VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VTEI / 2025 / 5

TÉMA

Aktuální studie Odboru hydrauliky, hydrologie a hydrogeologie

4 / Vývoj a současná praxe vodohospodářské bilance podzemních vod v Česku: od klasifikace zásob ke komplexnímu hodnocení přírodních zdrojů

16 / Dynamika huminových látek v rašelinném biotopu přírodní rezervace Prameniště Chomutovky

46 / Rozhovor s Ing. Liborem Ellederem, Ph.D., hydrologem z Českého hydrometeorologického ústavu v Praze

Psali jsme před 60 lety

Text na přebal je vybírán s ohledem na některé z témat odborných článků publikovaných v daném čísle VTEI. V tomto případě jde o příspěvek „Ochranu podzemním vodám!" Ing. R. Háka z KVRIS Teplice, který lektoroval Dr. Ing. František Slepička z VÚV TGM v Praze. Článek vyšel v 1. čísle časopisu VTEI v roce 1965.

Asi polovina vody pitné, dodávané veřejnými vodovody pro potřebu obyvatelstva, průmyslu a zemědělství, se v Severočeském kraji odebírá ze zdrojů podzemní vody. Přitom 76 % obyvatelstva Severočeského kraje je zásobováno pitnou vodou z veřejných vodovodů a zbývajících 24 % z veřejných a soukromých studní. Zatím co povrchové vody (toky) jsou stále více znečišťovány, podzemní vody naproti tomu zůstávají, s výjimkou uhelné pánve, čisté a zdají se zatím nenarušené.

Proč tedy žádat ochranu podzemních vod? Není to zbytečné? Podzemní voda představuje náš nejcennější přírodní poklad. Mimo desítek milionů m^3 vody pro potřeby zásobování vodou, čerpá se ročně asi 30 mil. m^3 podzemní vody při těžbě uhlí. Zvodnělým vrstvám se tedy pouští bohatě žilou. Kdyby se jim nepřiváděla stále voda ze srážek a povrchových vod prosakováním, pak by se musely zásoby podzemní vody brzy vyčerpat. Trvale může být odebíráno jen tolik vody, kolik se jí stále nově tvoří.

V mnohých územích podzemní voda v posledních desetiletích stále více zapadá. Zcela mimořádné poměry jsou přirozeně ve vlastní Severočeské uhelné pánvi, kde těžbou uhlí došlo k podstatnému snížení hladiny podzemních vod.

Kromě toho hrozí podzemním vodám nebezpečí, že budou narušeny nebo kvalitně zhoršeny odpadními vodami, které jsou přímo přiváděny do toků. Připojí-li se k tomu ještě postřikovací látky používané v zemědělství, draselné louhy, odpadní vody z moříren, fenoly a odpadní vody z chemických a jiných závodů, úniky z ropovodů, naftovodů a benzinovodů, budou všechny dodatečné pokusy o úpravu těchto vod marné.

Dnes již je zřejmé, že znečišťování vody představuje dosud nejtěžší narušení celé biosféry naší země. K předpokladům vodohospodářského plánování patří též prozkoumání bohatství podzemních vod a jejich zajištění. Zatím jsme se omezovali na vyhledávání zdrojů podzemních vod a jejich využití. To dnes již zdaleka nestačí. V jaké míře se obnovuje spodní voda? Jak rychle teče? V kterém směru? Odkud pochází? Na které geologické vrstvy je vázána? Jaké množství lze trvale odebírat? Jak je chemicky a biologicky vhodná? To jsou otázky, které musí být komplexně prozkoumány. Potřebujeme spolehlivé záznamy o podzemních vodách.

Budeme-li v budoucnosti rozšiřovat některé město nebo vesnice, budeme-li projektovat nějaké průmyslové závody, musíme předem znát stav podzemních vod a musíme k němu přihlížet. Ochrana podzemních vod znamená předcházet narušení podzemních vod, neboť náprava je v mnoha případech nemožná.

Ministerstvo zemědělství, lesního a vodního hospodářství připravuje směrnice pro ochranu podzemních vod, které doplňují dosavadní nařízení ministra zdravotnictví o hygienické a protiepidemické ochraně vody č. 87/53 Sb.

Z archivu VÚV TGM

Redakce VTEI

Generováno umělou inteligencí (Midjourney)

Obsah

3 Úvod

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

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

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

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

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

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

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

56 Vzpomínka na Ing. Eduarda Hanslíka, CSc.

Foto: 123rf.com

Vážení čtenáři,

letošní podzim přináší nejen barvitou proměnu krajiny, ale i důležité události, které rezonují napříč vodohospodářskou veřejností. Vodohospodářská problematika v tomto ročním období opět získává zaslouženou pozornost díky několika významným setkáním, jež potvrzují důležitost zejména přeshraniční spolupráce a mezioborového dialogu.

Jedním z těch nejvýznamnějších je bezesporu Magdeburský seminář o ochraně vod 2025, zaměřený na téma hospodaření s vodou v povodí Labe včera, dnes a zítra. Akce, která se v těchto dnech koná v Magdeburku pod záštitou Mezinárodní komise pro ochranu Labe (MKOL), nabízí prostor k bilanci dlouhodobého úsilí o zlepšení stavu vod v tomto důležitém evropském povodí a zároveň představuje i výzvy, jež nás čekají v souvislosti s klimatickou změnou, znečištěním i rostoucími nároky na vodní zdroje.

V říjnu se rovněž můžeme těšit na 14. bienální konferenci Rekonštrukcie stokových sietí a čistiarní odpadových vôd, kterou připravují kolegové ze Slovenské republiky. Toto tradiční odborné fórum poskytne prostor pro výměnu informací a poznatků vlastníků a provozovatelů stokových sítí a ČOV, zástupců státní a veřejné správy, vědeckých a akademických pracovníků, zaměstnanců projektových a konzultačních firem a dalších, kteří se této problematice věnují.

Nyní pár slov k aktuálnímu vydání našeho časopisu monotematicky zaměřenému na oblast hydrauliky, hydrologie a hydrogeologie. První odborný článek Anny Hrabánkové a Josefa V. Datla „Vývoj a současná praxe vodohospodářské bilance podzemních vod v Česku: od klasifikace zásob ke komplexnímu hodnocení přírodních zdrojů“ se zabývá vývojem metodických přístupů k bilancování podzemních vod na území naší republiky od šedesátých let 20. století do současnosti. Autoři ve svém příspěvku popisují transformaci vodohospodářské bilance od původního konceptu statického hodnocení tzv. „využitelných zásob“ podzemních vod ke komplexnímu, dynamickému přístupu založenému na pravidelném porovnávání reálných odběrů vody a přírodních zdrojů v časových řezech s důrazem na měsíční krok hodnocení a kvantilové charakteristiky základního odtoku.

Příspěvek Martina Vokouna, Vojtěcha Moravce a Pavla Eckhardta „Dynamika huminových látek v rašelinném biotopu přírodní rezervace Prameniště Chomutovky“ se věnuje hodnocení koncentrací huminových látek ve vodách rašelinišť v oblasti Krušných hor. Cílem výzkumu bylo posoudit vliv revitalizačních zásahů na výskyt těchto látek v povrchových a podpovrchových vodách v prostředí po těžbě rašeliny.

V posledních několika letech zasáhla naše území řada hydrologických extrémů s různou intenzitou, dobou opakování a rozsahem zasažených oblastí. Odborný článek Veroniky Táboříkové a Pavla Balvína „Vliv hydrologických extrémů na rybníky a malé vodní nádrže“ prezentuje posouzení rybníků, rybničních soustav a malých vodních nádrží v souvislosti se stanovením a dodržováním minimálního zůstatkového průtoku a hodnocením zabezpečenosti těchto vodních děl z hlediska bezpečného převedení povodňových průtoků.

Zásady a kritéria použitá při návrhu typologie cestní sítě z hlediska ovlivnění povrchového a podpovrchového odtoku popisuje odborný článek Luďka Strouhala, Václava Davida a Josefa Krásy „Typologie cest a jejich vliv na odtokový režim ve zvláště chráněných územích“. Představuje rovněž metodiku jejich aplikace při tvorbě map, jež poskytují správcům chráněných území nástroj pro identifikaci úseků cest s nejvyšším potenciálem ovlivnit hydrologický režim a slouží jako podklad pro plánování kompenzačních opatření či renaturačních zásahů ve zvláště chráněných územích.

V informativní části říjnového čísla VTEI nechybí tradiční rozhovor, k němuž přijal pozvání hydrolog Ing. Libor Elleder, Ph.D., z ČHMÚ. Závěr je pak věnován mezinárodním projektům zahájeným Odborem hydrauliky, hydrologie a hydrogeologie VÚV TGM v roce 2025 a 21. ročníku Magdeburského semináře o ochraně vod.

Na poslední stránce vzpomeneme na bývalého kolegu Ing. Eduarda Hanslíka, CSc., jenž nás letos v srpnu navždy opustil.

Děkujeme za vaši přízeň a podporu při vytváření prostoru pro odbornou diskuzi a sdílení zkušeností napříč celým vodohospodářským sektorem.

Redakce VTEI

Vývoj a současná praxe vodohospodářské bilance podzemních vod v Česku: od klasifikace zásob ke komplexnímu hodnocení přírodních zdrojů

ANNA HRABÁNKOVÁ, JOSEF VOJTĚCH DATEL

Klíčová slova: vodohospodářská bilance — hydrogeologie — podzemní voda — česká křídová pánev — přírodní zdroje podzemní vody — základní odtok

ABSTRAKT

Předkládaný článek se komplexně věnuje vývoji metodických přístupů k bilancování podzemních vod v Československu a Česku od šedesátých let 20. století do současnosti. Popisuje transformaci vodohospodářské bilance od původního konceptu statického hodnocení tzv. „využitelných zásob" podzemních vod ke komplexnímu, dynamickému přístupu založenému na pravidelném porovnávání reálných odběrů vody a přírodních zdrojů v časových řezech, s důrazem na měsíční krok hodnocení a kvantilové charakteristiky základního odtoku. Analýza vychází z platné legislativy, především z ustanovení vodního zákona č. 254/2001 Sb., a souvisejících prováděcích vyhlášek a metodického pokynu. Rovněž reflektuje požadavky evropských směrnic v oblasti ochrany vod.

Zvláštní pozornost je věnována institucionálnímu rámci a úloze jednotlivých subjektů, jako jsou Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), správci povodí a Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka (VÚV TGM), kteří se podílejí na sběru, zpracování a interpretaci údajů o stavu podzemních vod. Článek rovněž zdůrazňuje klíčovou roli hydrogeologické rajonizace jako základního nástroje územního členění a bilančního hodnocení, přičemž rozebírá její historický vývoj a návaznost na útvary podzemních vod dle evropského rámce pro vodní politiku.

Stěžejní část článku je zaměřena na hodnocení čtyř svrchnokřídových hydrogeologických rajonů (HGR) 4410, 4430, 4522 a 4523, které byly v období 2007–2023 pravidelně vyhodnocovány jako bilančně napjaté. Porovnání ročních a měsíčních hodnot základního odtoku s odpovídajícími hodnotami odběrů ukazuje dlouhodobý trend sbližování těchto veličin, zejména v důsledku poklesu přírodních zdrojů vlivem klimatických změn. Ve vybraných rajonech (zejména 4522 a 4523) jsou navíc identifikovány negativní dopady nadměrných odběrů na stav povrchových toků – včetně jejich sezonního vysychání –, což vedlo ke snížení povolených odběrů, k zavedení režimního monitoringu a přijetí nápravných opatření.

Článek je zároveň zasazen do rámce aktuálně probíhajících výzkumných projektů TA ČR (č. SS06010268, č. SQ01010176, č. S02030027 a také č. SS01010208), jejichž cílem je identifikace dopadů sucha na podzemní vodní zdroje, zpřesnění prostorového vymezení HGR, ověření hydrodynamických vazeb mezi útvary podzemních a povrchových vod, možnosti posílení zdrojů podzemních vod a lepší poznání vertikální stratifikace proudění podzemní vody.

Výsledky článku podtrhují význam důkladné hydrogeologické znalosti území, potřebu kontinuálního monitoringu, pravidelného přehodnocování odběrových limitů a revize bilančních metod. V závěru je apelováno na nutnost ochrany infiltračních oblastí a implementaci dlouhodobě udržitelného a aktivního hospodaření s podzemní vodou jako základního předpokladu pro zachování vodních zdrojů v podmínkách změny klimatu a rostoucího antropogenního tlaku.

ÚVOD

Tento příspěvek shrnuje vývoj vodohospodářského bilancování podzemních vod v Československu a České republice od šedesátých let 20. století až po současnost. Zaměřuje se na proměny přístupů k hodnocení využitelnosti a bilanci podzemních vodních zdrojů, na metodická východiska a institucionální rámce, jež se postupně vyvíjely v reakci na nové poznatky, legislativní změny i požadavky praxe a evropských směrnic.

Text dokumentuje počátky bilancování, jež byly úzce spjaty s činností odborné subkomise pro podzemní vody v rámci Komise pro klasifikaci zásob ložisek, kde se kladl důraz na stanovení tzv. využitelných zásob. Tyto hodnoty však často nevystihovaly sezonní ani dlouhodobou variabilitu přirozeného režimu. Významným posunem bylo zavedení evidence odběrů v sedmdesátých letech 20. století, díky čemuž mohly být sestavovány pravidelné roční bilance, které se staly součástí státní vodohospodářské bilance.

Od devadesátých let 20. století se metodika přibližuje požadavku na souměřitelnost údajů, tedy porovnávání reálných odběrů se zdroji za stejné období, přičemž v napjatých oblastech je nutné přejít na podrobné měsíční bilancování. Klíčovou veličinou se stal kvantil 80% základního odtoku. Text popisuje aktuální podobu vodohospodářské bilance podle platného vodního zákona a souvisejících prováděcích vyhlášek. Vymezuje rozdíl mezi hydrologickou a vodohospodářskou bilancí, uvádí úlohy jednotlivých institucí (ČHMÚ, správců povodí, VÚV TGM) a vysvětluje principy evidování odběrů, způsob ohlašování i kategorizaci údajů.

Samostatný oddíl je věnován hydrogeologické rajonizaci jako základnímu nástroji územního členění podzemních vod. Text sleduje vývoj rajonizace od padesátých let 20. století až po její poslední verzi z roku 2005 [1], jež přinesla

sladění s útvary podzemních vod definovanými pro účely plánů oblastí povodí a evropské legislativy. Důraz je kladen na kritéria rajonizace, vazbu na bilanční jednotky a propojení s vymezenými vodními útvary.

Výzkum bilančních metod v posledních dekádách ukazuje potřebu specifického přístupu k bilancování některých hydrogeologických prostředí a struktur, na které nelze mechanicky aplikovat ustálené postupy založené na standardních hydrologických metodách s výpočtem základního odtoku (kvartér v úzké vazbě na povrchový tok, krasové struktury, hluboké pánevní kolektory, regionální drenážní oblasti aj.).

Praktický postup bilancování je demonstrován na příkladu čtyř svrchnokřídových HGR, které jsou často označovány jako bilančně napjaté.

VÝVOJ METODICKÝCH PŘÍSTUPŮ

Historie vodohospodářského bilancování podzemních vod

Základními dvěma termíny, které se používají u bilancování podzemních vod, je hydrologická bilance a vodohospodářská bilance.

Hydrologická bilance hodnotí změny zásob povrchové a podzemní vody způsobené časovou a prostorovou proměnlivostí přirozených vlivů, zejména klimatických činitelů, a vytváří podklad pro hodnocení změn zásob vody, jež jsou způsobeny užíváním vody nebo jinými antropogenními zásahy. Hydrologická bilance se tedy týká stanovení přírodních zdrojů podzemních vod v kontextu celého hydrologického cyklu, včetně časoprostorového kolísání kvantitativních charakteristik. V současné době je velikost přírodních zdrojů významně ovlivňována nejen sezonním chodem klimatu, ale i dlouhodobými trendy v souvislosti s probíhající klimatickou změnou. V dnešní době je výpočet hydrologické bilance nemyslitelný bez různých hydrologických a hydraulických matematických modelů.

Vodohospodářská bilance je porovnání požadavků na odběr vody s velikostí jejích přírodních zdrojů v uvažovaném místě a čase. Vodohospodářská bilance tak podává obraz o stavu zdrojů vody, stupni jejich využití a možnostech jejich navyšování do budoucna. Porovnání přírodních zdrojů a odběrů podzemních vod je základem hodnocení bilanční napjatosti daného území. Moderní zpracování vodohospodářské bilance se opírá o soubor pokročilých statistických analýz a postupů. Výsledky vodohospodářské bilance jsou zásadním podkladem pro vodohospodářské plánování a hospodaření s vodou.

Hydrologická a vodohospodářská bilance tvoří tzv. vodní bilanci, ve smyslu vodního zákona [2].

Dále uvádíme v přehledu postupný vývoj v bilancování podzemních vod v Česku:

- V polovině šedesátých let 20. století byla zřízena odborná subkomise pro podzemní vody jako součást Komise pro klasifikaci zásob ložisek nerostných surovin (KKZ). Principy této komise byly do značné míry určující i pro obor podzemních vod (*Směrnice pro oceňování zásob podzemních vod* a *Zásady pro předkládání zpráv: 1964, 1965, 1979.*) Hodnoty uváděné jako využitelné zásoby představovaly různorodý soubor výsledků. Tyto hodnoty byly stanovovány obvykle s různou zabezpečeností a také jako průměry z nejednotného, někdy nedefinovaného kratšího či delšího období, a nemohly vystihovat dlouhodobou variabilitu ani sezonní změny přirozeného režimu podzemní vody.
- Počátek sedmdesátých let 20. století je charakterizován snahami o pravidelné sestavování vodohospodářské bilance na úrovni tehdejších rajonů, od roku 1979 jsou k dispozici pravidelné roční bilance, k čemuž významně pomohlo zavedení evidence odběrů podle vyhlášky č. 63/1975 Sb.
- Od roku 1979 byla bilance podzemních vod součástí státní vodohospodářské bilance, a to ve formě porovnávání tzv. využitelných zásob s uskutečněnými odběry konkrétního roku. Způsob výpočtu využitelných zásob nebyl jednotný a nerespektoval časovou variabilitu zdrojů podzemních vod, výsledek tedy nepředstavoval aktuální bilanční stav, spíše jakési zprůměrování za hodnocené období. Počítal se poměr zásoby/odběry, a podle toho byl bilanční stav pasivní (< 0,9), napjatý (0,9–1,1) nebo příznivý (> 1,1).
- Od roku 1994 se v metodice vodohospodářské bilance přešlo k postupnému hodnocení základních odtoků, které lze z hydrogeologického hlediska ve víceletém průměru ve většině případů ztotožnit s podzemním odtokem, potažmo s přírodními zdroji podzemní vody, a režim obou těchto veličin pokládat za identický nebo alespoň velmi podobný.
- Principy moderní bilance podzemních vod v posledních dekádách, počínaje devadesátými lety 20. století, se snaží vystihnout variabilitu přírodních zdrojů podzemní vody a důsledně odlišují dlouhodobé hodnoty od ročních. Základním smyslem nového přístupu k bilanci podzemních vod je porovnávat na straně zdrojů i odběrů hodnoty souměřitelné, které se vyskytly, resp. byly uskutečněny ve stejném časovém úseku. Postup bilance je účelné provádět ve dvou fázích. Pokud je bilanční stav rajonu dobrý nebo vyhovující, postačí bilanci omezit na porovnání ročních hodnot. V těchto případech se bilance omezí na soupis aktuálních údajů o velikosti zdrojů a odběrů za konkrétní (ukončený) rok a porovnání zdrojů s dlouhodobými hodnotami za vybrané reprezentativní období. V rajonech, kde poměr velikosti zdrojů a odběrů nasvědčuje tomu, že může dojít k napjatému nebo i pasivnímu stavu, je nezbytné provést podrobnější hodnocení. Sezonní výkyvy na straně zdrojů i odběrů mohou být natolik významné, že roční hodnoty neposkytují dostatečný podklad a je nutno provést bilanci v měsíčním kroku.
- Do bilance byl počínaje rokem 1997 zaveden jako základní výpočtová hodnota kvantil 80% křivky překročení základního odtoku z období 1971–1990 (srovnávací období bylo postupně nahrazováno 30letými obdobími 1971–2000, 1981–2010 a 1991–2020). Tato hodnota představuje pro vodohospodářskou bilanci dlouhodobé využitelné zdroje.

Vodohospodářská bilance podzemních vod v současnosti

Zjišťování a hodnocení stavu povrchových a podzemních vod v souladu s ustanovením § 21 vodního zákona [2] slouží k zajišťování podkladů pro výkon veřejné správy podle vodního zákona, plánování v oblasti vod (hlava IV vodního zákona) a poskytování informací veřejnosti. Provádí se podle hydrologických povodí povrchových vod a HGR, příp. vodních útvarů podzemních vod, a zahrnuje mimo jiné vedení vodní bilance (ustanovení § 21 odst. 2 písm. b) vodního zákona) a zřízení, vedení a aktualizaci evidencí podle ustanovení § 21 odst. 2 písm. c) vodního zákona). Údaje zahrnuté v těchto evidencích jsou součástí Informačního systému veřejné správy – VODA [3].

Vodní bilance sestává z hydrologické bilance a vodohospodářské bilance. Hydrologická bilance porovnává přírůstky a úbytky vody a změny vodních zásob v povodí, území nebo ve vodním útvaru za daný časový interval a sestavuje ji ČHMÚ. Vodohospodářská bilance porovnává požadavky na odběry povrchové vody, odběry podzemní vody a vypouštění odpadních vod s využitelnou kapacitou vodních zdrojů z hlediska množství a jakosti vody a jejich ekologického stavu (ustanovení § 22 odst. 1 vodního zákona) a sestavují ji v rámci své územní působnosti správci povodí – podniky Povodí podle ustanovení § 54 vodního zákona [2] a dále v souladu s ustanovením § 5 odst. 3 vyhlášky č. 431/2001 Sb. [4]. Souhrnné každoroční a celostátní zpracování dat vodohospodářské bilance zajišťuje VÚV TGM [5].

Pro potřeby vodohospodářské bilance ČHMÚ vždy zajišťoval data zdrojové části bilancí formou stanovení základního odtoku na základě údajů ze státní pozorovací sítě, ze sledování hladin podzemních vod a vydatnosti pramenů. Tento údaj o přírodních zdrojích podzemních vod se zpracovává každoročně z aktuálních údajů měřicích stanic. Pro sledování vývoje těchto zdrojů za delší období je pak využívána hodnota přírodních zdrojů získaná z dlouhodobých

sledování (období 30 let, v současné době používáno rozmezí let 1991–2020). Proto se v bilančním vyhodnocení uvádí srovnání odběrů jednak s hodnotou aktuálních přírodních zdrojů předchozího roku, jednak s hodnotou dlouhodobých přírodních zdrojů. Požadavky Rámcové směrnice ES o vodní politice se promítly do metodických postupů používaných VÚV TGM po dohodě s MŽP (odbor ochrany vod) a nyní se předpokládá místo výpočtu základního odtoku komplexní vyhodnocování přírodních zdrojů podzemních vod, protože jen charakteristika základního odtoku nemusí být v některých prostředích určující (útvary podzemních vod v úzké hydraulické vazbě na povrchové vody, krasové oblasti, drenážní území z více hydrogeologických kolektorů, hluboké pánevní kolektory s dlouhou dobou zdržení aj.). Zvláště v těchto případech je nezbytné využití moderních výzkumných metod, včetně izotopových analýz a postupů hydraulického modelování.

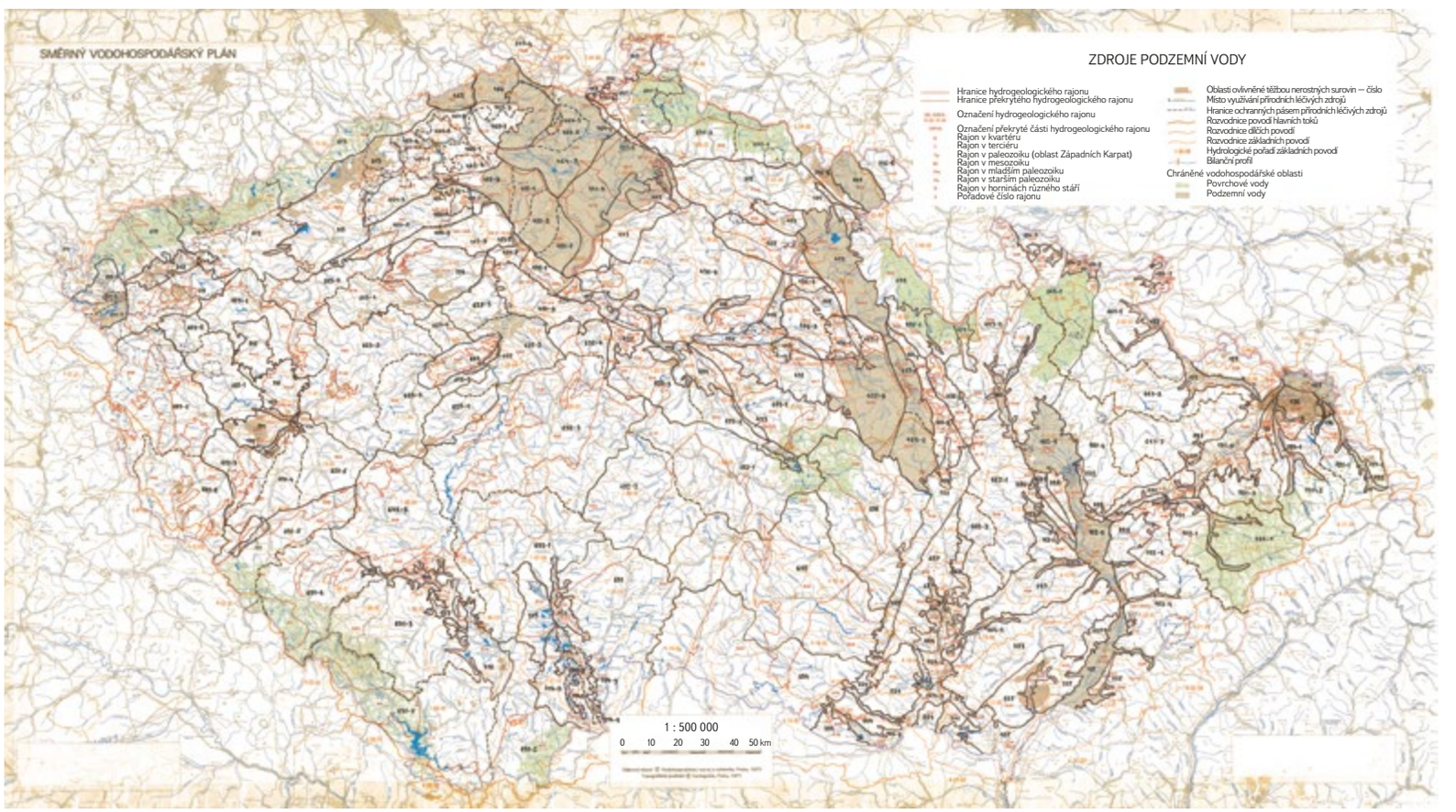
Zatím není možné stanovovat velikost přírodních zdrojů pro všechny HGR – buď jsou natolik ovlivněny antropogenní činností, že je stanovení nereálné, nebo v nich nejsou dostupná data v potřebné struktuře a podrobnosti, případně přetrvávají metodické nejasnosti (např. u kvartérních rajonů v úzké vazbě na vodní tok). Základní charakteristikou, jež vyjadřuje zdrojovou kapacitu hydrogeologické struktury, je hodnota velikosti přírodního zdroje, vyjadřovaná obvykle v l/s a vztažená k ploše hodnoceného území (zpravidla HGR) a časovému úseku hodnocení. Přírodní zdroje podzemní vody se určují pro každý měsíc a rok a také jako průměrná hodnota za určité sledované období. Hodnoty přírodních zdrojů stanovuje v rámci hydrologické bilance ČHMÚ.

Pro vybrané HGR bylo Českou geologickou službou provedeno podrobné přehodnocení přírodních zdrojů v projektu *„Rebilance zásob podzemních vod"* [6], který byl řešen v období 2011–2016. Pro rebilancování přírodních zdrojů (rebilancování proto, že různě kvalitní bilance existovaly z dřívější doby) byly mj. použity pokročilé numerické hydrologické i hydraulické modely se vstupními daty z archivních rešerší, vrtných prací, hydrologických, karotážních a dalších přímých měření a se zpětnou verifikací na základě reálných dat. Jedním z výstupů jsou hodnoty využitelného množství podzemní vody, které vycházejí z 90% zabezpečenosti přírodních zdrojů se zohledněním požadavku na zachování minimálních zůstatkových průtoků v říční síti a zároveň dostatečné vodnosti na podzemní vodě závislých chráněných ekosystémů.

Evidence odběrů podzemních vod

Podle ustanovení § 29 vodního zákona [2] jsou zdroje podzemních vod přednostně vyhrazeny pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou a pro účely, pro které je použití pitné vody stanoveno zákonem č. 258/2000 Sb. [7]. K jiným účelům může být podzemní voda využívána, pokud to není na úkor výše uvedených potřeb.

Pro potřeby vodní bilance podle ustanovení § 22 vodního zákona [2] jsou odběratelé podzemních vod, již mají povolení odebírat podzemní vodu v množství přesahujícím v kalendářním roce 1 000 m^3 nebo 100 m^3 v kalendářním měsíci (limity jsou platné od roku 2022), povinni jednou ročně ohlašovat příslušným správcům povodí údaje o množství odebrané podzemní vody (v ustanovení § 10 vodního zákona). Rozsah těchto ohlašovaných údajů a způsob jejich ohlašování příslušnému správci povodí je dán v ustanovení § 10 a § 11 vyhlášky č. 431/2001 Sb. [4]. Při hodnocení množství a jakosti podzemních vod, v souladu s vyhláškou č. 393/2010 Sb. [8], se do bilance zahrnují odběry v množství přesahujícím v kalendářním roce 6 000 m^3 nebo 500 m^3 v kalendářním měsíci.



Obr. 1. Hydrogeologická rajonizace 1972 [9]
Fig. 1. Hydrogeological zones 1972 [9]

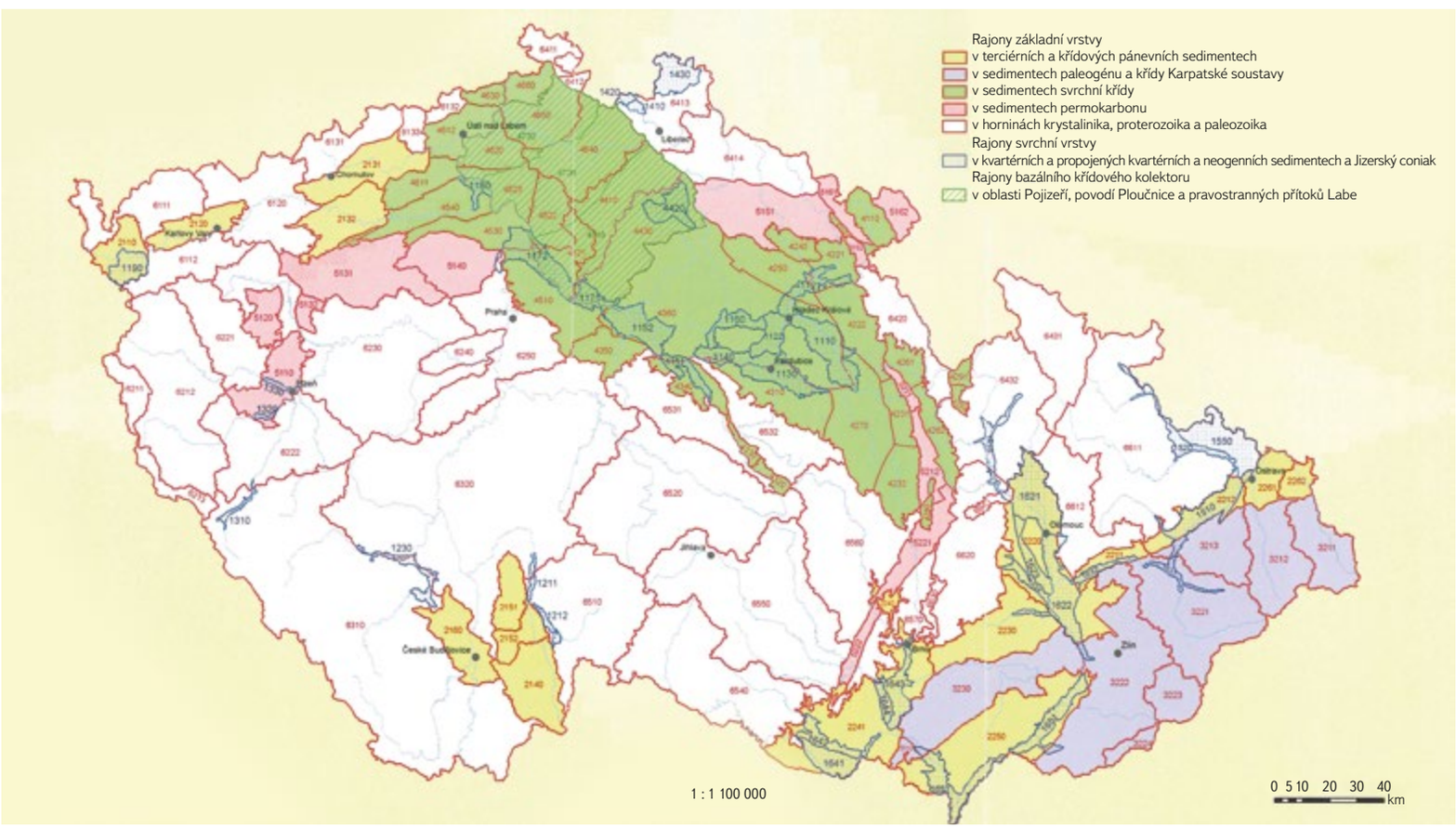
Hydrogeologická rajonizace

Základní jednotkou bilance podzemních vod je HGR. Jde o území s obdobnými hydrogeologickými poměry, typem zvodnění a proudění podzemní vody, složené z jednoho a více útvarů podzemních vod. Rajony se vymezují na základě přírodních charakteristik ve svrchní, základní a hlubinné vrstvě.

