném ústavu meliorací a ochrany půdy, v. v. i. (VÚMOP), v oddělení hydrologie a ochrany vod. Zaměřuje se na GIS a prostorové/hydrologické modelování, hodnocení účinnosti melioračních a přírodních opatření, na problematiku zemědělských drenáží a jakost povrchových i podzemních vod. Ve své práci využívá dálkový průzkum Země a detailní výšková data (DMR/LiDAR) a podílí se na vývoji mapových a datových nástrojů pro praxi a veřejnou správu. Dlouhodobě se věnuje analýzám difúzního znečištění živinami a transportu sedimentu, kalibraci a validaci modelů na měřených datech a přípravě podkladů pro návrh opatření v povodích. Podílí se na řešení národních i mezinárodních výzkumných a aplikačních projektů, včetně projektů Technologické agentury ČR, kde působí jako hlavní i další řešitel. Je absolventem Fakulty životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze (obor Krajině inženýrství – Voda v krajině).

RNDr. Diana Marešová, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i., Praha (Česká republika)

✉ diana.maresova@vuv.cz

www.vuv.cz



RNDr. Diana Marešová, Ph.D., je zaměstnancem oddělení radioekologie ve VÚV TGM, v. v. i., od roku 2000. Vystudovala obor Ochrana a tvorba životního prostředí na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy, kde následně absolvovala i doktorské studium. Je členem subkomise č. 4 pro normalizaci radiologických metod v rámci TNK 104 Jakost vod. Zabývá se problematikou sledování a hodnocení kontaminantů v životním prostředí, zejména v hydrosféře. Podílí se na řešení řady projektů.

Ing. Helena Nováková

VÚV TGM, v. v. i., Brno (Česká republika)

✉ helena.novakova@vuv.cz

www.vuv.cz



Ing. Helena Nováková je zaměstnankyní VÚV TGM, v. v. i., od roku 2003 v Oddělení hospodaření s vodou na pobočce v Brně. V roce 2003 ukončila inženýrské studium na Agronomické fakultě Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně v magisterském studijním programu Chemie a technologie potravin. Profesně se dlouhodobě zaměřuje na rešeršní a analytickou práci, dále na tvorbu a editaci dat a analýzy dat v Geografickém informačním systému ArcGIS společnosti Esri a následnou publikaci výsledků formou mapových výstupů. V rámci „*Bilaterálního projektu Dyje-Thaya*“ se zabývala vyhodnocením hydromorfologického stavu hraničního úseku řeky Dyje. V současné době spolupracuje na řešení výzkumných projektů jako členka řešitelského týmu v několika oblastech. Zabývá se problematikou území chráněných pro akumulaci povrchových vod, historickými vodohospodářskými systémy pro plavení dřeva a pohon důlních zařízení a dlouhodobě analýzou organizace zabezpečení ochrany před povodněmi po významných povodních v ČR.



Konference Provoz vodovodů a kanalizací 2023, SOVAK ČR, Liberec (zdroj: SOVAK ČR)

Rozhovor s Mgr. Martinem Ptákem, ředitelem odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí

Jak se české vodní hospodářství vyrovnává se suchem, povodněmi i novými legislativními požadavky? O současných prioritách Ministerstva životního prostředí, své profesní cestě, výzvách českého vodního hospodářství, evropské legislativě a potřebě dlouhodobé adaptace na změnu klimatu hovoří ředitel odboru ochrany vod Mgr. Martin Pták. „Naše priority jsou jasné,“ říká, „adaptace, prevence a spolupráce.“

Pane řediteli, vystudoval jste ekologii na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy. Co vás přivedlo právě k tomuto oboru?

Od útlého dětství mě fascinovala voda. Na chalupě u babičky byly velmi blízko zahrady potok a také rybník, kde jsem trávil mnoho času stavěním hrází z kamenů, brouzdáním ve vodě a pozorováním různých živočichů, navíc neda-leko byla i řeka Berounka. Zájem o biologii ve mně podněcoval můj příbuzný Tomáš Kučera, jenž se celý život profesně zabýval botanikou, kterou učil i na Západočeské univerzitě v Plzni. S ním jsem strávil mnoho víkendů v přírodě, zejména mapováním biotopů. Společně s Jindrou Durasem se věnoval také vodním rostlinám v Bolevecké rybníční soustavě v Plzni, takže jsem měl možnost být i mimo studium účastníkem terénních šetření a vyzkoušet si praktickou, tedy aplikovanou stránku vědy. Ekologie, respektive hydrobiologie, kterou jsem si následně v rámci magisterského studia zvolil, je takovou královskou disciplínou, která se zabývá studiem vztahů mezi organismy a jejich prostředím i mezi nimi navzájem. Přišlo mi to jako vhodná cesta k pochopení, jak funguje ekosystém jako celek. Navíc tak lze využít i znalosti z jiných oborů biologie.

Na počátku své kariéry jste působil v Hydrobiologickém ústavu Akademie věd ČR, kde jste se věnoval bilančním modelům toku fosforu. Co vám tato zkušenost dala do další praxe?

Ano, byla to skvělá zkušenost. Člověk po škole, jakožto čerstvý absolvent, naskočil mezi kolegy, které vnímal jako významné osobnosti a vědecké kapacity v oboru. Jejich jména jsem znal pouze z citací vědeckých článků a publikací, jež mi procházely rukama během studií a v době psaní diplomové práce. Bral jsem to jako příležitost dozvědět se mnohem více detailů o tématech, o nichž se člověk roky na vysoké škole učil. Najednou přijdete na to, že řada procesů a dějů je ve skutečnosti mnohem složitější, než je popsáno v učebnicích a skriptech.

Na druhé straně bylo vlastně velmi příjemné zjistit, že to jsou normální lidé, kteří řeší stejné starosti a problémy všedního dne a mají své záliby. Největší zkušenost mi to ale dalo spíš v tom, že akademická sféra není tak úplně prostředí vhodné pro mě :-).

Působil jste jak na Ministerstvu životního prostředí, tak na Krajském úřadě Plzeňského kraje. Jak vám tento „dvojitý pohled“ – z centrální i regionální úrovně – pomáhá v současné práci?

Musím se přiznat, že na krajský úřad do Plzně jsem šel spíše z pragmatického důvodu, a to kvůli rodině. Měli jsme malého syna, a dennodenně jsem dojížděl z Plzně do Prahy. Ale zkušenost je to nepřenositelná – otevřelo mi to

oči v tom smyslu, že praxe je mnohem barevnější. Začal jsem poté podstatně lépe chápat postoje zástupců státní správy či samospráv, zejména na úrovni malých měst či obcí. Zde se řeší reálné problémy z pohledu jejich fungování, pohled je více pragmatický, musejí se mnohdy zabývat i vztahy mezi lidmi či sousedskými spory. Z centrální úrovně je na mnoho věcí náhled spíše zobecňující, často i značně zjednodušený. Mokrát si ani nedovedeme představit, že by některé situace, jimž musejí kolegyně a kolegové na místní či regionální úrovni čelit, mohly v praxi vůbec nastat. Rozhodně je žádoucí snažit se více pochopit jejich pohled na věc. V takové vzájemné pochopení či porozumění samozřejmě doufáme i my na centrální úrovni. Rozhodně bych tuto zkušenost doporučil i řadě kolegů.

Od loňského listopadu stojíte v čele odboru ochrany vod na Ministerstvu životního prostředí. Jak vnímáte tuto novou odpovědnost a co pro vás osobně znamená?