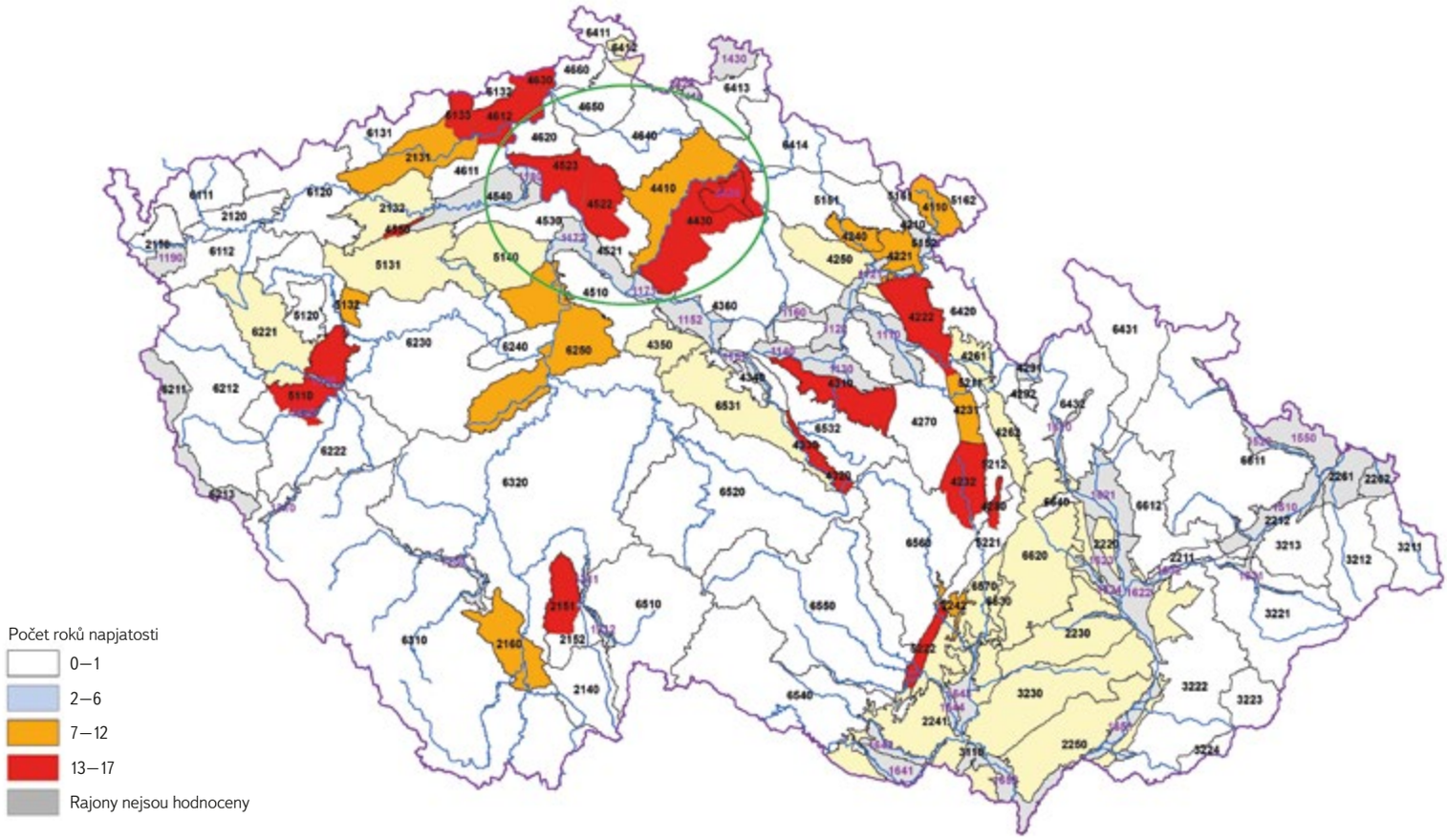
- Začátek rajonizace podzemních vod můžeme klást do padesátých let 20. století, první rajonizace byla v rámci počátků vodohospodářského plánování schválena v roce 1965.
- Nová podrobnější rajonizace pochází ze Směrného vodohospodářského plánu z roku 1972 (*obr. 1*) [9].
- Revidovaná rajonizace v roce 1986 [10] již posloužila jako územní prvek celostátní vodohospodářské bilance. Při revizi rajonizace v roce 1986 byla k dosud převažujícím hlediskům geologickým a hydrogeologickým důsledně uplatněna hydrologická koncepce, tak aby rajony splňovaly v maximální míře podmínku hydrologicky uzavřené bilanční jednotky, v níž byly jednoznačně definovány všechny fáze proudění podzemní vody: infiltrace, proudění, akumulace a odvodnění. Bylo vymezeno celkem 105 HGR [10].
- V roce 2005 byla zpracována poslední verze hydrogeologické rajonizace (*obr. 2*) [11], která je platná až do současnosti. Aktualizované rajony se značně přiblížily vymezeným útvarům podzemních vod. V rámci rajonizace je v ČR vyčleněno 152 HGR, z toho 111 v základní vrstvě, jež pokrývá celou republiku, tři rajony jsou ve vrstvě bazálního křídového kolektoru (v severozápadní části české křídové pánve) a 38 rajonů je vymezeno ve svrchní vrstvě (kvartérní a neogenní sedimenty, Jizerský coniak). Odběry podzemních vod jsou přiřazeny k těmto rajonům při zohlednění typu hydrogeologické struktury (např. pánevní struktury, hydrogeologický masiv, kras, flyš, kvartér, neogén). HGR vesměs odpovídají členění na útvary podzemních vod pro potřeby plánů oblastí povodí a jsou jednoznačně přiřazeny k jednotlivým oblastem povodí. Znamená to tedy, že HGR jsou vždy hodnoceny jako celek, i když podle hranic správních území by měly být rozděleny. Výjimkou jsou HGR 6320 (Horní Vltava/Dolní Vltava) a HGR 2250 (Morava/Dyje), které jsou rozděleny mezi dvě dílčí povodí podle – v nich vymezených – čtyř vodních útvarů. Dva vodní útvary spadají do jednoho a druhé dva do jiného dílčího povodí. Tím je zachováno hodnocení podzemních vod pro potřeby plánů povodí i vodohospodářské bilance vždy v rámci celého dílčího povodí jako celku.
- V návaznosti na novou hydrogeologickou rajonizaci byla vydána vyhláška Ministerstva zemědělství (MZe) č. 393/2010 Sb. [8], která mj. novelizuje přiřazení jednotlivých HGR k příslušným dílčím povodím. Současně byla vydána nová vyhláška Ministerstva životního prostředí (MŽP) a MZe č. 5/2011 Sb. [1].

Postup výpočtu vodohospodářské bilance

Vodohospodářská bilance množství podzemních vod vychází ze standardního základního postupu – stanovení poměru odběrů podzemních vod s přírodními zdroji v definovaném území a čase. Velikost přírodních zdrojů charakterizuje přírodní dynamickou složku podzemní vody vyjádřenou v objemových jednotkách za čas (l/s) a prakticky je většinou dána proměnnou velikostí základního odtoku. Velikost základního odtoku je stanovena v rámci výstupů hydrologické bilance množství vody v ČHMÚ, kde jsou na základě měření počítány konkrétní hodnoty pro jednotlivé HGR. HGR je základní bilanční jednotkou pro hodnocení množství podzemních vod a zahrnuje jednu nebo několik obvykle uzavřených hydrogeologických struktur. I v ostatních případech (např. regionální hydrogeologické



Obr. 2. Hydrogeologická rajonizace 2005 [11]
Fig. 2. Hydrogeological zones 2005 [11]



Obr. 3. Hodnocení bilanční napjatosti HGR základní a svrchní vrstvy za období 2007–2023; zeleně je oblast HGR diskutovaných v další kapitole
Fig. 3. Assessment of balance stress of HGR base and upper layers for 2007–2023; HGR areas discussed in the following section are shown in green

průzkumy z šedesátých až osmdesátých let 20. století nebo projekt *„Rebilance zásob podzemních vod"*) byly údaje o přírodních zdrojích vždy zjišťovány v rámci HGR, detailnější data z menších území proto většinou nejsou k dispozici.

Výpočet základního odtoku (ČHMÚ) je získáván z celkového odtoku v denním kroku metodou separace podle Eckhardta. Recesní koeficient je odvozen na základě analýzy výtokových čar. Poměr celkového a základního odtoku BFI_{max} je kalibrován podle shody průběhu celkového a základního odtoku v poklesových částech hydrogramu. Statické zásoby podzemní vody jsou stanovovány z Boussinesqovy rovnice, jež uvádí vztah mezi zásobou a základním odtokem.

Vodohospodářská bilance množství podzemních vod se zpracovává každoročně, v současnosti pro cca 102 (za rok 2023) HGR z celkových 152, což je necelých 81 % plochy ČR (*obr. 3*). Důvod nevyčíslení základních odtoků v kvartérních sedimentech je dán nedostatkem vstupních údajů a mnohdy komplikovaným hodnocením zdrojů u těchto typů HGR, kde se projevuje jednak vliv povrchového toku, jednak zde často dochází k odvodňování hlubších hydrogeologických struktur. Z důvodu přetrvávající metodické neujasněnosti a vzájemné neporovnatelnosti získaných hodnot se proto zatím v těchto HGR bilanční zhodnocení pro potřeby vodohospodářské bilance nezpracovává.

Při bilanci množství podzemních vod se porovnává suma odběrů vůči hodnotám přírodních zdrojů podzemních vod v plošné jednotce (HGR, viz *obr. 3*). Z důvodu předběžné opatrnosti byl zvolen ve VÚV TGM po dohodě s MŽP (odbor ochrany vod) a MZe (sekce vodního hospodářství) takový metodický přístup, že rajony jsou bilančně hodnoceny poměrem mezi maximální měsíční hodnotou odběru v daném roce a minimální měsíční hodnotou základního odtoku ve stejném roce (MAX/MIN) [12–14]. Jde tedy o identifikaci potenciálně nejnepříznivějšího stavu v rámci hodnoceného roku. V případě, že poměr MAX/MIN je větší než 0,5, jde o rajony bilančně napjaté a je nutné další hodnocení v měsíčním kroku, kdy jsou porovnávány měsíční hodnoty základního odtoku a skutečné měsíční odběry. Pokud je bilanční napjatost potvrzena i analýzou měsíčních údajů, z odborného pohledu by mělo následovat detailní hydrogeologické hodnocení rajonu včetně hydraulického modelu proudění podzemní vody za účelem zjištění skutečné situace, identifikace problému a možnosti jeho nápravy. Zajímavou úvahou může být, jak by bilanční napjatost rajonů vycházela, kdyby se použily místo skutečných odběrů odběry povolené, to však přesahuje zaměření tohoto článku.

VÝSLEDKY – PŘÍKLADY BILANCOVÁNÍ V HYDROGEOLOGICKÝCH RAJONECH ČESKÉ KŘÍDOVÉ PÁNVE

Na *obr. 3* je vymezena oblast, z níž byly pro ukázku používaných postupů vybrány čtyři HGR české křídové pánve, které jsou pravidelně vykazovány jako bilančně napjaté. V současné době jsou HGR s pravidelně vykazovanou bilanční napjatostí 4522, 4410 a 4430 součástí aplikovaného výzkumu podpořeného TA ČR (č. SS06010268 *„Poznání, kvantifikace a ochrana strategických zdrojů podzemní vody české křídové pánve hlubokého oběhu v hydrogeologických rajonech 4410 a 4522"* a č. SQ01010176 *„Dopady změny klimatu na minimální zůstatkové průtoky v říční síti Jizery a na odběry podzemní vody v blízkosti toku"*). Z důvodu prostorové návaznosti byl pro účely tohoto článku zhodnocen i sousední rajon 4523, který je vykazován také jako napjatý.

Zásadní výsledky jsou očekávány především od projektu č. SS06010268, jehož cílem je lepší poznání hydrogeologického pánevního prostředí svrchnokřídových sedimentů a mj. zodpovězení otázky, zda napjatost pravidelně zde zjišťovaná nemůže souviset i s nesprávným vymezením hranic současných rajonů, které by tak nemusely charakterizovat uzavřené hydrogeologické struktury. Již dnes existují vážné indicie (analýzy tritia, výpočty doby zdržení, výsledky stanovení stopovačů CFC/SF6 a konceptuální model proudění podzemních vod [15, 16]) vyžadující nový pohled na směry proudění podzemní vody v území na styku HGR 4522, 4410, 4521 a 4640. Pokud se nové pohledy potvrdí, výsledky výzkumu by se mohly promítnout i do hodnocení bilanční napjatosti těchto území.

K ilustraci dosahovaných výsledků při zpracování vodohospodářské bilance byly využity čtyři HGR:

- HGR 4410 Jizerská křída pravobřežní
- HGR 4430 Jizerská křída levobřežní
- HGR 4522 Křída Liběchovky a Pšovky
- HGR 4523 Křída Obrtky a Úštěckého potoka

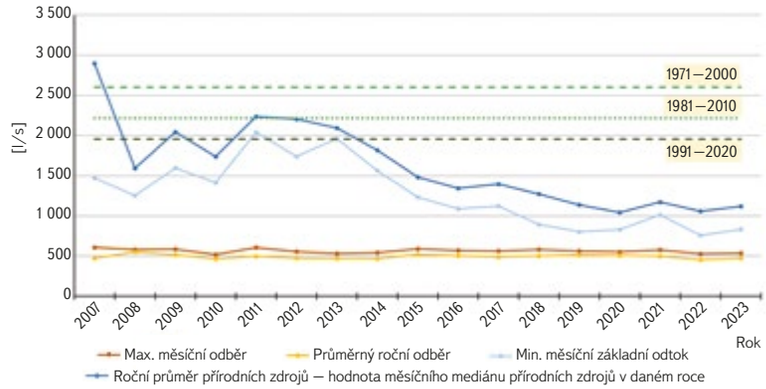
Uvedené HGR jsou v bilančním hodnocení dlouhodobě označovány za napjaté (*obr. 3*), přičemž je potřeba brát v úvahu, že se v tomto hodnocení uvažuje nejnepříznivější stav v daném roce (poměr maximálního měsíčního odběru a minimálního měsíčního základního odtoku je větší než 0,5). Jde o první signál, že je zapotřebí daný rajon v případě označení napjatosti dále vyhodnotit v měsíčním kroku, kde je patrné rozložení daných ukazatelů v průběhu celého období. Rajon 4410 je označován jako napjatý pravidelně od roku 2016, rajon 4430 od roku 2012 a rajony 4522 a 4523 od roku 2007, resp. 2008.

Jmenované rajony byly tedy posouzeny z hlediska přírodních zdrojů podzemní vody a odběrů za období 2007–2023 nejprve porovnáním maximálního měsíčního odběru a minimálního měsíčního základního odtoku spolu s dlouhodobými hodnotami základního odtoku (období 1971–2000, 1981–2010 a 1991–2020) a poté také porovnáním měsíčního základního odtoku a skutečných měsíčních odběrů za období 2007–2023.

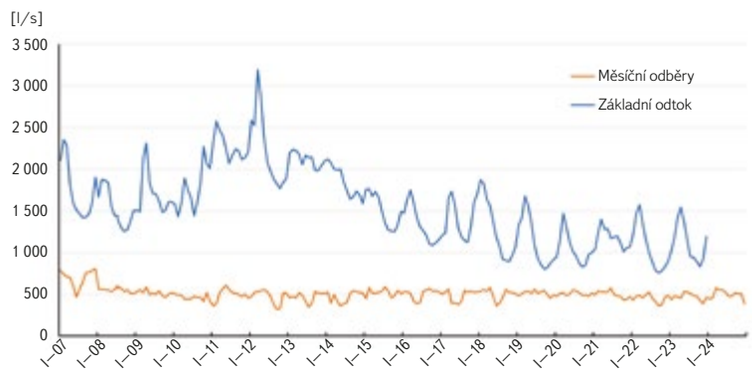
HGR 4410 Jizerská křída pravobřežní

V území jsou dva samostatné hydrogeologické křídové kolektory. Bazální kolektor A (který je součástí dvou rajonů hlubinné vrstvy – HGR 4710 Bazální křídový kolektor na Jizeře a 4720 Bazální křídový kolektor od Hamru po Labe) je vázán na aleurity a psamity cenomanského stáří, zatímco kolektor C (tvořící hlavní součást HGR 4410 základní vrstvy) je vázán na psamity a aleurity turonského stáří. Slínovcové souvrství báze spodního turonu má funkci hydrogeologického izolátoru mezi oběma kolektory, potažmo rajony. Hlavním zdrojem podzemní vody pro vodárenské odběry v HGR 4410 jsou pískovce jizerského souvrství jako hydrogeologický kolektor C. Část území je překryta artéským stropem coniackých slínovců [10]. Dotace podzemních vod probíhá částečně v ploše rajonu a částečně je zprostředkována přetokem vody z okolních HGR, případně influkcí z toku Jizery. Je nepochybné, že největší odběry z rajonu 4410 v jímacím území Kochánky jsou v úzké hydraulické spojitosti s tokem Jizery (odběry z kvartéru Jizery, který je součástí HGR 4410). Odběry v povodí Bělé a Strenického potoka mohou souviset s přetoky podzemní vody z území mimo HGR 4410.

Z *obr. 4* plyne, že roční hodnoty odběrů jsou trvale pod hodnotami přírodních zdrojů, resp. základního odtoku, což platí i pro porovnání maximálního měsíčního odběru a minimálního měsíčního základního odtoku. Pravidelně je však překračováno kritérium poměru MAX/MIN ve výši 0,5, proto je rajon opakovaně řazen mezi bilančně napjaté. Od roku 2014 lze navíc vysledovat postupné sbližování obou hodnot, a to hlavně v důsledku klesajících přírodních zdrojů při zachování konstantních odběrových množství (poměr MAX/MIN postupně roste). Je také zřetelný pokles (o cca 20 %) po sobě jdoucích 30letých průměrů přírodních zdrojů (1971–2000, 1981–2010, 1991–2020), nepochybně jako doklad dopadů změny klimatu. Z porovnání hodnot základního odtoku a odběrů v měsíčním kroku (*obr. 5*) vyplývá, že odběry jsou v měsíčním pohledu trvale pod hodnotami základního odtoku, často ale tvoří více než 50 % přírodních zdrojů (základního odtoku); zařazení mezi bilančně napjaté rajony je proto podle používané metodiky oprávněné.



Obr. 4. Roční charakteristiky pro základní bilanční hodnocení HGR 4410 včetně dlouhodobého charakteristického období 1971–2000, 1981–2010 a 1991–2020
Fig. 4. Annual characteristics for basic balance assessment of HGR 4410, including long-term reference periods 1971–2000, 1981–2010, and 1991–2020



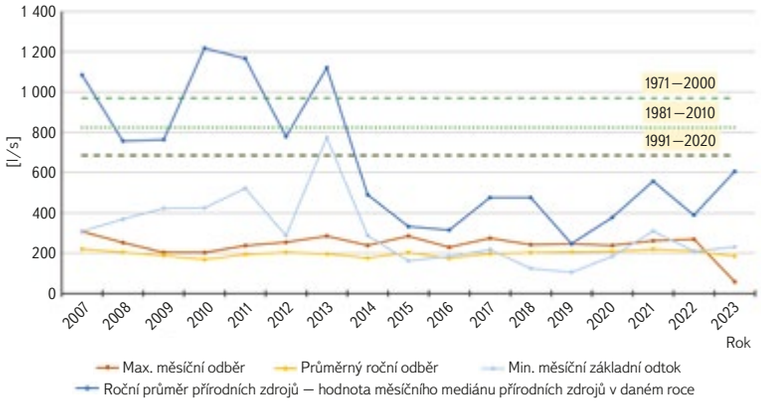
Obr. 5. Zpracování vodohospodářské bilance v měsíčním kroku – období 2007–2023 [17, 18]
Fig. 5. Water management balance in a monthly step, 2007–2023 [17, 18]

4430 Jizerská křída levobřežní

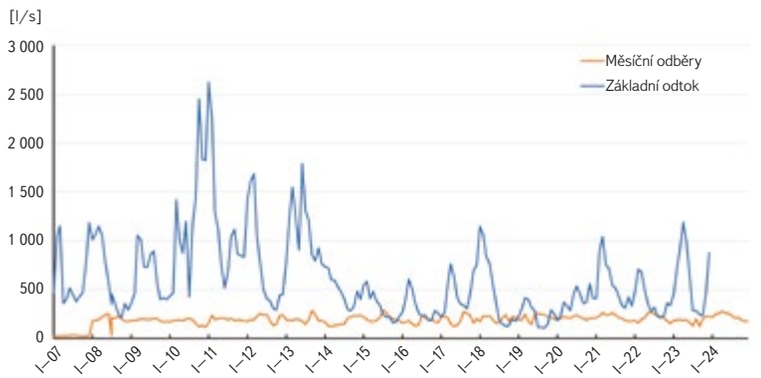
V území jsou vyvinuty tři samostatné hydrogeologické křídové kolektory [10]:

- bazální kolektor A v cenomanských psamitech a aleuritech (tvořící samostatný HGR 4710 hlubinné vrstvy Bazální křídový kolektor na Jizeře),
- střední kolektor C vázaný na psamity turonského stáří, rozdělený izolátorskými vrstvami na dva hlavní subkolektory, který se směrem na východ dále štěpí a vykliňuje (tvořící zájmový kolektor základní vrstvy 4430) a dále na východ přechází do hydrogeologicky neproduktivní labské křídy ve slínitém vývoji (HGR 4360),
- svrchní kolektor D vázaný na psamity coniackého stáří, tvořící samostatný kolektor svrchní vrstvy 4420, vyskytující se na části plochy kolektoru 4430.

HGR 4430 je na větší části území překryt artéským stropem coniackých slínovců. Dotace podzemních vod probíhá přímou infiltrací v ploše rajonu jen velmi omezeně, z větší části je nepřímá, zprostředkovaná přetokem vody z rajonů 4420 a 4410, případně influkcí z toku Jizery, zvláště v místech odběrů. Je nepochybné, že největší odběry z rajonu 4430 v Benátkách nad Jizerou (z kvartéru Jizery) jsou ve významné hydraulické spojitosti s tokem Jizery. Hydraulickou



Obr. 6. Roční charakteristiky pro základní bilanční hodnocení HGR 4430 včetně dlouhodobého charakteristického období 1971–2000, 1981–2010 a 1991–2020
Fig. 6. Annual characteristics for basic balance assessment of HGR 4430, including long-term reference periods 1971–2000, 1981–2010, and 1991–2020



Obr. 7. Zpracování vodohospodářské bilance v měsíčním kroku – období 2007–2024 [17, 18]
Fig. 7. Water management balance in a monthly step, 2007–2024 [17, 18]

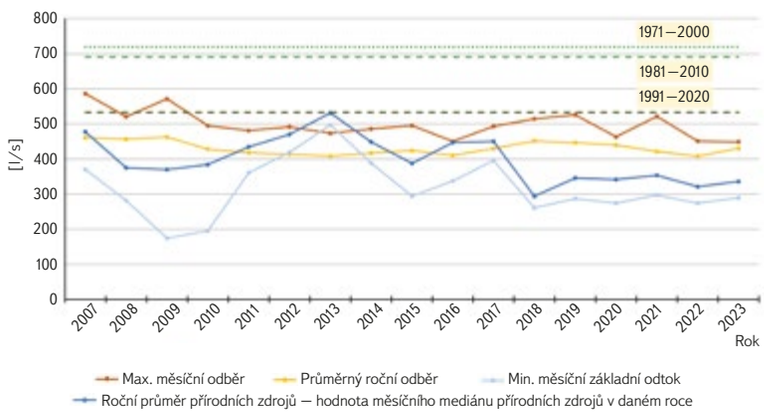
spojitost s povrchovými toky lze ale předpokládat i u dalších menších odběrů v celé ploše HGR.

Z *obr. 6* plyne, že roční hodnoty průměrných odběrů jsou trvale pod hodnotami průměrných přírodních zdrojů, resp. základního odtoku. Pravidelně je však překračováno kritérium poměru MAX/MIN ve výši 0,5, proto je rajon pravidelně řazen mezi bilančně napjaté. Od roku 2014 lze navíc vysledovat výrazné sbližování obou hodnot, a to hlavně v důsledku klesajících přírodních zdrojů, při zachování konstantních odběrových množství (poměr MAX/MIN postupně roste). Při porovnání měsíčních hodnot (*obr. 7*) odběru a základního odtoku lze však dokonce konstatovat občasné překročení hodnot odběrů nad hodnoty přírodních zdrojů, zvláště po roce 2015 se tento dlouhodobě nepřijatelný stav stává pravidlem. Je také zřetelný vliv dlouhého období sucha 2015–2019, v jehož důsledku vychází poslední 30letý průměr přírodních zdrojů 1991–2020 nejnižší (až o 27 % za období 1971–2020) ve srovnání s předchozími dvěma obdobími (1971–2000, 1981–2010), nepochybně jako doklad dlouhodobých dopadů změny klimatu.

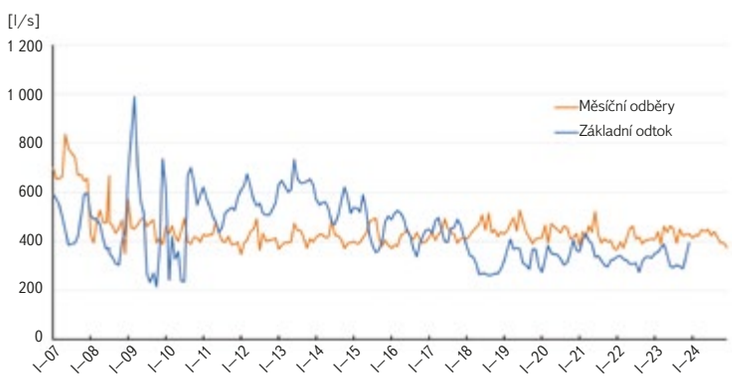
4522 Křída Liběchovky a Pšovky a 4523 Křída Obrtky a Úštěckého potoka

Oba rajony zahrnují území pravostranných přítoků Labe od Mělníka po Litoměřice, kde dochází v povodí Pšovky, Liběchovky, Obrtky a Úštěckého potoka k významnému odvodnění sedimentů české křídové pánve (zásadní infiltrační území leží částečně i mimo plochy těchto rajonů) a kde dochází k velmi významným vodárenským odběrům. V území se nalézají dva hlavní hydrogeologické kolektory: bazální kolektor A vázaný na psamity a psefity cenomanského stáří (tvořící součást hydrogeologického kolektoru hlubinné vrstvy 4720 Bazální kolektor od Hamru po Labe) a kolektor C vázaný na sedimenty jizerského souvrství turonského stáří, tvořící zde diskutované HGR 4522 a 4523. Kvartérní kolektor je v hydraulické souvislosti s kolektorem C, nelze ho samostatně vyčleňovat a posuzovat, a je tak součástí obou rajonů 4522 a 4523 [10]. Dochází zde k významným odběrům podzemních vod z jímacích území Řepínský důl, Zahájí, Mělnická Vrutice a dalších zdrojů.

Z *obr. 8* plyne, že roční hodnoty průměrných odběrů v HGR 4522 jsou většinou vyšší než hodnoty přírodních zdrojů, resp. základního odtoku. Při porovnání maximálního měsíčního odběru a minimálního měsíčního základního odtoku se tento rozdíl ještě zvýrazňuje a trvá prakticky po celé hodnocené období 2007–2023. Od roku 2018 lze vysledovat dokonce ještě zvětšování rozdílu hodnot přírodních zdrojů a odběrů, a to hlavně v důsledku mírného poklesu přírodních zdrojů, při zachování relativně konstantních odběrových množství. Pravidelně je tak překračováno kritérium poměru MAX/MIN ve výši 0,5 (dosahuje hodnot větších než 1), proto je rajon oprávněně pravidelně řazen mezi bilančně napjaté. Je zde také zřetelný vliv období sucha 2015–2019, v jehož důsledku vychází poslední 30letý průměr přírodních zdrojů 1991–2020 nejnižší ve srovnání s předchozími dvěma obdobími (1971–2000, 1981–2010), a to až o 24 % za období 1971–2020, nepochybně jako doklad dlouhodobých dopadů změny klimatu. Z porovnání hodnot základního odtoku a odběrů v měsíčním kroku (*obr. 9*) vyplývá, že cca do roku 2015 byla



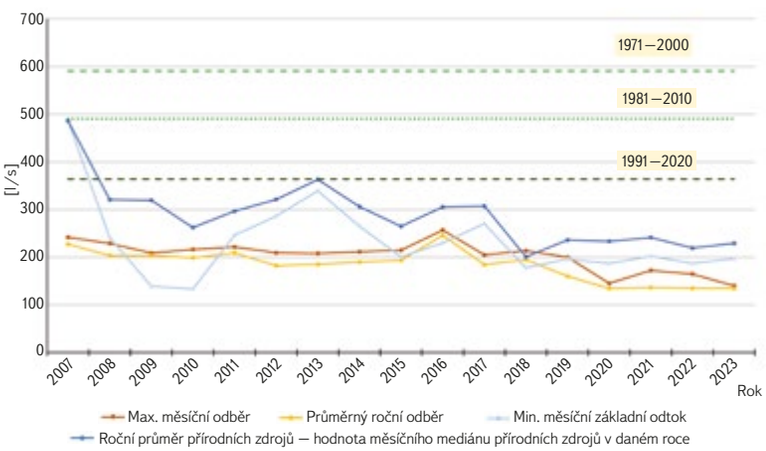
Obr. 8. Roční charakteristiky pro základní bilanční hodnocení HGR 4522 včetně dlouhodobého charakteristického období 1971–2000, 1981–2010 a 1991–2020
Fig. 8. Annual characteristics for basic balance assessment of HGR 4522, including long-term reference periods 1971–2000, 1981–2010, and 1991–2020



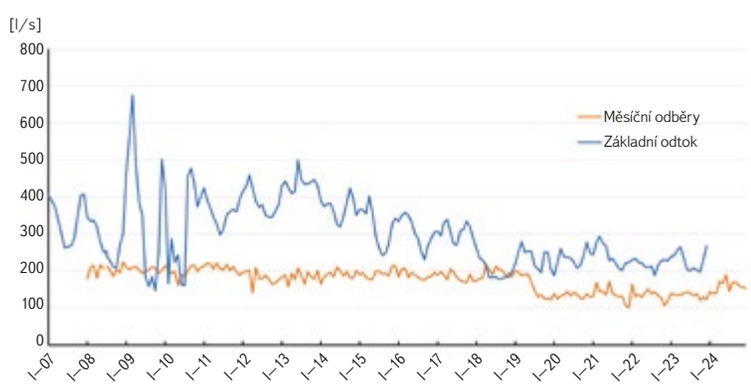
Obr. 9. Zpracování vodohospodářské bilance v měsíčním kroku – období 2007–2024 [17, 18]
Fig. 9. Water management balance in a monthly step, 2007–2024 [17, 18]

situace relativně příznivější (odběry byly většinou nižší než hodnoty základního odtoku, ale i tehdy tvořily více než 50 % hodnoty základního odtoku). Zhruba od roku 2018 jsou však měsíční odběry trvale nad hodnotami základního odtoku, což je dlouhodobě nepřijatelný stav, který by se měl projevovat v poklesech hladin a statických zásob podzemní vody (stav přečerpávání hydrogeologické struktury, tzv. overexploitation).

Obr. 10 ukazuje stav bilanční napjatosti v HGR 4523. Situace je zde o něco lepší. Odběry jsou většinou nižší než hodnoty ročního průměru přírodních zdrojů, ale cca od roku 2015 se hodnoty odběrů a přírodních zdrojů významně přibližují, a to hlavně v důsledku poklesu přírodních zdrojů. Díky současnému poklesu odběrů nedošlo zatím k překročení odběrů nad přírodní zdroje. Pravidelně a dlouhodobě je však překračováno kritérium poměru MAX/MIN ve výši 0,5, proto je rajon oprávněně řazen mezi bilančně napjaté. Je také zřetelný a velmi výrazný pokles po sobě jdoucích 30letých průměrů přírodních zdrojů (1971–2000, 1981–2010, 1991–2020), a to až o 37 % za období 1971–2020, nepochybně jako doklad dopadů změny klimatu. Z porovnání hodnot základního odtoku a odběrů v měsíčním kroku (*obr. 11*) vyplývá příznivější situace – po většinu hodnoceného období jsou měsíční odběry pod hodnotami měsíčních přírodních zdrojů (pokud pomineme rozkolísané hodnoty základního odtoku 2009–2011, opačný stav nastal jen během roku 2018, v posledních letech i díky poklesu evidovaných odběrů). Kritérium poměru MAX/MIN ve výši 0,5 je z pohledu měsíčních hodnot překračováno jen málokdy. Z metodického pohledu se zde proto ukazuje velká užitečnost zkoumání bilanční napjatosti v měsíčním kroku.



Obr. 10. Roční charakteristiky pro základní bilanční hodnocení HGR 4523 včetně dlouhodobého charakteristického období 1971–2000, 1981–2010 a 1991–2020
Fig. 10. Annual characteristics for basic balance assessment of HGR 4523, including long-term characteristic periods 1971–2000, 1981–2010, and 1991–2020



Obr. 11. Zpracování vodohospodářské bilance v měsíčním kroku – období 2007–2024 [17, 18]
Fig. 11. Processing of water management balance in a monthly step – period 2007–2024 [17, 18]

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Hydrogeologický rajon 4410

Celkové odběry z rajonu 4410 nezpůsobují regionální poklesy hladin a snížení statických zásob. Jeho zařazení do bilančně napjatých rajonů (*obr. 3*) je však opodstatněné častým překročením kritéria MAX/MIN (*obr. 4*), a to i po bilanční analýze v měsíčním kroku (*obr. 5*). Bilanční napjatost se může projevovat zvláště lokálně v místech velkých odběrů. Je třeba také upozornit na postupně se snižující rozdíl mezi přírodními zdroji a odběry, a to jak v ročním, tak v měsíčním pohledu (viz též postupně se snižující 30leté průměry přírodních zdrojů), což v souvislosti s dopady změny klimatu vyvolává jisté obavy o další růst bilanční napjatosti v budoucnu. Pokud však při některých odběrech na Bělé a Strenickém potoce hraje významnou roli podzemní voda původem ze vzdálenějších infiltračních území s delší dobou zdržení [16], dopady změny klimatu na tyto odběry lze očekávat výrazně menší.

Z hlediska ochrany zdrojů podzemní vody rajonu 4410 do budoucna doporučujeme další velké odběry povolovat jen po pečlivém zvážení disponibilních zdrojů podzemní vody a jejího původu. Změna klimatu bude nesporně limitovat zdroje mělčího oběhu. Hlubší proudění podzemní vody s delší dobou zdržení (především od západu až SZ z HGR 4640), výrazně lépe odolné vůči dopadům změny klimatu, však poskytuje významné možnosti využití těchto méně zranitelných podzemních zdrojů, jejichž kvantifikací se mj. zabývá současně řešený projekt TA ČR č. SS06010268 [15]. Při ochraně tvorby podzemních vod tohoto hlubšího proudění je zásadní ochrana infiltračních území (zvláště území s vyššími nadmořskými výškami a vyššími srážkovými úhrny). Vzhledem k existenci Jizery a některých dalších vodních toků je v tomto rajonu i určitý potenciál pro navýšení zdrojů podzemní vody ve formě aplikace metod řízené dotace podzemních vod [19].

Hydrogeologický rajon 4430

Celkový odběr z rajonu 4430 zatím nezpůsobuje regionální pokles hladiny a snížení statických zásob podzemní vody, jeho zařazení do bilančně napjatých rajonů (*obr. 3*) je ale také plně opodstatněné v důsledku častého překročení kritéria MAX/MIN (*obr. 6*), a to i po bilanční analýze v měsíčním kroku (*obr. 7*). Zvláště od roku 2014 se navíc hodnoty odběrů a přírodních zdrojů sobě velmi přibližují, především v důsledku poklesu přírodních zdrojů vlivem změny klimatu. I po bilanční analýze v měsíčním kroku (*obr. 7*) je zřejmé, že obě křivky jsou si blízké, a dokonce existují měsíce s vyššími úhrny odběrů, než jsou hodnoty základního odtoku (poměr MAX/MIN tedy vychází větší než 1). Je třeba také upozornit na výrazně se snižující 30leté průměry přírodních zdrojů (o 27 % za období 1971–2020), což do budoucna – v souvislosti s dopady změny klimatu – vyvolává další obavy, jež by mohly vyústit v řízené nebo neřízené snižování odběrů, anebo realizaci odběrů na úkor povrchových průtoků (Jizera a její přítoky).

Z hlediska ochrany zdrojů podzemní vody rajonu 4430 je třeba poukázat na poměrně limitované další disponibilní zdroje. Do budoucna doporučujeme další větší odběry povolovat jen po pečlivém zvážení situace a lokální bilanční napjatosti. Relativně vyšší vydatnost mohou poskytovat zdroje počítající s indukovanými zdroji z blízkých povrchových toků (Jizera a její přítoky), což může mít ale v případě dlouhotrvajícího sucha nepříjemné důsledky na průtokové charakteristiky povrchových toků a jejich ekologické funkce. Při ochraně tvorby podzemních vod rajonu 4430 je zásadní ochrana infiltračních území v HGR 4420 Jizerský coniak a také velikost odběrů v sousedních HGR 4410 a 4420 – při jejich razantním zvýšení by se omezily přetoky z těchto rajonů do HGR 4430. Lze proto doporučit, aby se z bilančního pohledu posuzovaly tyto tři HGR společně. Vzhledem k existenci Jizery a některých dalších vodních toků je v tomto rajonu i určitý potenciál pro navýšení zdrojů podzemní vody ve formě aplikace metod řízené dotace podzemních vod [19].

Hydrogeologické rajony 4522 a 4523

Ukazuje se, že křídové útvary pravostranných přítoků Labe jsou územím, kde vlivem významných odběrů podzemních vod a současně vážných projevů změny klimatu dochází ke skutečné bilanční napjatosti nebo k její vážné hrozbě. Jsou zde evidovány jevy jako ztráty vody v povrchových tocích (odběry jsou tedy realizovány na úkor odvodnění podzemní vody do povrchového toku), případně dokonce odběry aktivně způsobují ztrátu povrchové vody z toku v důsledku břehové indukce, to vše s dopadem na průtokové charakteristiky a minimální zůstatkové průtoky povrchového toku. Negativní vliv je zaznamenán na dolním toku Pšovky (v důsledku složitých poměrů proudění podzemní vody), kde dochází dlouhodobě v letních měsících k vysychání části vodního toku. Dopady jsou registrovány i na některých dalších tocích (Obrtka).

Záležitost je dlouhodobě podrobně sledována a jsou prováděna různá opatření. Na základě Plánu oblasti povodí Dolního Labe (listy opatření) bylo provedeno mnoho studií a proběhla řada společných jednání i hydrogeologických průzkumů a ze všech poznatků vyplynula nutnost provedení nápravných a ochranných opatření včetně snížení odebíraného množství podzemních vod (viz snížení odběrů po roce 2019 na *obr. 11*). V současné době má vodárenský operátor vydáno povolení k odběru podzemních vod z lokalit Řepínský důl, Zahájí a Mělnická Vrutice ve výši 370 l/s, v němž je již významně snížena hranice maximálního odběru podzemních vod v této lokalitě. V jímacím území Mělnická Vrutice probíhá režimní monitoring s podrobným vyhodnocením. Z výsledků monitoringu vyplývá, že využití povodí Pšovky je blízké 100 % současných přírodních zdrojů.

HGR 4522 vychází v rámci bilančního hodnocení jako vysoce napjatý a tuto skutečnost je třeba zohlednit při povolování dalších odběrů podzemních vod v rámci tohoto HGR, zvláště při očekávání dalšího prohlubování dopadů klimatické změny na vodní poměry. V případě HGR 4523 je situace jen mírně příznivější. Je tu však zaznamenán největší pokles přírodních zdrojů za období 1971–2020 ze všech čtyř hodnocených rajonů – až 37 %, nejrychleji zde tedy ubývá disponibilních přírodních zdrojů, což do budoucna neposkytuje příliš optimistický výhled na stav bilanční napjatosti.

Pokud se výzkumem v rámci projektu TA ČR č. SS06010268 prokáže, že část přírodních zdrojů podzemní vody pochází z území mimo HGR 4522 [15, 16], může to mít dopad na snížení bilanční napjatosti v rajonu 4522. Současně se z konceptuálního modelu ukazuje existence odděleného proudění podzemní vody v hlubších turonských subkolektorech, které se podařilo v rámci projektu *„Rebilance zásob podzemní vody"* identifikovat. Do budoucna by bylo proto logické bilanci zpracovávat v rámci těchto subkolektorů, protože se ukazuje významná odlišnost v bilanční napjatosti různých subkolektorů; legitimní je ale otázka, zda pro tuto podrobnou bilanci podle subkolektorů bude dostatek relevantních dat.

Z hlediska ochrany zdrojů podzemní vody v HGR 4522 a 4523 je třeba upozornit na poměrně limitované další disponibilní zdroje. Do budoucna doporučujeme další větší odběry nepovolovat, případně jen po pečlivém zvážení situace, stavu lokální bilanční napjatosti a ověření stáří a původu přítoku vody. Změna klimatu bude nesporně limitovat zdroje mělčího oběhu. Hlubší proudění podzemní vody s delší dobou zdržení výrazně lépe odolné vůči dopadům změny klimatu však poskytuje jisté možnosti k využití těchto méně zranitelných podzemních zdrojů [15, 16]. Při ochraně tvorby podzemních vod tohoto hlubšího proudění je zásadní ochrana infiltračních území (jak území obou zájmových rajonů, tak i území HGR 4640 s vyššími nadmořskými výškami a vyššími srážkovými úhrny). Teoreticky je v obou HGR i určitý potenciál pro navýšení zdrojů podzemní vody ve formě aplikace metod řízené dotace podzemních vod [19], tyto úvahy však narážejí na nedostatek povrchových zdrojů vody i nižší úhrny srážek. Prakticky jediným větším zdrojem vody pro zasakování je tok Labe, jižní části obou rajonů by tak mohly připadat v úvahu pro diskuze na toto téma, jejichž součástí by však musely být i jakostní aspekty labské vody.

ZÁVĚR

Tento text se zaměřuje na dlouhodobé hodnocení vodohospodářské bilance ve vybraných HGR české křídové pánve – konkrétně HGR 4410 (Jizerská křída pravobřežní), HGR 4430 (Jizerská křída levobřežní), HGR 4522 (Křída Liběchovky a Pšovky) a HGR 4523 (Křída Obrtky a Úštěckého potoka) – za období let 2007–2023. Cílem článku bylo ilustrovat postup prací a identifikovat míru napjatosti těchto rajonů na základě porovnání měsíčních odběrů podzemních vod s minimálními měsíčními hodnotami základního odtoku, a to i ve vztahu k dlouhodobým hydrologickým charakteristikám (období 1971–2000, 1981–2010, 1991–2020).

Zmíněné HGR jsou ve většině případů dlouhodobě hodnoceny jako napjaté, což ukazuje na nutnost důkladnějšího řízení odběrů a ochrany vodních zdrojů. Významná pozornost je věnována rajonům 4522 a 4523, kde nadměrné odběry (občas dokonce nad hodnotami přírodních zdrojů) způsobují vysychání povrchových toků během suchých období. Tyto dopady vedly k revizi odběrových limitů, zavedení režimního monitoringu a k přijetí nápravných opatření na základě výsledků posouzení vlivů na životní prostředí (EIA).

Zároveň je článek zasazen do rámce aktuálně probíhajícího aplikovaného výzkumu (projekty TA ČR č. SS02030027, č. SS06010268, č. SQ01010176, č. SS01010208), jejichž cílem je zpřesnění poznatků o hydrogeologickém prostředí, včetně redefinice hranic jednotlivých rajonů, podrobného objasnění interakce mezi povrchovou a podzemní vodou a identifikace dopadů sucha na podzemní vodní zdroje. Existující indikace (např. výsledky analýzy tritia a dalších stopovačů, výpočty doby zdržení a konceptuální modely proudění podzemní vody) naznačují, že hranice HGR 4410 a 4522 mohou být nesprávně stanoveny z hlediska skutečného vedení hydrogeologických rozvodnic [15, 16], což by mělo vliv na interpretaci bilančních výsledků i plánování vodohospodářského využití zdrojů podzemní vody. Pokud jsou v rámci doposud chápaných jednotných hydrogeologických kolektorů identifikovány dílčí subkolektory s odlišnými charakteristikami proudění podzemní vody, je také legitimní otázka potřeby odděleného bilancování podzemní vody po jednotlivých subkolektorech, protože souhrnná bilance zahrnující několik prostředí se vzájemně nesouvisející podzemní vodou může zkreslovat skutečný bilanční stav. Vlastní realizace odděleného bilancování po jednotlivých subkolektorech ale závisí na dostatku relevantních vstupních dat. Jako velmi užitečná se jeví i bilanční analýza v podrobnějším měsíčním kroku, která poskytuje přesnější pohled než rámcová analýza v ročním kroku. A pokud je bilanční napjatost potvrzena i v měsíčním kroku, z odborného pohledu by mělo následovat detailní hydrogeologické hodnocení rajonu včetně hydraulického modelu proudění podzemní vody za účelem zjištění skutečné situace, identifikace problému a možnosti jeho nápravy.

Celkově text podtrhuje nutnost důkladné znalosti hydrogeologického prostředí (optimálně na základě matematického modelování proudění podzemní vody), potřeby kontinuálního monitoringu, hodnocení a případné revize rámcových podmínek pro odběry podzemních vod s důrazem na udržitelné hospodaření a zajištění ochrany vodních zdrojů v dlouhodobém horizontu, kdy se budou postupně stále více projevovat negativní dopady změny klimatu (snižování infiltrace, poklesy hladin a zmenšování přírodních zdrojů podzemní vody). Ochrana kvantity podzemní vody znamená zajistit především dostatečnou ochranu území infiltrace – jež však musí být nejdříve spolehlivě identifikováno –, a dále pečlivý přístup k řízení odběrů podzemní vody, s preferencí odběrů pro zásobování pitnou vodou (§ 29 vodního zákona [2]). Závěry článku přinášejí důležité podklady pro správu podzemních vod, nastavování povolení k odběrům a celkové strategické řízení vodních zdrojů v podmínkách klimatické změny a rostoucích tlaků na jejich využívání [20, 21].

Závěrem je vhodné uvést, že i aspekt nižší ceny podzemní vody (ve srovnání s vodou povrchovou) má negativní vliv na hospodaření se zdroji podzemní vody. Cena povrchové vody je v ČR významně vyšší než cena vody podzemní, což často vede k přednostnímu, leckde i nadměrnému a mnohdy nevhodnému využívání podzemní vody oproti vodě povrchové (např. ve formě odběrů pro jiné než vodárenské účely). Úprava ceny za odběry podzemní vody by znamenala významný ekonomický nástroj v ochraně dostupných zdrojů podzemní vody. Získané finanční prostředky

z vyšších poplatků za odběr, které by byly vloženy zpět do dalších průzkumných a monitorovacích prací se zaměřením na jímací a infiltrační území, by byly velkým přínosem pro zvýšení znalostí o hydrogeologickém prostředí a pro dlouhodobé bezproblémové využívání a zajištění potřebné ochrany podzemní vody v celé ČR.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory Technologické agentury ČR v rámci financování výzkumného projektu č. SS02030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda)", řešeného v letech 2020–2026, projektu č. SS06010268 „Poznání, kvantifikace a ochrana strategických zdrojů podzemní vody české křídové pánve hlubokého oběhu v hydrogeologických rajonech 4410 a 4522", řešeného v letech 2023–2026, projektu č. SQ01010176 „Dopady změny klimatu na minimální zůstatkové průtoky v říční síti Jizery a na odběry podzemní vody v blízkosti toku", řešeného v letech 2025–2028, a také v rámci implementace výsledků projektu č. SS01010208 „Řízená dotace podzemních vod jako nástroj k omezení dopadů sucha v ČR", řešeného v letech 2020–2023.

Literatura

[1] *Vyhláška č. 5/2011 Sb., o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod.*

[2] *Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).*

[3] *Informační systém veřejné správy – VODA (ISVS VODA)*. Praha: MZe. Dostupné z: https://voda.gov.cz/

[4] *Vyhláška č. 431/2001 Sb., o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci.*

[5] HRABÁNKOVÁ, A., DATEL, J. V. Bilancování podzemních vod v ČR na příkladech několika svrchnokřídových rajonů. In: *9. ročník odborné konference Podzemní vody ve vodárenské praxi. Studio AXIS a FINGEO, Rychnov nad Kněžnou, 24.–25. 4. 2024*. Dostupné z: http://www.podzemni-vody.cz

[6] MIXA, P., KADLECOVÁ, R. et al. *Rebilance zásob podzemní vody*. Praha: Česká geologická služba, 2016. Dostupné z: https://cgs.gov.cz/projekty/668000-rebilance

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

[8] *Vyhláška č. 393/2010 Sb., o oblastech povodí.*

[9] VRV. *Státní vodohospodářský plán 1972*. Praha: Vodohospodářský rozvoj a výstavba, a. s., 1973.

[10] OLMER, M., KESSL, J. et al. *Hydrogeologické rajony*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1990. ISBN 80-209-0114-0.

[11] OLMER, M., HERRMANN, Z., KADLECOVÁ, R., PRCHALOVÁ, H. et al. *Hydrogeologická rajonizace České republiky*. Praha: Česká geologická služba, 2006. Sborník geologických věd, 23. ISBN 80-7075-660-8.

[12] BEČVÁŘ, V. et al. *Státní vodohospodářská bilance a metody jejího zpracování. Metodika úkolu na rok 2001*. Praha: VÚV TGM, MŽP, 2001.

[13] DLABAL, J. et al. *Bilance, kontrola a hodnocení v oblasti ochrany množství a jakosti vod. Metodika úkolu na rok 2008*. Praha: VÚV TGM, MŽP, srpen 2008.

[14] VYSKOČ, P., PRCHALOVÁ, H., FILIPPI, R., PICEK, J., DLABAL, J. *Výpočet vodohospodářské bilance*. Praha: VÚV TGM, MŽP, duben 2018.

[15] BRUTHANS, J., DATEL, J. V., SLAVÍK, M., HRABÁNKOVÁ, A., MAREŠ, J., PRINZ, J. *Poznání, kvantifikace a ochrana strategických zdrojů podzemní vody české křídové pánve hlubokého oběhu v hydrogeologických rajonech 4410 a 4522. Odborná zpráva k průběžné zprávě za rok 2024*. Praha: VÚV TGM, PřF UK, 2025. Dostupné z: https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/projekty/strategickezdroje/

[16] MAREŠ, J., SLAVÍK, M., DATEL, J. V. Problematika starých podzemních vod v hydrogeologických rajonech 4410 Jizerská křída pravobřežní a 4522 Křída Liběchovky a Pšovky. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2024, 66(5), s. 22–31. ISSN 0322-8916. Dostupné z: https://www.vtei.cz/2024/10/problematika-starych-podzemnich-vod-v-hydrogeologickych-rajonech-4410-jizerska-krida-pravobrezni-a-4522-krida-libechovky-a-psovky-2/

[17] VÚV TGM. *Hydroekologický informační servis*. Praha: VÚV TGM. Dostupné z: https://heis.vuv.cz/

[18] ČHMÚ. *Český hydrometeorologický ústav*. Praha. Dostupné z: https://www.chmi.cz/

[19] DATEL, J. V. et al. *Řízená dotace podzemních vod jako nástroj k omezení dopadů sucha v ČR. Projekt SS01010208. Závěrečná zpráva*. Praha: VÚV TGM, 2023. Dostupné z: https://www.vuv.cz/rizena-dotace-podzemnich-vod-jako-nastroj-k-omezeni-dopadu-sucha-v-cr/o-projektu-36/

[20] POLEDNÍČEK, P., RACÍKOVÁ, J., KALČÍK, M. *Vodohospodářská bilance dílčího povodí Ohře, dolního Labe a ostatních přítoků Labe. Hodnocení kalendářního roku 2022*. Chomutov: Povodí Ohře, září 2023.

[21] SKALICKÁ, I., ŠRAUT, B., VACULÍKOVÁ, Š. *Vodohospodářská bilance za rok 2022. Zpráva o hodnocení množství a jakosti podzemních vod v územní působnosti Povodí Labe, státní podnik*. Hradec Králové: Povodí Labe, září 2023.

Autoři

Ing. Anna Hrabánková
✉ anna.hrabankova@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-1631-0700

RNDr. Josef Vojtěch Datel, Ph.D.
✉ josef.datel@vuv.cz
ORCID 0000-0003-1451-0135

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

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.07.001

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

DEVELOPMENT AND CURRENT PRACTICE OF GROUNDWATER BALANCE IN CZECH REPUBLIC: FROM RESERVE CLASSIFICATION TO COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF NATURAL RESOURCES

HRABÁNKOVÁ, A.; DATEL, J. V.

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

Keywords: water management balance — hydrogeology — groundwater — Bohemian Cretaceous Basin — natural groundwater resources — base flow

This article presents a comprehensive overview of the evolution of methodological approaches to groundwater balance assessment in Czechoslovakia and the Czech Republic from the 1960s to the present. It outlines the transition from a static evaluation of "exploitable reserves" toward a dynamic, process-based concept, emphasizing regular comparisons between actual water abstractions and natural groundwater resources. This shift includes the adoption of monthly assessment intervals and quantile characteristics of base flow, aligning with the requirements of both national legislation (especially Act no. 254/2001 Coll., the Water Act) and European directives on water protection.

The study highlights the institutional framework and the roles of key organizations – such as the Czech Hydrometeorological Institute, river basin management authorities, and the T. G. Masaryk Water Research Institute – in groundwater monitoring and data interpretation. A particular focus is placed on hydrogeological regionalization as a key tool for spatial and balance assessments, including its historical development and relation to groundwater body delineation under the EU Water Framework Directive.

The core of the analysis is dedicated to four Upper Cretaceous hydrogeological zones (HGR 4410, 4430, 4522, and 4523) that have been consistently assessed as balance-stressed between 2007 and 2023. Long-term comparisons of base flow and abstraction data indicate a convergence trend, primarily due to declining natural recharge under changing climatic conditions. In some zones (especially HGR 4522 and 4523), excessive abstractions have contributed to negative impacts on surface water bodies, including seasonal drying, prompting regulatory responses such as reduced abstraction limits, regime-based monitoring, and mitigation measures.

The article draws on results from several ongoing research projects funded by the Technology Agency of the Czech Republic (e.g., no. SS06010268, no. SQ01010176, no. S02030027, and no. SS01010208), focusing on drought impacts, and improved delineation of hydrogeological zones, groundwater-surface water interactions, groundwater resource enhancement, and vertical stratification in groundwater flow. The findings underscore the importance of detailed hydrogeological knowledge, continuous monitoring, periodic review of abstraction limits, and method refinement. The study concludes by stressing the need to protect infiltration areas and adopt long-term sustainable groundwater management strategies in the face of climate change and increasing anthropogenic pressures.

Foto: 123rf.com

Dynamika huminových látek v rašelinném biotopu přírodní rezervace Prameniště Chomutovky

MARTIN VOKOUN, VOJTĚCH MORAVEC, PAVEL ECKHARDT

Klíčová slova: rašeliniště — hydrologie — monitoring — revitalizace — huminové látky — hydrochemie

ABSTRAKT

Tento článek se zabývá hodnocením koncentrací huminových látek (HL) ve vodách rašelinišť v oblasti Krušných hor, konkrétně v lokalitě u obce Hora Svatého Šebestiána v přírodní rezervaci (PR) Prameniště Chomutovky. Cílem bylo posoudit vliv revitalizačních zásahů na výskyt HL v povrchových a podpovrchových vodách v prostředí po těžbě rašeliny. Monitoring probíhal v letech 2022–2024 na dvou experimentálních plochách – jedné revitalizované (plocha A) a jedné převážně nerevitalizované (plocha B) – a zahrnoval rozsáhlý monitoring v podobě odběrů vzorků v měsíčním intervalu, instalaci měrných přelivů, mělkých vrtů a meteorologických stanic.

Výsledky ukazují, že revitalizace má dopad na dynamiku výskytu HL. V povrchových a podzemních vodách revitalizované oblasti byly pozorovány vyšší minimální koncentrace HL a větší rozkolísanost během roku, zatímco nerevitalizovaná oblast vykazovala nižší minimální, ale vyšší maximální hodnoty za suchých hydrologických podmínek, kdy však odtok a případně také odnos látek v povrchových vodách je minimální. Poměr huminových a fulvokyselin (HK/FK), důležitý z hlediska úpravy vody a jejich chemických vlastností, byl méně příznivý v revitalizované ploše, což poukazuje na vyšší zastoupení obtížně odbouratelných fulvokyselin.

Během významných srážkoodtokových událostí docházelo k poklesu koncentrací HL, avšak zvýšil se celkový objem odplavených organických látek. Studie rovněž prokázala významný samočisticí efekt recipientu eliminující případné vyšší koncentrace HL z revitalizovaných území a pozitivní dopad retenční nádrže na chemismus vody, kdy došlo k redukci maximálních koncentrací HL a nárůstu poměru HK/FK na výtoku.

Výsledky přinášejí cenné poznatky pro plánování vodohospodářských opatření v oblastech s rašeliništi a objasňují dynamiku organických látek v rámci rašeliniště a jejich odvodňujících vodních toků. Výsledky mohou vést ke zlepšení kvality vodních zdrojů při plánování revitalizačních opatření v rašeliništích dotčených těžbou rašeliny.

ÚVOD

Hydrologický význam horských rašelinišť je předmětem dlouhodobé diskuze z pohledu jejich přínosu pro hydrologický režim, ať již se jedná o funkci zadržování vody ve srážkově bohatém období, dotaci základního odtoku povrchových vod v suchém období, či změny v chemismu vody způsobené revitalizací rašelinišť – nejčastěji formou hrazení odtokových drah, jež vznikly kvůli odvodnění plochy rašeliniště za účelem těžby rašeliny. Názory odborníků na vliv rašelinišť na hydrologický režim povodí jsou rozporuplné, např. studie [1] popisuje přínos rašelinišť a jejich revitalizací s dopadem na stabilizaci hydrologického režimu v oblasti Šumavy. Naopak studie [2] neshledává žádný významný přínos rašelinišť v oblasti retence a udržení zásob vody pro suchá období v téže oblasti. Pro účely sledování těchto hydrologických a především také hydrochemických procesů a k objasnění některých sporných hypotéz byl zahájen rozsáhlý monitoring v krušnohorských rašeliništích u obce Hora Svatého Šebestiána. Předmětem monitoringu je jak kvantitativní, tak kvalitativní hydrologie. Tato práce se zaměřuje na část výsledků popisujících obsah HL v povrchových a podpovrchových vodách v revitalizované a nerevitalizované části rašeliniště.

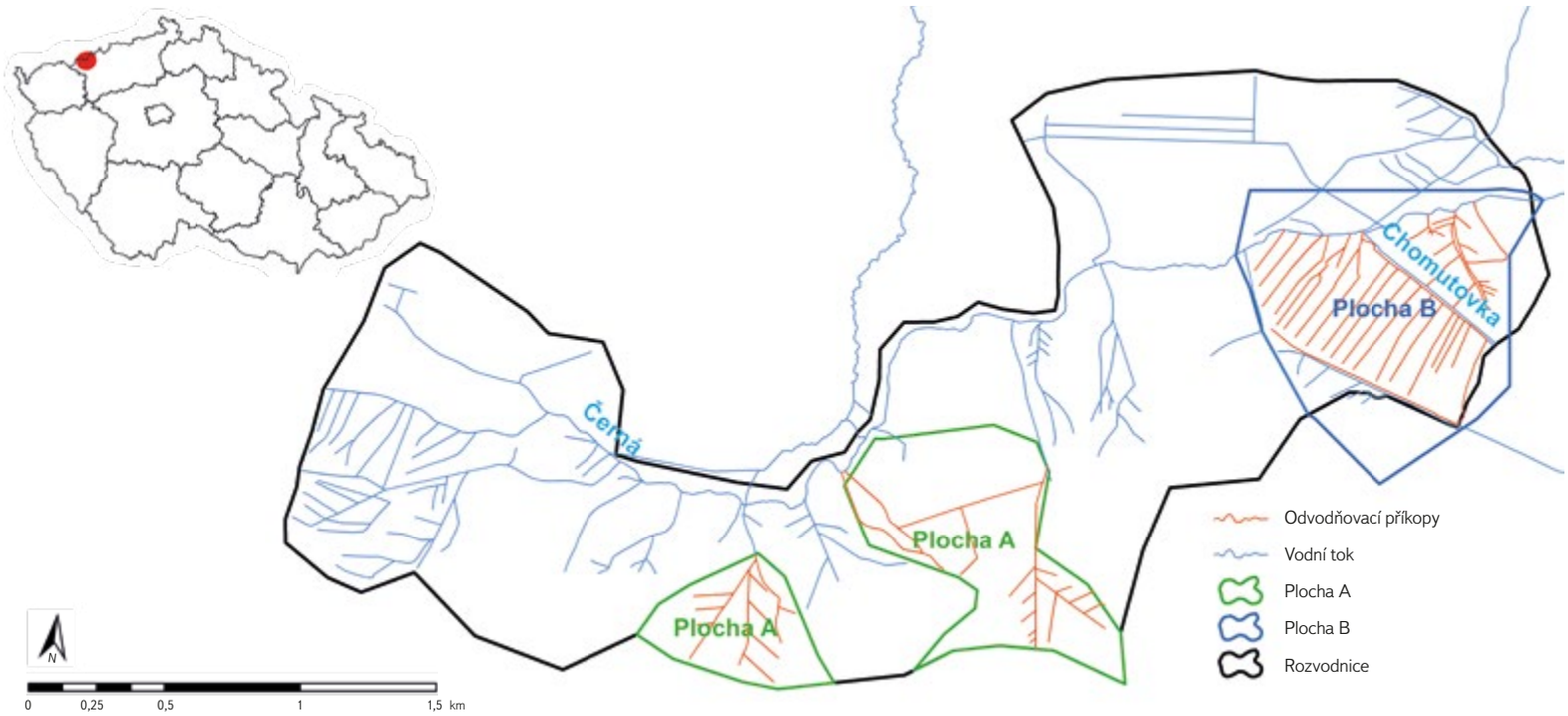
Popis zájmového území

Zájmové území zahrnuje dvě experimentální plochy A a B (*obr. 1*), situované v centrální části Krušných hor jihozápadně od obce Hora Svatého Šebestiána, v nadmořské výšce 850–895 m n. m. Obě lokality tvoří rašeliniště s ukončenou těžbou rašeliny, po níž zůstaly odvodňovací kanály uměle snižující hladinu podzemní vody. V současnosti jsou tyto kanály postupně revitalizovány výstavbou přehrážek, jejichž účelem je navrácení přírodě blízkého vodního režimu. Plocha A má rozlohu cca 0,4 km² a je charakteristická především řídkými klečovými a smrkovými porosty v okrajových částech, přecházejícími do travních porostů. Plocha B zaujímá přibližně 1 km² a vykazuje pestřejší strukturu, zasahuje do dvou hydrologických povodí – Chomutovky na severu a Prunéřovského potoka na jihu. Na okraji plochy B se nachází Novoveský rybník o rozloze 3,86 ha, jenž historicky plnil funkci zásobárny vody pro tok Chomutovky. V současnosti jde o hodnotný biotop poskytující útočiště chráněným živočišným druhům. Zvláštností území je tok přivaděče Chomutovky, který nadlepšuje vlastní tok Chomutovky vodou z povodí vodního toku Černá. Přivaděč prochází oběma zájmovými plochami a přetváří přirozené odtokové poměry, ačkoli má v současnosti omezenou funkci z důvodu opětovného napojení do vodního toku Černá.

Geologické podloží tvoří horniny Krušnohorského krystalinika, konkrétně pararuly, ortoruly a svory s výskytem skarnů. Nad nimi leží kvartérní sedimenty – převážně hlinité a rašelinné. Z hydrogeologického hlediska jde o oblast puklinového kolektoru s velmi nízkou propustností rašelin, které působí jako přírodní izolátor.

Pedologicky je území pokryto převážně modálními podzoly a na trvale zamokřených místech se nacházejí gleje a organozemě. Klima spadá dle Quitta do horské oblasti CH6 s dlouhou vlhkou zimou a krátkým chladným létem.

Lokalita se nachází v rámci Chráněné oblasti přirozené akumulace vod (CHOPAV) Krušné hory a v její blízkosti leží ochranná pásma podzemních zdrojů vody pro obec Hora Svatého Šebestiána. Historicky je oblast zatížena důlní činností, zejména pozůstatky po těžbě rud z období 14.–17. století. Tyto prvky mohou lokálně ovlivňovat hydrologický režim.



Obr. 1. Schéma monitorovacích ploch A a B (plocha A vlevo odpovídá rozvodnici pro profil V1-CH1, viz *obr. 2*); rozvodnice vodního toku Chomutovka v řadě případů nerespektuje sklonové poměry povodí díky odvodňovacím kanálům, proto je rozvodnice do jisté míry založena na terénním průzkumu a následném expertním odhadu
Fig. 1. Schematic diagram of monitoring sites A and B (site A on the left corresponds to the watershed for profile V1-CH1, see *Fig. 2*); in many cases, the Chomutovka watershed does not respect the slope conditions of the catchment area due to drainage channels, therefore, the watershed is based to a certain extent on field surveys and subsequent expert estimates

Huminové látky v rašeliništích

HL, především huminové a fulvové kyseliny, jsou hlavní složkou rozpuštěné organické hmoty (z anglického názvu Dissolved Organic Matter – DOM), jež se ve značném množství uvolňuje z rašelinišť do povrchových i podzemních vod. Tyto látky mají komplexní makromolekulární strukturu bohatou na aromatické a funkční kyslíkové skupiny [3], což jim propůjčuje vysokou afinitu k tvorbě komplexů s kovy (např. Fe, Al, Cu) a schopnost ovlivňovat transport toxických látek v prostředí. Z pohledu úpravy pitné vody představují HL závažný problém: v procesu chlorace mohou reagovat s dezinfekčními činidly (zejména chlorovými sloučeninami) za vzniku vedlejších produktů dezinfekce, z nichž mnohé (např. trihalomethany) jsou karcinogenní [4, 5]. Navíc zvyšují potřebu dávkování koagulantů a adsorbentů při úpravě vody [6], snižují účinnost filtrace a mohou negativně ovlivnit chuť a zápach vody [7]. V oblastech s rašeliništi, zejména při vyšších průtocích, dochází ke kolísání koncentrace rozpuštěného organického uhlíku (Dissolved Organic Carbon, dále DOC) ve zdrojích surové vody, což komplikuje technologickou stabilitu úpraven a zvyšuje provozní náklady [8].

V oblasti Krušných hor byla problematika výskytu a chování HL v rašeliništích zkoumána v několika významných studiích, přičemž pozornost byla věnována jak přírodním faktorům (hydrologický režim, botanická skladba), tak vlivu antropogenní acidifikace a změn využívání krajiny. Pokorný et al. analyzovali pomocí paleoekologických metod dlouhodobý vývoj rašelinišť, včetně vlivu klimatických extrémů na akumulaci a transformaci organické hmoty [9]. Charamba et al. ve své studii mapovali chemické složení vody v rašeliništích střední Evropy včetně lokalit v Krušných horách a prokázali, že zdejší vrchoviště mají vysoký podíl aromatických DOM frakcí s nízkou biodegradabilitou [10]. Výzkumy z Božídarského a Cínoveckého rašeliniště dále ukazují, že po epizodách sucha a následném opětovném zvlhčení dochází k výraznému pulznímu uvolnění DOC do recipientů, což potvrzuje citlivost těchto systémů na klimatické extrémy [11]. V některých studiích byla rovněž prokázána souvislost mezi koncentrací fulvokyselin a zvýšenou mobilitou železa, což má přímý dopad na eutrofizaci a chemismus vody v přilehlých tocích [12]. Tyto poznatky jsou klíčové nejen pro ekologickou ochranu rašelinných ekosystémů, ale i pro optimalizaci vodohospodářských opatření v povodích s významným podílem mokřadních ploch.

METODIKA

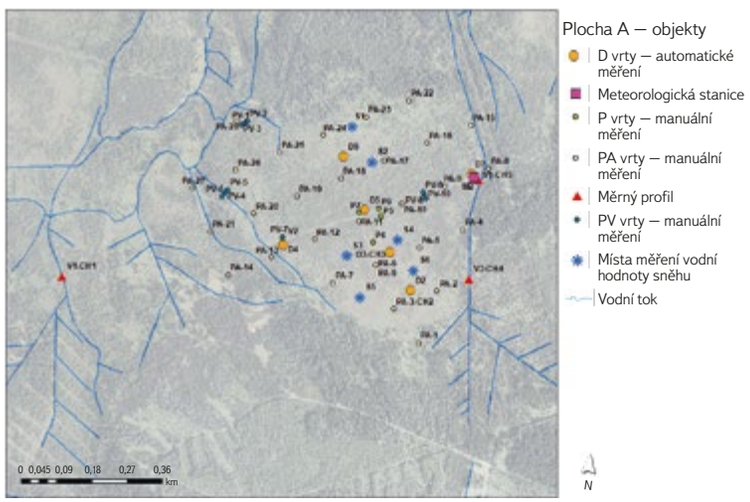
Monitoring

Monitoring rašeliniště na plochách A a B byl koncipován jako komplexní systém pro sledování hydrologických a klimatických podmínek v prostředí narušeném historickou těžbou rašeliny. Cílem celého monitoringu je vyhodnocovat účinnost revitalizačních zásahů, které spočívají ve výstavbě přehrážek pro zadržení vody a zvýšení hladiny podzemní vody a posoudit jejich dopad na změny v chemismu podzemních a povrchových vod se zaměřením na výskyt organických látek. V téměř celé ploše A již proběhla revitalizace v podobě přehrazení odtokových tratí. Naopak plocha B je z větší části ve stavu před revitalizací a do těchto míst je soustředěn manuální odběr vzorků. V rámci monitoringu byly na obou lokalitách instalovány vrty, měrné přelivy, meteorologické stanice a automatické vzorkovače, jež umožnily sledovat stav a chemismus podzemních a povrchových vod, srážky, teplotu, vlhkost vzduchu i vodní hodnotu sněhu. Pro samotné vyhodnocení výskytu HL byla využita část monitorovací sítě zaměřená na chemismus vody. Ostatní měřicí body sloužily mimo jiné k monitoringu pozaďových procesů spojených s dynamikou organických látek v podzemních a povrchových vodách.

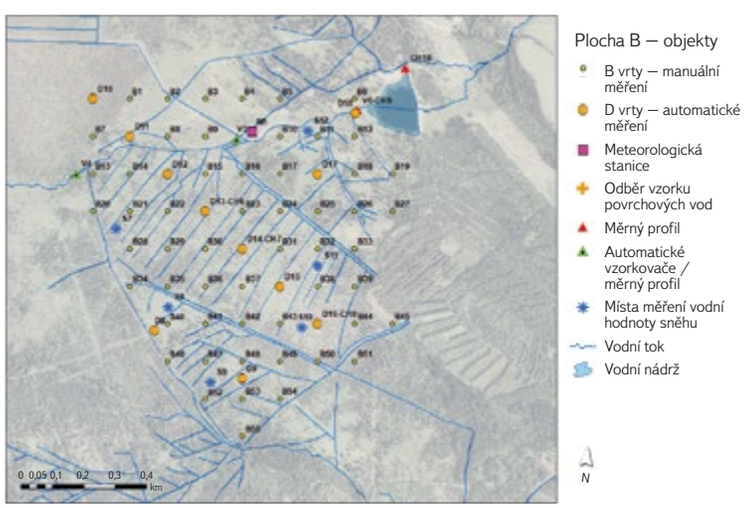
Pro kompletní monitoring v ploše A (*obr. 2*) byl využit systém stávajících vrtů řad P, PA a PV, v nichž se dvakrát ročně manuálně měří hladina podzemní vody,

její teplota a konduktivita. Dále zde byly zřízeny vrty řady D1 až D5, kde se nacházejí tlakové sondy pro kontinuální měření výšky hladiny a teploty podzemní vody. Vybrané vrty, např. D2 a D5, byly instalovány jako zdvojené – jeden zasahoval pouze do svrchní vrstvy rašeliny (akrotelmu), zatímco druhý pronikal do spodní vrstvy (katotelmu). Vrty D1 a D3 slouží zároveň k měsíčním odběrům vody pro laboratorní chemické analýzy.

V ploše A se nacházejí také čtyři měrné přelivy: V1-CH5, umístěný na východním okraji s trojúhelníkovým profilem (tzv. Thomsonův přeliv), V2 na západě, osazený kruhovým přelivem a zabudovaný přímo do tělesa hrazení, a V3, který je situován v jihovýchodní části a odvádí vodu z lesní oblasti. Všechny přelivy jsou vybaveny senzory pro měření výšky hladiny, teploty, konduktivity a pH vody. Přelivy V3 a V1-CH5 slouží k odběrům vzorků povrchové vody. Přeliv V1-CH1, umístěný asi 400 m západně od profilu V2, slouží výhradně jako referenční bod pro manuální odběr vzorků povrchové vody bez kontinuálního měření.



Obr. 2. Objekty monitoringu v ploše A
Fig. 2. Monitoring facilities in site A



Obr. 3. Objekty monitoringu v ploše B
Fig. 3. Monitoring facilities in site B

Na ploše B (*obr. 3*) byl hydrologický monitoring výrazně rozšířen – zřízeno zde bylo 55 mělkých vrtů řady B s hloubkou maximálně do 3 m, rozmístěných v pravidelném rastru pokrývajícím revitalizovanou i nerevitalizovanou část rašeliniště. Kromě toho byly instalovány vrty řady D8 až D18, z nichž D11, D14 a D16 byly rovněž zdvojené pro srovnání hladin mezi akrotelmem a katotelmem. Vrty D8, D14 a D16 slouží i pro odběry vzorků a jejich chemickou analýzu. Tato pozorovací síť poskytuje podrobnou informaci o hydrologických poměrech v ploše rašeliniště.

Povrchové vody jsou na ploše B monitorovány prostřednictvím několika měrných přelivů. Přeliv V4 v západní části byl osazen obdélníkovým výřezem a monitoruje přítok z oblasti pod Jelení horou. V5 se nachází na nadlepšovacím kanále pro tok Chomutovky a je vybaven ultrazvukovým čidlem. Přeliv V6 situovaný na toku Chomutovky je umístěný na poslední přehrážce před vtokem do Novoveského rybníka a slouží k odběru vzorků. Pro vzorkování toku Chomutovky pod rybníkem byl využit profil CH10 pod odtokem z bezpečnostního přelivu, kde se provádí manuální hydrometrování.

Na obou plochách jsou instalovány meteorologické stanice. V ploše A byla umístěna základní stanice s měřením teploty vzduchu, vlhkosti a srážek. V ploše B byla zřízena komplexní klimatologická stanice zaznamenávající navíc rychlost a směr větru, solární radiaci, tepelný tok v půdě a půdní vlhkost. Pro celoroční měření srážek byl v obci Hora Svatého Šebestiána instalován vyhřívaný srážkoměr, jenž také slouží k aktivaci automatických vzorkovačů během srážkových událostí.