Beru tuto pozici s velkou odpovědností a pokorou. Najednou se člověk ocitne v postavení, kdy musí vlastní názory prosazovat a obhajovat nejen vůči vedení ministerstva, ale i vůči politickým představitelům a ostatním resortům či odborným organizacím. Nestačí mít jen dobrý nápad, vše je nutné domýšlet do detailů, včetně dopadů a dlouhodobých vizí. Na druhou stranu, člověk na této pozici musí již mnohem lépe umět hledat kompromisy. Osobně mě také velmi naplňuje výrazně bližší komunikace s vedením ministerstva, představiteli dalších resortů, ale i s politickou reprezentací.

Jaké jsou v současnosti hlavní priority odboru ochrany vod?

Osobně za velký dluh považuji téměř neměnný stav v oblasti čištění odpadních vod – za období posledních dvaceti let došlo ke stagnaci, kdy jsme nabyli dojmu, že není nutné čistit odpadní vody co nejlépe, a to ve vazbě na vývoj celého odvětví. Nějakou dobu to možná stačilo, nicméně ve spojení s klimatickou změnou opět nabývá přísun živin do vodního prostředí na významu. Aktuálně stojíme jako Česká republika před velkou výzvou, jíž je proces implementace směrnice č. 2024/3019 o čištění městských odpadních vod.

Jaké konkrétní kroky v oblasti odpadních vod považujete za prioritní?

Bylo by žádoucí opětovně začít řešit vliv odlehčovaných odpadních vod, popřípadě nastavit systematickou podporu opatření k omezování jejich vstupu, což je z pohledu ochrany vod naší dlouhodobou prioritou. S tím souvisí i celková změna pohledu na hospodaření se srážkovými vodami, zrušení výjimek ze zpoplatnění za jejich odvádění a podobně. Dlouhodobě by bylo vhodné znovuoobnovit motivační funkci poplatků za znečištění. A když už jsem zmínil oblast poplatků, dovoluji si uvést i nutnost nastavit reálnou cenu podzemní vody, byť to nesouvisí s tématem odpadních vod. Záležitost týkající se zvyšování poplatků je však poměrně citlivá a vyžaduje shodu napříč politickým spektrem, což jsme si jako ministerstvo několikrát vyzkoušeli.



Jakou roli v tomto úsilí hrají plány povodí a protipovodňová ochrana?

Velmi významnou. Rád bych konečně rozpohyboval i roli plánů povodí. Jedná se o strategické dokumenty, jež mají výraznou oporu v současné podobě vodního zákona, a řada nástrojů umožňuje jejich využití jako cesty pro specifický přístup k jednotlivým vodním útvarům či celým povodím. Naštěstí se v praxi ukazuje, že v některých oblastech správci povodí a krajské úřady – jakožto spolupořizovatelé plánů dílčích povodí – tento nástroj již účelně využívají. Z pohledu protipovodňové ochrany mám pocit, že vše funguje v rámci operativního řízení v zásadě systémově dobře. Velmi se mi líbilo, jak v době před povodněmi, jež byly loni v září, fungovala spolupráce a komunikace předpovědní služby, vedení dotčených ministerstev, samospráv a Hasičského záchranného sboru České republiky. Panovala důvěra v předpovědní modely, a bylo tak možné vydat včasné varování. Povodně pak o pár dní později naplno ukázaly svoji sílu. Nicméně velký rozdíl byl v tom, že se šlo alespoň částečně na tuto hrozbu připravit. Mohu samozřejmě uvést, že by bylo vhodné rychleji a pružněji budovat protipovodňová opatření na ochranu měst a obcí, ale to by mělo být společným cílem zejména samospráv. Rovněž se ukázalo, že je nutné zapracovat i na krizové komunikaci mezi všemi zapojenými účastníky. Aktuálně je pro Ministerstvo životního prostředí taktéž velkou výzvou příprava nového Povodňového informačního systému (POVIS2).

Velké ohlasy vyvolala novela směrnice o čištění odpadních vod. Jaké nejdůležitější změny přinese a jak zasáhne zejména menší obce?

V tomto smyslu je nová směrnice o čištění městských odpadních vod významným krokem kupředu. Navíc přináší poměrně hodně změn, a to nejen ve smyslu zpřísnění stávajících požadavků, ale zavádí i některé zcela inovativní nástroje. Trochu mě mrzí, že jsme na tento moment čekali dvacet let a nebyli jsme schopni požadavky na národní úrovni zpřísnit, ale vím, že konečně nastala ta správná situace, kdy všichni vnímáme tuto změnu konstruktivně a jednotně. Pro úplnost uvádím, že původní směrnice byla v platnosti od roku 1991, nicméně řada států měla problémy s plněním jejích cílů a požadavků i po roce 2020. Návrh nové směrnice představila Evropská komise za českého předsednictví Radě Evropy na konci roku 2022.

Jaké konkrétní novinky a požadavky nová směrnice přináší?

Směrnice přináší nejen zpřísnění požadavků na čištění odpadních vod a odkaňalizování aglomerací, jak by se dalo očekávat, ale řeší a propojuje i mnoho dalších oblastí, kterým doteď nebyla na úrovni evropské legislativy věnována pozornost. Kromě výše uvedeného je to zejména zavedení kvartérního stupně čištění pro velké čistírny odpadních vod – včetně nového způsobu financování na principu takzvané rozšířené odpovědnosti výrobců farmaceutického a kosmetického průmyslu –, dále zavedení objektivního monitorování odpadních vod s cílem kvantifikovat efektivitu jejich čištění, snaha o dosažení energetické neutrality čistíren odpadních vod či zřízení registru pro individuální způsoby čištění umožňujícího dohled nad tím, jak jsou provozovány. Samostatně bych v rámci textu směrnice vypíchl snahu o řešení odlehčovaných odpadních vod, kdy nově platí povinnost zpracovávat takzvané integrované plány.

Jak se nové požadavky dotknou menších obcí a jaké výzvy z toho vyplývají?

Z pohledu menších obcí nebo aglomerací, o nichž směrnice hovoří, jde především o již zmíněnou povinnost odkaňalizování. Tato povinnost nově dopadne na mnoho dalších menších obcí, jelikož došlo k posunu hranice její působnosti na poloviční velikost aglomerace oproti původní směrnici. V praxi to znamená, že odkaňalizovány musejí být nově všechny obce nad tisíc populačních ekvivalent (dříve ekvivalentních obyvatel). To zasáhne v rámci České republiky dalších zhruba sedm set obcí, řada z nich však již kanalizací disponuje. Tato oblast tak bude obnášet značnou finanční náročnost a je nutné hledat adekvátní zdroje na podporu výstavby kanalizační infrastruktury, a to hlavně na evropské úrovni.

Sucho se stává čím dál větší výzvou. Jaká opatření ministerstvo připravuje pro posílení odolnosti krajiny a vodních zdrojů?

Tato otázka je spíše na kolegy z odboru adaptace na změnu klimatu, nicméně obecně mohu konstatovat, že se toho ministerstvo ve spolupráci s Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR snaží dělat poměrně hodně. Zmínil bych zejména implementační dokument, kterým je Národní akční plán adaptace na změnu klimatu. Ten obsahuje seznam adaptačních opatření a úkolů, a to včetně termínů, odpovědnosti za plnění, určení relevantních zdrojů financování a odhadu nákladů na realizaci opatření. Jsou zde i opatření s vazbou na oblast čištění odpadních vod, ochrany podzemních a povrchových vod, a to ve smyslu jejich kvality i kvantity.

Osobně si myslím, že velkým historickým dluhem jsou různé úpravy koryt vodních toků. Bylo by proto žádoucí zrychlit kroky vedoucí ke snazšímu provádění revitalizací či nechat menší vodní toky působením přírodních sil žít si vlastním životem. Mám tím na mysli proces přirozeného rozpadu – renaturace – bez zbytečných zásahů člověka, aby došlo ke zpomalení odtoku vody z krajiny. Ony dosažené efekty pak mají vliv nejen na samočisticí procesy v tocích, ale i na protipovodňovou ochranu.