Podzemní vody

Vzorky podzemní vody jsou pravidelně každý měsíc odebírány z vybraných vrtů řady D. Jde o vrty D1-CH2, D3-CH3 v ploše A a o vrty D8-CH6, D14-CH7, D16-CH8 v ploše B. Termín vzorkování byl situován vždy ke konci daného měsíce a bylo dbáno na stabilní a setrvalé meteorologické a hydrologické podmínky. To znamená, že během odběru nebo bezprostředně před ním nedošlo k žádnému výraznému hydrometeorologickému extrému, který by mohl krátkodobě ovlivnit kvalitu podzemní vody. Vzorky jsou převáženy do laboratoře VZlab, kde probíhá stanovení následujících ukazatelů:
CHSK-Mn, N-NO_3^-, N-NO_2^-, N-NH_4^+, N_{celk}, SO_4^{2-}, P_{celk}, Fe, Al (rozpuštěné a partikulární), DOC, A254, (A254/DOC)*100, KNK, HL, huminové kyseliny a fulvokyseliny.

Povrchové vody

Vzorky povrchových vod jsou odebírány každý měsíc společně s odběry vod podzemních. Platí tedy stejné pravidlo, že odběr probíhá vždy koncem měsíce a za pokud možno stabilních hydrometeorologických podmínek. Vzorkování se uskutečňuje na přelivech V1-CH5 (revitalizované povodí), V3-CH4 a V7-CH1 (lesní nerevitalizované povodí) v ploše A, a v ploše B na přelivu V6-CH9 (*obr. 4*) a na vzorkovacím místě CH10 pod bezpečnostním přelivem Novoveského rybníka (nerevitalizované povodí, *obr. 6*). Během odběru je zaznamenáván aktuální průtok ve vodním toku. Vzorkovací profily V7-CH1 a CH10 jsou bez kontinuálního záznamu hladiny, aktuální průtoky při odběru jsou tak měřeny a dopočítávány na místě. Na profilu V7-CH1 byl za tímto účelem postaven měrný přeliv. Na profilu CH10 probíhá při odběru vzorku hydrometrování. Vzorky jsou následně převáženy do laboratoře VZ lab, kde dochází ke stanovení následujících ukazatelů: CHSK-Mn, N-NO_3^-, N-NO_2^-, N-NH_4^+, N_{celk}, SO_4^{2-}, P_{celk}, Fe, Al (rozpuštěné a partikulární), DOC, A254, (A254/DOC)*100, KNK, HL, huminové kyseliny a fulvokyseliny.

Množství odebraných vzorků závisí na hydrologických podmínkách. Během suchých period nebo obecně v letním období roku dochází k poklesu hladiny podzemní vody pod úroveň vrtů a k vysychání vodních toků, kde tudíž není možné vzorky odebrat. Při každém odběru vzorku podzemní i povrchové vody je provedeno doplňkové měření konduktivity a reakce vody pomocí multiparametrické sondy Aquatroll 500.

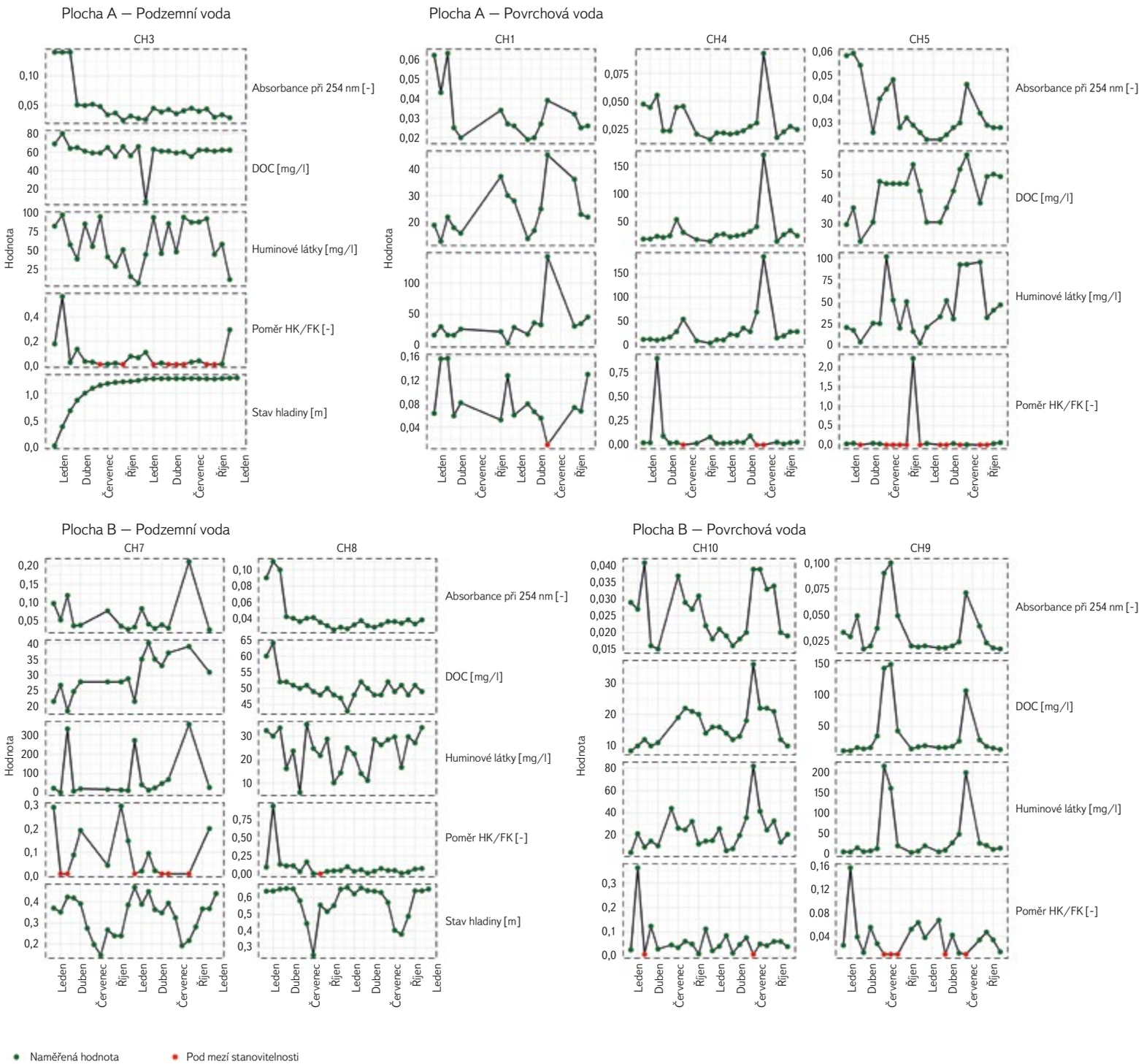
Dále probíhá odběr vzorků prostřednictvím automatických vzorkovačů ISCO 6712 na profilech V4 a V5 (*obr. 10*), jimiž chceme postihnout chemickou odezvu na srážku v daném vodním toku. Stanovované ukazatele jsou stejné jako v případě manuálních odběrů. Vzorkování je synchronní, kdy při očekávání

Obr. 4. Měření chemických parametrů povrchové vody na profilu V6-CH9
Fig. 4. Measurement of chemical parameters of surface water at profile V6-CH9

hydrologické události je přes SMS spuštěn vzorkovač na profilu V5. Vzorkovač má nastavenou lokální komunikaci se vzorkovačem V4, který je mimo stabilní signál GSM, a ve stejný čas spustí i tento vzorkovač. Celkem je odebíráno 24 vzorků po dvou hodinách, z nichž je k rozboru vybráno 10 vzorků, které ideálně pokrývají odezvu vodního toku na srážky. Mezi oběma vzorkovači je úsek toku dlouhý cca 600 m, kde se dostává do toku voda z jediné již revitalizované oblasti v ploše B a snahou je zachytit případné chemické změny na tomto úseku.

VÝSLEDKY

Následující výsledky jsou založeny na dvouletém vzorkování v měsíčním kroku. Ze všech pozorovaných chemických ukazatelů je v tomto článku pozornost zacílena na HL a s nimi spojené ukazatele přítomnosti organických látek ve vodě (poměr huminových kyselin a fulvokyselin – HK/FK, rozpuštěný organický uhlík – DOC a absorbance při 254 nm – A254). Na *obr. 5* jsou vyobrazeny výsledky



Obr. 5. Výsledky chemických rozborů vybraných ukazatelů
Fig. 5. Results of chemical analyses of selected parameters

Obr. 6. Odběr vzorků a měření chemických parametrů povrchových vod na profilu V7-CH1
Fig. 6. Sampling and measurement of chemical parameters of surface waters at profile V7-CH1

pro odběrová místa povrchových a podpovrchových vod CH1–CH10. Z vyhodnocení jsou vypuštěny lokality (vrty) CH2 a CH6, a to z důvodu velmi nízkého počtu odebraných vzorků kvůli nepřítomnosti vody ve vrtech. Z výsledků je patrná sezonnost obsahu HL v povrchových vodách, kdy v letních měsících za nízkých průtoků roste jejich koncentrace. Naopak v podzemních vodách nedochází k tak výrazným výkyvům a sezonnost není patrná. Pouze vrt CH7 zaregistroval tři vyšší hodnoty, které však byly zaznamenány při velmi nízkém stavu hladiny podzemní vody, což mohlo způsobit odebrání kalu ze dna vrtu. Obecně jsou v podzemní vodě koncentrace HL vyšší během celého roku, kromě letních měsíců, kdy v povrchových vodách rostou koncentrace nejen organických látek, ale dle provedených rozborů také kovů (Fe, Al) a celkového dusíku [13]. Podobně se vyvíjejí i další ukazatele vázané na přítomnost organických látek ve vodě (DOC a A254). Pokud porovnáme průběh koncentrací v povrchových vodách z revitalizovaných (CH5) a nerevitalizovaných území (CH9 a CH10), profil CH5 vykazuje vyšší minimální koncentrace HL a celkově vyšší rozkolísanost hodnot během roku a zároveň nižší maxima v letních měsících. Naproti tomu profil CH9 má ustálené nižší minimální hodnoty v zimní části roku, v létě však dosahuje až dvojnásobně vyšších koncentrací HL. To způsobuje, že průměrné hodnoty za celé sledované období jsou z obou profilů celkem vyrovnané (*tab. 1*): CH5 – 41,5 mg/l, CH9 – 40,7 mg/l. Nicméně právě velikost průtoku při odběrech má významný dopad na celkové množství vyplavených organických látek. Nejvyšších průtoků je zpravidla dosaženo během zimy při tání sněhu. Zatímco u profilu CH9 se v tomto období koncentrace pohybují do 25 mg/l, na profilu CH5 jsou koncentrace i dvojnásobné. Naopak vyšší koncentrace na profilu CH9 jsou zaznamenány při velmi nízkých průtocích kolem 1 l/s a méně. To má za následek, že celkově se vyplavuje více organických látek z revitalizovaného území. Vyšší koncentrace v revitalizovaném území jsou však v porovnání s nerevitalizovaným územím dosahovány i za vyšších průtoků a ve vlhčím období, kdy zatížení vodního toku vyšší koncentrací HL je rychle eliminováno dalšími přítoky s nižším obsahem HL. Dle rozborů prováděných v rámci souběžně zpracovávané bakalářské práce [14] docházelo na přibližně 5 km dlouhém úseku toku Chomutovky k poklesu koncentrace HL i o více než 80 %. Pro zmírnění vlivu ojediněle se vyskytujících odlehlých naměřených hodnot jsou v *tab. 2* zobrazeny hodnoty mediánů: CH5 – 32 mg/l a CH9 – 15 mg/l.

V případě podzemních vod jsou po většinu roku zaznamenány vyšší koncentrace HL v revitalizované ploše na vrtu CH3. V celkovém průměru dosahuje nejvyšších hodnot CH7, ale to díky již zmíněným třem odlehlým naměřeným hodnotám. Pokud se však podíváme na tabulku mediánových hodnot, má vrt CH7 podobnou koncentraci HL jako vrt CH8, který leží v odvodněné, ovšem relativně zachovalé části rašeliniště a koncentrace HL jsou zde nejnižší. Nejvyšší medián koncentrace je pak dosažen ve vrtu CH3 v revitalizované ploše.

Dopad na kvalitu vody má nejen koncentrace HL, ale také poměr zastoupení huminových kyselin a fulvokyselin. Vyšší zastoupení fulvokyselin má negativní dopad na proces úpravy vody na pitnou, jelikož jsou snadněji rozpustné a hůře se odbourávají. Hodnoty se pohybují blízko nule a jen výjimečně překračují hodnotu 1. Sezonnost zde není patrná a v každé řadě se vyskytuje jedna až dvě odlehlé hodnoty, jež nemají souvislost s výškou hladiny nebo ročním obdobím. Proto jsou závěry odvozeny na základě *tab. 2* s mediány hodnot. Nejnižší poměr HK/FK, a tedy nejvyšší zastoupení hůře odbouratelných FK má revitalizovaná oblast v ploše A, konkrétně vzorkovací místa CH5 a CH3. Naopak nejvyšší hodnoty byly zaznamenány na profilu odvodňujícím lesní plochu CH1, na vrtu CH8 v nerevitalizované ploše a na profilu CH10 na výtoku z nádrže.

Tab. 1. Průměrné hodnoty sledovaných chemických ukazatelů; tučně jsou vyznačeny nejhorší výsledky z pohledu kvality vody
Tab. 1. Average values of the monitored chemical parameters; the worst results in terms of water quality are highlighted in bold

Ukazatel	CH1	CH3	CH4	CH5	CH7	CH8	CH9	CH10
Absorbance při 254 nm [-]	0,03	0,05	0,03	0,04	**0,06**	0,04	0,03	0,03
DOC [mg/l]	24,33	**59,96**	32,33	41,9	29,88	50,46	36	16,34
Huminové látky [mg/l]	34,35	59,36	29,68	41,49	**83,01**	23,8	40,7	23,59
Poměr HK/FK [-]	0,08	0,07	0,08	0,13	0,09	0,1	**0,04**	0,06

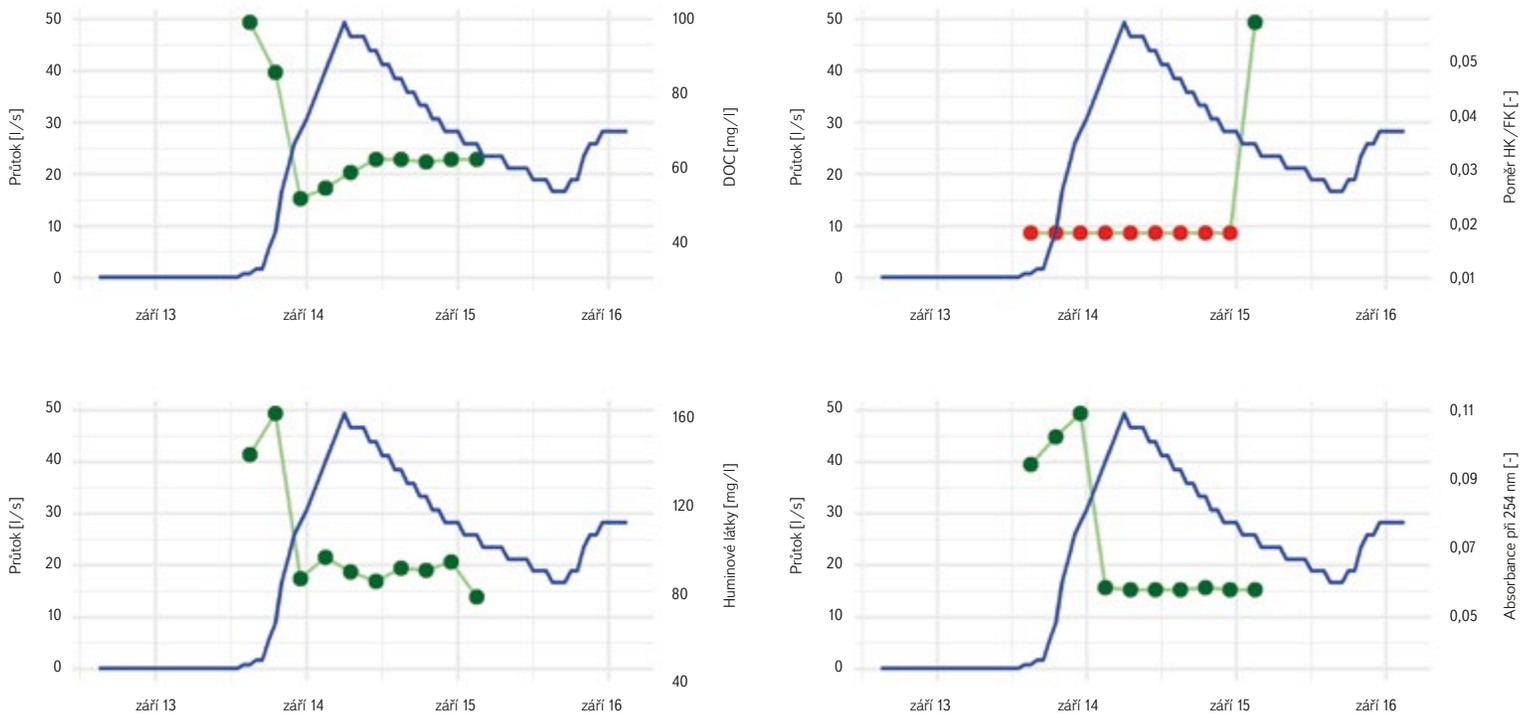
Tab. 2. Hodnoty mediánů sledovaných chemických ukazatelů; tučně jsou vyznačeny nejhorší výsledky z pohledu kvality vody
Tab. 2. Median values of the monitored chemical parameters; the worst results in terms of water quality are highlighted in bold

Ukazatel	CH1	CH3	CH4	CH5	CH7	CH8	CH9	CH10
Absorbance při 254 nm [-]	0,03	**0,04**	0,02	0,03	**0,04**	**0,04**	0,02	0,02
DOC [mg/l]	22	**61,5**	24	46	28,5	50	18	15
Huminové látky [mg/l]	29,7	**55,6**	18,6	32	28,5	25,8	15	20,8
Poměr HK/FK [-]	0,07	0,02	0,03	**0,01**	0,03	0,06	0,03	0,05

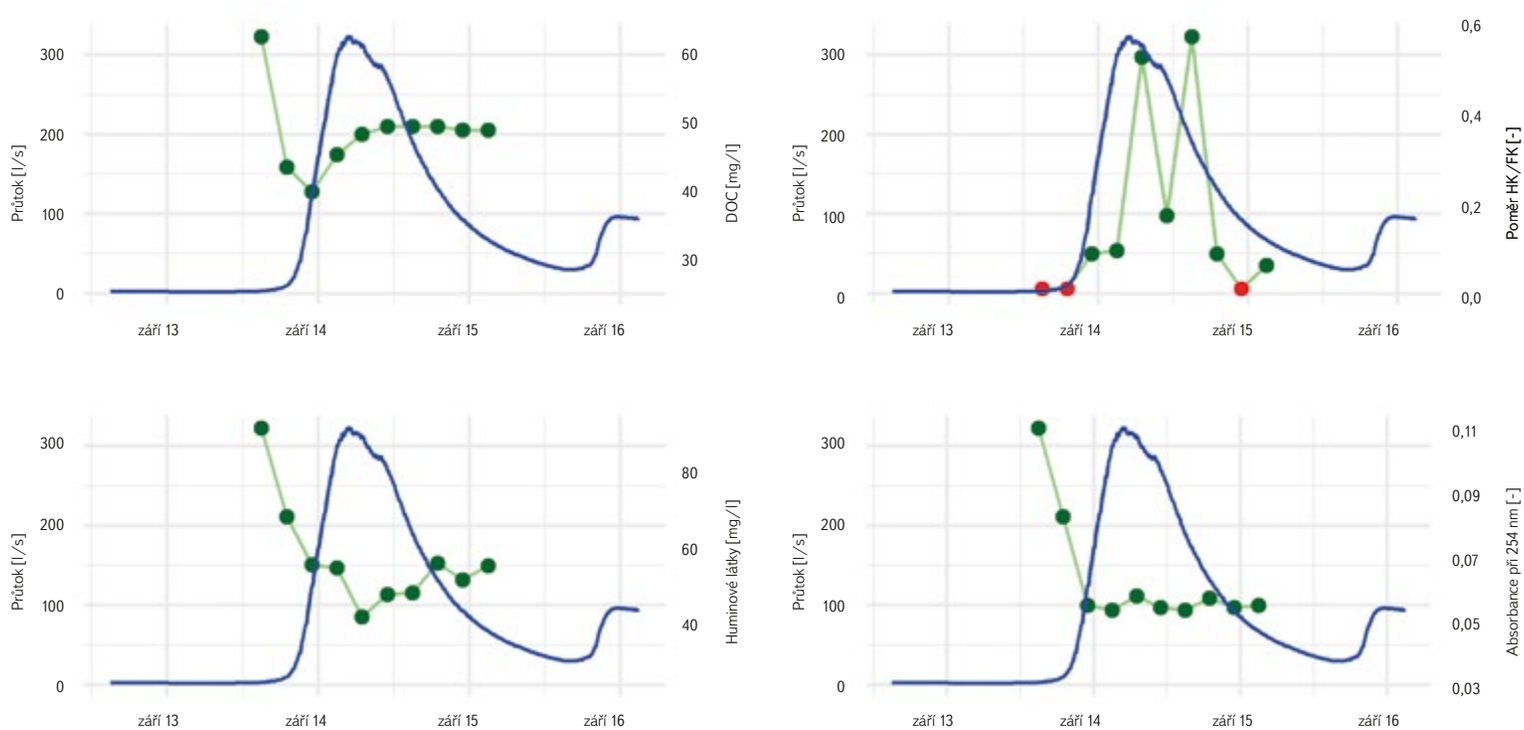
Během monitorovacího období se podařilo pomocí automatických vzorkovačů zaznamenat významnou srážkoodtokovou událost ve dnech 13. až 15. září 2024. Vzorkovače byly synchronně spuštěny před počátkem odtokové odezvy a vzorkovaly v intervalu 2 h po dobu 40 h. Pro podchycení doby vzestupu i poklesu hladiny bylo k rozboru vybráno 10 vzorků v intervalu odběru 4 h. Výsledky na *obr. 7 a 8* ukazují podobný průběh změny koncentrace HL a DOC. Na počátku události jsou koncentrace vysoké a s růstem průtoku dochází k jejich poklesu během prvních 12 h na hodnoty, které se již dále příliš nemění, ačkoli průtok stále významně roste. Tento průběh je shodný pro oba vzorkovací profily, přestože v úseku mezi nimi ústí do vodního toku kanály z již revitalizované části plochy B. Stejně tak koncentrace HL mezi vzorkovacími místy klesá na téměř poloviční hodnoty. Také poměr HK/FK mezi vzorkovači roste, zejména v době kulminace. Mezi profily V4 a V5 tak nebylo zaznamenáno navýšení koncentrace HL způsobené přítokem vody z revitalizované plochy. Při přepočtu koncentrace HL na množství odnesených látek vycházejí údaje uvedené v *tab. 3*. Na počátku události při nejnižším průtoku a nejvyšší koncentraci je odtok HL 258,3 mg/s. Naopak v době těsně před kulminací je koncentrace HL stále na poklesu a odplavováno je 12 650,1 mg/s. Při kulminaci již dochází k poklesu na 7 628 mg/s. Koncentrace HL poté pozvolna rostou, nicméně klesající průtok zapříčiňuje pozvolný pokles množství odplavených HL. Během sledovaných 40 h odteklo profilem přibližně 771 kg HL. Této problematice se věnuje také bakalářská práce [15].

Tab. 3. Vypočtené množství odplavených HL při významné srážkoodtokové události 13. až 15. září 2024 na profilu V5
Tab. 3. Calculated amount of exported HS during the significant rainfall-runoff event from 13–15 September 2024 at profile V5

Čas	Průtok [l/s]	HL [mg/l]	Vyplavované HL [mg/s]	Vyplavované HL [kg/4h]
13. 09. 2024 15:00	2,8	92,6	258,3	3,7
13. 09. 2024 19:00	9,7	60,6	585,4	8,4
13. 09. 2024 23:00	123,9	43,3	5 364,3	77,2
14. 09. 2024 3:00	300,5	42,1	12 650,5	182,2
14. 09. 2024 7:00	312,6	24,4	7 628,0	109,8
14. 09. 2024 11:00	268,7	32,5	8 732,5	125,7
14. 09. 2024 15:00	188,8	33,1	6 248,1	90,0
14. 09. 2024 19:00	130,6	43,9	5 733,0	82,6
14. 09. 2024 23:00	92,2	37,8	3 483,5	50,2
15. 09. 2024 3:00	67,2	42,8	2 875,4	41,4



Obr. 7. Výsledky automatického vzorkování významné srážkoodtokové události 13. až 15. září 2024 na profilu V4
Fig. 7. Results of automatic sampling during the significant rainfall-runoff event from 13–15 September 2024 at profile V4



Obr. 8. Výsledky automatického vzorkování významné srážkoodtokové události 13. až 15. září 2024 na profilu V5
Fig. 8. Results of automatic sampling during the significant rainfall-runoff event from 13–15 September 2024 at profile V5

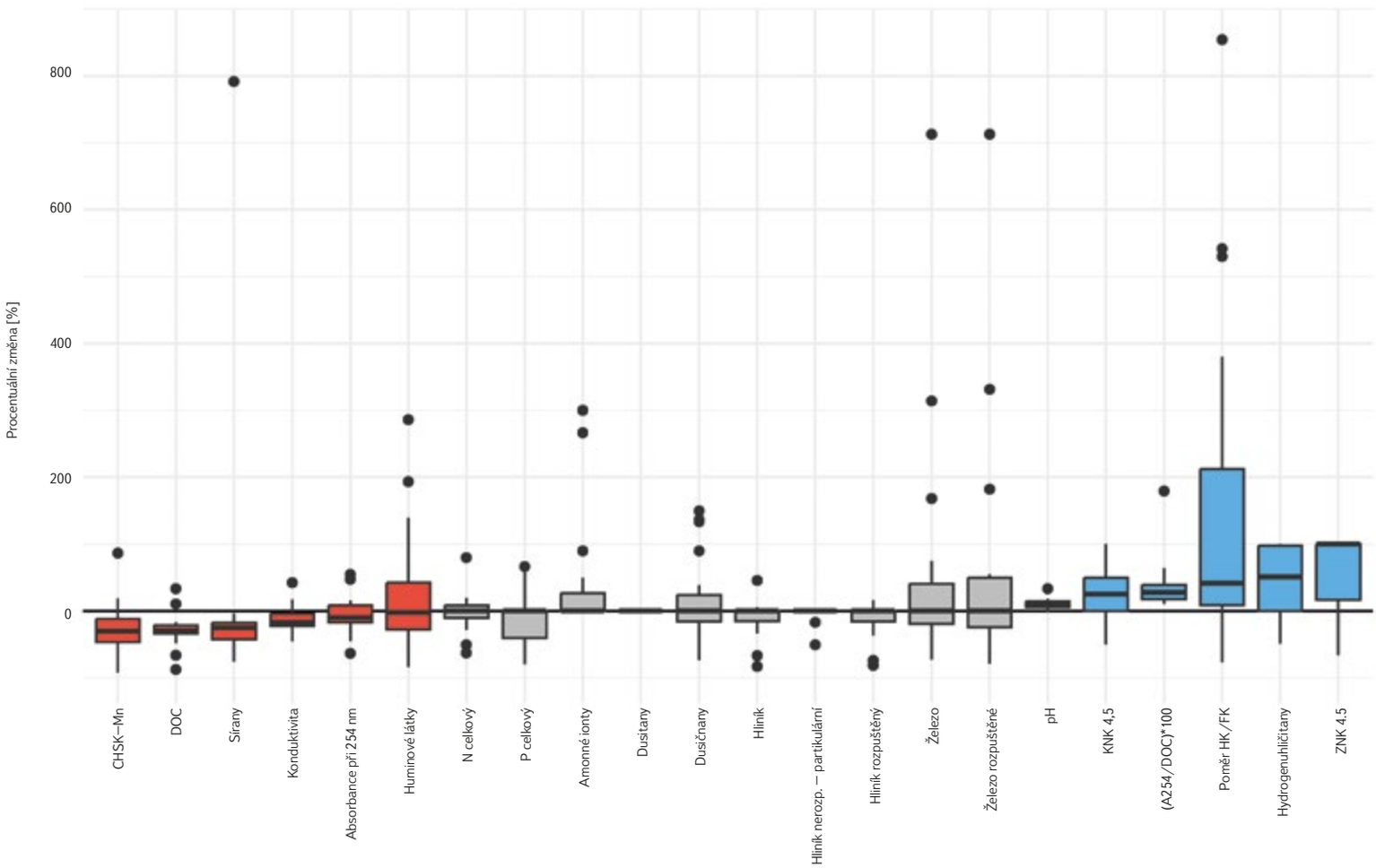
Vzhledem k nárůstu průtoku mezi oběma profily lze však předpokládat, že vodní tok je výrazně dotován i z nerevitalizovaného území. V tomto případě by bylo přínosné přesné vymezení povodí a zdrojových ploch k jednotlivým profilům se vzorkovači. To je ale v podstatě nemožné, jelikož samotný vodní tok je uměle vytvořený přivaděč křižující přirozené vodní toky a je napojený na síť odvodňovacích kanálů, které při vyšších stavech přetékají do jiných odvodňovacích tratí.

Vliv nádrže na chemismus vodního toku

Pozitivní vliv retenční nádrže Novoveského rybníka na chemismus vodního toku je evidentní již z výsledků v *tab. 1* a *tab. 2* a *obr. 5*. Na *obr. 9* je znázorněna procentuální změna koncentrace všech sledovaných látek mezi profilem CH9 nad nádrží a profilem CH10 pod nádrží. Pokles koncentrací byl zaznamenán u rozpuštěného organického uhlíku (DOC), hliníku, absorbance, chemické spotřeby kyslíku dle manganistanu (CHSK-Mn), konduktivity, celkového fosforu, celkového dusíku a síranů. Za pozitivum lze považovat také nárůst hodnot pH a poměru huminových a fulvokyselin (HK/FK), přičemž došlo ke zvýšení podílu HK. Rovněž byla navýšena kyselinová neutralizační kapacita (KNK 4,5), pravděpodobně v souvislosti s vyšší hodnotou pH.

K mírnému zvýšení nežádoucích parametrů došlo u koncentrace rozpuštěného železa. Přestože jsou hodnoty DOC nízké, vyšší pH vytváří vhodnější podmínky pro uvolňování kovů do vodního sloupce. Se zvýšeným pH souvisí i nárůst koncentrace hydrogenuhličitanů. Vyšší jsou také hodnoty ukazatele (A254/DOC)*100, což odráží jednak vyšší podíl HK, jednak rozklad organické hmoty akumulované na dně nádrže.

Mezi pravděpodobné mechanismy mající pozitivní dopad na obsah HL a poměr HK/FK může patřit expozice slunečnímu záření, při níž dochází k fotodegradaci snižující molekulovou hmotnost HK. Dále hraje roli mikrobiální aktivita a přítomnost železa a hliníku, které se podílejí na tvorbě komplexů a koagulace HL do sedimentu [16, 17]. Významný je též transformační účinek nádrže, kde dochází k ředění vyšších koncentrací vstupujících z přítoku na nižší úrovně. Ve vodním toku pod nádrží se tak projevují vyšší minimální koncentrace chemických ukazatelů ve srovnání s přítokem, avšak zároveň se výrazně snižují maximální hodnoty, které jsou typické pro vodu vstupující do nádrže.



Obr. 9. Krabicové grafy procentuálních změn obsahu látek mezi profily CH9 nad nádrží a CH10 pod nádrží; hlavní částí je „krabice" mezi prvním a třetím kvartilem, uvnitř níž je čára označující median; z krabice vycházejí „vousy", jež zobrazují rozsah dat mimo kvartily (typicky až 1,5násobek interkvartilního rozpětí); odlehlé hodnoty jsou zobrazovány jako samostatné body mimo vousy

Fig. 9. Box plots of percentage change in substance concentrations between profiles CH9 upstream of the reservoir and CH10 downstream of the reservoir; the main part is the "box" between the first and third quartiles, inside which is a line indicating the median; the box has "whiskers" that show the range of data outside the quartiles (typically up to 1.5 times the interquartile range); outliers are shown as separate points outside the whiskers

Obr. 10. Přivaděč Chomutovky s automatickým vzorkovačem na profilu V5
Fig. 10. Water channel with an automatic sampler at profile V5

DISKUZE

Vliv revitalizace rašelinišť na obsah HL v podzemní a povrchové vodě nelze zobecnit, jelikož každý hydrologický systém může v rámci rašeliniště reagovat odlišně. Příkladem je např. studie [18], kde je potvrzen dlouhodobý nárůst koncentrací organických látek ve vodě. Naopak jiné studie potvrzují skokový nárůst koncentrací bezprostředně po realizaci revitalizace s následným poklesem koncentrací, jež jsou však stále vyšší než původní hodnoty [19, 20]. Některé výzkumy naopak neregistrují žádné změny v koncentraci organických látek [21, 22]. Dokonce existují studie, které zaznamenaly pokles koncentrací organických látek po přehrazení odtokových kanálů a navýšení HPV [23–25]. Např. ve studii [23] je pokles koncentrace HL odůvodněn zvýšením hladiny podzemní vody, a tím naředěním koncentrací v celé ploše rašeliniště. Obvykle však vyšší míra zamokření bývá udávána jako důvod vyplavování většího množství organických látek.

Obsah organických látek v závislosti na srážkách a průtoku sledovala také studie [26] v povodí Kameničky a Flájí, kde bylo popsáno nejvyšší vyplavování látek 1 až 2 dny po srážkách. V případě námi sledovaného území, kde jsme se zaměřovali zejména na průběh kulminace, dochází k nárůstu koncentrací sledovaných látek ihned na počátku vzestupu hladiny nebo následuje rovnou pokles koncentrací způsobený ředěním dešťovou vodou. Jak ale ukazují přepočty na celkové množství vyplavených látek, při nižších koncentracích a vyšším průtoku se vyplavuje mnohonásobně větší množství organických látek než při nízkém průtoku a vysokých koncentracích. Studie také popisuje pozitivní dopad nádrže na koncentrace organických látek. Zde se však bude pravděpodobně jednat primárně o transformaci vyšších koncentrací látek na vtoku v čase, jako je tomu u Novoveského rybníka. Příkladem jsou ve studii nejvyšší naměřené rozdíly právě v době minimálních průtoků, kdy celková bilance látek je zanedbatelná. Naopak při vyšších průtocích může docházet k vyšším koncentracím na odtoku z nádrže v porovnání s přítokem. Studie v neposlední řadě potvrzuje výsledky týkající se samočisticích procesů ve vodním toku, jež jsme pozorovali na toku Chomutovky.

Z výše uvedených výsledků vyplývá důležitost výzkumu v konkrétní oblasti, který přináší komplexní odpovědi na hydrologické procesy, a nápravná opatření prováděná v daném místě. Z výše uvedeného vyplývá, že hydrochemické chování těchto člověkem poznamenaných mokřadních povodí je celkem variabilní – ať už s ohledem na stáří a provedení samotných revitalizací, nebo v důsledku samotné morfologie povodí. Proto jsou poznatky z těchto míst velmi cenné, nicméně jejich přenositelnost je celkem limitovaná. Poznatky z tohoto monitoringu budou proto dále využity v projektech místně zaměřených – např. v projektu *„RUR: Region univerzitě, univerzita regionu"*, CZ.10. 02. 01/00/22_002/0000210, který se věnuje Ústeckému kraji.

ZÁVĚR

Hydrologický monitoring rašelinných biotopů probíhající od prosince 2022 v oblasti PR Prameniště Chomutovky se zaměřuje na sledování hydrologických a hydrochemických procesů v revitalizovaných a nerevitalizovaných plochách po těžbě rašeliny. Projekt je řešen v rámci veřejné zakázky pro Ústecký kraj a přináší výsledky s významem přesahujícím oblast povodí Chomutovky, jelikož jde o zdrojovou oblast s vyššími nároky na kvalitu vody pro využití ve vodárenství. Cílem je udržet v dané lokalitě dlouhodobý monitoring zaměřený na vyhodnocení dopadů revitalizací na kvantitativní i kvalitativní hydrologii. V rámci tohoto článku jsme představili pouze část výsledků monitoringu, týkající se sledování HL v povrchových a podzemních vodách. Celkový monitoring bude pokračovat minimálně do konce roku 2025 a nabídne prostor k prezentaci širších závěrů.

Sledování koncentrací HL na zájmové ploše v rašeliništích u obce Hora Svatého Šebestiána ukazuje vyšší koncentrace v revitalizované ploše, kde došlo k přehrazení odtokových kanálů a navýšení HPV. Zatímco ve vrtech koncentrace kolísají po celý rok v podobném rozptylu i při poklesu HPV v letních měsících, v povrchových vodách dochází k výraznému nárůstu koncentrací při nízkých průtocích. Díky nízkému průtoku je však množství odplavovaných organických látek v tu dobu nízké. Toto množství roste v případě odtokových událostí jako reakce na významné srážky i přes to, že koncentrace HL během těchto situací klesají. Na základě pozorování probíhajících na tocích odvodňujících rašeliniště lze však tvrdit, že ani občasné zvýšené koncentrace HL z revitalizovaných i nerevitalizovaných ploch nemají významný dopad na kvalitu vody v samotném toku Chomutovky. Samočisticí a ředící procesy zapříčiňují rychlý pokles koncentrací HL a DOC, což je patrné na výsledcích z automatických vzorkovačů umístěných na vodním

toku 500 m od sebe, ale také na cca 5 km dlouhém úseku toku Chomutovky, kde dochází k poklesu koncentrací HL i o více než 80 %.

Jako vhodné opatření pro zlepšení kvality vody a předcházení krátkodobým výskytům vysokých koncentrací látek zhoršujících kvalitu vody se jeví umístění nádrže v místě odtoku vody z plochy rašelinišť. V rámci monitoringu byl sledován chemismus vody na profilech CH9 na vtoku do nádrže a profilu CH10 na výtoku z nádrže. V případě HL byla prokázána transformace koncentrací v čase, při níž došlo k výraznému snížení hodnot maximálních koncentrací a logicky k navýšení minimálních koncentrací, kdy nahromaděné HL jsou uvolňovány z nádrže postupně. Tento proces není překvapivý, ale je navíc doplněn navýšením poměru HK/FK na odtoku, v nádrži tedy dochází k rozkladu či sedimentaci více nežádoucích huminových fulvokyselin. Zvyšuje se také pH i parametry KNK 4,5 a ZNK 4,5 a dochází ke zvýšení biologické stability.

Poděkování

Článek vznikl na základě monitoringu prováděného v rámci projektu „Hydrologický monitoring rašelinných biotopů 2022–2024" financovaného Ústeckým krajem na základě smlouvy o dílo. Příspěvek využívá poznatky a zkušenosti z monitoringu pro projekt č. SS02030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda)", které jsou používány také v projektu „RUR: Region univerzitě, univerzita regionu", CZ.10. 02. 01/00/22_002/0000210. V rámci spolupráce s UJEP a ČZU byly vypracovány dvě bakalářské práce zabývající se HL a retenční kapacitou rašeliniště.

Literatura

[1] BUFKOVÁ, I., STIBAL, F., MIKULÁŠKOVÁ, E. Restoration of Drained Mires in the Šumava National Park, Czech Republic. In: EISELTOVÁ, M. (ed.). *Restoration of Lakes, Streams, Floodplains, and Bogs in Europe: Principles and Case Studies*. Dordrecht: Springer, 2010, s. 331–354. ISBN 978-90-481-9264-4.

[2] VLČEK, L. et al. Retenční potenciál a hydrologická bilance horského vrchoviště: případová studie Rokytecké slatě, povodí horní Otavy. JZ. Česko. *Geografie*. 2012, 117(4), s. 395–414. Dostupné z: https://geografie.cz/media/pdf/geo_2012117040395.pdf

[3] KALBITZ, K., SOLINGER, S., PARK, J.–H., MICHALZIK, B., MATZNER, E. Controls on the Dynamics of Dissolved Organic Matter in Soils: A Review. *Soil Science*. 2000, 165(4), s. 277–304. Dostupné z: https://doi.org/10.1097/00010694-200004000-00001

[4] RECKHOW, D. A., SINGER, P. C., MALCOLM, R. L. Chlorination of Humic Materials: Byproduct Formation and Chemical Interpretations. *Environmental Science & Technology*. 1990, 24(11), s. 1 655–1 664. Dostupné z: https://doi.org/10.1021/es00081a005

[5] IMAI, A., FUKUSHIMA, T., MATSUSHIGE, K., KIM, Y. H., CHOI, K. Characterization of Dissolved Organic Matter in Effluents from Wastewater Treatment Plants. *Water Research*. 2002, 36(4), s. 859–870. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00283-4

[6] EDZWALD, J. K. Coagulation in Drinking Water Treatment: Particles, Organics and Coagulants. *Water Science and Technology*. 1993, 27(11), s. 21–35. Dostupné z: https://doi.org/10.2166/wst.1993.0261

[7] VOLK, C., BELL, K., IBRAHIM, E., VERGES, D., AMY, G., LECHEVALLIER, M. Impact of Enhanced and Optimized Coagulation on Removal of Organic Matter and its Biodegradable Fraction in Drinking Water. *Water Research*. 2000, 34(12), s. 3 247–3 257. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00033-6

[8] MATILAINEN, A., GJESSING, E. T., LAHTINEN, T., HED, L., BHATNAGAR, A., SILLANPÄÄ, M. An Overview of the Methods Used in the Characterization of Natural Organic Matter (NOM) in Relation to Drinking Water Treatment. *Chemosphere*. 2011, 83(11), s. 1 431–1 442. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.01.018

[9] JANKOVSKÁ, V., POKORNÝ, P. Reevaluation of the Palaeoenvironmental Record of the Former Komořanské Jezero Lake: Late-Glacial and Holocene Palaeolimnology and Vegetation Development in North-Western Bohemia, Czech Republic. *Preslia*. 2013, 85(3), s. 265–287.

[10] CHARAMBA, L. V. C. et al. Tracing Sources of Dissolved Organic Matter along the Terrestrial-Aquatic Continuum in the Ore Mountains (Germany). *Science of the Total Environment*. 2024, 943, 173807. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173807

[11] MATOUŠKOVÁ, M. et al. Response of Dissolved Organic Carbon in Streams Draining Peatbogs to Extreme Rainfall-Runoff Events: A Case Study from Šumava (Bohemian Forest) National Park, Czech Republic. *Environmental Earth Sciences*. 2024, 83, 491. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/s12665-024-11804-x

[12] KOPÁČEK, J., KLEMENTOVÁ, Š., NORTON, S. A. Photochemical Production of Ionic and Particulate Aluminum and Iron in Lakes. *Environmental Science & Technology*. 2005, 39(10), s. 3 656–3 662. Dostupné z: https://doi.org/10.1021/es048101a

[13] VOKOUN, M., MORAVEC, V., ECKHARDT, P., PRINZ, J. *Monitoring rašelinných biotopů 2022–2025 – Závěrečná zpráva*. Praha: VÚV TGM, v. v. i, 2025.

[14] GRZNÁR, D. *Vliv revitalizace rašelinišť u Hory Svatého Šebestiána na organické látky v Chomutovce. Bakalářská práce*. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, Fakulta životního prostředí, 2024.

[15] BARTŮŇKOVÁ, L. *Hydrologický režim rašeliniště při vybraných srážkoodtokových událostech. Bakalářská práce*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, 2025.

[16] MORAN, M. A., ZEPP, R. G. Role of Photoreactions in Formation of Biologically Labile Compounds from Dissolved Organic Matter. *Limnology and Oceanography*. 1997, 42(6), s. 1 307–1 316. Dostupné z: https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.6.1307

[17] HELMS, J. R., MAO, J., SCHMIDT-ROHR, K., ABDULLA, H., MOPPER, K. Photochemical Flocculation of Terrestrial Dissolved Organic Matter and Iron. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2013, 121, s. 398–413. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.gca.2013.07.025

[18] STRACK, M. et al. Changes in Dissolved Organic Carbon Quality in Soils and Discharge 10Years after Peatland Restoration. *Journal of Hydrology*. 2015, 527, s. 345–354. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.061

[19] KOSKINEN, M. et al. Restoration of Nutrient-Rich Forestry-Drained Peatlands Poses a Risk for High Exports of Dissolved Organic Carbon, Nitrogen, and Phosphorus. *Science of the Total Environment*. 2017, 586, s. 858–869. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.065

[20] BERNARD-JANNIN, L. et al. Hydrological Control of Dissolved Organic Carbon Dynamics in a Rehabilitated *Sphagnum*-Dominated Peatland: A Water-Table Based Modelling Approach. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2018, 22(9), s. 4 907–4 920. ISSN 1607-7938. Dostupné z: https://doi.org/10.5194/hess-22-4907-2018

[21] PEACOCK, M. et al. Peatland Ditch Blocking Has no Effect on Dissolved Organic Matter (DOM) Quality. *Hydrological Processes*. 2018, 32(26), s. 3 891–3 906. Dostupné z: https://doi.org/10.1002/hyp.13297

[22] STRACK, M. et al. Changes in Dissolved Organic Carbon Quality in Soils and Discharge 10Years after Peatland Restoration. *Journal of Hydrology*. 2015, 527, s. 345–354 Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.061

[23] GATIS, N. et al. Peatland Restoration Increases Water Storage and Attenuates Downstream Stormflow but Does Not Guarantee an Immediate Reversal of Long-Term Ecohydrological Degradation. *Scientific Reports*. 2023, 13, 15865. Dostupné z: https://doi.org/10.1038/s41598-023-40285-4

[24] ARMSTRONG, A. et al. The Impact of Peatland Drain-Blocking on Dissolved Organic Carbon Loss and Discolouration of Water; Results from a National Survey. *Journal of Hydrology*. 2010, 381(1–2), s. 112–120. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.11.031

[25] HÖLL B. S. et al. Characteristics of Dissolved Organic Matter Following 20Years of Peatland Restoration. *Science of the Total Environment*. 2009, 408(1), s. 78–83. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.08.046

[26] JURÁSEK, A. et al. *Výzkum možnosti minimalizace obsahů organických škodlivin ve zdrojích pitných vod v Krušných horách*. Fláje: Povodí Ohře, státní podnik, 2013. Dostupné z: https://www.poh.cz/c-100018967-vyzkum-moznosti-minimalizace-obsahu-organickych-skodlivin-ve-zdrojich-pitnych-vod-v-krusnych-horach/d-1320

Autoři

Ing. Martin Vokoun, Ph.D.[1, 2]
✉ martin.vokoun@vuv.cz
ORCID: 0000-0001-7997-2205

Ing. Vojtěch Moravec, Ph.D.[1, 2]
✉ vojtech.moravec@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-0358-9837

Mgr. Pavel Eckhardt[1]
✉ pavel.eckhardt@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-4218-5344

[1]Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha (Česká republika)
[2]Česká zemědělská univerzita v Praze (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.07.003

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

DYNAMICS OF HUMIC SUBSTANCES IN PEAT HABITATS OF PRAMENIŠTĚ CHOMUTOVKA NATURE RESERVE

VOKOUN, M.[1,2]; MORAVEC, V.[1,2]; ECKHARDT, P.[1]

[1]T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague (Czech Republic)
[2]Czech University of Life Sciences, Prague (Czech Republic)

Keywords: peat bog — hydrology — monitoring — revitalization — humic substances — hydrochemistry

This article focuses on evaluating the concentrations of humic substances (HS) in peatland waters in the Ore Mountains region, specifically in the area near the village of Hora Svatého Šebestiána in the Prameniště Chomutovka Nature Reserve. The aim was to assess the impact of revitalization measures on the occurrence of HS in surface and subsurface waters in a post-peat-extraction environment. Monitoring was carried out from 2022 to 2024 on two experimental sites – one revitalized (site A) and one predominantly non-revitalized (site B) – and involved extensive monthly sampling, installation of flow weirs, shallow observation wells, and meteorological stations.

The results show that revitalization affects the dynamics of HS occurrence. In surface and groundwater from the revitalized area, higher minimum HS concentrations and greater annual variability were observed, whereas the non-revitalized area showed lower minimum but higher maximum concentrations under dry hydrological conditions – when surface runoff and the associated transport of substances are minimal. The ratio of humic to fulvic acids (HA/FA), important in terms of water treatment and chemical behavior, was less favorable in the revitalized area, indicating a higher proportion of poorly degradable fulvic acids.

During significant rainfall-runoff events, HS concentrations decreased, but the overall volume of mobilized organic matter increased. The study also demonstrated a notable self-purifying effect of the recipient stream, which reduced occasional higher HS concentrations from revitalized areas, and a positive effect of the retention reservoir on water chemistry, with reduced peak HS concentrations and an increased HA/FA ratio at the outflow.

The findings provide valuable insights for planning water management measures in peatland areas and help to clarify the dynamics of organic substances within peat bogs and their drainage systems. The results may contribute to improving the quality of water sources when planning revitalization efforts in peatlands affected by peat extraction.

Foto: M. Vokoun

Vliv hydrologických extrémů na rybníky a malé vodní nádrže

VERONIKA TÁBOŘÍKOVÁ, PAVEL BALVÍN

Klíčová slova: rybník — malá vodní nádrž — sucho — minimální zůstatkový průtok — povodeň — bezpečnost při povodních

ABSTRAKT

Tento článek představuje metodický přístup a klíčové výsledky výzkumného projektu *„Řešení rybníků a malých vodních nádrží z hlediska možnosti dodržování MZP a bezpečnosti při povodních“* (TA ČR, č. SS03010230). Projekt se zaměřil na posouzení rybníků, rybničních soustav a malých vodních nádrží ve vztahu ke dvěma hydrologickým extrémům – suchu a povodním. V období sucha se řeší problematika dodržování minimálního zůstatkového průtoku. Článek popisuje způsob stanovení a dodržování minimálního zůstatkového průtoku na těchto vodních dílech. Dále se článek zabývá posouzením zabezpečenosti těchto vodních děl z hlediska bezpečného převedení povodňových průtoků podle ČSN 75 2935 – Posouzení bezpečnosti vodních děl při povodních.

ÚVOD

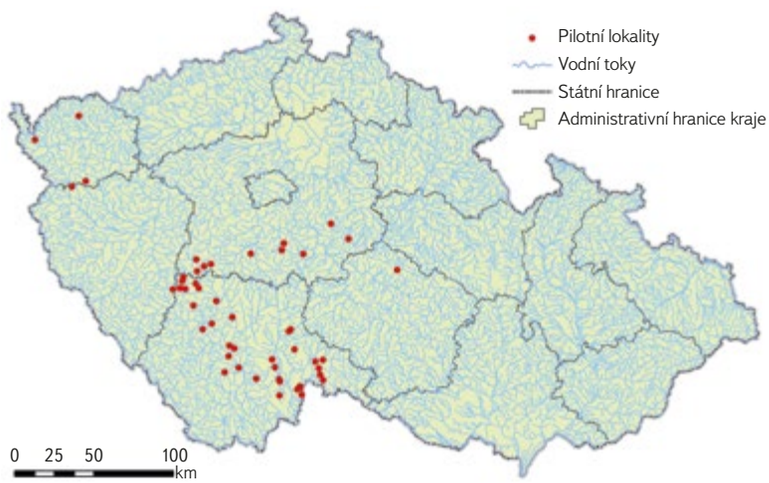
V posledních dekádách zasáhly území České republiky (ČR) povodňové události s různou dobou opakování a rozsahem zasažených oblastí. Zároveň byla ČR postižena i obdobími dlouhodobého sucha, která si vyžádala významná omezení z pohledu vodního hospodářství a zemědělské produkce. Při zohlednění zaznamenaného a prognózovaného vývoje klimatických podmínek [1] lze i do budoucna na území ČR očekávat výskyt hydrologických extrémů v podobě sucha a povodní.

V ČR se nachází přibližně 25 000 rybníků a malých vodních nádrží (MVN). V souvislosti s výskytem hydrologických extrémů vznikly otázky, jak stávající rybníky a MVN mohou obstát při vystavení těmto dvěma extrémům a zároveň plnit svůj hlavní účel. Rybník je podle ČSN 75 2405 definován jako „uměle vypustitelná nádrž s přirozeným dnem, která slouží především k chovu ryb“ [2]. MVN je definována dle normy ČSN 75 2410 jako „nádrž s objemem po hladinu normální hladiny menším než 2 mil. m^3 a hloubkou vody menší než 9 m“ [3]. Účel této nádrže může být např. zásobní, ochranný, rybochovný, rekreační, krajinotvorný, hospodářský, čisticí, asanační apod. Ačkoli tato vodní díla (VD) představují potenciální nástroj pro akumulaci vody v boji proti suchu, jsou limitována svým účelem a přinášejí specifické požadavky na hydrologický režim. Např. MVN určená pro chov ryb při suchu obtížně zajistí nadlepšování pro minimální zůstatkový průtok. Z hlediska povodňové ochrany je pak otázkou zabezpečení těchto stávajících vodních děl proti účinkům povodní s ohledem na ochranu území, majetku a lidských životů pod nimi. Měla by být vybavena dostatečně kapacitním bezpečnostním přelivem, avšak v některých případech tomu tak není. V současné době stávající rybníky a MVN vykazují jisté nedostatky, jež jim brání v efektivním plnění kladených požadavků. Cílem výzkumného projektu, na němž se podíleli spoluřešitelé Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka (VÚV TGM) a VODNÍ DÍLA – TBD, a. s. (VD – TBD), bylo zhodnotit jejich aktuální problémy a posoudit možnosti v oblasti dodržování minimálního zůstatkového průtoku (MZP) a bezpečnosti při povodních.

METODIKA

Vstupní data

Prvním krokem řešení byl výběr pilotních lokalit, a to především na území Jihočeského kraje. Při výběru reprezentativního souboru 50 pilotních lokalit rybníků a MVN se kromě zohlednění problematiky minimálních zůstatkových průtoků a bezpečnosti při povodních dbalo také na zachování jejich rozmanitosti. Byly vybrány pilotní lokality s různou velikostí zadržovaného objemu, plochou zátopy, plochou povodí i s odlišným technickým řešením výpustních objektů a bezpečnostních přelivů. Polohu pilotních lokalit ukazuje *obr. 1*. Výchozími podklady pro projekt byla dostupná dokumentace o vodních dílech v podobě manipulačních řádů a disponibilních hydrologických dat.



Zdroj dat: VÚV TGM, VODNÍ DÍLA — TBD a. s., ČÚZK

Obr. 1. Mapa pilotních lokalit
Fig. 1. Map of pilot locations

Minimální zůstatkový průtok

MZP je podle § 36 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), definován jako „průtok povrchových vod, který ještě umožňuje obecné nakládání s povrchovými vodami a ekologické funkce vodního toku a zohledňuje možnosti rekreační plavby“ [4]. Vodoprávní úřady mají dle tohoto paragrafu povinnost stanovit MZP v povolení k nakládání s vodami. Přitom přihlédnou „k podmínkám na vodním toku, možnostem rekreační plavby, charakteru

nakládání s vodami a opatřením k dosažení cílů ochrany vod přijatých v plánu povodí" [4]. Způsob a kritéria stanovení MZP mají vycházet z vládního nařízení.

Legislativní řízení ke schválení vládního nařízení probíhá již od novelizace vodního zákona v roce 2010 a nebylo dosud dokončeno. V současné době je k dispozici platný *Metodický pokyn Odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot MZP ve vodních tocích* z roku 1998 (dále jen metodický pokyn) [5], popřípadě další související zákonné předpisy. Důvodem pro změnu metodického přístupu z hlediska MZP ze strany MŽP ČR bylo několik [6]. Zaprvé lze konstatovat, že tzv. Bílkova tabulka, podle níž se počítají směrné hodnoty MZP dle metodického pokynu, byla původně určena k ředění odpadních vod pod ČOV. Dále na základě dokumentu EU č. 31: *Environmental flows* bylo rozhodnuto přehodnotit stávající přístup a přiblížit se více novým aktuálním standardům, jako je zohlednění potřeb vodních ekosystémů a rozdělení MZP na minimálně dvě hodnoty během roku.

Právě v návaznosti na novelizaci vodního zákona v roce 2010 byl VÚV TGM pověřen přehodnocením přístupu ke stanovení MZP podle metodického pokynu a implementací dalších požadavků do nově navrhovaného přístupu ke stanovení MZP. Tento navrhovaný přístup se stal podkladem pro návrh Nařízení vlády České republiky o způsobu a kritériích stanovení MZP (dále jen návrh nařízení vlády). Přístup bere v úvahu regionální hydrogeologická specifika, sezonní rozdělení hodnot MZP během roku a zahrnutí více hydrologických parametrů do výpočtu MZP. Zároveň se kladl důraz na zohlednění potřeb biologických složek vodního prostředí.

Podle navrhovaného přístupu se pro vodní nádrže a soustavy vodních nádrží stanoví MZP dle způsobu stanovení MZP ve vodním toku. Přitom se přihlíží k provozu vodní nádrže a aktuálním hydrologickým podmínkám ve vodním toku. Pokud však vodohospodářské řešení těchto vodních děl naplňuje požadavek ČSN 75 2405 – Vodohospodářské řešení vodních nádrží a zároveň je to nezbytné pro jejich účel, MZP se pak stanoví odlišně. Navrhovaný přístup ke způsobu stanovení MZP ve vodních tocích regionálně rozděluje území ČR do čtyř oblastí. Tato regionalizace zohledňuje klíčové procesy podílející se na tvorbě celkového odtoku z povodí s přihlédnutím především k hydrologickým a hydrogeologickým podmínkám. Dále uvažuje hranice povodí čtvrtého řádu (podle Strahlera). Každé oblasti náleží konkrétní kompenzační součinitel. Kompenzační součinitel se příslušné vodní nádrži přiřadí na základě jejího zatřídění do požadované oblasti podle čísla jejího hydrologického pořadí povodí. Z důvodu zavedení sezonního rozdělení MZP během roku se hodnota MZP stanoví pro dvě období – tzv. hlavní sezonu (květen až leden) a jarní sezonu (únor až duben).

Pro hlavní sezonu se MZP stanoví podle vztahu

$$MZP = (1 - Q_{355d} \cdot Q_a^{-1}) \cdot Q_{330d} \cdot K$$

a pro jarní sezonu se MZP stanoví podle vztahu

$$MZP = Q_{330d}$$

kde:

MZP	je	minimální zůstatkový průtok ($m^3 \cdot s^{-1}$)
Q_{355d}		průtok dosažený nebo překročený v dlouhodobém průměru 355 dní v roce ($m^3 \cdot s^{-1}$)
Q_a		dlouhodobý průměrný roční průtok ($m^3 \cdot s^{-1}$)
Q_{330d}		průtok dosažený nebo překročený v dlouhodobém průměru 330 dní v roce ($m^3 \cdot s^{-1}$)
K		kompenzační součinitel pro danou oblast, jehož hodnota byla odvozena s ohledem na požadavek zachovat MZP co nejblíže hodnotě 25 % Q_a (oblast 1 má $K = 1{,}2$; oblast 2 má $K = 1{,}1$; oblast 3 má $K = 1{,}05$; oblast 4 má $K = 1{,}07$)

Do navrhovaného přístupu ke způsobu stanovení MZP pro vodní nádrže a soustavy vodních nádrží dále vstupují provozní podmínky a aktuální hydrologické podmínky. Při napouštění vodního díla a jeho provozu by se měl na odtoku z nádrže zajistit stanovený MZP. V případě snížení přítoku do nádrže pod hodnotu stanoveného MZP by se měla na odtoku z nádrže dodržovat hodnota přítoku do ní, jak ukazují následující vztahy:

$$Q_{přítok} \geq MZP_{stanovený}\ ;\ Q_{odtok} = MZP_{stanovený}$$

$$Q_{přítok} < MZP_{stanovený}\ ;\ Q_{odtok} = Q_{přítok}$$

kde:

Q_{odtok}	je	odtok z nádrže ($m^3 \cdot s^{-1}$)
$Q_{přítok}$		přítok do nádrže ($m^3 \cdot s^{-1}$)
$MZP_{stanovený}$		stanovený minimální zůstatkový průtok podle vztahů výše ($m^3 \cdot s^{-1}$)

Výzkumný projekt *„Řešení rybníků a malých vodních nádrží z hlediska možnosti dodržování MZP a bezpečnosti při povodních"* (TA ČR, č. SS03010230) navazuje na předešlé aktivity VÚV TGM spjaté s navrhovaným přístupem stanovení MZP. Projekt převzal tento navrhovaný přístup a aplikoval jej. Zaměřil se na způsob stanovení hodnoty MZP (podle navrhovaného přístupu a podle metodického pokynu) a možnosti dodržování MZP na vodních nádržích. Přihlíželo se k hydrologické bilanci vodního díla a k reálným a technicky proveditelným možnostem výpustného objektu. Při legislativním řízení vyplynula otázka, zda by se při stanovení MZP měly u MVN a rybníků zohlednit ztráty v nádrži – např. výparem nebo průsakem – tak, že by se hodnota MZP o ztráty snížila. Výzkumný projekt se touto otázkou zabýval.

Bezpečnost při povodních

V ČR se posouzení bezpečnosti vodních děl při povodních provádí podle normy ČSN 75 2935 – Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních. Česká technická norma (ČSN) sama o sobě není obecně závazná (dle zákona č. 22/1997 Sb.). Používání norem se stává závazné v okamžiku, kdy jsou citovány v zákonných předpisech. Příkladem je odkaz na normu ČSN 75 2935 v § 61 vodního zákona. Výsledkem aplikace této normy je *Posudek bezpečnosti vodního díla při povodních*. Posudek se vyhotovuje pro všechny konstrukční typy hráze (z místních materiálů, betonových, zděných a kombinovaných) a vztahuje se na všechny kategorie vodních děl ve smyslu vyhlášky č. 471/2001 Sb., o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly. Touto problematikou se v projektu zabýval spoluřešitel projektu VD – TBD. V rámci posouzení bezpečnosti při povodních bylo úkolem projektu zpracovat posudky pro jednotlivé pilotní lokality a na základě nabytých zkušeností sestavit zásady pro práci s normou ČSN 75 2935 pro charakteristický typ historických vodních děl (rybníků), spadajících do III. a IV. kategorie z hlediska technickobezpečnostního dohledu.

Stručné zásady zpracování posouzení bezpečnosti při povodních dle normy ČSN 75 2935 jsou následující [7, 8]:

- Stanovuje se míra bezpečnosti při povodni, a to odstupňovaně podle významu vodního díla (VD) z hlediska možných škod při jeho havárii. Je vyjádřena hydrologickým podkladem, okolnostmi ovlivňujícími bezpečnost VD při povodni a předpoklady a podmínkami převádění povodně přes VD.
- Požadovaná míra bezpečnosti se u provozovaných VD stanoví podle provedené kategorizace s přihlédnutím k možným ztrátám lidských životů a výši škod při havárii VD. V případě návrhu nového VD, které

nebylo doposud kategorizováno, se pro zařazení použije postup podle příslušného platného metodického pokynu ke zpracování posudků pro zařazení VD do kategorie z hlediska technickobezpečnostního dohledu (viz Metodický pokyn č. 1/2010, k technickobezpečnostnímu dohledu nad vodními díly).
- Hydrologickým podkladem se rozumí kontrolní povodňová vlna (KPV), kterou tvoří jedna nebo více povodňových vln s pravděpodobností překročení odpovídající požadované míře bezpečnosti.
- Stanoví se mezní bezpečná hladina (MBH) na základě konkrétních podmínek VD (tj. okolností ovlivňujících bezpečnost při povodni a pravděpodobné příčiny havárie).
- Stanoví se kontrolní maximální hladina (KMH) podle předpokladů a podmínek převádění KPV přes VD.
- Výsledkem posouzení je relace mezi úrovněmi MBH a KMH (tj. KMH ≤ MBH vyhovuje) a doporučená nápravná, případně nouzová opatření.
- V posudku se hodnotí bezpečnost a stabilita hráze, jednotlivých funkčních objektů a podloží při mezním zatížení vyvolaném průchodem KPV. Pro posouzení je tedy nutná znalost technického stavu VD, který je nezbytné v posudku zohlednit při stanovení předpokladů a podmínek pro převádění povodní.

Posudek bezpečnosti při povodních má následující jednotné členění a označení kapitol:
- A. Úvodní část
- B. Účel a popis vodního díla
- C. Základní údaje a podklady
- C.1. Požadovaná míra bezpečnosti vodního díla při povodni
- C.2. Hydrologické podklady
- C.3. Technické parametry a podklady
- C.4. Okolnosti ovlivňující bezpečnost vodního díla při povodni
- C.5. Hydraulické výpočty
- D. Stanovení mezní bezpečné hladiny
- E. Stanovení kontrolní maximální hladiny v nádrži
- F. Závěrečné zhodnocení
- G. Nápravná a nouzová opatření
- H. Použité podklady
- I. Seznam příloh

VÝSLEDKY A DISKUZE

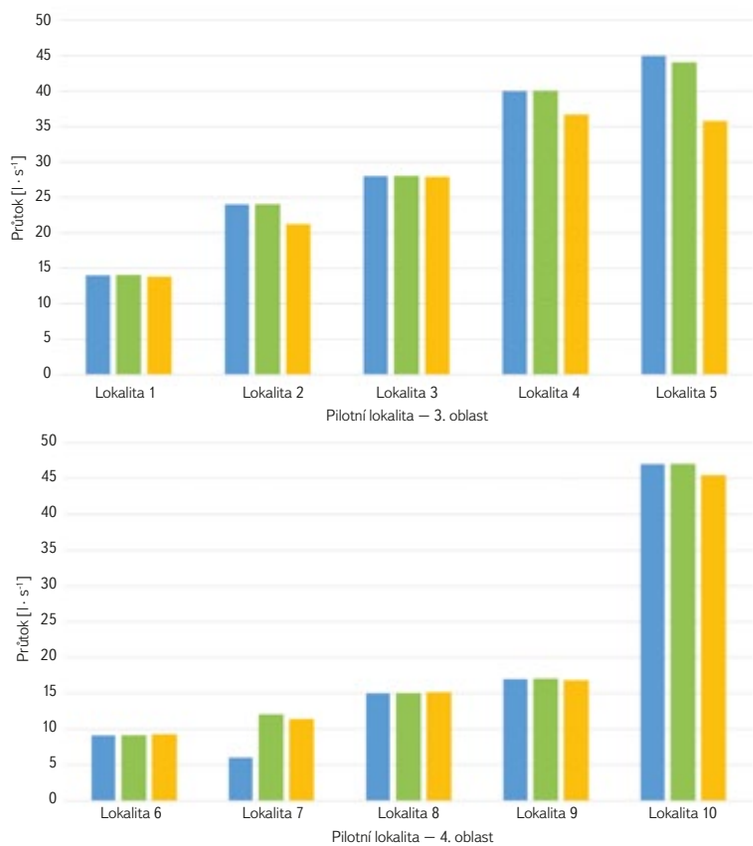
Minimální zůstatkový průtok

Porovnání hodnot MZP stanovené na základě metodického pokynu a návrhu nařízení vlády (*tab. 1*) ukazuje, že aplikace přístupu v návrhu nařízení vlády nezpůsobí výrazné změny v hodnotách MZP. Konkrétně, u 22 pilotních lokalit se rozdíl MZP mezi stávajícím metodickým pokynem a návrhem nařízení vlády pohyboval do 5 %, u 9 lokalit do 10 %, u 7 lokalit do 15 % a u 4 lokalit překročil rozdíl 20 %. Pro 7 pilotních lokalit byly hodnoty obdobné. Stojí za zmínku, že v některých případech je hodnota MZP v povolení nakládání s vodami rozdílná od vypočtených směrných hodnot dle metodického pokynu. Tento rozdíl je způsoben buď starším povolením nakládání s vodami, nebo byl stanoven rozdílně z určitého důvodu. Porovnání hodnot MZP pro vybrané lokality s ohledem na jejich zatřídění do oblastí detailně ukazuje *obr. 2*. Pilotní lokality, rozdělené do oblastí na základě regionalizace v návrhu nařízení vlády, spadají do 3. oblasti a 4. oblasti. Z analýzy dat rovněž vyplynulo, že u pilotních lokalit nedocházelo až na jednu výjimku (*obr. 3*) k podkročení průtoku Q_{355d}. Návrh nařízení vlády stanovuje průtok Q_{355d} jako nejnižší přípustnou hodnotu MZP, protože průtok reprezentuje hranici hydrologického sucha.

Tab. 1. Porovnání způsobu stanovení MZP podle návrhu Nařízení vlády České republiky o způsobu a kritériích stanovení MZP ve verzi z roku 2019 (MZP NV) a podle Metodického pokynu Odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot MZP ve vodních tocích z roku 1998 (MZP MP 1998) zobrazené ve formě jejich procentuálního rozdílu

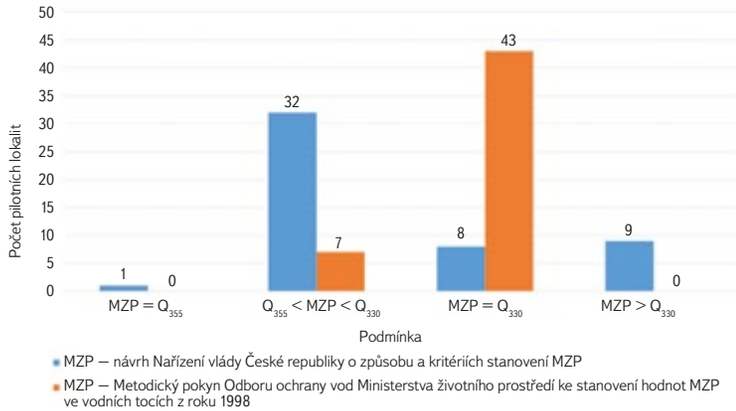
Tab. 1. Comparison of the method of determining the minimum residual flow (MRF) according to the draft Regulation of the Government of the Czech Republic on the method and criteria for determining the MRF in the 2019 version (MZP NV) and according to the Methodical Instruction of the Department of Water Protection of the Ministry of the Environment to Determine the Values of MRF in Watercourses from 1998 (MZP MP 1998) shown as their percentage difference

Porovnání	Relativní rozdíl hodnot					
	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	30 %
MZP NV > MZP MP 1998	7	10	2	2	-	1
MZP NV < MZP MP 1998	7	12	7	5	-	3
Celkem	7	22	9	7	-	4



Obr. 2. Porovnání MZP podle návrhu nařízení vlády ve verzi z roku 2019 (žlutý sloupec), dále MZP podle metodického pokynu z roku 1998 (zelený sloupec) a MZP stanoveného v povolení nakládání s vodami (modrý sloupec) pro vybrané lokality ve 3. oblasti a 4. oblasti

Fig. 2. Comparison of the MRF according to the draft Regulation of the Government in the 2019 version (yellow column), the MRF according to the Methodical Instruction from 1998 (green column) and the MRF determined in the water management permit (blue column) for selected locations in area 3 and area 4



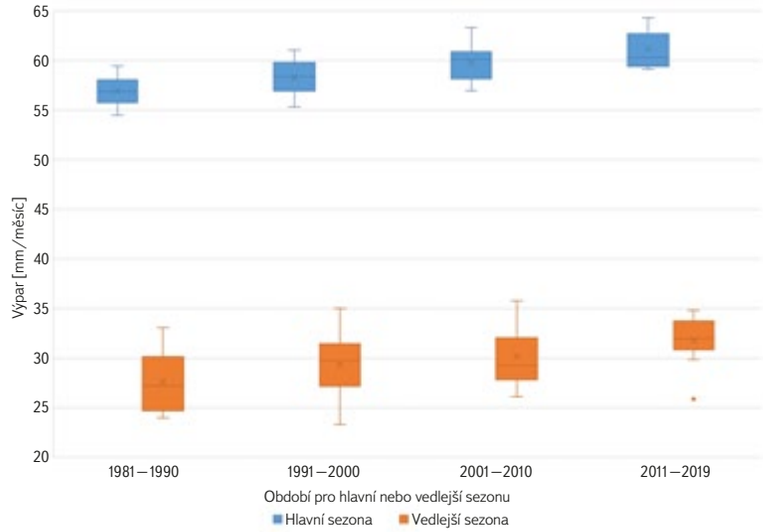
Obr. 3. Porovnání způsobu stanovení MZP podle návrhu nařízení vlády ve verzi z roku 2019 a podle metodického pokynu z roku 1998 s M-denními průtoky Q_{355} a Q_{330}

Fig. 3. Comparison of the method of determining the MRF according to the draft Regulation of the Government in the 2019 version and according to the Methodical instruction from 1998 with the M-day flows Q_{355} and Q_{330}

Projekt se rovněž zaměřil na posouzení relevance snížení stanoveného MZP o ztráty výparem a průsakem do podloží. Průsak do podloží souvisí s hydrogeologickými podmínkami v lokalitě vodního díla. Zhodnocení ztráty výparem, prezentované na *obr. 4* a *obr. 5*, ukazuje na rostoucí trend v jednotlivých dekádách. Nicméně, ponížení MZP o ztráty výparem není u MVN a rybníků akceptovatelné, jelikož by vedlo ke snížení samotného MZP.