Z pohledu působnosti našeho odboru mohu uvést například zadání výzkumného projektu, který má za cíl posoudit, zda by bylo možné v případě, kdy je vyhlášen stav sucha a nedostatku vody, zavést přísnější emisní limity, to jest požadavky na čištění odpadních vod. Jde o to, že v principu teče v toku výrazně méně vody, a když jsou do něj vypouštěny odpadní vody v neměnném množství a složení, musí logicky docházet k výrazným nárůstům koncentrace řady látek, jež se do toku touto cestou dostávají. Pak by dávalo smysl čistit v takovém období výrazně lépe, aby byl v tocích možný život i v letních měsících.

Povodně představují opačný extrém – jak se stát připravuje na jejich zvládnutí a prevenci?

Téma povodní bylo řešeno v posledním roce velmi intenzivně. Ministerstvo životního prostředí zadalo Českému hydrometeorologickému ústavu vytvořit

Zprávu o vyhodnocení povodně v září 2024, na jejímž zpracování se podílela řada odborníků, kromě jiného i kolegové z VÚV TGM (*dostupná je na webových stránkách MŽP či ČHMÚ, poznámka autora*). Povodně zároveň ukázaly na to, že je nezbytné včasné varování, aktivní role povodňových orgánů a že je nutné zlepšit komunikaci s veřejností.

Ještě bych uvedl, že jsme v reakci na povodně připravili novelu vodního zákona, která měla za cíl urychlit realizaci protipovodňových opatření včetně aktualizace vyhlášky o stanovování záplavových území. Zákon však již nebyl Poslaneckou sněmovnou projednán.

Jak vidíte roli moderních technologií – chytrých monitorovacích systémů či modelování – v budoucím vodním hospodářství?

Jednoznačně pozitivně – jakýkoli nástroj, který může práci usnadnit, urychlit či zefektivnit, by měl být rychle přejat do praxe a adekvátně využíván. Jsem velmi potěšen, že například provozovatelé vodohospodářské infrastruktury sami přicházejí s inovativními a chytrými řešeními v rámci provozování kanalizační sítě, anebo že jsou různé digitální modely využívány v rámci předpovědní povodňové služby, při posuzování vlivu jednotlivých zdrojů znečištění na celé povodí či pro simulaci vlivu havárií na vodárenských nádržích. O každém z nich bych zde mohl mluvit velice dlouho... Obecně je však opravdu užitečné a žádoucí, že jsou tyto nástroje již běžnou součástí vodního hospodářství.

Do jaké míry ovlivňuje českou vodní politiku evropská legislativa a kde vidíte největší výzvy při jejím naplňování?

Odpověď je jednoduchá – zcela zásadně. Veškeré procesy a naše činnost by měly vést k dosažení dobrého stavu vodních útvarů. Tento princip vychází z požadavků Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky vedoucí k dosažení dobrého stavu vodních útvarů, a z dalších dceřiných směrnic. Za tímto účelem jsou zpracovávány plány povodí pro různé úrovně; dobrého stavu vodních útvarů by členské státy Evropské unie měly dosáhnout do roku 2027.

Další oblastí je protipovodňová ochrana, respektive zpracovávání plánů pro zvládání povodňových situací, jež definují cíle pro zmírnění dopadů povodní a metody jejich dosažení, včetně prevence, technických opatření a povodňové ochrany. Tyto plány se zaměřují na oblasti s významným rizikem a jejich cílem je ochránit lidské zdraví, životní prostředí, kulturní dědictví i hospodářskou činnost. Zároveň obsahují návrhy technických opatření a opatření pro úpravu krajiny a vodního režimu.

Již jsem zmínil, že oblast čištění odpadních vod podléhá směrnici o čištění městských odpadních vod, tam je výzev hned několik. V neposlední řadě bych uvedl aktuálně připravovanou evropskou strategii s názvem Water Resilience Strategy či velkou výzvu, kterou přináší nařízení na obnovu evropské přírody – takzvané Nature Restoration Law, jež zasáhne oblast vod taktéž velmi významně.

Výzvou jsou pro nás samozřejmě nejen samotné požadavky jednotlivých předpisů, které jsem zmínil, ale hlavně pojednávání jejich dopadu se všemi zainteresovanými subjekty. To je velmi náročné již v procesu přijímání a schvalování návrhů, zejména pak ale v procesu implementace jednotlivých požadavků.

Daří se České republice naplňovat cíle Rámcové směrnice o vodách?

To je poměrně jednoduchá otázka, na kterou je ale složité odpovědět. Zásady rámcové směrnice o vodách jsou jedním z hlavních motivů vodního hospodářství a ty jsou uplatňovány v praxi dlouhodobě, ale základní princip směrnice je založen na tom, že nedosahuje-li jeden z řady ukazatelů hodnoty pro dobrý stav vodního útvaru, je již znemožněno, aby byl vodní útvar jako celek hodnocen tak, že dosahuje dobrého stavu – jde o takzvaný princip one-out, all-out. Působení

některých látek na vodní prostředí pak není ani možné ovlivnit – dostávají se tam například atmosférickou depozicí. Ještě bych zmínil, že jednotlivé požadavky vybraných směrnic spolu ani nekorespondují, a to třeba v tom smyslu, že plníme-li jako členský stát požadavky směrnice o čištění městských odpadních vod, rozhodně to nemusí stačit, abychom například pro ukazatel fosforu alespoň mířili k tomu, že dosáhneme limitu pro dobrý stav. Aktuálně se na úrovni členských států a Evropské komise řeší, co bude následovat po roce 2027, popřípadě zda a jakým způsobem budou revidovány cíle rámcové směrnice o vodách.

Inspirujete se při práci zahraničními příklady dobré praxe? Pokud ano, které vás zaujaly nejvíce?

Ano, jednoznačně. V tomto smyslu asi není účelné hovořit o oblasti čištění odpadních vod či úpravy vody na vodu pitnou, protože v České republice je tento segment velmi pokrokový, a jak už jsem uvedl, jsou do praxe již běžně zapojovány moderní přístupy a technologie – stačí se podívat například na novou vodní linku Ústřední čistírny odpadních vod v Praze. Osobně ale velmi oceňuji přístupy v zahraničí, zejména v Německu, Rakousku či Švýcarsku, a to k problematice hospodaření se srážkovou vodou a obecně k podpoře takzvané modro-zelené infrastruktury ve městech. Tam jsou totiž opatření tohoto typu často už dlouhá léta součástí legislativních požadavků na výstavbu a jsou povinně vymáhána již ve fázi příprav projektů.

Co vás osobně na vaší práci nejvíce motivuje a naplňuje?

Uvedl bych nejspíše možnost věci přímo ovlivnit, změnit. A taky je to nasazení a snaha kolegů z odboru, na které se můžu v mnohém spoléhat a stavět na dlouhodobých a přátelských vztazích se všemi z nich.

Jaký vzkaz byste rád předal mladým odborníkům, kteří uvažují o kariéře v oblasti vodního hospodářství?

Jednoznačně – pojďte do toho. Jako v každém odvětví je třeba neustále přicházet s novými nápady a inovacemi a bez mladých odborníků to nepůjde.

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

Ing. Josef Nistler

Mgr. Martin Pták

Mgr. Martin Pták se narodil 16. listopadu 1986 v Plzni, po maturitě na gymnáziu vystudoval ekologii na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze, kde se věnoval studiu hydrobiologie, zaměřené na oblast dostupnosti živin v sedimentech rybníků a jejich vlivu na růst vodních rostlin. Profesionální zkušenosti získal i v akademické sféře, krátkou dobu pracoval v Hydrobiologickém ústavu Akademie věd ČR v Českých Budějovicích. Poté působil na krajské i centrální úrovni státní správy – nejprve v letech 2013 až 2018 na referentské pozici v oddělení ochrany vod MŽP, následně v období 2018 až 2022 v oddělení vodního hospodářství krajského úřadu Plzeňského kraje. V tomto roce jeho kroky vedly zpět na MŽP, kde od srpna 2022 do listopadu 2024 pracoval ve funkci vedoucího oddělení ochrany vod. Od listopadu 2024 zastává pozici ředitele odboru ochrany vod. Současně je členem dozorčí rady Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka. Žije v Plzni, je ženatý a má tři děti.