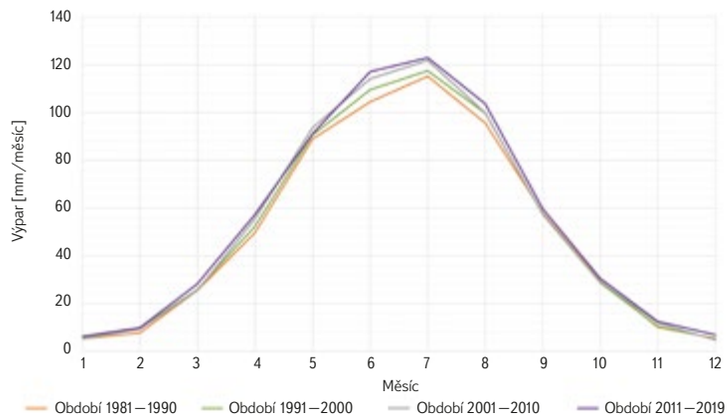
Výzkumný projekt se zabýval možnostmi dodržování MZP na vodních nádržích, kdy se přihlíželo k hydrologické bilanci vodního díla a k reálným a technicky proveditelným možnostem výpustného objektu. Zjednodušená hydrologická bilance nádrže, simulovaná pomocí aplikace MAVONA [9], ukazuje na *obr. 6*, že přísné dodržování MZP na odtoku z nádrže výrazně ovlivňuje nároky na její objem. Nekompromisní dodržování MZP po celý rok není vždy reálné, zejména pokud přítok do nádrže klesne pod stanovenou hodnotu MZP. V takových případech by bylo nutné doplňovat odtok z objemu uloženého ve vodní nádrži, což může ohrozit některé funkce vodního díla. Naopak dodržování MZP je nezbytné, aby se předešlo negativním dopadům na hydrologický režim vodního toku pod nádrží způsobeným omezením přítoku vody. Z těchto důvodů se ve způsobu stanovení MZP zohledňují provozní podmínky a aktuální hydrologické podmínky, jak bylo popsáno dříve v metodice. Technická konstrukce výpustných zařízení může představovat limitující faktor pro vypouštění požadovaného MZP, protože tato výpustná zařízení jsou technicky přizpůsobena funkcím nádrže. Pro flexibilnější regulaci odtoku v závislosti na aktuálních hydrologických podmínkách by bylo nutné upravit technické řešení výpustných zařízení a stanovit vhodnou četnost kontrol. Mezi typická výpustná zařízení používaná u rybníků a MVN patří požerák, stavidlový uzávěr, šoupátkový uzávěr, klapkový uzávěr a další. Žádné z nich však neumožňuje flexibilní manipulaci odtoku v souladu se změnami hydrologických podmínek. Pro efektivní dodržování MZP je nezbytné definovat požadavky tak, aby byly smysluplné, technicky realizovatelné a proveditelné vzhledem k velkému počtu rybníků a MVN v ČR.

Aktuální hydrologická data pro současné referenční období by měla být klíčovým podkladem pro stanovení MZP, neboť reflektují současné klimatické poměry. S vývojem klimatických poměrů se mění i hydrologické charakteristiky v povodí a na vodním díle. Projekt se zabýval otázkou, zda zahrnutí předešlé dekády do referenčního období bude mít dopad na hodnotu MZP. Během předešlé dekády se na území ČR objevily povodně i sucha. Projekt dospěl k tomu, že se mohou snížit hodnoty M-denních průtoků i MZP. Existuje zde možnost, že změnou referenčního období pro hydrologická data se pro VD pozmění požadavky na MZP.



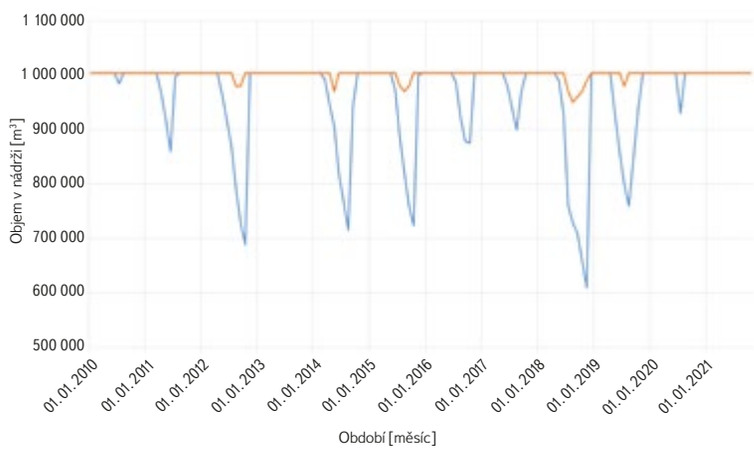
Obr. 4. Ukázka průměrného dekádového výparu pro hlavní sezonu a vedlejší jarní sezonu pro jednu pilotní lokalitu

Fig. 4. Example of average decadal evaporation for the main season and for the secondary spring season for one pilot site



Obr. 5. Ukázka průměrného dekádového měsíčního výparu pro jednu pilotní lokalitu

Fig. 5. Example of average decadal monthly evaporation for one pilot site



Obr. 6. Ukázka objemu v nádrži při dodržování MZP (modrá křivka) a při nedodržování MZP (oranžová křivka) na odtoku z nádrže za období 2010 až 2021

Fig. 6. Illustration of volume in the reservoir when complying with the MRF (blue curve) and not complying with the MRF (orange curve) at the reservoir outlet for the period from 2010 to 2021

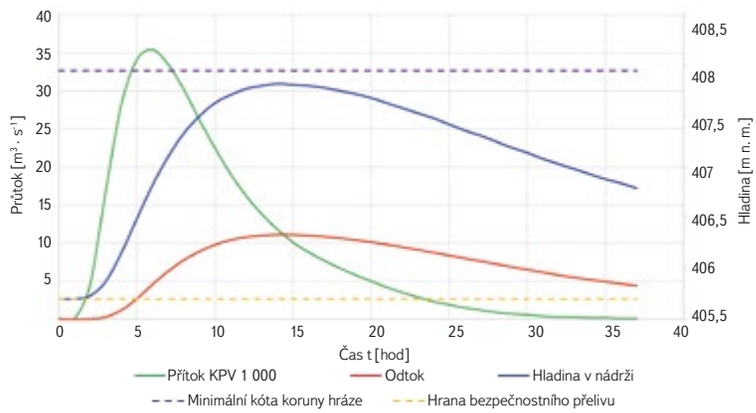
Bezpečnost při povodních

Posuzované pilotní lokality jsou na základě kategorie z hlediska technickobezpečnostního dohledu zastoupeny tak, že 34 lokalit spadá do III. kategorie a 16 lokalit do IV*. kategorie (IV* se označují významná VD IV. kategorie). Požadovaná míra bezpečnosti vyjádřená dobou opakování teoretické kontrolní povodňové vlny činí pro 34 lokalit ve III. kategorii 1 000 let, pro 13 lokalit ve IV.* kategorii 200 let a pro 3 lokality ve IV.* kategorii 100 let.

Na základě poznatků a zkušeností získaných při zpracování projektu a v předchozí praxi s vypracováním posudků bezpečnosti byl předložen návrh metodiky pro aplikaci normy ČSN 75 2935. Návrh metodiky slouží jednak jako průvodce vypracováním posudku podle ČSN 75 2935 pro historická VD za účelem zjednodušení a zefektivnění práce na posudku, jednak obsahuje náměty na aktualizaci norem ČSN 75 2935 – Posuzování bezpečnosti VD při povodních a ČSN 75 0255 – Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích. Zformulované zásady pro zpracování posudku ve formě návrhu metodiky jsou k nahlédnutí v závěrečné zprávě [7]. Zde je uveden příklad vybraných doporučení [7]:

- V rámci projektu byl pro zjednodušení a zpřehlednění hodnocení okolností ovlivňujících bezpečnost vodních děl při povodních vypracován souhrnný výčet okolností pro skupinu historických VD. Tento výčet je rozdělen do tří skupin podle předpokládaného dopadu na jednotlivé části posudku. Cílem tohoto dotazníkového přístupu je minimalizovat subjektivní složku v procesu hodnocení a vést posuzovatele. Tuto část posudku by měl zpracovávat zkušený odborník vodohospodář, nejlépe specialista technickobezpečnostního dohledu.
- Pro VD zařazená do I. až III. kategorie se podle ČSN 75 2935 požadují i údaje o větru. Pro historická VD III. kategorie se doporučuje údaje o větru neobjednávat u ČHMÚ, nýbrž použít rychlosti větru uvedené v ČSN 75 0255 – Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích.
- MBH se stanovuje pro konkrétní typ a konstrukční řešení VD jako nejvyšší hladina v nádrži, při jejímž překročení začíná být aktuální nebezpečí poruchy a havárie VD.
- Výchozí úroveň MBH může být snížena nebo zvýšena o hodnoty dílčích výšek odpovídající uvažovaným faktorům.
- KMH při povodni se stanoví řešením úlohy transformace povodňové vlny retenčním účinkem nádrže. Postupuje se podle ustanovení normy.
- Převádění vody spodní výpustí se většinou neuvažuje vlivem její nízké kapacity a pravděpodobnosti jejího ucpání. Je potřeba zohlednit možné ovlivnění kapacity funkčních objektů splávím, popř. splaveninami. V případě nejistot se uvažuje nejnepříznivější stav.
- Pokud není požadovaná míra bezpečnosti VD při povodni, vyjádřená pravděpodobností překročení kulminačního průtoku KPV, předepsaná v kategorizačním protokolu, postupuje se podle tabulky 1 v normě. V tabulce 1 normy se uvádí pravděpodobnost překročení kulminačního průtoku KPV $p = 1/N$, kde N je doba opakování.
- KPV se uvažuje jako teoretická N-letá povodňová vlna.
- Pro účely posudku je vhodné z mapových podkladů ověřit zatopenou plochu při normální hladině a dopočítat charakteristiku nádrže nad předpokládanou úroveň KMH.
- Parametry rozhodné pro vypracování posudku je třeba ověřit.
- Z uvedeného rozboru ve zprávě je zřejmé, že u historických VD je přesné vyčíslení výběhu vln neúčelné, neboť se téměř vždy následně přistupuje k jeho zásadní redukci.
- Pro aktualizaci stávajících norem vzešly dva hlavní návrhy. V souvislosti s velmi nízkou pravděpodobností souběhu kulminace KPV a trvání extrémního větru s dobou opakování 25 až 100 let (např. pro PV 100 desítky milionů let nebo pro PV 1 000 stovky milionů let) se jeví jako opodstatněné otevřít odbornou diskuzi nad stávajícím postupem výpočtu MBH podle ČSN 75 2935. Dále je doporučena ke zvážení revize ČSN 75 0255. Výpočet výběhu vln podle této normy je velmi nepřehledný a komplikovaný. Uživateli trvá dlouho, než se v postupu výpočtu zorientuje, často dochází k omylům a chybám či k nesprávnému výkladu. V obou případech je vhodné prozkoumat přístup k této problematice v zahraničí a v evropské legislativě [7].

Souhrnné hodnocení výsledků odpovídá dlouhodobě uváděným odborným odhadům a sledovaným statistikám, z nichž vyplývá, že téměř polovina historických VD nepřevede bezpečně KPV [7]. Z reprezentativního souboru vyhovělo požadavku bezpečnosti při povodních 60 %, tj. 30 pilotních lokalit. Ukázka průběhu transformace povodňové vlny KPV přes VD je na *obr. 7*.



Obr. 7. Průběh transformace povodňové vlny KPV 1 000 ve vodní nádrži
Fig. 7. Transformation of the flood wave KPV 1 000 in the reservoir

ZÁVĚR

MVN a rybníky, bez ohledu na dobu jejich vzniku, budou při plnění svého účelu muset zároveň obstát ve zkoušce zátěží hydrologickými extrémy – suchem a povodněmi. Je nezbytné nastavit jasná pravidla a kritéria, aby konečný efekt VD nebyl spíše kontraproduktivní. V období sucha se řeší problematika dodržování MZP. Doporučuje se, aby se při stanovení MZP pro MVN a rybníky zohlednily provozní a aktuální hydrologické podmínky. To znamená, že během napouštění i provozu by z nádrže mělo odtékat minimálně stanovené MZP, a v případě poklesu přítoku do nádrže pod tuto hodnotu by mělo odtékat alespoň takové množství, které do nádrže přiteče. Ponižování hodnoty MZP o ztráty výparem nebo průsakem do podloží je irelevantní. V kontextu povodní se zpracováním posudku bezpečnosti VD při povodních ověří nutnost realizovat další opatření pro jeho zabezpečenost. V rámci projektu vznikla metodika jako průvodce zpracováním tohoto posudku, včetně námětů k revizi postupů. Výstupy projektu jsou zpřístupněny na webové stránce výzkumného projektu pod odkazem: https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/projekty/MvnMzpPovodne/

Poděkování

Autoři příspěvku by rádi touto cestou poděkovali za konstruktivní přístup v průběhu řešení projektu ze strany Technologické agentury ČR, Ministerstva životního prostředí, Jihočeského kraje, zástupců vlastníků vodních děl, Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka a VODNÍCH DĚL – TBD, a. s. Dále děkují za spolupráci řešitelům projektu „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda)". Výzkumný projekt byl spolufinancován Technologickou agenturou ČR v rámci programu Prostředí pro život 3. Aplikačními garanty projektu byly Ministerstvo životního prostředí a Jihočeský kraj. Příspěvek byl 19. června 2025 prezentován na konferenci Rybníky 2025.

Literatura

[1] Český hydrometeorologický ústav et al. *Aktualizace Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR z roku 2015*. Červen 2019 [on-line]. Dostupné z: https://mzp.gov.cz/system/files/2025-03/OAZK_Komplexni_studie_dopady_klima-aktualizace_20190716.pdf [citováno 2025-06-30].

[2] *ČSN 75 2405 – Vodohospodářská řešení vodních nádrží, 04/2017*. Třídící znak 75 2405.

[3] *ČSN 75 2410 – Malé vodní nádrže, 04/2011*. Třídící znak 75 2410.

[4] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2001.

[5] Metodický pokyn č. 9 odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích (1998). *Věstník Ministerstva životního prostředí*. 1998, 5, s. 1–3. ISSN 0862-9013.

[6] BALVÍN P. *Metodika stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků v podmínkách České republiky.* Disertační práce. Praha: Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí. Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování, 2022.

[7] TÁBOŘÍKOVÁ, V., SMRŽ, P., ŠVARC, O., BALVÍN, P., SKLENÁŘ, P., KRIJT, B. et. al. *Souhrnná výzkumná zpráva k projektu Řešení rybníků a malých vodních nádrží z hlediska možnosti dodržování minimálních zůstatkových průtoků a bezpečnosti při povodních*. Praha, 2023.

[8] *ČSN 75 2935 – Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních, 01/2014*. Třídící znak 75 2935.

[9] BERAN, A., KOŽÍN, R., GEORGIEVOVÁ, I. *Aplikace MAVONA*. 2022. Dostupné z: https://mvn.vuv.cz/

Autoři

Ing. Veronika Táboříková[1]
✉ veronika.taborkova@vuv.cz
ORCID: 0000-0001-5909-4476

Ing. Pavel Balvín, Ph.D.[2]
✉ balvin@vdtbd.cz
ORCID: 0000-0001-7892-7584

[1]Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha (Česká republika)
[2]VODNÍ DÍLA – TBD, a. s., Praha (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.07.004

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

THE IMPACT OF HYDROLOGICAL EXTREMES ON PONDS AND SMALL WATER RESERVOIRS

TÁBOŘÍKOVÁ, V.[1]; BALVÍN, P.[2]

[1]T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague (Czech Republic)
[2]VODNÍ DÍLA – TBD, a. s., Prague (Czech Republic)

Keywords: ponds — small reservoir — drought — minimum residual flow — flood — flood safety

This paper presents the methodological approach and key results of the research project "*Design of ponds and small reservoirs in terms of the possibility to comply with MPF and flood safety*" (TA CR, no. SS03010230). The project focused on the assessment of the possibility of ponds, pond systems and small reservoirs in relation to two hydrological extremes. Firstly, the project examined the realistic and technically feasible options of these water works to ensure minimum residual flows below the water works, taking into account the long-term hydrological balance, the purpose of the water works and the technical design of the outlet structures. Secondly, the project also assessed the safety of these waterworks in terms of safe conveyance of flood flows according to ČSN 75 2935 – Assessment of the safety of waterworks during floods. Principles for working with this standard were drawn up.

Typologie cest a jejich vliv na odtokový režim ve zvláště chráněných územích

LUDĚK STROUHAL, VÁCLAV DAVID, JOSEF KRÁSA

Klíčová slova: typologie cestní sítě — hydrologický režim — GIS odtokové analýzy — KRNAP — terénní mapování

ABSTRAKT

Článek představuje výsledky projektu *„Analýza změn vodního režimu pozemků a vodních toků na území Krkonošského národního parku vyvolaných sítí pozemních komunikací"* (TA ČR, č. TITSMZP945), realizovaného jako veřejná zakázka Ministerstva životního prostředí ČR v programu aplikovaného výzkumu BETA2. Hlavním výstupem projektu je typologie cestní sítě z hlediska ovlivnění povrchového a podpovrchového odtoku, navržená ve dvou úrovních podrobnosti. Ta byla aplikována na území KRNAP a prezentována formou mapových atlasů. V článku jsou popsány zásady a kritéria navržené typologie a metodika jejich aplikace při tvorbě map, která v základní úrovni kombinuje prostorové analýzy nad datovými sadami cestní sítě, digitálními modely terénu a hydrografickou sítí a v druhém kroku v detailní úrovni začleňuje výsledky rozsáhlého terénního průzkumu. Autorské analytické postupy zahrnují mimo jiné detekci směrových a výškových zlomů linií komunikací a odvození mikropovodí jednotlivých úseků. Výsledné mapy poskytují Správě KRNAP a dalším správcům chráněných území nástroj pro identifikaci úseků cest s nejvyšším potenciálem ovlivnit hydrologický režim a slouží jako podklad pro plánování kompenzačních opatření či renaturačních zásahů.

ÚVOD

Vodní režim horských a podhorských oblastí je v přirozených podmínkách formován působením topografie, půdních a vegetačních charakteristik a atmosférických srážek. V důsledku výstavby liniových staveb však dochází k narušení přirozených hydrologických procesů, zejména v územích s vyšší koncentrací odvodňovacích a zpevněných prvků. Lesní a polní cesty, jež často sledují vrstevnice nebo spádnice, přispívají ke změnám retence a akumulace vody a ke vzniku preferenčních drah, které mění směrování povrchového odtoku a jeho koncentraci v terénu. Podle výsledků studií provedených v různých geomorfologických a klimatických podmínkách může docházet ke snížení infiltrační kapacity povodí, přestože celková plocha pozemních komunikací zpravidla nepředstavuje významný podíl v území [1–3].

Značný vliv na hodnoty kulminačních odtoků má hustota komunikací [4–6], jejich prostorové rozmístění a odvodnění. Některé studie dokládají, že cestní síť ovlivňuje v zásadě především směrování a soustředění odtoku, zatímco na objem přímého odtoku má vliv pouze omezeně [7]. Důvodem je to, že komunikace mají výrazně liniový charakter, a proto je jejich plocha ve vztahu k celkové ploše území nevýznamná. Např. v povodí řeky Deschutes ve státě Washington (USA) bylo pozorováno zvýšení hodnot kulminačních průtoků až o cca 12 % [8]. Obě studie se současně zabývaly vlivem odlesňování na odtokový režim, a byť to autoři nepřipouštějí, mohou být dosažené výsledky zkresleny právě skutečností, že ve zkoumaných územích došlo k souběhu několika druhů změn (vybudování komunikací, odlesnění). Problematika urychlení odtokového režimu je relevantní zejména v chráněných oblastech, kde je důraz kladen na zachování přirozeného režimu vodního cyklu a minimalizaci antropogenního narušení.

Projekt *„Analýza změn vodního režimu pozemků a vodních toků na území Krkonošského národního parku vyvolaných sítí pozemních komunikací"* (č. TITSMZP945) byl realizován v letech 2021–2024 jako veřejná zakázka Ministerstva životního prostředí, administrovaná Technologickou agenturou ČR v rámci programu aplikovaného výzkumu BETA2. Předmětem soutěže byl konkrétně vymezený soubor výstupů s praktickým využitím při správě chráněného území, mezi nimiž byly: (1) Typologie cestní sítě podle jejího vlivu na hydrologické procesy, (2) Mapa cestní sítě na území KRNAP s rozlišením dle vytvořené typologie, (3) Metodika návrhu nových a úprav existujících komunikací s ohledem na minimalizaci povrchového odtoku a (4) Databáze objektů pro převádění vod. Přestože v době publikace tohoto článku byly již výsledky projektu po věcné stránce uzavřeny, proces formálního ukončení projektu ještě nenastal. Z tohoto důvodu a kvůli charakteru projektu jako veřejné zakázky nemohly být výstupy k termínu vydání článku veřejně publikovány. Jejich zveřejnění je plánováno do konce roku 2025.

Vzhledem ke struktuře veřejné zakázky a požadovanému harmonogramu nebyl v rámci projektu prostor pro provádění hydrologických měření v terénu. Řešení bylo proto postaveno na syntéze dostupných odborných poznatků, analýze prostorových dat a kategorizaci komunikací podle jejich morfologie, způsobu odvodnění, interakce s tokovou sítí a umístění vůči terénu. Na základě rešerše byly identifikovány klíčové typy interakcí mezi cestní sítí a odtokovými procesy a návrh klasifikačního rámce komunikací byl zpracován ve dvou úrovních: základní úroveň vycházela čistě z datových analýz a detailní typologie představila zpřesnění základní úrovně prostřednictvím poznatků z terénního mapování, nikoli však z měření skutečné hydrologické interakce cesty a jejího okolí. Tato metodická omezení a zvolený rámec řešení jsou dále rozvedeny v následujících oddílech.

TEORETICKÉ PRINCIPY A VÝCHODISKA

Přirozený hydrologický režim horských oblastí vzniká jako výsledek interakce topografie, půdních vlastností, vegetačního pokryvu a atmosférických vstupů. V přirozeném stavu se srážková voda částečně infiltruje do půdy a odtéká podpovrchově, zatímco její zbytek odtéká po povrchu, zejména při vyšší intenzitě deště nebo nasyceném půdním profilu. Tento systém však může být významně narušen liniovými stavbami, mezi nimiž sehrávají zvláště výraznou roli pozemní komunikace. Cesty ovlivňují jak povrchový, tak podpovrchový odtok, přičemž důsledky těchto zásahů se liší podle umístění komunikace v terénu, její morfologie, povrchových úprav a odvodňovacích opatření.

Zásah do přirozené morfologie terénu narušuje kontinuitu povrchového toku vody. Komunikace často kopírují spádnici svahu nebo se nacházejí ve svahových depresích, čímž vytvářejí preferenční dráhy odtoku. Voda stékající z okolního terénu se shromažďuje na povrchu zpevněné nebo zhutněné komunikace a je odváděna podél trasy cesty, případně příkopy nebo kolejemi. Takto koncentrovaný odtok pak směřuje buď do nejbližší vodoteče, nebo k okraji svahu, kde může způsobit erozní procesy a destabilizaci půdního profilu. Tento jev bývá označován „funkce cesty jako kolektoru povrchové vody". V jiných situacích mohou komunikace naopak fungovat jako distributory – tj. voda je z komunikace nebo příkopu rozváděna do okolního prostředí, např. průsakem do svahu nebo příčnými odvodňovacími prvky. V místech přímého napojení příkopů, propustků či erozních rýh na hydrografickou síť pak cesty představují vtokové body, které propojují povrchový odtok přímo s recipienty, a tím výrazně zrychlují odezvu povodí.

Komunikace významně narušují i podpovrchové proudění vody. Vzhledem ke konstrukci a provozu bývá podloží pod cestami vyšších kategorií výrazně zhutněno, což snižuje infiltrační schopnost půdy a přesměrovává vodu do povrchového systému. Kromě toho dochází k přerušení přirozených vodivých horizontů, jež běžně umožňují laterální (svahové) proudění vody v mělkých půdních vrstvách.

Zvlášť problematické je, když je cesta zaříznutá do svahu a vedena napříč svahem, téměř nebo zcela podél vrstevnic. V takových případech narušuje svahová pata nebo bok cestního zářezu přirozené mělké drenážní vrstvy, v nichž probíhá podpovrchový tok. Voda pak vytéká na povrch z porušeného svahu a dochází k převodu podpovrchového odtoku na povrchový. Výsledkem je nejen ztráta infiltrační funkce svahu, ale i zvýšené riziko eroze a zrychleného odvodnění. Tento mechanismus může vést ke vzniku sekundárních pramenných vývěrů nebo přímo ke vzniku malých vodních toků podél cestních těles, přestože by za přirozených podmínek k povrchovému odtoku vůbec nedošlo. V některých případech se tyto účinky kombinují – např. když se voda v důsledku bariéry nashromáždí nad komunikací, zvýší saturaci profilu a následně se objeví na povrchu jako sekundární pramenný vývěr, čímž se zvyšuje množství povrchového odtoku.

Zmíněné mechanismy jsou podloženy řadou výzkumů, které prokazují změny hydrologického režimu vlivem liniových staveb, stručný výběr uvádí úvod tohoto článku. Na základě těchto hydrologických konceptů byl navržen klasifikační rámec, který zohledňuje způsob interakce cest s povrchovým a podpovrchovým odtokem. Tento rámec tvoří východisko pro typologii cestní sítě, jež je podrobně popsána v následujících oddílech.

TYPOLOGIE CESTNÍ SÍTĚ

Typologie cestní sítě byla definována z hlediska potenciálního dopadu na hydrologický režim, a to jak z pohledu povrchového, tak podpovrchového odtoku. Navržena a otestována byla na cestní síti v horském prostředí Krkonošského národního parku, formulována však byla obecně, aby ji bylo možné uplatnit víceméně kdekoli na území České republiky, primárně pak ve zvláště chráněných územích. Východiskem pro tvorbu typologie byla kombinace digitálních prostorových analýz, terénních poznatků a hydrologických principů popsaných v předchozím oddíle.

Mezi hodnocené druhy cest byly zahrnuty veškeré cesty s potenciálem ovlivnit směrování a množství odtoku srážkových vod: pozemní komunikace ve smyslu zákona o pozemních komunikacích včetně sítě místních a účelových komunikací, cesty kategorie 1L-4L dle ČSN 73 6108 „Lesní cestní síť" [9], dále významné turistické trasy a další neevidované, ale v mapových podkladech přítomné zpevněné komunikace vedoucí ke stavebním objektům nebo protínající prvek pro převádění vod.

Navržená typologie se aplikuje nikoli na cesty jako nepřerušené celky, nýbrž na jejich homogenní úseky např. s jedním typem konstrukce nebo povrchu vozovky či s určitými sklonovými poměry. Primárním způsobem členění je funkce cesty z hlediska schopnosti přerušení mělkého podpovrchového a povrchového odtoku a poté z hlediska její akumulační/svodné funkce ve smyslu schopnosti zadržet nebo naopak odvádět odtok zrychleně do hydrografické sítě. Bodové prvky pro převádění povrchových vod – mostky, propustky aj. – vstupují do typologie jen omezeně kvůli nízkému stupni zmapování a evidence. Podrobný postup pro členění cestní sítě na homogenní úseky je uveden dále v tomto textu, v části věnované Mapě cestní sítě.

Faktory pro členění typologie

Schopnost úseku cesty ovlivnit odtokové poměry závisí na řadě faktorů, které mají v různých kombinacích odlišnou váhu. V navržené klasifikaci byly využity následující hlavní faktory:

A. Ovlivněná složka odtoku,

B. Potenciál množství odtoku (plocha sběrné oblasti),

C. Potenciál ovlivnit rychlost odtoku.

První faktor vstupuje do klasifikace přímo jako kategorická proměnná o dvou třídách. Pro vyjádření potenciálního množství odtoku byla vybrána, ve snaze vyhnout se značným nejistotám souvisejícím s metodami kvantifikace odtoku z horských a lesních porostů v nepozorovaných povodích, univerzální odtoková charakteristika v podobě plochy sběrné oblasti. Poslední hlavní faktor – potenciál ovlivnit rychlost odtoku v praxi závisí na řadě detailních charakteristik, pro navrženou klasifikaci byly vybrány následující:

- přítomnost prvku podélného odvodnění,
- řešení odvodnění vozovky, výskyt příčných svodnic a jejich technické řešení,
- konstrukce zemního tělesa s ohledem na propustnost,
- konstrukce (povrch) vozovky s ohledem na propustnost,
- orientace komunikace vůči svahu,
- uspořádání příčného profilu cesty vůči terénu,
- podélný a příčný sklon,
- objekty na cestách a způsob převádění vod,
- souběh/křížení s vodním tokem.

Úrovně typologie

Vlastní typologie cest byla navržena ve strukturované podobě ve dvou úrovních podrobnosti: základní a detailní. Základní úroveň typologie umožní klasifikaci úseků cestní sítě čistě na základě analýz běžných datových podkladů, zatímco detailní úroveň představuje další zpřesnění základní typologie využitím terénních průzkumů nebo sofistikovaných datových analýz. Toto členění je nezbytné s ohledem na rozsah cestní sítě v hodnoceném území, který za běžných podmínek dostupných časových a personálních kapacit neumožňuje její kompletní fyzické zmapování.

Základní úroveň typologie

Tato úroveň klasifikace cestní sítě byla navržena k aplikaci pouze na základě snadno dostupných datových podkladů v prostředí GIS. Testována byla v prostorovém měřítku celého území KRNAP s ohledem na její pozdější využití na libovolném jiném území v rámci ČR. Hlavním datovým podkladem je topologická síť liniových objektů cestní sítě tak, jak byla přítomna v databázi ZABAGED

(ve verzi pro rok 2021). Pro otestování typologie byla využita specializovaná datová sada cestní sítě udržovaná GIS oddělením Správy KRNAP. Pro určení průměrných sklonových poměrů cestních úseků byl použit výškopisný model DMR4G a pro určení extrémů (vrcholů a lokálních minim) podélných profilů model DMR5G.

V první fázi řešení byla formulována obecná kritéria pro klasifikaci cestních úseků do tříd základní úrovně typologie, a to samostatně pro povrchový (PO) a podpovrchový odtok (PPO). Přehledně jsou shrnuta v *tab. 1*.

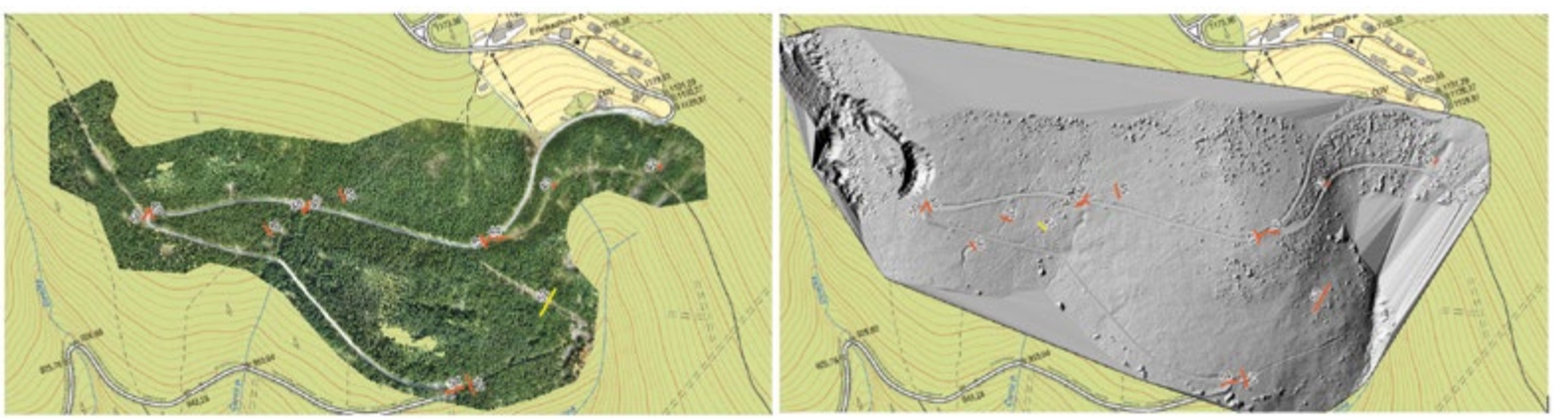
Tab. 1. Třídy základní úrovně typologie cest a obecná kombinace klíčových charakteristik pro zatřídění jednotlivých úseků
Tab. 1. Classes of the basic level of road typology and general combination of key characteristics for classification of individual segments

Třída	Potenciál ovlivnění složky odtoku	Charakteristiky ovlivňující PO	Charakteristiky ovlivňující PPO nebo převod PPO na PO
A	Velmi významný	Zpevněné komunikace, vyšší podélný sklon	Významná přispívající plocha, značně sklonité území, velký odklon od spádnice (tedy blízký vrstevnicovému vedení)
B	Významný	Zpevněné komunikace, mírný podélný sklon	Významná přispívající plocha, úsek ve svahu (značně sklonité území), v kontaktu s lokálním minimem, střední odklon od spádnice
C	Střední	Nezpevněný povrch, vyšší podélný sklon	Významná přispívající plocha, úsek s vyšším podélným sklonem
D	Nízký	Nezpevněný povrch a mírný podélný sklon, zpevněné komunikace s velmi malým podélným sklonem	Významná přispívající plocha, ostatní kritéria bez rizika
E	Minimální	Nezpevněný povrch, přibližně vrstevnicové vedení	Nevýznamná přispívající plocha, ostatní kritéria nerelevantní

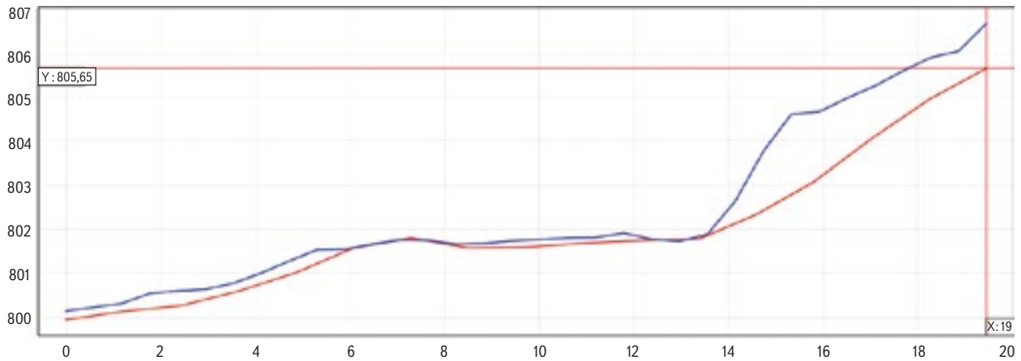
V prvním návrhu základní úrovně typologie byly jako klíčové charakteristiky zvažovány i existence prvků podélného odvodnění a terénní konfigurace – poloha cesty vůči okolnímu terénu. Tyto charakteristiky nelze sice vyčíst z běžných datových podkladů, ale v rámci řešeného projektu byly testovány postupy pro analýzu podrobných DMT pořízených technikami leteckého laserového skenování, jež se stávají v posledních letech stále dostupnější. Pro analýzu pilotních lokalit vybraných v rámci řešení projektu byl k dispozici DMT z roku 2012 v rozlišení 100 cm dodaný Správou KRNAP a DMT s prostorovým rozlišením 50 cm pořízený vlastními prostředky UAV. V obou případech šlo o produkty laserového skenování. Analyzováno bylo přibližně 20 příčných profilů ve dvou lokalitách, příklad lokality pod Špindlerovkou včetně polohy zkoumaných profilů ukazuje *obr. 1*.

Analýzy těchto příčných profilů se pro získání informací o terénní konfiguraci cestního úseku, případně o objektech podélného odvodnění, ukázaly jako podmíněně použitelné. Na *obr. 2* je zachycen asi nejzřetelnější z analyzovaných příčných profilů v pilotní lokalitě pod Rennerovkami. Na metrovém digitálním modelu cestní příkopy většinou rozeznatelné nejsou, v případě detailnějšího rozlišení obvykle ano. Nezřídka je však těžké je identifikovat v šumu způsobeném relikty zpracování výškopisných dat. Terénní konfigurace cesty byla většinou uspokojivě patrná i na méně podrobném metrovém modelu, standardní dvoumetrový model DMR5G publikovaný službami ČÚZK už však na tuto úlohu nestačil.

Obecně se ukázal značný problém s georeferencováním leteckých dat v prostředí lesních porostů a s filtrováním zachycených bodových mračen. Analýzu dále komplikovala i pro tuto úlohu již nedostačující polohová přesnost linií cestní sítě, a to i v případě korigovaného mapového podkladu od Správy KRNAP, který obecně vykazoval vyšší přesnost než polohopis ZABAGED. Automatizace procesu generování příčných profilů a identifikace prvků podélného odvodnění z podrobných DMT se ukázala jako nereálná a manuální analýzy jako neefektivní oproti jednoduchému terénnímu průzkumu. Z těchto důvodů nebyly charakteristiky terénní konfigurace a výskyt prvků podélného odvodnění použity pro základní úroveň typologie cestní sítě a byly přesunuty až do úrovně detailní.



Obr. 1. Ortofoto snímek (vlevo) a podrobný DMR (vpravo) odvozené pomocí dat z UAV; červeně příčné profily pro testování identifikace prvků podélného odvodnění
Fig. 1. Orthophoto (left) and detailed DTM (right) derived from UAV data; cross-sections in red are used for testing the identification of roadside drainage features



Obr. 2. Příčný profil cesty (vpravo) odvozený z DMR z leteckého laserového skenování s rozlišením 1 m (červeně, Správa KRNAP) a 50 cm (modře, ČVUT) pro testování identifikace terénní konfigurace cesty a výskytu prvků podélného odvodnění; vlevo fotografie skutečného stavu z terénního průzkumu

Fig. 2. Cross-section of a road (right) derived from DTMs based on LiDAR scanning with 1 m resolution (red, KRNAP Administration) and 50 cm resolution (blue, CTU) for testing the identification of road terrain alignment and roadside drainage features; photograph of the actual condition from a field survey (left)

Pro výslednou klasifikaci cestních úseků dle základní úrovně typologie bylo použito následujících šest charakteristik:
Z – cesta zpevněná/nezpevněná (1/0),
M – návaznost na lokální minimum nebo křížení s tokem ANO/NE (1/0),
S – průměrný podélný sklon úseku (%),
D – odklon cest od spádnice (0°–90°),
T – příčný sklon terénu v okolí úseků (%),
W – plocha přispívajícího dílčího povodí (ha).

Pro aplikaci základní úrovně typologie při tvorbě Mapy cestní sítě KRNAP byl použit klasifikační klíč dle *tab 2*. Prahové hodnoty kritérií a jejich kombinace určené pro klasifikaci úseků cest byly založeny na frekvenční analýze výskytu hodnot jednotlivých parametrů na území KRNAP, a mohou být proto ovlivněny specifickým charakterem tohoto území. Při aplikaci typologie v jiných územích je žádoucí provést obdobnou frekvenční analýzu a prahové hodnoty pro hranice tříd případně mírně upravit. Pro úpravu kombinací použitých kritérií by však zpracovatel měl mít závažný objektivní důvod, jako např. neexistenci některých datových podkladů (nedostupné mohou být informace o charakteru povrchu cest). Základní úroveň typologie cestní sítě je navržena jako explicitní kombinace hodnocení potenciálu ovlivnění obou složek přímého odtoku, tedy např. B/C. Doplněním faktorů zjištěných v rámci detailního terénního průzkumu je možné ji rozšířit do detailní úrovně. Aplikací typologie a zobrazením výsledků se zabývá oddíl věnovaný Mapě cestní sítě.

Tab. 2. Kombinace a hodnoty charakteristik pro zatřídění úseku cesty dle základní úrovně typologie
Tab. 2. Combinations and values of characteristics for classifying road segments according to the basic level of typology

Potenciál ovlivnění povrchového odtoku		Potenciál ovlivnění podpovrchového odtoku nebo převedení na odtok povrchový
A	Z = 1; S ≥ 10 %	D > 70°; T > 20 %; W > 0,5 ha
B	Z = 1; 4 % ≤ S < 10 %	M = 1; 50° < D ≤ 70°; T > 20 %; W > 0,5 ha
C	Z = 0; S ≥ 10 %	Není A+B; S > 10 %; W > 0,5 ha
D	Z = 1; S < 4 % NEBO Z = 0; 4 % ≤ S < 10 %	Není A+B+C; W > 0,5 ha
E	Z = 0; S < 4 %	W ≤ 0,5 ha

Detailní úroveň typologie

Na základní úroveň typologie cestní sítě vyjadřující potenciál ovlivnění odtokových charakteristik dotčeného území navazuje detailní úroveň, jež slouží k podrobnějšímu rozboru ovlivnění odtokových poměrů v jednotlivých konkrétních případech. Doplňuje základní úroveň typologie o charakteristiky cestní sítě, které je za současného stavu podkladových dat možné efektivně určit pouze terénním průzkumem.

Pro detailní průzkum na území KRNAP bylo vymezeno pět pilotních území. Průzkum byl realizován v období od července do listopadu 2022 a mírně doplněn v roce 2023. Pro sběr dat byla využita otevřená mobilní aplikace QField na technologii QGIS, jež umožňuje souběžný sběr dat více pracovníky a následnou synchronizaci. Datový model pro sběr dat byl po dvou počátečních úpravách ustálen do podoby tří oddělených bodových vrstev dle *tab. 3* s fotografickými anotacemi. Kategorie jednotlivých charakteristik neuvádíme, po formálním uzavření výše zmíněného projektu č. TITSMZP945 je bude možné dohledat v plném textu výsledku V1 – Typologie cestní sítě.

Tab. 3. Bodové vrstvy pro sběr terénních dat a evidované charakteristiky
Tab. 3. Point data layers for field data collection and recorded characteristics

Označení	Název vrstvy	Evidované charakteristiky
A	Objekty pro převádění vod	Typ objektu, tvar na vtoku, tvar na výtoku, rozměry, materiál, foto
B	Charakteristické body	Třída cesty, sklon, terénní konfigurace, podélné odvodnění, příčné odvodnění, povrch, foto, poškození
C	Specifické body	Typ bodu, příslušenství lesní cesty, překážka přítoku vod, foto

Při tvorbě základní úrovně typologie, resp. její aplikace do mapy, byly definovány dílčí úseky a uzlové body cestní sítě. Toto členění je pro účely aplikace detailní typologie doplněno o významné specifické body typu C (*tab. 3*) identifikované při terénním průzkumu (např. ukončení prvku podélného odvodnění, změna povrchu apod.). K výsledným úsekům jsou následně přiřazeny zjištěné detailní charakteristiky z příslušných charakteristických bodů typu B. Z evidovaných charakteristik byly vybrány čtyři, které byly převzaty jako kritéria detailní úrovně typologie dle *tab. 4*.

Tab 4. Kritéria detailní úrovně typologie cestní sítě
Tab 4. Criteria of the detailed level of road typology

Kritérium	Kategorie
Příčné odvodnění	S příčným odvodněním, bez příčného odvodnění
Podélné odvodnění	Bez podélného odvodnění, s neopevněným podélným odvodněním, s opevněným podélným odvodněním
Terénní konfigurace	Vedení na povrchu terénu, ve výkopu, v násypu, kombinované vedení v násypu/výkopu
Povrch cesty	Zemní povrch, propustná krycí vrstva, nesouvislé zpevnění, souvislé zpevnění s nepropustnou krycí vrstvou

Je zřejmé, že jednotlivá kritéria spolu navzájem větší či menší měrou souvisejí a výsledné posuzování z hlediska ovlivnění povrchového či podpovrchového odtoku tedy musí být zákonitě založeno na všech najednou, což mimo jiné vyžaduje určitou expertizu v oboru odtoku vody z území a hydrologie celkově. Působení na jednotlivé složky odtoku a určitý návod pro hodnocení cest dle těchto kritérií poskytnou k publikaci připravené výsledky projektu V1 – Typologie cestní sítě a V3 – *Metodika pro doporučení budování nových a pro úpravy existujících pozemních komunikací s ohledem na minimalizaci povrchového odtoku* (dále jen Metodika). Uvedená kritéria byla aplikována a graficky znázorněna ve výsledku V2 – Mapa cestní sítě KRNAP, jejíž odvození je popsáno v následující části tohoto textu.

MAPA CESTNÍ SÍTĚ

Jako druhý požadovaný výsledek v úvodu zmíněného projektu byla vytvořena Mapa cestní sítě KRNAP (dále jen Mapa) aplikující typologii cestní sítě pro hodnocení jejího vlivu na hydrologický režim území. Vydána byla v podobě tří mapových atlasů. První zachycuje celé území KRNAP s aplikovanou základní úrovní typologie cestní sítě a zbylé dva atlasy rozvádějí základní úroveň o detailní kritéria typologie na území pěti pilotních území pro podrobnější hodnocení potenciálu ovlivnění podpovrchového, resp. povrchového odtoku. Mapa má sloužit zejména jako jeden z důležitých podkladů pro výběr lokalit vhodných pro realizaci renaturací nebo opatření ke snížení negativních dopadů cestní sítě na odtokový režim v území národního parku. Vedle toho má spolu s průvodní dokumentací Mapy a Metodikou sloužit budoucím zpracovatelům obdobných studií v dalších chráněných územích ČR jako metodický návod a vzor pro aplikaci Typologie cestní sítě a hodnocení hydrologických dopadů cestní sítě. Následuje stručný popis metodiky tvorby Mapy, plné znění je uvedeno v průvodní dokumentaci připravené k publikaci v nejbližší době společně s Mapou.

Vstupní data

Základním podkladem pro tvorbu Mapy byla liniová vrstva cestní sítě poskytnutá Správou KRNAP, která byla upřednostněna před daty ZABAGED díky vyšší polohové přesnosti a širší atributové výbavě. Protože ne všechna chráněná území v ČR, kde bylo předpokládáno využití sestavené metodiky, disponují obdobným detailním datasetem, byla tvorba Mapy úspěšně otestována na polohopisných vrstvách ZABAGED, konkrétně na sjednocení následujících vrstev:

- Silnice, dálnice,
- Silnice neevidovaná,
- Ulice,
- Cesta.

Posledně jmenovaný objekt *Cesta* je vhodné ve výsledné liniové vrstvě rozlišit dle dostupných detailních atributů. Od roku 2024 došlo k nahrazení původního členění objektu typu *Cesta zpevněná/nezpevněná* novým rozdělením na *Cesta udržovaná/neudržovaná*. Povahu a dopady této změny nebylo možné v rámci zmíněného projektu podrobněji analyzovat a posoudit. Uvedené liniové vrstvy je vhodné doplnit daty o kategorizaci lesní cestní sítě, jimiž by měl disponovat její správce.

Při tvorbě mapy byly dále využity digitální modely reliéfu DMR4G a DMR5G a vrstva *Vodní tok* z polohopisu ZABAGED. Pro aplikaci detailní úrovně typologie byly použity bodové vrstvy charakteristických a specifických bodů z terénního průzkumu popsané v předchozím oddíle.

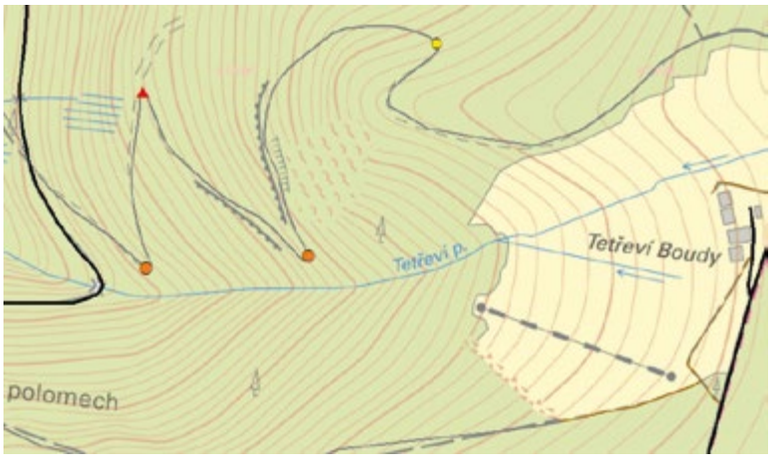
Metodika tvorby mapy základní úrovně typologie

Dříve než bylo přistoupeno k určování hodnot charakteristik pro klasifikaci cest dle navržené typologie, bylo nejprve nutné rozdělit liniové prvky cest na úseky homogenní z hlediska směrového a výškového vedení, povrchu cesty a obdobné délky. Tato segmentace byla provedena v několika krocích, které zde budou stručně shrnuty, komplexní postup je uveden v průvodní dokumentaci Mapy.

Nezbytným prvním krokem byla oprava topologie linií tak, aby byly přerušeny v uzlech cestní sítě. Nežádoucí jsou přesahy a nedotažené linie. Pseudouzly, tedy styk dvou liniových prvků, je povolen jen v místě změny atributu klíčového pro klasifikaci úseku dle typologie, v tomto případě pouze změna povrchu cesty. V podkladové vrstvě od Správy KRNAP byla tato pravidla porušena ve stovkách případů a musela být poloautomaticky odstraněna. V případě použití polohopisu ZABAGED je nutné po sloučení uvedených liniových vrstev topologii výsledné sítě vyčistit dle těchto pravidel.

Dělení v místech směrových zlomů

Prudké směrové zlomy a oblouky jsou častým místem změny řady charakteristik cesty – podélného sklonu, konfigurace vůči terénu, existence prvků podélného odvodnění aj. Jelikož běžné GIS nástroje tato místa na liniích identifikovat nedokážou, byly za tímto účelem vytvořeny vlastní analytické skripty v prostředí R project. V prvním kroku byly identifikovány ostré směrové zlomy tam, kde sousední vertexy svíraly úhel menší než 100°, na *obr. 3* je takový zlom označen červeným trojúhelníkem. V druhém kroku byly identifikovány ostré oblouky, jež jsou v liniové reprezentaci složeny z řady velmi krátkých úseků. K tomuto účelu byla vytvořena aproximace každé linie z bodů s konstantním rozestupem 15 m a aplikací empirické prahové hodnoty 120° pro sousední body – na *obr. 3* jsou ostré oblouky indikovány kruhem s barvou dle významnosti. Pro výsledné dělení linií byly odfiltrovány vzájemně blízké body a body v blízkosti uzlů cestní sítě, které by jinak způsobily nežádoucí fragmentaci cestní sítě.



Obr. 3. Ostrý zlomový bod (červený trojúhelník) a tři výrazné oblouky (oranžové a žlutý kruh) jako dělicí body linie přístupové cesty k Tetřevím boudám
Fig. 3. Sharp break point (red triangle) and three prominent curves (orange and yellow circles) as split points of the access road to Tetřeví boudy

Křížení s vodními toky

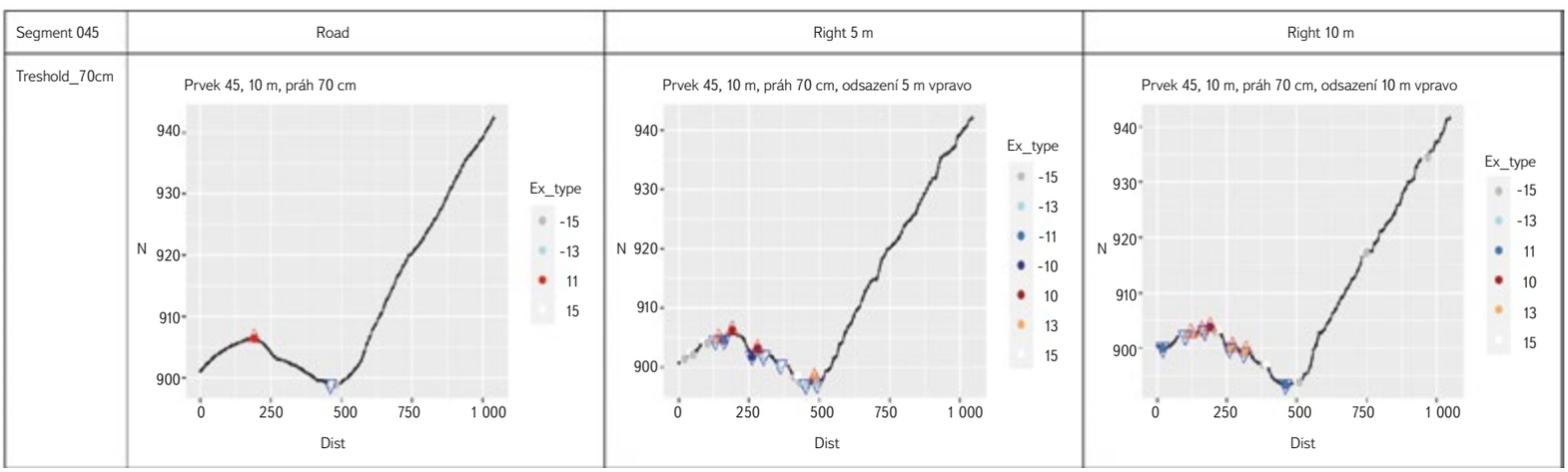
Linie cest je vhodné rozdělit v místě křížení s vodním tokem, protože často (ne vždy) jde o místa se změnou výškového vedení. Návaznost úseku na vodní tok, respektive lokální výškové minimum, je zároveň jednou z charakteristik pro klasifikaci úseků dle navržené typologie. Blízko křížení se však často nacházejí uzlové body cestní sítě (křižovatky) a v takových místech není žádoucí úseky cest dělit, aby nedocházelo k nadbytečné fragmentaci. V širším řešeném území KRNAP bylo identifikováno přes 2 700 průsečíků s povrchovým úsekem vodního toku, po odfiltrování nežádoucích bodů jich byla použita méně než polovina.

Identifikace výškových extrémů

Pro zajištění korektního výpočtu sklonových poměrů je nezbytné rozdělit linie cest v místech lokálních výškových extrémů. Běžné GIS nástroje identifikaci těchto míst neumožňují, proto byly opět sestaveny a otestovány vlastní analytické postupy v prostředí R project.

Pro identifikaci optimálního nastavení nástrojů byly v rámci každého úseku cesty vygenerovány body postupně ve čtyřech variantách odlehlostí 2, 5, 10 a 20 m a těmto bodům přiřazena výška dle DMR5G. V každém bodě pak byla posuzována jeho výška v kontextu výšky dvou sousedních bodů a indikována lokální maxima a minima s ohledem na požadovaný práh výškového rozdílu (pět variant v rozmezí 10–150 cm). Extrémy byly klasifikovány do šesti úrovní významnosti podle výšky/hloubky extrému a podle jeho šířky a monotonie (výskyt inflexe) v posuzovaném okolí.

Kvůli prověření potenciálních chyb ve směrovém vedení cest byla stejná analýza zopakována pro rovnoběžné linie po obou stranách cest s odstupem 5 a 10 m. Automaticky generované grafy podélných profilů byly systematicky vizuálně analyzovány ve skupinách, jednu z nich ukazuje *obr. 4*. Tento přístup prokázal dostatečnou přesnost směrového vedení linií cest ve srovnání s jejich ekvidistantami. Jako ideální pro tvorbu podélných profilů se ukázala odlehlost bodů 10 m a výškový práh 70 cm. Na závěr byly opět odstraněny body v blízkosti uzlů cestní sítě a ošetřen byl výskyt blízkých opačných extrémů.



Obr. 4. Příklad podélných profilů osy cestního úseku (vlevo) a dvou rovnoběžek ve vzdálenosti 5 a 10 m (uprostřed a vpravo) a identifikovaných lokálních výškových extrémů. Zobrazeny jsou profily z bodů s odlehlostí 10 m a výškovým prahem 70 cm pro indikaci významného extrému
Fig. 4. Example of longitudinal profiles of the road section axis (left) and two equidistant lines at an offset of 5 and 10 m (center and right), along with identified local elevation extremes. The profiles were derived from points with 10 m spacing, with a vertical threshold of 70 cm used to indicate significant extremes

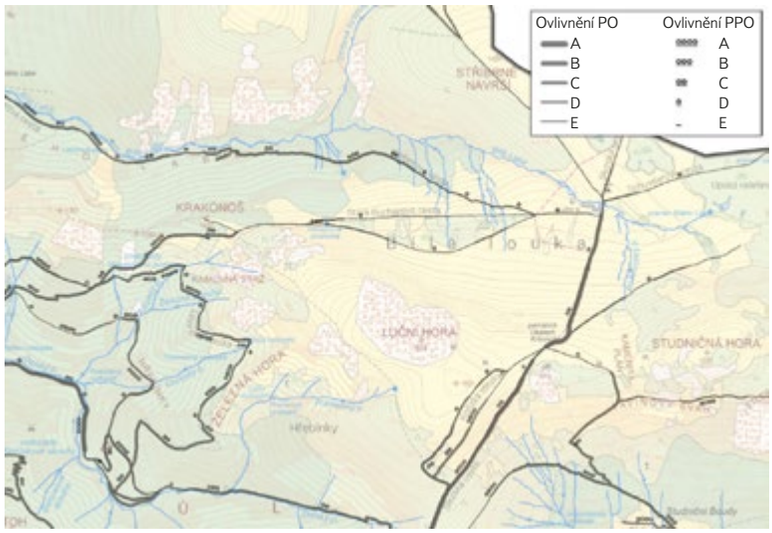
Dělení dle délky a stanovení charakteristik úseků

Po zohlednění směrových zlomů, křížení s vodním tokem a výškových extrémů byly získané úseky cest rozděleny po 200 m. Tím byla dokončena homogenizace úseků cestní sítě a následoval výpočet charakteristik pro aplikaci typologie. Z DMR5G podél úseků cest byl vyčíslen jejich průměrný sklon. Z vyhlazeného rastru DMR4G byl odvozen rastr sklonů a v rámci 20m obalové zóny kolem os úseků byly vyhodnoceny průměrné sklony jejich okolí. Podrobnější DMR5G pro tento účel není vhodný, protože zachycuje i výškové poměry cesty samotné, např. zářezy v terénu nebo cestní příkopy. Ze stejného důvodu byl DMR4G použit i pro odvození sběrných ploch (mikropovodí) cestních úseků. Pro jejich určení byl zaveden zjednodušující předpoklad dokonalého přerušení odtoku cestou, protože reálnou schopnost cesty zadržovat odtok nelze bez detailního pozemního průzkumu stanovit. Pro odvození sběrných ploch byla sestavena komplexní procedura zahrnující odstranění os cestní sítě a povrchových vodních toků z DMR a rozšíření rastrové reprezentace cest. Podrobný popis procedury je mimo možnosti tohoto článku.

Aplikace základní úrovně typologie a tvorba mapy

Nástroji databázového zpracování byla vektorovým úsekům cestní sítě přiřazena hodnota charakteristik určujících význam daného úseku pro ovlivnění povrchového i podpovrchového odtoku dle zpracované Typologie cestní sítě. Po zatřídění každého úseku do kombinovaných kategorií (PO a PPO) byla vytvořena finální Mapa pro celé území KRNAP. S ohledem na rozsah a detaily zobrazovaných informací byla Mapa uspořádána do atlasu mapových listů

v měřítku 1 : 25 000. Potenciál ovlivnění povrchového odtoku byl zobrazen pomocí proměnlivé tloušťky linie, potenciál ovlivnění podpovrchového odtoku je pak vyznačen pomocí jednoduchého doprovodného popisku. Příklad mapového listu je na *obr. 5*.



Obr. 5. Výsek mapy cestní sítě s aplikovanou základní úrovní typologie zobrazuje potenciál ovlivnění složek odtoku

Fig. 5. Excerpt of the road network map with the applied basic level of typology showing the potential impact on runoff components

Metodika tvorby mapy detailní úrovně typologie

Mapa detailní úrovně typologie cestní sítě rozšiřuje mapu základní úrovně o poznatky z terénních průzkumů, konkrétně o charakteristiky dle *tab. 4*. Tyto a další charakteristiky cest byly sbírány a shromážděny ve třech bodových vrstvách včetně fotografických anotací, které lze vhodně zobrazit běžnými GIS nástroji, přestože zobrazení více fotografických příloh jednoho bodu představovala v ArcGIS Desktop značnou výzvu. Nasbírané body přirozeně neodpovídaly svojí hustotou odvozenému členění cestní sítě, jež byla vytvořena při tvorbě základní úrovně mapy. Stejně tak body nebyly zpravidla umístěny přímo na linii úseku cesty, ať už z důvodu nepřesného záznamu polohy bodu vlivem špatného signálu GPS v lesním horském prostředí, nebo kvůli chybné poloze, či dokonce absenci linie cesty v mapovém podkladu. Před aplikací detailní typologie proto musela být provedena řada přípravných kroků.

Harmonizace a kompletace dat průzkumů

Pro zdárnou aplikaci detailní typologie na úseky cest je klíčová kvalita a naplněnost atributů bodů z terénního průzkumu. V důsledku různých mapovacích strategií jednotlivých terénních pracovníků např. v případě charakteristiky „příčné odvodnění" z téměř 2 600 charakteristických bodů něco přes 1 000 neobsahovalo žádnou informaci nebo jen kategorii „jiné". Chybějící charakteristiky musely být doplněny podle nasbírané fotodokumentace, případně validovány dle sousedních bodů. Kromě doplnění chybějících charakteristik byla namátkově kontrolována a korigována konzistence charakteristik přiřazených jednotlivými editory pro odstranění subjektivního hodnocení, např. konfigurace cesty vůči terénu.

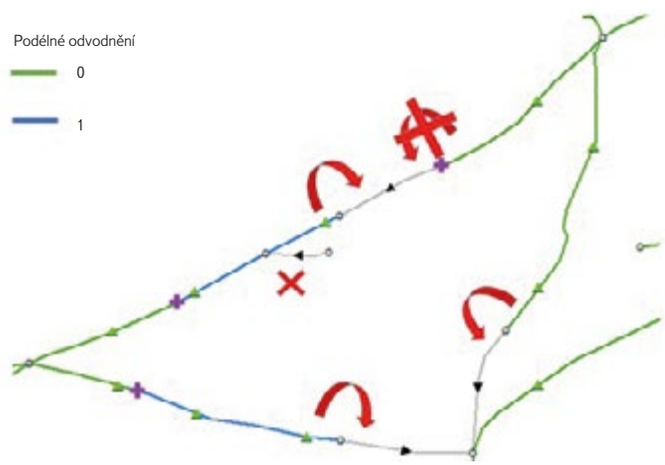
Přiřazení bodů úsekům cest

Pozice bodů z terénního průzkumu zaznamenaná prostřednictvím GPS byla následně korigována a body propojeny s úseky cestní sítě. Odchylka GPS polohy bodů vůči ose cesty v mapovém podkladu se pohybovala v jednotkách až desítkách metrů. Přestože v řadě případů existovaly důkazy pro chybu v mapových podkladech, nebyla za účelem konzistence s původními daty poskytovatele (Správa KRNAP) prováděna korekce linií cestní sítě, nýbrž zaznamenané body byly automatizovaně přesunuty na nejbližší pozici na těchto liniích. Jako limitní hodnota pro přesun bodu byla po testování různých hodnot zvolena vzdálenost 20 m. Body nad tímto prahem bylo nutné přiřadit ručně nebo zcela vyřadit, aby nedošlo např. k přiřazení bodu charakterizujícího cestu neevidovanou v mapovém podkladu. Nutná byla důkladná vizuální inspekce a korekce chybně přiřazených bodů zejména v oblasti křižovatek.

Dodatečná segmentace a přenos charakteristik

Některé z charakteristik cestní sítě zahrnutých v detailní typologii se mohou měnit náhle (změna povrchu, podélného odvodnění) a v tomto místě změny je nutné rozdělit hodnocený úsek cesty. K dělení byla využita podmnožina specifických bodů z terénního průzkumu. Evidovaný zlom nivelety byl prověřen z hlediska blízkosti uzlového bodu nebo lokálního extrému identifikovaného z DMR. Změny povrchu nebo podélného odvodnění byly ověřeny dle fotodokumentace a okolních charakteristických bodů. Celkem bylo dodatečnému dělení podrobeno cca 130 úseků cest.

Na základě prostorové incidence měly být následně úsekům cest přiřazeny atributy z vrstvy charakteristických bodů. Předtím však byla nutná kontrola úseků s vícenásobným přiřazením charakteristických bodů. Samotný počet není v zásadě překážkou, pokud body obsahují identické charakteristiky. Díky snadné identifikaci v terénu byl nejčistším atributem typ povrchu. Na druhé straně nejvíce problematickou byla charakteristika konfigurace terénu (přes 100 nejednoznačných přiřazení), neboť tyto změny jsou v terénu vždy spíše pozvolné a nebyla pro ně zavedena speciální kategorie specifického bodu. Po kontrole konzistence těchto údajů s pomocí fotodokumentace byla cestní síť naposledy dodatečně rozdělena přibližně v polovině mezi dvěma body s odlišnou charakteristikou. Následně byly liniovým úsekům přiřazeny atributy z charakteristických bodů.



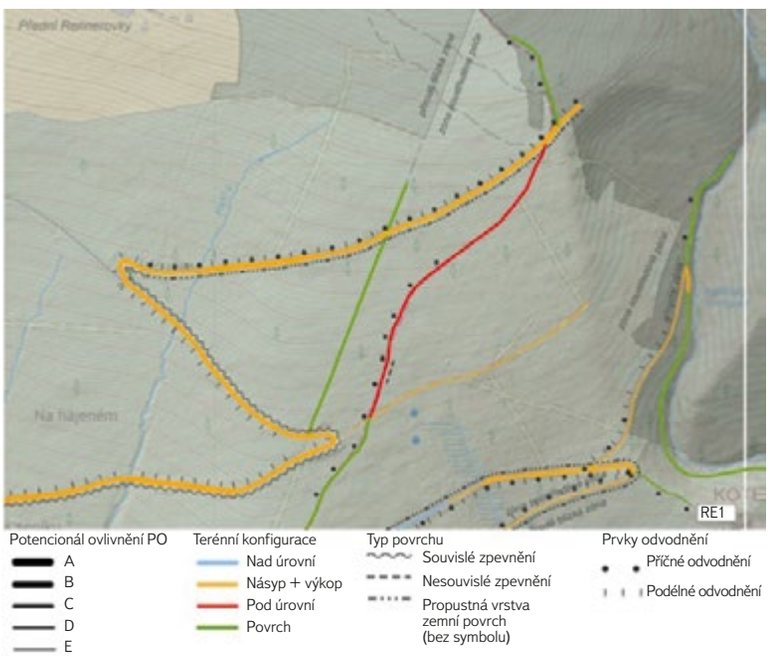
Obr. 6. Schéma přenesení příznaku podélného odvodnění do sousedních úseků se zohledněním specifických bodů (fialové křížky) se zaznamenanou změnou podélného odvodnění; zelené trojúhelníky jsou charakteristické body

Fig. 6. Diagram of transferring the roadside drainage attribute to adjacent segments, taking into account specific points (purple crosses) marking changes in the roadside drainage system; green triangles indicate characteristic points

Posledním krokem bylo ošetření úseků bez odpovídajícího charakteristického bodu. Jejich počet je závislý na hustotě bodů z terénního průzkumu. Typický příklad situace po promítnutí bodů k cestním úsekům ukazuje *obr. 6*. Do prázdných úseků byly iterativním postupem (vpřed/vzad) přeneseny atributy ze sousedních úseků, pokud mezi nimi neexistoval specifický bod indikující změnu daného atributu.

Aplikace detailní úrovně typologie a tvorba mapy

Mapa s aplikovanou detailní úrovní obdobně vychází z mapy základní úrovně a doplňuje ji vhodným zobrazením kritérií detailní úrovně typologie. Detailní mapa byla navržena jako soubor dvou mapových atlasů, jeden pro podpovrchovou a druhý pro povrchovou složku odtoku. Grafické řešení sestává z čitelné kombinace tloušťky čáry (potenciál ovlivnění složky odtoku ze základní úrovně typologie), barevného kódu pro vyjádření terénní konfigurace jako zásadního faktoru pro ovlivnění hydrologického režimu a doprovodných symbolů pro znázornění zbylých charakteristik detailní typologie. Výsledné zobrazení ukazuje *obr. 7*.



Obr. 7. Příklad aplikace detailní typologie na cestní síť v pilotním území Rennerovky
Fig. 7. Example of applying detailed typology to the road network in the Rennerovky pilot area

ZÁVĚR

Liniové prvky v krajině a zejména síť komunikací mají významný potenciál ovlivňovat odtok vody z území. Tento vliv může být za specifických podmínek i pozitivní, zpravidla jde však spíše o vliv směřující k urychlení odtoku vody z území, které je obecně považováno za nežádoucí. Projekt, jehož vybrané výsledky jsou prezentovány v tomto příspěvku, měl za cíl především poskytnout podklady a nástroje pro identifikaci problematických úseků cestní sítě a minimalizaci jejich nežádoucích efektů, které vedou k urychlení odtoku vody z území se zvláštní ochranou přírody. Prezentovaná typologie a metodika její aplikace do mapových výstupů pomohou taková problematická místa identifikovat, a to ve dvou možných úrovních podrobnosti – v základní úrovni čistě s využitím dostupných mapových podkladů a v detailní úrovni s využitím výsledků terénního průzkumu zaměřeného na několik jasně definovaných charakteristik cest. Odvozené mapy mohou sloužit jako podklad pro výběr a prioritizaci úseků cest v chráněných územích vhodných k realizaci kompenzačních opatření, nebo dokonce úplnému odstranění a renaturaci cesty. Zásadami takových opatření se zabývá další z výstupů zmíněného projektu – *Metodika pro doporučení budování nových a pro úpravy existujících pozemních komunikací s ohledem na minimalizaci povrchového odtoku*, která je připravována k publikaci do konce roku 2025. Společně tyto výstupy poskytují nástroje správcům přírodních území, ať už pod zvláštní, nebo jen obecnou ochranou, k lepšímu sladění zájmů člověka na zpřístupnění krajiny s ochranou přirozených odtokových procesů.

Poděkování

Článek vznikl díky podpoře výzkumného úkolu VÚ1 – Výzkum a hodnocení hydrologického režimu v současných a výhledových podmínkách v rámci Dlouhodobé koncepce rozvoje výzkumné organizace VÚV TGM pro rok 2025.

Literatura

[1] SOULIS, K. X., DERCAS, N., PAPADAKI, CH. Effects of Forest Roads on the Hydrological Response of a Small-Scale Mountain Watershed in Greece. *Hydrological Processes*. 2015, 29(7), s. 1 772–1 782. Dostupné z: https://doi.org/10.1002/hyp.10301

[2] ZIEGLER, A. D., GIAMBELLUCA, T. W. Importance of Rural Roads as Source Areas for Runoff in Mountainous Areas of Northern Thailand. *Journal of Hydrology*. 1997, 196(1–4), s. 204–229. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03288-X

[3] TAKKEN, I., CROKE, J., LANE, P. A Methodology to Assess the Delivery of Road Runoff in Forestry Environment. *Hydrological Processes*. 2008, 22(2), s. 254–264. Dostupné z: https://doi.org/10.1002/hyp.6581

[4] CARLSTON, C. W. Drainage Density and Streamflow. *U.S. Geological Survey*. 1963.

[5] OGDEN, F. L. et al. Relative Importance of Impervious Area, Drainage Density, Width Function, and Subsurface Storm Drainage on Flood Runoff from an Urbanized Catchment. *Water Resources Research*. 2011, 47(12). Dostupné z: https://doi.org/10.1029/2011WR010550

[6] PALLARD, B., CASTELLARIN, A., MONTANARI, A. A Look at the Links between Drainage Density and Flood Statistics. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2009, 13(7), s. 1 019–1 029. Dostupné z: https://doi.org/10.5194/hess-13-1019-2009

[7] HARR, R. D., HARPER, W. C., KRYGIER, J. T., HSIEH, F. S. Changes in Storm Hydrographs after Road Building and Clear–Cutting in the Oregon Coast Range. *Water Resources Research*. 1975, 11(3), s. 436–444. Dostupné z: https://doi.org/10.1029/WR011i003p00436

[8] LA MARCHE, J. L., LETTENMAIER, D. P. Effects of Forest Roads on Flood Flows in the Deschutes River, Washington. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2001, 26(2), s. 115–134. Dostupné z: https://doi.org/10.1002/1096-9837(200102)26:2<115::AID-ESP166>3.0.CO;2-O

[9] *ČSN 73 6108 – Lesní cestní síť*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. (Třídící znak: 736108)

Autoři

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

Ing. Václav David, Ph.D.[2]
✉ vaclav.david@fsv.cvut.cz
ORCID: 0000-0002-7792-9470

Doc. Ing. Josef Krása, Ph.D.[2]
✉ josef.krasa@cvut.cz
ORCID: 0000-0003-4067-5806

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

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.07.002

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

TYPOLOGY AND EFFECTS OF ROADS ON RUNOFF REGIME IN PROTECTED AREAS

STROUHAL, L.[1]; DAVID, V.[2]; KRÁSA, J.[2]

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

Keywords: road network typology — hydrological regime — GIS runoff analyses — Krkonoše National Park — field mapping

The article presents the results of the project *"Analysis of changes in the water regime of land and watercourses in the Krkonoše National Park caused by the network of roads"* (TA CR, no. TITSMZP945), implemented as a public contract commissioned by the Ministry of the Environment of the Czech Republic within the BETA2 applied research programme. The main output of the project is a two-level typology of the road network in terms of its impact on surface and subsurface runoff. This typology was applied to the territory of the Krkonoše National Park (KRNAP) in the Czech Republic and presented in the form of map atlases. The article describes the principles and criteria of the proposed typology and the methodology of its application in map production, which at the basic level combines spatial analyses of road network datasets, digital terrain models and the hydrographic network, and at the detailed level incorporates the results of extensive field surveys. The original analytical procedures include, among other things, the detection of directional and elevation breaks in road segments and the delineation of micro-catchments for individual sections. The resulting maps provide the Krkonoše National Park Administration and other managers of protected areas with a tool for identifying road segments with the highest potential impact on the hydrological regime and serve as a basis for planning compensatory measures or restoration interventions.