Jáchymov III.: kde se bere radonová voda?

Pojďme se ještě jednou – a naposledy – vrátit do Jáchymova, malého městečka v hlubokém lesnatém údolí Krušných hor. Je v něm trochu ukryté, ale má výtečnou strategickou polohu s docházkovou vzdáleností do Ostrova, na Klínovec i na Boží Dar (německy Gottesgab; *obr. 1*), nejvýše položené město v České republice, kde je hraniční přechod do saského Oberwiesenthalu (*obr. 2*). Z Božího Daru lze také pokračovat do přírodní rezervace Božídarské rašeliniště.

Jáchymov ovšem nabízí mnohem více prvenství a pověstných „nej“: byly tu založeny první radonové lázně na světě a v jejich centru byl postaven velko-hotel a sanatorium Radium Kurhaus (*dnes Radium Palace, poznámka autorky*), který se stal jedním z nejluxusnějších hotelů v Evropě (*obr. 3*). U zrodu lázní stály objevy Marie Curie-Sklodowské, první dámy, jež získala doktoráty na Sorbonně a dvě Nobelovy ceny. Roku 1520 zde vznikla první česká lékárna. A dosud se tady provádí léčba zvaná brachyradioterapie („jáchymovské krabičky“, BRT), která je celosvětovým unikátem. Všemi těmito jáchymovskými raritami jsme se však blíže zabývali v letošním dubnovém a poté především srpnovém VTEI [1, 2], a tak se pojďme více zaměřit na další místní unikát, který doslova psal dějiny Jáchymova – důl Svornost. Ale začneme pěkně od začátku.

Lázeňská sezona

I po 100 letech od zdejší návštěvy Marie Curie-Sklodowské se vyplácí být ve správný čas na správném místě [více viz 2]. Např. přijet do lázní Jáchymov letos v druhé polovině května mj. znamenalo mít možnost zúčastnit se v sobotu 24. května slavnostního zahájení 119. lázeňské sezony a poznat vedení města, lázní i dolu Svornost (včetně pozvání na mezinárodní konferenci *Odkaz Marie Curie-Sklodowské v Lázních Jáchymov a 100. výročí od její návštěvy* [3]). Vrcholem celodenního slavnostního programu bylo požehnání pramenům a přání k úspěšné lázeňské sezoně z úst faráře P. Milana Geigera a poté projevy starosty Jáchymova Františka Holého, ředitele lázní Gustava Žaludka a ředitele dolu Svornost Martina Přibila. Nechyběli ani zaměstnanci dolu v tradičních uniformách (*obr. 4*). Důl Svornost, jeden ze symbolů a dominant Jáchymova, je zde vlastně všudypřítomný – bez jeho „živé vody“ nebudou pacienti ani turisté, nebudou lázně. Pojďme tedy nahlédnout do jeho historie.

Hornický region

Jáchymovsko je významnou součástí hornického regionu Krušnohoří (německy Erzberge), jenž je tvořen 22 částmi. Pět z nich je na našem území: Hornická krajina Jáchymov, Hornická krajina Abertamy – Boží Dar – Horní Blatná, Rudá věž smrti, Hornická krajina Krupka a Hornická krajina Mědník; dalších 17 je na území Saská. Tyto komponenty společně dokládají, jak obrovský vliv měla těžba a zpracování rud po obou stranách pohoří na rozvoj hornictví a hutnictví po celém světě. Díky více než 800 letům téměř soustavné těžby a zpracování rud vznikla v Krušných horách ojedinělá hornická krajina s unikátními montánními památkami, jejichž četnost a specifika zdejších horních měst nemají nikde ve světě obdoby. Tyto památky dokládají způsoby těžby a úpravy různých druhů rud od 12. do 20. století, především stříbra, cínu, kobaltu, arzenu, niklu, železa a naposledy uranu.



Důl Svornost

Svůj genius loci má bezpochyby důl Svornost (*obr. 5*), který je v Jáchymově považován za „rodinné stříbro“. Pochází už z roku 1518, v té době však jáma nesla jméno Konstantin. Byla hloubena v horní části města na nové mocné stříbrné žíle Stella, jež byla v Jáchymově objevena roku 1516. Pro tehdejší horníky bylo nejdůležitějším krokem „dobývání“, tedy uvolnění rud, zde především stříbra, ze žíly. V 16. století to znamenalo čistě ruční práci – k ražení štol, chodeb a šachet se nejčastěji používaly železko a mlátek. Jak se tedy dobývalo? Horník tloukl železným mlátkem (*kla-divem, poznámka autorky*) na zadní konec železka tak, aby se špička železka zarážela do horniny, a tak se vylamovaly kusy kamene. Tímto způsobem dobývání získala štola charakteristickou podobu, která je ve starých důlních dílech patrná dodnes. Předpokládá se, že horník za jednu pracovní směnu opotřebil 30 až 40 železek. Ta bývala do topůrka volně zasunutá, takže je horník mohl lehce vyměnit za nová. Otupené nářadí muselo být denně upravováno v hornické kovárně (*tyto informace pocházejí z prohlídky expozice v bývalé Královské mincovně, poznámka autorky*).

Stříbronosná ruda však po tomto náročném vytěžení většinou neměla obsah stříbra vyšší než 0,1 % a jakékoli další postupy získávání stříbra z rudy byly tehdy velmi složité a nákladné. Když vezmeme v úvahu, že v letech 1516–1554 bylo v Jáchymově tímto způsobem dobývání vytěženo 250 000 kg stříbra a že důl má vyraženo přes 120 km chodeb [5], budí tvrdá práce tehdejších horníků dodnes značný respekt. Již roku 1520 byl díky těžbě stříbra Jáchymov povýšen na svobodné horní město. Roku 1530 byla jáma přejmenována na Svornost (německy Einigkeit) na památku smíru dvou zneprátených vlastníků dolu.

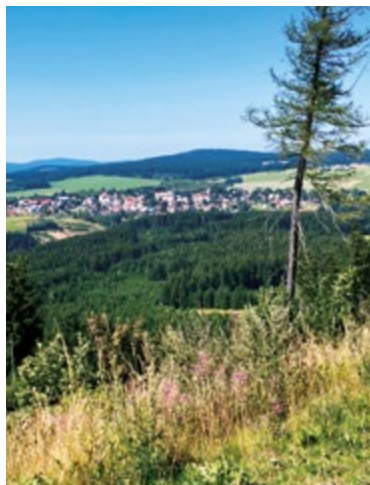
Důl Svornost je rovněž prvním uranovým dolem na světě. Během jeho provozu se zde nejdříve těžilo stříbro, ale později i kobalt a další rudy a od roku 1853 uraninit, jenž se používal v místní továrně na výrobu světélkujících barev na sklo a porcelán (*tato továrna na uranové barvy v Jáchymově úspěšně fungovala téměř 100 let, začátkem 2. světové války však byla zdemolována, poznámka autorky*). Jde také o nejstarší funkční důl v Evropě. Od roku 1906 slouží k získávání radioaktivní vody pro lázeňské účely. Tato tisíce let stará voda z hlubin jáchymovského podloží se samovolně sytí radonem, a proto má díky svému bohatému chemickému složení léčivé účinky.

Geologické hledisko

Z geologického hlediska bylo jáchymovské ložisko žilné a výplně těchto žil tvořily rudy stříbra, arzenu, kobaltu, niklu, bizmutu a uranu. Vznikly proniknutím hydrotermálních roztoků z podložního magmatu do puklin, vytvořených ve starším plášti metamorfovaných hornin, převážně svorů. Tím se na ložisku



Obr. 1. Boží Dar, Ježíškova pošta



Obr. 2. Pohled z Klínovce na saský Oberwiesenthal



Obr. 3. Radium Palace



Obr. 4. Zahájení lázeňské sezony (květen 2025)

vytvořily dva základní žilné systémy: (1) žíly ve směru V–Z, nazývané jitřní, (2) žíly ve směru S–J, označované jako půlnoční.

1. **Jitřní žíly V–Z směru** jsou slabě zrudnělé nebo sterilní poruchy, které zhruba sledují směr svorového souvrství, liší se však sklonem. V jejich výplni se uplatňuje jíl a mylonitizované (*zpevněné, poznámka autorky*) úlomky bočních hornin. Projevy hydrotermální mineralizace jsou sporadické, pouze v okolí křížení s půlnočními žilami S–J směru se na těchto žilách objevuje intenzivnější zrudnění. Tento systém žil je charakterizován stálými úložnými poměry. Dosahuje až kilometrových délek a jejich mocnost se pohybuje nejčastěji v rozmezí 0,5–1 m [4].
2. **Půlnoční žíly S–J směru** jsou tu daleko početnější a bohatěji mineralizovány. Úložné poměry tohoto systému jsou však proti jitřním žilám mnohem méně stálé. Půlnoční žíly jsou dlouhé zpravidla jen několik set metrů a jejich mocnost je značně variabilní. Mocnost u stejné žíly často kolísá ve velmi krátkém délkovém intervalu od několika centimetrů do metrových rozměrů, průměrně se pohybuje v rozmezí 10–30 cm. Žilná výplň je většinou tvořena dolomitem, kalcitem, křemenem a na některých úsecích žil je hlavním minerálem fluorit.



Obr. 5. Důl Svornost (srpen 2024)

Uranová ruda – smolinec, uraninit – byla v Jáchymově dobývána na více než 400 žilách o celkové žilné ploše 8 000 000 m². Průměrná mocnost uranového zrudnění však činila pouhých 0,15 mm – šlo tedy o chudé ložisko s nízkou produktivitou [4].

Hydrogeologické hledisko

Existence zlomových linií, drobné tektoniky a žilných struktur, jež jsou převážně hydraulicky propustné, příznivě ovlivňuje možnost průsaku povrchových vod do horninového komplexu. Z hydrogeologického hlediska můžeme podzemní vody jáchymovské oblasti rozdělit rovněž na dvě skupiny: (1) studené vody, (2) teplé vody.

1. **Studené podzemní vody**, cirkulující v metamorfitech, jsou odvodňovány jak povrchovými prameny, tak i výrony v důlních dílech. Teplota těchto pramenů odpovídá teplotě podle hloubkové úrovně jejich naražení. Teploty pramenů ve vyšších patrech jsou nižší, směrem do hloubky stoupají. Vydutnější výrony vod jsou na spojení s významnými otevřenými tektonickými liniemi a žilnými strukturami, jež umožňují živější komunikaci vody mezi povrchovými a hloubkovými partiemi metamorfovaného komplexu [4].

2. **Teplé podzemní vody** jsou představovány výrony radioaktivních term. Všechny dosud známé radioaktivní termy v Jáchymově vyvěrají na 12. patře dolu Svornost, tedy zhruba 500 metrů pod zemí, které je místem největšího umělého snížení hladiny podzemních vod. Některé termy byly navrtány v rámci geologického průzkumu (např. C–1), další byly naraženy při důlní činnosti (např. Curie) [4].

Po odkrytí hornickými pracemi zde vznikla soustava několika pramenů, jež jsou v hydraulické spojitosti a mají stejný zdroj vody i mineralizaci, podobně jako stejný chemismus a téměř totožnou teplotu. Pro všechny prameny je zároveň charakteristická výrazná radioaktivita, která spolu s dalšími fyzikálně-chemickými vlastnostmi vody vytváří světově unikátní a nesmírně cenný přírodní léčivý zdroj.

Radioaktivní léčivé prameny

V současnosti jsou k balneoterapii v Jáchymově využívány čtyři prameny, viz mapka přímo z dolu Svornost (obr. 6):

1. **Pramen Curie** je z nich nejstarší, 12. března 1864 byl odkryt hornickými pracemi při dalším hloubení jámy v hloubce zhruba 30 m pod úrovní 12. patra. Původní vydatnost pramene byla přibližně 400 l/min a teplota 22,5 °C. (*Pro srovnání: nyní se vydatnost pramene pohybuje kolem 30 l/min při průměrné teplotě 28,8 °C a průměrné aktivitě pramene 5,7 kBq/l, poznámka autorky.*) Pramen vody byl tehdy tak silný, že zcela zatopil šachtu, a to až do výše 300 m [4] po štolu Daniel na 6. patře. Zpočátku byl tento jev pro horníky spíše nežádoucí, neboť jim bránil v další práci, a tak se snažili vodu odčerpávat. Záhy však – stejně jako jejich předchůdci před 300 lety – na sobě pocítili blahodárné účinky této důlní vody, která jejich znavená těla zbavovala bolesti. Velkou zásluhu na tomto poznání měl i tehdejší správce dolů inženýr Josef Štěp, který spolu s lékařem Leopoldem Gottliebem, jenž na základě vědeckých objevů manželů Curieových zkoumal účinky radioaktivních vod (více viz [2]), stál za novou érou jáchymovské historie a počátky zdejší balneologie. Na počest Marie Curie-Sklodowské byl pramen později nazván Curie. Pro lázeňské koupele je oficiálně využíván od roku 1924.
2. **Pramen C–1** byl objeven v rámci geologického průzkumu v roce 1960. Byl vrtán z úrovně 12. patra dolu Svornost do hloubky 240 m. Průměrná vydatnost pramene se pohybuje kolem 40 l/min, má teplotu cca 29, 6 °C a průměrná aktivita pramene je 11, 5 kBq/l [4].

3. **Pramen akademika Běhounka** (často nazývaný pouze **Běhounek**, poznámka autorky) (obr. 7) je nejdůležitějším zdrojem radioaktivní vody pro chod lázní. Je výsledkem geologického průzkumu prováděného v letech 1962–1963, kdy bylo na 12. patře dolu Svornost navrtáno devět vrtů. Jedním z nich, vrtem HG–1 hlubokým 152,7 m, byl zastižen silný pramen s vydatností 570 l/min a teplotou 28,6 °C. Jeho koncentrace radonu činila 10 kBq/l [4]. Pramen byl pojmenován na počest doktora Františka Běhounka, významného českého fyzika a chemika, jenž byl v mládí na pařížské Sorbonně studentem Marie Curie-Sklodowské a k Jáchymovu měl vřelý vztah. Spolu s prameny Curie a C–1 zajistil pramen akademika Běhounka dostatek léčivé radioaktivní vody ke koupelím pro pacienty v léčebných domech, a vedl tak k intenzivnímu rozvoji lázeňství v Jáchymově.

4. **Pramen Agricola** je nejnovější ze zdejších pramenů, vrtem HJ–14 byl nalezen roku 2000 v hloubce 132 m. Má vydatnost 5 l/min a teplotu 28 °C. Koncentrace radonu činí 25 kBq/l [3]. Také tento pramen nese jméno po významné historické postavě spjaté s Jáchymovem. Georgius Agricola, vlastním jménem Georg Bauer, působil v 16. století v Jáchymově jako městský lékař. Vedle studia medicíny v Itálii získal vzdělání také z německých univerzit a zabýval se rovněž mineralogií, hornictvím a hutnictvím. Zřejmě proto se zaměřil především na zdraví horníků a léčbu jejich specifických chorob, stejně jako na léčivé účinky zdejších vod a minerálů. Jeho vědecké práce položily základy k dnešní mineralogii i vědám souvisejícím s důlní a hutní činností. V lázních má i pamětní desku (obr. 8).

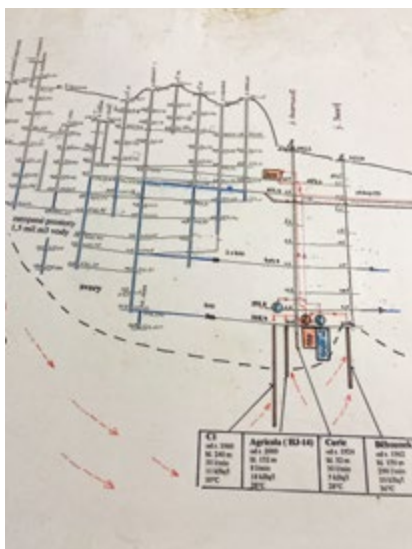
Všechny tyto čtyři prameny jsou dodnes využívány k léčbě, přičemž pacienti dostávají při koupelích jejich směs. Jsou dopravovány potrubím do retenční nádrže radioaktivních vod o kapacitě 150 m³, vybudované ve skalním masivu na 12. patře dolu Svornost. Z této nádrže je voda čerpána do akumulační nádrže s kapacitou 300 m³ umístěné na patře Barbora 100 m pod povrchem. Z ní už je voda dopravována samospádem po patře Daniel potrubím v délce téměř 3 km do jednotlivých balneoprovozů léčebných lázní. Celý tento systém jímání a dopravy radioaktivní vody z dolu Svornost až po odběrná místa je uzavřený, aby se zabránilo úniku radonu z vody [4].

Půl kilometru pod zemí

Dostat se do nitra dolu Svornost, tedy sfát do 12. poschodí zhruba 500 metrů pod zemí, není pro pacienta či hosta jáchymovských lázní až tak nemožné – občas se pořádají prohlídky s odborným výkladem. Chce to jen kvalitní pevnou obuv a teplé oblečení – od zaměstnanců dolu se pak fasuje modrý ochranný plášť a na hlavu přilba s čelovkou – a možná i trochu odvahy, když se návštěvník dobrovolně řítí v kovové kleci ve tmě a zimě kamsi dolů, kape na něj ledová voda a on je zcela ohlušen kvílením těžní klece.

Ale stojí to za to. Dole už čeká jen pár technických pokynů na velmi pamětnických dveřích (obr. 9), čímž starý známý civilizovaný svět končí. Chodby jsou tu temné, vlhké a chladné, každý je tu pouze sám za sebe (obr. 10). Při nasvícení čelovkami na přílbách však stěny jakoby obživnou a hrají všemi barvami nej-různějších rud a minerálů – vápence, síry, železa i stříbra, cínu, kobaltu a dalších (obr. 11). Koneckonců, v Jáchymově se nalézá 17 kovonosných rud a více než 400 různých minerálů. Náš průvodce k tomu dodává, že důl Svornost se díky tomu stal nejbohatším geologickým nalezištěm na světě. Často jsou zde vidět i bohaté krápníky, kterým zdejší chlad a vlhko výrazně svědčí (obr. 12).

Jedním z mála trvale nasvícených míst je oltář s patronkou všech horníků, svatou Barborou (obr. 13). K ní se chodili modlit nejen horníci a zaměstnanci dolu, ale po ukončení 2. světové války a v padesátých letech i političtí vězni při těžbě uranu. Miniaturní kaplička je proto neustále pečlivě udržována a jsou v ní i květiny.



Obr. 6. Důl Svornost, mapa pramenů



Obr. 7. Důl Svornost, pramen akademika Běhouneka



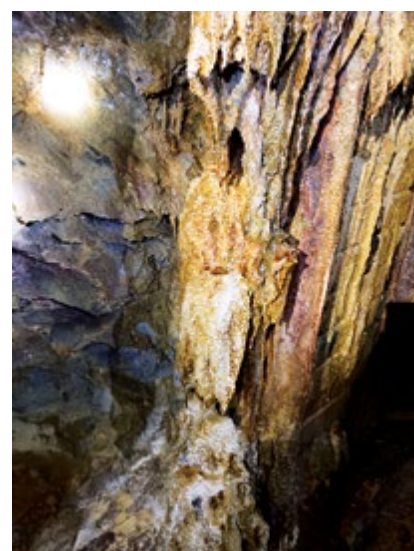
Obr. 8. Pamětní deska G. Agricoly v Jáchymově



Obr. 9. Důl Svornost po sfáráni do 12. patra pod zemí



Obr. 10. Většina chodeb v dole Svornost není osvětlena, a tak se přilba s čelovkou velice hodí



Obr. 11. Důl Svornost – nejbohatší geologické naleziště na světě



Obr. 12. Bohatá krápníková výzdoba



Obr. 13. Kaplička sv. Barbory v dole Svornost



Obr. 14. Zaměstnanec dolu čerpá do zkušební vany pramen Běhounek

Prohlídka dolu pokračuje dalšími temnými chodbami, až se průvodce zastaví u velkého důlního zařízení s vanou a pramenem akademika Běhounka (obr. 14). Z tohoto místa je tedy nejbohatší ze čtyř pramenů rozváděn do jednotlivých lázeňských budov po celém Jáchymově. V jedné z bočních chodeb jsou dosud vystaveny i původní důlní vozíky a části historických čerpadel (obr. 15 a, b).

Okruh po 12. patře dolu Svornost trvá pouze hodinu, pak už následuje opět kovová těžní klec směrem vzhůru – na světlo, teplo a čistý vzduch. Při ohlédnutí na vrchní část dolu se ještě nabídne zajímavý detail vrtule, která se neustále točí (obr. 16). Ano, byli jsme v nejstarším funkčním dole v Evropě a v prvním uranovém dole na světě (obr. 17).

„Bábinka“ sfárala

Zde se přímo nabízí jedna historická vsuvka. Jak již bylo řečeno v srpnovém VTEI [2], Marie Curie-Sklodowská navštívila v červnu 1925 Jáchymov. Strávila v něm několik dní a byla ubytována v hotelu Radium Palace. Průvodcem jí byl tehdy mj. i již zmíněný František Běhounek, její student a mladý spolupracovník ze Sorbonny, jenž Jáchymov velice dobře znal. V rámci konference, pořádané letos v červnu právě na oslavu 100. výročí této události [3], vystoupil mj. prof. Ing. Tomáš Čechák, CSc., z ČVUT s půvabnou historkou z této návštěvy. Akademik Běhounek na madame Curie prý později vzpomínal takto: „17. června bábinka sfárala do dolu Svornost. Bylo mi 26 let, jí bylo 57 let, ale sfárala dolů. Pokorně přijala umaštěný klobouk, který předtím nosil bůhvídko, a podepsala se tam do pamětní knihy.“ (*Tato pamětní kniha byla během výše zmíněné konference vystavena k nahlédnutí, poznámka autorky, viz obr. 18*).

Dlužno dodat, že 57letá „bábinka“, jak Marii Curie mladý Běhounek označoval, ho svou neutuchající energií a zvědavostí šokovala vícekrát. Na její přání se např. vydali na nejvyšší vrchol Krušných hor Klínovec (1 244 m n. m.) a ona ho pak přinutila k tomu, aby zpátky do Jáchymova šli pěšky, protože se chtěla „nadýchat svěžího horského vzduchu“. Traduje se, že její česká družina jí tenkrát sotva stačila.

Štola č. 1

Jen zhruba 100 m od dolu Svornost směrem k centru Jáchymova se nachází Štola č. 1. Ačkoli je povrchová, i v ní panuje chladno. Je dlouhá 260 m a byla vyražena v roce 1952 k ověření uranového zrudnění. Těžilo se v ní však i stříbro, a to na stříbrné žíle s názvem Jan Evangelista. Na rozdíl od Svornosti jsou její chodby nasvícené, takže zbytky stříbrné žíly jsou na stěnách dosud viditelné (obr. 19). Rovněž jsou zde vystaveny nálezy ze Svornosti a jáchymovských lágrů z období 1949–1961, tedy z těch „krušných“ let, kdy v deseti zdejších koncentračních táborech nuceně pracovaly desítky tisíc politických vězňů, odsouzených k mnohaletým trestům (obr. 20). Připomínkou na ně jsou i tzv. katry (obr. 21), masivní kovové mříže, jež sloužily k uzavírání vězňů v podzemí (z tohoto termínu se poté v češtině vžilo spojení „sedět za katem“, tedy být ve vězení, poznámka autorky).

Jáchymovský hřbitov

Trvalou připomínkou politických vězňů v Jáchymově je také místní hřbitov pod kostelem Všechny svatých, tzv. Špitálním kostelem (obr. 22). Vznikal v letech 1516 až 1520, a je tedy nejstarší funkční stavební památkou města. Proč se mu říká Špitální? Vedle kostela totiž od roku 1530 stával městský špitál, který tu fungoval více než 400 let. V roce 1955 zcela vyhořel a už nikdy nebyl obnoven, na jeho místě je dnes urnový háj.

A zatímco náhrobky v některých částech hřbitova už se rozpadají a postupně si je znovu bere příroda, hroby bývalých horníků i politických vězňů jsou zde pečlivě udržovány jako důkaz paměti národa (obr. 23). V Krušných horách,

a především v Jáchymově, se člověku velice často vetře myšlenka, jak pohnutá a „krušná“ tu musela být válečná i poválečná doba s koncentračními tábory a nucenou prací politických vězňů. Nicméně název hor vznikl od slovesa „krušiti“, což znamená „dolovat“, a odkazuje tedy na tento bohatý hornický region protkaný stovkami kilometrů podzemních štol; s bídou či utrpením nemá nic společného.

Jáchymovská patra

Po ukončení těžby uranu ve Svornosti v roce 1964 byl důl převeden pod Léčebné lázně Jáchymov a od té doby slouží pouze k čerpání radonové vody pro léčebné účely a pro provoz úložiště radioaktivního odpadu spravovaného Státním úřadem pro jadernou bezpečnost. Roku 1979 byla zahájena rekonstrukce dolu a také započala ražba Nové odvodňovací štoly Svornost (*informace pochází z přednášky primáře lázní Jáchymov MUDr. Jindřicha Maršíka, MBA, na konferenci 12. června 2025, poznámka autorky, viz [3]*) (obr. 24). Dnes už je těžko k uvěření, že okolí dolu bylo po skončení těžby zcela pokryto ohromnými odvaly hlušiny vytěžené z podzemí a že celé údolí zaplavily haldy kamení. Po šesti desetiletích už se vše znovu zelená lesním porostem a uzdravená krajina tu opět nabízí přívětivou tvář. Pozůstatkem po všudypřítomných haldách jsou pouze terénní patra, tolik typická pro bývalou hornickou krajinu. Hlavní třída i podlouhlé náměstí jsou tvarovány údolím koryta Jáchymovského potoka. Všechny boční ulice a uličky na příkrých svazích po obou stranách ovšem ukazují, že město se neobejde bez kilometrů opěrných zdí i desítek schodišť (obr. 25).

Na jednom z kopců nad centrem lázní stojí např. kaple sv. Barbory, postavená v roce 1777 a rovněž zasvěcená patronce všech horníků (obr. 26). Tato kaple je však velmi neobvyklá, neboť na střeše má dvě věžičky – v Jáchymově jde o symbol jednoty místních horníků a hutníků, kteří společně dali podnět k jejímu vzniku. Další zajímavostí je, že kaple byla na kopec nad lázeňským parkem roku 1917 přestěhována, a to včetně vnitřního zařízení, jelikož původně stála v centrální části na místě dnešního hotelu Astoria, kde s rozvojem lázeňství začala překážet.

Radonová stezka

V dubnovém VTEI [1] jsme se seznámili se dvěma trasami v Jáchymově – s Údolím mlýnků a Mlýnskou stezkou. Nyní se pojďme projít ještě po jedné, která rovněž vede Jáchymovem i přilehlými lesy plnými pozoruhodností (obr. 27), ale kromě půvabných výhledů na již zmíněná jáchymovská patra má i výchovnou a vzdělávací hodnotu. Jde o Radonovou stezku, jež v Jáchymově vznikla roku 2011 ve spolupráci s vedením města. Před dvěma lety byla stezka nahrazena novější, více popularizující verzí. Má sloužit především jako vzdělávací nástroj, který zvyšuje povědomí o radonu ve zdejší přírodě i o způsobech jeho měření, možných rizicích spojených s expozicí a možnostech prevence.

Že byla první radonová stezka na světě založena zrovna v Jáchymově, je více než logické. Důvodem jsou jak zdejší geologické podmínky – podloží protkané historickými štolami tu umožňuje radonu pronikat do interiérů –, tak i použití stavebních materiálů z důlních odpadů, jež obsahují radioaktivní prvky a vyzařují gama záření. Město se tímto dlouhodobým problémem aktivně zabývá a přirozeným partnerem a poskytovatelem odborné podpory je i Státní úřad pro jadernou bezpečnost, který místní radiační situaci trvale monitoruje. Dalším partnerem při zřízení stezky bylo Ministerstvo průmyslu a obchodu.

Radonová stezka má celkem 10 zastavení s informačními tabulemi, z nichž návštěvník postupně čerpá informace o radioaktivitě, přírodních zdrojích ionizujícího záření a radonu, stejně jako o jeho vlivu na lidské zdraví, o způsobu pronikání radonu do budov apod. Možná nejvíce překvapivé zjištění v rámci stezky je fakt, že nejvýznamnějším zdrojem ozáření člověka je sama příroda, konkrétně radioaktivní plyn radon, který je přítomný všude kolem nás.



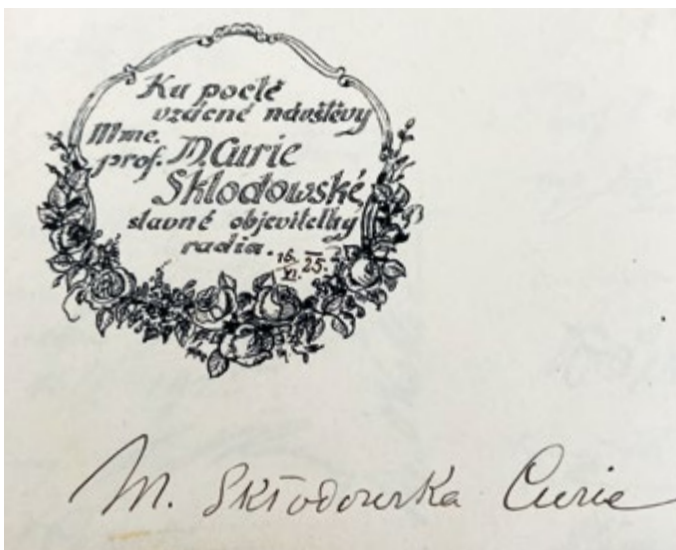
Obr. 15 a, b. Původní vozíky a části čerpadel



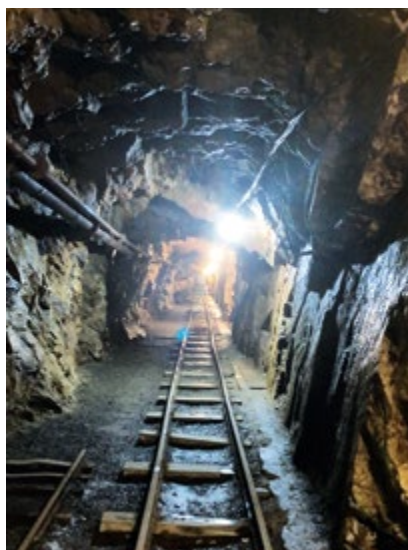
Obr. 16. Vrtule dolu Svornost



Obr. 17. I autorce textu bylo při sfáráni do dolu Svornost 57 let. Pro F. Běhouňka tedy hotová „bábinka“ (srpen 2024)



Obr. 18. Originál podpisu Marie Curie Skłodowské



Obr. 19. Štola č. 1



Obr. 20. Původní předměty z jáchymovských lágrů



Obr. 21. Štola č. 1, katr



Obr. 22. Špitální kostel



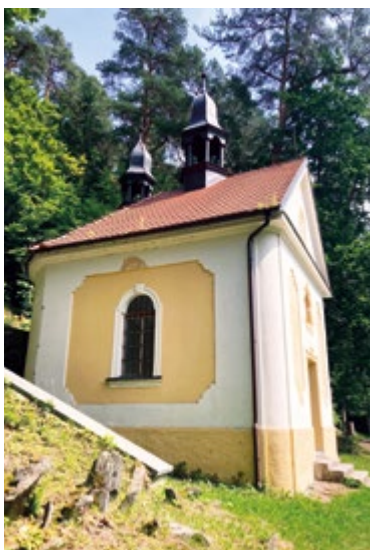
Obr. 23. Hrob jáchymovských vězňů



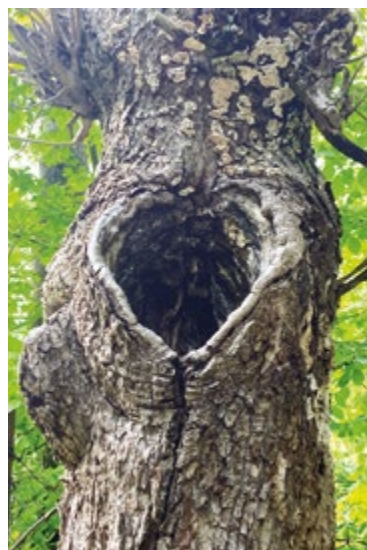
Obr. 24. Nová odvodňovací štola



Obr. 25. Jáchymovská patra



Obr. 26. Kaple sv. Barbory



Obr. 27. Jeden ze zdejších přírodních úkazů



Obr. 29. Klavírista a hudební skladatel Marek Kovářik, LD Běhounek, květen 2025



Obr. 28. Radonová stezka

Poslední dvě tabule už jsou věnovány přímo lázním a jejich léčebným metodám. Stezka se k nim vrací svěží lesní cestou (obr. 28). Kdyby na jedné staré lavici sbité z prken nebyl dosud čitelný nápis „zavřít můžou, pustit musí“, jen těžko by se na té sluncem prozářené cestě věřilo, jak pohnutá byla historie dolu Svornost a s ním vlastně i celého Jáchymova.

Jáchymov žije

Abychom však skončili optimističtěji, vraťme se na závěr ke zdejší tradiční balneologii, k množství spokojených pacientů doslova z celého světa a k jejich zjevně účinné léčbě pomocí unikátních radonových koupelí, původně nazývaných radiové emanace. Klienti se do Jáchymova, těchto krušnohorských lázní uprostřed lesů, velice rádi vracejí, někteří třeba dvacetkrát po sobě, aby se zde léčili a načerpali nezbytnou energii, a Jáchymov se díky nim probouzí do své nové etapy. Rekonstruují se staré budovy, vznikají nové obchody i penziony k ubytování turistů a léčebné domy nabízejí bohatý společenský a kulturní program, např. nejednodušší přednášky, výlety s odborným výkladem a koncerty poslechové, taneční i vážné hudby, při nichž se často představují i naděšní mladí umělci (obr. 29).

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedení dolu Svornost za možnost sfárání do 12. patra 500 m pod zemí a jeho prohlídku s odborným výkladem. Rovněž děkuji primáři lázní MUDr. Jindřichu Maršíkovi, MBA, prof. Ing. Tomáši Čechákovi, CSc., a dalším řečníkům na konferenci „Odkaz Marie Curie-Sklodowské v lázních Jáchymov a 100. výročí od její návštěvy“ za jejich velice zajímavé přednášky. Jsem nesmírně vděčná, že jsem se v rámci konference mohla ještě naposledy setkat s předsedkyní Státního ústavu pro jadernou bezpečnost Ing. Danou Drábovou, Ph.D., Dr.h.c., která během přípravy tohoto článku bohužel zemřela.

Literatura

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

[2] ŘEHOŘOVÁ, Z. Jáchymov II.: ve správný čas na správném místě. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2025, 67(4), s. 46–52. ISSN 0322-8916.

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

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

[5] *AquaViva*, zvláštní vydání k zahájení lázeňské sezony. 25. 05. LP 2018.

Autorka

Mgr. Zuzana Řehořová

✉ zuzana.rehoroza@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/2025/6

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, Ph.D.,
doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur, prof. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D., Mgr. Róbert Chriateľ,
Mgr. Vít Kodeš, Ph.D., Ing. Jiří Kučera, PharmD. Markéta Marvanová, Ph.D., BCGP, BCPP, FASCP,
prof. Juraj Parajka, Ing. Martin Pavel, Ing. Jana Poárová, 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.rehoro@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,
PhDr. Michal Bureš, Ph.D., RNDr. Tomáš Hrdinka, Ph.D., archiv Mgr. Martina Ptáka

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 únoru. 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



VÝZKUMNÉ POVODÍ U DVOU LOUČEK

Poslední zastavení letošního roku se zaměří na Orlické hory, konkrétně na výzkumné povodí U Dvou louček. Jde o experimentální lesní povodí o velikosti 33 ha ve vrcholových partiích Orlických hor (880 až 950 m n. m.) v povodí Anenského potoka. Podloží tvoří ruly a svory, z půd dominují kambizemě a podzoly, místy jsou zastoupeny organozemě, zejména v okolí pramenišť. Dominantní dřevinou je smrk ztepilý (*Picea abies*) s příměsí jedle a listnáčů, zvláště na okrajích porostů a s výchozy sutí. Ve vyšších polohách lze nalézt i smrk pichlavý (*Picea pungens*), který byl v minulosti hojně využíván k zalesňování imisních holin. Systematické pozorování bylo založeno v roce 1992, přičemž hlavní motivací bylo sledování změn klimatologických a hydrologických charakteristik na imisních holinách. Stejně jako v případě dalších experimentálních povodí VÚLHM a ČHMÚ probíhá na tomto povodí měření srážek na volné ploše a srážek podkorunových. Zároveň je monitorován i chemismus srážek, dále pak objemové půdní vlhkosti a v několika desítkách mělkých sond též hladiny podzemní vody. Vodní stav a průtok jsou měřeny a vyhodnocovány v závěrovém profilu a na jednom z přítoků. Měření a modelování v hydrologických a ekologických (porostních) modelech má pomoci zodpovědět otázku, jak zdravotní stav a sukcesní dynamika lesa ovlivňují kvantitu a kvalitu vody nejen v horských povodích. Coby srovnávací plochy lze v tomto ohledu zmínit povodí Červíku a Malé Ráztoky v Beskydech či povodí Suchého, Sokolího, Slučího a Svinného potoka v Jeseníkách.

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

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

veřejná výzkumná instituce

VTEI.cz