Foto: 123rf.com

Foto: J. Unucka

Autoři VTEI

Ing. Anna Hrabánková

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

Ing. Anna Hrabánková je zaměstnankyní VÚV TGM, v. v. i., od roku 1985. V roce 2008 se stala vedoucím oddělení Ochrana podzemních vod a od roku 2010 vedoucí Odboru hydrauliky, hydrologie a hydrogeologie. Ing. Hrabánková vystudovala obor Vodní stavby a vodní hospodářství na Fakultě stavební ČVUT v Praze. Celou svoji profesní kariéru se zabývá problémy souvisejícími s množstvím a kvalitou podzemní vody. Od roku 1998 se věnuje problematice implementace nitrátové směrnice č.91/676/EHS, především vymezení a revizím zranitelných oblastí dusičnany ze zemědělské činnosti a s tím související problematice monitoringu jakosti vod. Od roku 2009 je členkou nitrátového výboru Evropské komise. Je řešitelkou několika projektů a autorkou řady publikací. V poslední době byla hlavní řešitelkou projektů OP Praha – Pól růstu zabývajících se problematikou jakosti pitné vody pro hlavní město Praha (Voda pro Prahu) a také vlivem pokračující urbanizace a klimatických změn na vodní režim v oblasti vnější Prahy. V současné době je jedním z klíčových pracovníků výzkumného Centra Voda.

Ing. Luděk Strouhal, Ph.D.

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

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

Ing. Veronika Táboříková

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

Ing. Veronika Táboříková je zaměstnankyní ve VÚV TGM, v. v. i., v Odboru hydrauliky, hydrologie a hydrogeologie v Oddělení hodnocení změn vodního režimu. Do této instituce nastoupila v roce 2019. V roce 2022 ukončila studium ve studijním oboru Vodní hospodářství a vodní stavby na Fakultě stavební ČVUT v Praze. Jako člen řešitelského týmu se podílela na řešení několika výzkumných projektů.

Ing. Martin Vokoun, Ph.D.

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

Vystudoval doktorský program Environmentální modelování na ČZU v Praze, kde v roce 2021 obhájil disertační práci. Od roku 2018 je zaměstnancem VÚV TGM, v. v. i., v Oddělení hydrologie na pozici hydrolog. V rámci pracovní činnosti se zaměřuje na hydrologii povrchových vod (zejména malých povodí), hydrometeorologii, výzkum technického sněhu a řízení a správu monitorovacích sítí. Dále působí na ČZU jako lektor se zaměřením na výuku meteorologie a hydrologie.

Rozhovor s Ing. Liborem Ellederem, Ph.D., hydrologem z Českého hydrometeorologického ústavu v Praze

Napadlo vás někdy, o čem si u jednoho stolu může povídat hydrolog s historiky, archiváři a kronikáři? Umožní nám historická data lépe pochopit hodnocení současného povodňového rizika? A mohou nás dokonce hlubší znalosti o historických záplavách připravit na budoucí povodně související s klimatickou změnou? Na naše otázky pro říjnové hydrologické číslo VTEI odpovídal Ing. Libor Elleder, Ph.D.

Pane doktore, jaký význam mají podle vás historické prameny, jako jsou kroniky, staré mapy nebo městské záznamy, pro dnešní hydrologii?

Pokud to mám říct jednoduše, všechny tyto tzv. dokumentární zdroje podstatně rozšiřují naše znalosti o extrémních jevech, jako jsou povodně, sucha, přívalové deště, ale také kruté zimy, tornáda či neúrody, a to hluboko do minulosti, kam nesahají žádné instrumentální řady založené na měřeních teploty, srážkových úhrnů nebo vodních stavů. Nejde tu jen o intenzitu či mohutnost povodní, ale třeba o jejich typickou sezonalitu, která se dlouhodobě vlivem klimatických podmínek trochu mění. To jsou jen stručně některé příklady. Máme snad na takové informace rezignovat? Tak by asi zněla obhajoba dokumentárních zdrojů. Proč ale nejsou v hydrologii takové informace obecně přijímány? To by namítl nestranný soudce. Pokud by nyní měla vystoupit obžaloba, asi bychom slyšeli něco o mlhavosti, nepřesnosti, nespolehlivosti a také „děravosti" dokumentárních zdrojů. „Advocatus diaboli" by ještě dodal, že kronikáři si ostatně vymýšleli a rozhodně jim chyběla nestrannost, značky povodně byly přemísťovány, vodní toky jsou upravené, přírodní podmínky se změnily a vše je prostě jiné, takže takové zdroje jsou k ničemu. Někdo z poroty by ještě dodal, že o něčem podobném jako dokumentárních zdrojích dosud neslyšel a že je lépe dělat vše „postaru". Využitelnost těchto zdrojů je tedy třeba vysvětlovat a trpělivě hájit. Zdá se však, že zapomnění nepostihuje jen kroniky, ale i zdroje a dokumenty, jež vytvořily a opatrovaly generace vodohospodářů před sty či padesáti lety. Politické poryvy dvacátého století a generační zapomínání nás připravilo i o mnoho mladších, stejně nenahraditelných zdrojů.

Kolegyně Zlata Šámalová ze státního podniku Povodí Labe vzpomínala před časem na to, jak se před desítkami let likvidovaly vodohospodářské archivy svezené na velkou hromadu. Z ní se ale podařilo na poslední chvíli vytáhnout některé projekty mostů, úprav toků či poříční mapy a ty uchovat. Z archivu kanalizační komise byla prý většina skleněných negativů dokumentujících vodohospodářské stavby ze začátku dvacátého století odvezena na roztavení do skláren. Přesto se i zde podařilo mnohé zachránit, například celý jeden nákladní

vůz takových skleněných negativů. I archivy a dokumenty vodního hospodářství a hydrologie totiž patří k historické hydrologii. Je to už víc než půl století, ale je potřeba to zmínit.

Setkáváte se s pochybnostmi o spolehlivosti takových pramenů?

Za těch skoro čtyřicet let, co se zabývám hydrologií, jsem se setkal s mnoha kolegy, kteří projevovali jistou nedůvěru ke spojení hydrologie a historie či s jinými humanitními vědami – platí to ale i obráceně. Jiní byli nadšeni. Záleží na naturelu i osobní zkušenosti a také na domácím zázemí. Moji rodiče měli humanitní vzdělání, matka vystudovala Filosofickou fakultu a pracovala v Technickém muzeu. Otec byl právník a jeho nejoblíbenějším koníčkem byla historie. Takže knihovna byla plná knih o historii a umění a kromě politiky to bylo i diskuzní téma. Když jsem přišel do Technického muzea za matkou, cítil jsem se mezi starými stroji, výkresy a mapami velmi dobře. Možná dokonce skvěle. Ještě jednu vysvětlující poznámku si dovolím, a to o intenzivním vztahu k výtvarnému umění. Staré mapy, rukopisy a knihy jsou nádherné i výtvarně, o tom není sporu. Chci tím říct, že mne historické prameny neodpuzovaly, právě naopak.

Otázkou je však možnost využití všech těchto podkladů, třeba v hydrologii. Můj dědeček pocházel se starobylého mlynářského rodu Ille z jižních Čech. Na jeho rodném mlýně v Kostelní Radouni byly dvě krásně vyvedené značky dvou přívalových povodní z let 1934 a 1949. Domníval jsem se, že tak jako jsou značky na rodinném mlýně, jsou i na jiných mlýnech. Později jsem pochopil, že tomu tak docela není. Teoreticky se v takových údajích skrývá obrovský informační potenciál. Byla to pro mne velká počáteční inspirace.

V databázi Vodní mlýny Rudolfa Šimka je dnes již 11 904 vodních mlýnů. To je slušný počet, a kdyby teoreticky záznamy o povodních přežily, byl by to užitečný zdroj zejména pro menší povodí, kde jinak žádné systematické záznamy nejsou. Každý z těch mlýnů musel mít vodní cejch a nějaký vodočet. Je skoro jisté, že kdysi alespoň nějaké značky povodní na většině mlýnů byly. Jenže terénní průzkum v roce 2007 ukázal většinou velmi žalostný stav i tam, kde značky bývaly ještě kolem roku 1930. Autoři podélných profilů z Hydrologického ústavu zachytili řadu takových výšek v podélných profilech Vltavy, Sázavy, Jizery či Berounky i mezi lety 1920 až 1950. Lze se přesvědčit, že na Vltavě byly před výstavbou kaskády profily s jednou či více značkami povodně téměř na každém či každém druhém říčním kilometru.

Jak lze využít kroniky a pamětní knihy?

Pokud jde o obecní kroniky a pamětní knihy, platí něco podobného. V Česku je dnes přes 6 200 obcí, mnohé z nich zanikly po válce, takže ve skutečnosti jich bylo ještě víc. Řádově je to opět obrovské číslo a velké množství potenciálních dat o počasí a povodních. Práce s nimi nepřináší vždy automatický úspěch: když jsme ale zpracovávali povodně Rakovnického potoka, vyskytl se případ dvou alternativních datací povodně Rakovnického a Lišanského potoka. V kronice obce Hředle jsem pak nalezl vysvětlení. V létě zasáhlo obec po sobě celkem pět přívalových povodní v období asi tří týdnů, a to v květnu a červnu 1852. Potvrdily se obě alternativy, a navíc jsme získali informaci o delším období, kdy přívaly postihovaly rozsáhlejší oblast. Využití velkého počtu obecních kronik také ukázalo, že květnové povodně na Rakovnicku, Podbořansku a Berounsku rozhodně nejsou výjimkou, spíš něčím typickým. Velká povodeň z 25. května 1872 zapadá do souvislostí této oblasti docela dobře. Od roku 1836 měly vést všechny tržní obce kroniky, o sto let později to již platilo pro všechny obce. Nezdá se vám, že ty soupisy povodní, sucha a vichřic v obecních kronikách tak trochu leží ladem?

A jak daleko do minulosti se dá prostřednictvím těchto pramenů nahlédnout?

Dále do minulosti se lze podívat díky písemným pramenům, které souvisejí s historií královských či poddanských měst. Takové zdroje začínají patnáctým či šestnáctým stoletím. Pokud jde o Prahu, pak doklady o povodních počínají Kosmovou kronikou. Jen pro zopakování, ke zde zmíněné nejstarší povodni došlo v září 1118.

Naše nejstarší poříční mapy jsou z období vlády Marie Terezie a jejích synů Josefa II. a Leopolda II., tedy zejména z období 1770 až 1795. Nejstarší mapa Otavy s hloubkami vody v příčných profilech pochází z roku 1794. Nejstarší taková mapa Vltavy je zhruba z let 1822 až 1825. K čemu nám takové materiály jsou? Jsou to jediné doklady o přírodních nebo antropogenních změnách našich řek, které máme. Najdeme v nich odpovědi na otázky – třeba příčiny oddělení některých meandrů řek nebo proměny příčných profilů Vltavy a Labe.

Od 10. do 12. září 2025 se v Praze konal třetí mezinárodní workshop Flood Working Group (FWG) PAGES (Past Global Changes), která se snaží vytvořit světovou databázi záznamů o povodňových událostech. Vznikla v roce 2016 na prvním workshopu při Univerzitě v Grenoblu. Snaha spojit metody historické hydrologie s výsledky paleoflood hydrology se zatím rozvíjí. Byli jsme rádi, že letos Českou republiku zastoupil jako klíčový řečník odborník v oblasti říční morfologie a dokladování současných a minulých sesuvů docent Jan Hradecký z Univerzity v Ostravě. Mohli jsme také ukázat díky archeologu Janu Havrdovi některé datované fluviální vrstvy v Praze, a to dokonce ze 14. století, kdy frekvence velkých povodní byla podle dokumentárních zdrojů mimořádná. Velkou oporou a vzorem jsou tu odborníci z USA, Velké Británie, Švýcarska, Španělska, Německa, Holandska či Izraele.

Můžete uvést nějaký konkrétní příklad, kdy historické prameny přinesly něco zajímavého, nového či mimořádně užitečného?

Nedávno byla nalezena ve vídeňském archivu mapa komorních panství Brandýs a Nymburk z roku 1714 se zakreslením skutečného soutoku Labe a Jizery až před Starou Boleslaví. Jsou zde zaneseny náhony na mlýny, zaniklé rybníky atd. V poříčních mapách Labe z roku 1844 jsou zakresleny hloubky a mělčiny, kameny, které byly odstraněny z koryta třeba ještě v devatenáctém století.

V našem archivu v Brozanech jsme našli v devadesátých letech nejstarší řadu denních záznamů z Magdeburku. Ta má počátek v roce 1727. Pravděpodobně je to nejdelší evropská – a možná světová – řada denních vodních stavů. Nikdo o ní už dávno nevěděl. Nechal si ji kolem roku 1880 poslat od kolegů z Magdeburku profesor A. R. Harlacher, přednosta hydrometrické sekce hydrografické komise Království českého. Zajímaly ho poklesové trendy minim vodních stavů v této řadě. Kdyby se však balíček s výpisy ztratil, nikdo by to nepoznal, nikdo by je nepostrádal. Ale když je máme, je to, myslím, o dost lepší. Mnoho podobných řad považujeme za ztracené, alespoň prozatím. Uvedený příklad však dává naději, že ještě mnoho půjde v rozličných nezatříděných fondech v budoucnu najít; ale třeba jinde, než bychom čekali. Kolega Jan Řičica balíček okopíroval a poslal německým kolegům zpět do Magdeburku. Dostal se tak zpět po 110 letech. Práci na přepisu této řady jsme s Ladislavem Kašpárkem rozdělili mezi ČHMÚ a VÚV TGM rovným dílem. Slávkovi nebylo nutné vysvětlovat, že je to dobrý nápad. Dnes už publikovali kolegové z německého výzkumného ústavu Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) dvě studie na téma změny v profilu magdeburského vodočtu včetně vyčíslení unikátní průtokové řady.

A co nám tyto objevy říkají o samotném vývoji vodního hospodářství?

Nejde jen o povodně. Je docela logické a asi i nezbytné snažit se pochopit vývoj oboru vodního hospodářství. Až s poznatky o komisionálních prohlídkách Labe od Mělníka po Cuxhaven se jasně ukázaly nové informace třeba o významu hladových kamenů a značek na nich. Tehdejším komisařům byl význam jasný. Pokud se zabýváme povodněmi a suchem, musíme se pokoušet poznat i historický vývoj osídlení kolem řeky. Je to již dvacet let, kdy pod vedením Rudolfa Brázdila vznikla kniha *Historické a současné povodně*. Mezitím jsme shromáždili množství poznatků jak o povodních, tak o vývoji Prahy a dalších

sídel. Takže se dá odpovědět na otázky, zda se v minulosti vyskytly podobné povodně jako v roce 1997 či 2002, s mnohem větší jistotou než dříve. V naší zemi máme relativně dlouhé systematicky měřené řady vodních stavů a srážek, a to především díky jasnozřivosti a kompetenci profesora A. R. Harlachera a profesora F. J. Studničky. Podíváme-li se však do historie povodní velkých toků, jako je Sázava, Ohře, Jihlava, Dyje, ale i Jizera, je vidět, že tyto řady začínají až po éře velkých povodní z let 1784, 1845 a 1862. Bez tohoto poznatku bychom dostali asi dost zkreslený obraz o velkých povodních v těchto a jiných povodích. A to je jen jeden z příkladů.

Můžete konkrétně uvést, kdy historické záznamy pomohly lépe pochopit nebo zpřesnit hodnocení povodňového rizika?

Možná by šlo postavit otázku obráceně: kdy absence užití historických dat vedla k nějaké chybě a umocnění katastrofy? Často se takové příklady uvádějí na přednáškách klíčových řečníků, třeba Victora Bakera z arizonské univerzity či asi nejvýznačnějšího španělského odborníka v oblasti „paleofloods hydrology" Gerarda Benita. Uvedu jen dva případy, které spojuje rok 2011. Jde shodou okolností o dvě atomové elektrárny, které byly v ohrožení vodou. V březnu toho roku to byla japonská Fukushima Daiichi, kterou ohrozilo zemětřesení a následná tsunami. V červnu téhož roku měla velké problémy elektrárna Fort Calhoun s řekou Missouri. V obou případech jsou historická data k dispozici, jen není moc jasné, proč nebyla při návrhu staveb správně použita. Ačkoli elektrárna v USA byla pod vodou, případ se obešel bez větších následků, ale o pět let později byl provoz zastaven a celý komplex postupně odstraňován. V Japonsku to bylo o dost horší, jak je všeobecně známo.

Jak se k využívání historických záznamů stavěla odborná komunita v minulosti?

Problematikou tsunami, a to jak modelováním, tak i historickými případy, se zabývá profesor Nobuo Shuto z Univerzity v Tohoku. Jak pan profesor vzpomínal, byla pro něj zásadní událostí velká tsunami v roce 1983. Očití svědci ho při terénním průzkumu upozornili, že to bylo sice hrozné, ale nebylo to nic proti tsunami v roce 1896. Začal se pak zabývat i historickými případy, ale to již elektrárna Fukushima Daiichi stála.

Je docela zajímavé, že právě v osmdesátých letech došlo k obecnému návratu k využívání historických dat. Již tehdy vyšla řada příspěvků včetně článku z roku 1982 v *Science* „Palaeoflood hydrology", jehož autorem byl V. R. Baker. Teoretickým předpokladem pro začlenění nesystematických dat do statistického zpracování se staly vzorce publikované roku 1987 J. R. Stedingerem a T. A. Cohnem, jež umožňují kombinovat soubory nad zvolenou mezí, tedy i předinstrumentální data, se soubory ročních maxim. Ve stejné době publikoval některé své články kritizující odvozování *N*-letých průtoků z velmi krátkých řad Vít Klemeš. Ten emigroval v roce 1968 do Kanady, kde se stal uznávaným hydrologem. Pamatuji si na přednášky V. R. Bakera, který právě Víta Klemeše vyzdvihoval a hlásil se k jeho myšlenkám. Když jsme se se Slávkem Kašpárkem připravovali na letošní přednášku 18. března u příležitosti vydání knihy *Historické povodně na Rakovnickém potoce*, vzpomínal, že tehdy v osmdesátých letech právě tyto Klemešovy články měl a znal.

Nebyl jsem u toho, když Slávek Kašpárek objevil při terénním průzkumu po červencové povodni 1981 na skále nad Červeným potokem značku povodně z roku 1872. Vzpomínal na to opakovaně, naposledy letos při zmíněné přednášce. V roce 1984 publikoval práci, která nesla přímo v názvu téma vlivu zapojení historických dat do statistického zpracování. Dnes považujeme hodnoty kulminace Litavky či Berounky v roce 1872 za samozřejmost. Jenže samozřejmost to nebyla, rekonstrukce povodně na Litavce byla vtipná a publikování výsledků odvážné.

Najdeme u nás další osobnosti, které podobně zdůrazňovaly význam historických povodní?

Je tu jistá paralela s japonským profesorem Shutem a jeho terénním průzkumem po tsunami roku 1983, který odstartoval jeho směřování k historickým událostem. Již od roku 1978 pracoval historik a archivář Jiří Kynčil na excerpcích o historických povodních v Krušných horách a povodí Ohře. Téma zpracovával pro státní podnik Povodí Ohře. Tehdy šlo o těžbu uhlí v daném regionu a budoucí ochranu povrchových dolů. Bylo potřeba posbírat maximum informací o povodních krátkých krušnohorských přítoků Bíliny a Ohře. Méně známá je kratší publikace o Jílovském potoce. Zde Jiří Kynčil upozornil již roku 1983 na to, že odhady *N*-letých vod Jílovského potoka budou asi podhodnocené. Je zajímavé číst v úvahách člověka s humanitním vzděláním stejné námitky o nedostatečnosti třicetiletých či padesátiletých řad pro odvození stoletého průtoku jako u špičkového světového hydrologa Víta Klemeše. Nebyly totiž použity doložené povodně z let 1897 a 1927. Krátce nato přišla na Jílovském potoce skutečně extrémní povodeň, kterou pak Slávek Kašpárek zpracovával. Oba se tedy potkali ve věci Jílovského potoka. Jiří Kynčil později inspiroval Oldřicha Kotyzu, archeologa z Litoměřic, tématem historických povodní. A ten se jim a historii klimatu věnoval celý život. Slávek se domníval, že odhady extrémních průtoků jsou důležité, k odhadům průtoků Litavky z roku 1872 přidal odhady průtoků Střely, Blšanky, Berounky, Vltavy a nakonec ještě Rakovnického potoka. Tím podstatně přispěl k našim znalostem v oblasti možného povodňového rizika.

Jak probíhá ověřování a interpretace historických údajů, které často nemají podobu přesných čísel, ale spíše popisů nebo vyprávění?

Jde o několik hledisek, za věrohodná považujeme dobová svědectví, tedy primární a nikoli sekundární zdroje. Dáváme také přednost těm údajům, které jsou kvantitativní. To jsou většinou údaje o historickém kulminačním vodním stavu. Typicky jde o značky povodní, to jsou tzv. epigrafické zdroje. Stejně přesně může určit výšku povodně třeba kronikářský údaj vztažený k nějakému pevnému bodu. Nejznámějším takovým bodem je gotická plastika Bradáče v Praze. Tu jsme kontrolně zaměřili v roce 2004 a rozptýlili tím pochybnosti o okolnostech jejího přenesení do nové polohy v roce 1848. Takto máme řadu celkem dost přesných kulminačních vodních stavů v Praze od roku 1481.

Může to být ale i úroveň podlahy v nějakém kostele. Vždy tu však mohou být překážky a pochybnosti o minulých změnách v poloze takového místa či objektu. S velkou lítostí lze uvést příklad kostela sv. Anny v Hradci Králové, jenž byl zbořen při stavbě opevnění kolem roku 1775. Zbyl tam dokonce stavební plán kostela, ale bez kót. Výšky povodní na Labi byly v šestnáctém a sedmnáctém století opakovaně vztahovány právě k úrovni podlahy v tomto kostele. Známe tak alespoň vzájemný vztah těchto kulminací, a to docela přesně. Ale propojit tuto řadu s dalšími extrémními povodněmi, třeba se zničující povodní právě v roce 1775 nebo s asi nejhoršími povodněmi v letech 1804 a 1846, je zatím problém. Pamatuji si, jak mne po Hradci Králové prováděla již výše zmíněná kolegyně Zlata Šámalová a smutně ukazovala okolí kruhového objezdu, kde snad nějaké nepatrné zbytky kostela mohou být ještě někde pod zemí.

Co dělat v případech, kdy jsou k dispozici jen nepřesné či kvalitativní popisy povodní?

Je mnoho povodní, kdy je vymezení výšky kulminace poněkud „rozmlženo" nebo máme jen doklad o velkých škodách na majetku, kdy je popis „kvalitativní" – šlo o škody na úrodě, někdy již voda odnesla nějaké předměty, poškodila dům anebo zničila most. Tady se používá bodová škála 1 až 3 a u ní je pomocná přibližná relace k *N*-letostem. Je fakt, že pokud se lidé zachraňují na střechách, padají domy a mosty, nebude se pravděpodobně jednat ani o pětiletou, a dokonce ani ne o dvacetiletou vodu. V těchto případech se buď spokojíme s odhadem, anebo si pomůžeme lépe popsanou situací třeba v profilu dál po proudu, kde se lze

Fotografie Bradáče ze zaměření v roce 2004 ukazuje, že jeho hlava na rozdíl od mé je vysoká 70 cm.

Konference HEX, Bonn 2014. Účastníci před mohanskou bránou města Eibelstadt s asi 20 až 30 značkami povodní od roku 1550 do roku 2002.

opřít o kvantitativní data. Je potřeba zdůraznit, že historická hydrologie není jen shromažďováním dat o povodních. Je nutné znát vývoj dané lokality v čase a případné změny v záplavovém území a v korytě řeky. To je někdy docela obtížné.

Můžete uvést konkrétní příklad, kdy znalost vývoje lokality pomohla správně interpretovat povodeň?

Jedním z nejlepších příkladů je Praha. Tady od výstavby jezů, tedy asi od třináctého a čtrnáctého století, nedocházelo k zahlubování koryta – na rozdíl třeba od německého Kolína. Rýn prohluboval své koryto, a to se měnilo i díky rozličným antropogenním změnám. Svědectví o tom zanechal v podobě svých kreseb německých měst z plavby po Rýně, Mohanu a Dunaji roku 1636 český rytec Václav Hollar. Jezy vedené přes celou řeku, to nebylo ve středověku u větších toků zdaleka tak obvyklé a často není dodnes. Mlýny se bez nich obešly, na Rýně se využívaly spíš škrtnice, tedy lodní mlýny. Také postavit kamenný most přes řeku bylo ve středověku únosné spíš u menších toků. Vltava v Praze, Labe v Drážďanech a horní Dunaj v Řezně, to bylo dlouho, asi do devatenáctého století, na hranici technických možností. Na Rýně se často užívaly lodní mosty, třeba v Mannheimu. Pražská situace je vlastně docela unikátní. Změny koryta brzdil systém jezů. Změny výšek terénu v Praze se zastavily postupným dlážděním města. Začátek tohoto procesu spadá do třináctého století. Tyto znalosti nám umožňují interpretovat zprávy o velkých povodních třeba v době stavby Karlova mostu. Tehdy Praha zažila v letech 1359, 1367, 1370 a 1374 sérii povodní, u nichž známe kulminaci přibližně, a to vymezením horizontálního rozsahu až ke kostelům sv. Michala, sv. Jiljí či sv. Linharta. Proto je důležité podrobně poznat, jak se v Praze zatápělo Staré Město v devatenáctém století. V té době známe kulminační vodní stavy již zcela přesně. Takové poznatky jsou proto neocenitelné. Lze tedy lépe pochopit, co měli dva významní kronikáři doby Karla IV. na mysli při svých stručných popisech dosahu vody do Starého Města. Převedeno do dnešních pojmů, popsali, že Prahu postihly od roku 1359 za období patnácti let asi čtyři „padesátileté až stoleté vody".

Jak lze ověřovat věrohodnost starých popisů extrémních povodní?

Když jsme v rámci grantového úkolu zaměřeného na změny v údolních nivách v roce 2007 proměřovali výšky povodní Sázavy, narazili jsme na zprávy o povodni, která v Ledči nad Sázavou dosáhla výšky asi dvou až tří metrů nad Q_{100}. Dalo by se to vyhodnotit jako nevěrohodný údaj. Jenže podobné popisy výšky byly zaznamenány ve všech okolních městech od Žďáru nad Sázavou po Kácov. Tyto údaje byly ve vzájemné shodě s popisy počtu utonulých v příslušných městských a obecních matrikách. Celkem utonulo 240 osob. Šlo o povodeň z 31. července 1714. Tento příklad uvádím proto, že jsme se pokusili najít nějaký srážkový scénář, abychom získali rámcově podobnou hydrologickou odezvu s tou, která je vylíčena nejméně v jedné z kronik. Vzestup a pokles Sázavy popsal děkan kostela v Německém Brodě. Nutná srážka a její intenzita se nakonec „vešla" ještě pod obalovou křivku maximálních srážek pro naši republiku. Povedlo se!

Jakým způsobem dnes historické povodně systematicky zpřístupňujete?

V posledních letech se snažíme soustředit informace o vybraných extrémech do mapové aplikace MEF. Ta je založena na aplikaci ArcGIS a znamená jednoduše zhruba to, že chceme historické povodně prezentovat v jejich celém rozsahu. Velké regionální letní případy zasahují stovky tisíc kilometrů čtverečních, velké zimní povodně v únoru 1374 a 1784 se týkaly naprosto výjimečného území od Francie po Čechy a možná dál, takže je to někdy časově náročné zpracování. Odměnou je možnost podívat se na celou událost a tu porovnat s jinými historickými situacemi. Právě kontrola dat v celkovém kontextu je tu podstatným motivem. Příkladem je výše zmíněná povodeň v únoru 1374. Na našem území o ní máme jen dvě zmínky – z Prahy a povodí Ohře –, ale ty jsou potvrzeny desítkami dalších popisů ve střední a západní Evropě. Věrohodnost kronikářských záznamů u pozdějších povodní, kde se dochoval podrobnější záznam, nám potvrzují například postupové doby v letech 1675, 1784, 1824 anebo 1890 mezi jednotlivými lokalitami – České Budějovice, Praha, Drážďany, Magdeburk – nebo popisy škod či kulminací, jež navzájem odpovídají.

Spolupracujete při výzkumu historických událostí s historiky, archiváři či dalšími odborníky mimo oblast přírodních věd?

Postupně jsem našel několik kolegů, které téma buď zajímá, nebo jsou ochotní, případně oboje. Asi nejlepším příkladem byl archeolog Oldřich Kotyza.

Fotografie se značkou v Plasech ukazuje, že v roce 1872 bych já v těchto místech neměl šanci.

Když v roce 1995 při příležitosti konference k výročí povodně z roku 1845 vydal svou knížečku *Historické povodně na dolním Labi a Vltavě*, byl jsem nadšený. To je hydrologie! V roce 2003 jsme se potkali na konferenci *Město a voda* s věhlasným pražským archeologem Ladislavem Hrdličkou. Ten nám velmi pomáhal s vývojem pražského terénu. Doporučil mi také svého spolupracovníka Zvonimíra Dragouna, jenž jako geodet pracoval pro ochranu přírody, památkovou péči a archeologii. Dnes si svou práci bez něj vůbec nedokážu představit. V Praze má nyní mezi archeology nejblíž k problematice fluviálních sedimentů a jejich datování Jan Havrda. Pražská archeologie se za posledních třicet let velmi posunula, pokud jde o výklad těch změn v zatápěném území, jež nás velmi zajímají, ať jde například o vývoj Malé Strany, Kampy, Klárova, o doklady o vývoji terénu kolem Klementina nebo také o polohu starého dřevěného mostu, který byl hluboce zatopen za povodně roku 1118.

Pomáhali nám pracovníci pražského muzea a řady jiných muzeí a archivů, jde o desítky osob. Největší společné dílo však máme s historikem Janem Lhotákem, historikem Pošumaví a Sušice, jenž má za sebou „těžkotonážní dějiny" tohoto města. V roce 2013 jsme spolu publikovali obsáhlý soubor o povodních Otavy od roku 1432 do roku 1900. Doufali jsme, že bude podpořeno i knižní pokračování, k našemu překvapení nikdo neměl zájem. Myslím, že spolupráce napříč obory je mnohem samozřejmější v západní Evropě. U nás se postupně prosazuje také. Pokud začnu uvádět mezinárodní komunitu kolegů, kteří se věnují historii povodní, pak jako příklad musím zmínit historičku Andreu Kiss, ta pracuje na Technische Universität (TU) Wien u hydrologa profesora Güntera Blöschla. Ve společenství odborníků, kteří se v Evropě historickým povodním věnují, najdeme archeology, historiky, geografy a geology. Je to vidět i na setkáních a konferencích, kde lze nalézt opravdu velmi pestré „rozložení sil".

Jak může znalost extrémních událostí z minulosti pomoci s přípravou na budoucí povodně v kontextu klimatické změny?

Ano, vypadá to nelogicky. Vše se mění, proč se tedy obracet k minulosti? Klima se ovšem do jisté míry měnilo vždy. Vidíme to i na povodních u nás, v chladnějším období sedmnáctého a osmnáctého století narazíme spíš na velké zimní povodně, ale od druhé poloviny devatenáctého století převažují povodně letní. V roce 2019 jsme stáli s profesorem Rüdigerem Glaserem z Freiburgu v Riederalpu nad Aletschským ledovcem, ukazoval nám „morénu 1850". Od roku 1850 se ledovec zmenšuje a místo, kde jsme před šesti lety stáli, je dnes ohroženo sesuvem. Klimatická změna a oteplování planety mohou mít důsledky, jež lze dnes asi těžko dohlédnout. Zcela vše se ale nemění. Fyzikální zákony budou v platnosti i nadále a morfologie krajiny, údolní nivy a koryta řek, stejně jako říční síť, se pravděpodobně zásadně měnit nebudou, alespoň ne v časové perspektivě, o kterou nám jde teď.

I kdyby došlo k velmi podstatným změnám v atmosféře, jistě platí, že znalost předchozích extrémních situací bude stále užitečná. Již zmíněný klasik historických povodní Victor Baker to shrnul do věty: „Co jednou se stalo, může se stát znovu, protože je to reálné." Ano, povodně, které se staly, mají proti těm modelovaným nespornou výhodu, nedají se popřít. Jakkoli jsou jejich parametry někdy udivující, je potřeba je brát jako fakt.

Je možné, že budoucí události se stanou třeba trochu jinak, například budou přicházet s větší četností. Je zjevné, že v posledních pěti stoletích bylo několik období, kdy se povodně vyskytovaly víc a byly intenzivnější. Často to bylo v dobách, kdy troposféra měla za sebou nějaký mohutný impulz, třeba po silných erupcích velkých vulkánů na Islandu a v Japonsku v roce 1783. Právě v následném období docházelo v Evropě ke krutým zimám, ničivým povodním i k dalším anomáliím.

Je obtížné prokázat přímo vliv klimatické změny, respektive oteplování na poslední povodně. Výsledkem našeho snažení v tomto směru byl projekt profesora G. Blöschla, který zhodnotil dlouhé historické řady kulminací, a to od roku 1500 do současnosti. Společný článek vyšel v *Nature*. Perioda 1993–2016 byla v Evropě vyhodnocena jako druhá nejintenzivnější, pokud jde o povodně od roku 1500. Je to doklad o dopadech klimatické změny? Pro někoho ano, pro jiného ještě ne.

Za svou vědeckou kariéru jste se potkal se spoustou odborníků a jedním z nich byl náš nedávno zesnulý kolega Slávek Kašpárek, hydrolog z VÚV TGM. Mohl byste popsat spolupráci s ním a připojit nějakou hezkou vzpomínku, prosím?

Slávka jsem znal možná od roku 1985 nebo 1986, a to z pátého ročníku ČVUT. Tedy zhruba čtyřicet let. Vyučoval externě volitelný předmět Hydrologické modelování. Celkem šlo o jeden semestr. Jako diplomovou práci jsem dostal zadanou automatickou optimalizaci hydrologického Tankmodelu, a to Rosenbrockovou metodou. Vedoucí byl Miroslav Kemel a Ladislav Kašpárek byl konzultant. Měl jsem nejen provést kalibraci modelu podle historické události na řece Otavě, ale také popsat velmi chytrou Rosenbrockovu metodu optimalizace. Jenže i tato metoda, schopná efektivně vyhledat v prostoru o desítkách rozměrů optimum kriteriální funkce, často spadla do pasti lokálního optima. Byla to dobrá zkušenost pro to zůstat „nohama na zemi" a užívat logiku i selský rozum, a to i vedle mohutného matematického aparátu. Domnívám se, že Slávek byl v tomto ohledu skutečnou oporou.

Fotografie Slávka Kašpárka, kdy jako figurant drží lať nad značkou 1616.

Po mém návratu z vojny v září 1987 Slávek změnil „firmu", odešel do VÚV TGM. Po něm převzal Oddělení režimového zpracování dat Oldřich Novický. Stopy Slávkovy činnosti však byly všude, třeba jen v tom, že založil a uspořádal fotoarchiv hydrologie spolu s pečlivou techničkou Evou Bařinovou. Fotografie objektů byly uspořádány hydrologicky, snímky povodní časově. Slávek si nejvíc ze všech uvědomoval, že takový archiv potřebujeme. Podobně to bylo i s jinými zdánlivě prostými věcmi. Spolupráce s ním trvala i po jeho odchodu z pražského ČHMÚ, ať už šlo o uměle generované řady, metodiky k výpočtu katastru vodnosti, nebo povodňových vln. Při mém směřování k historické hydrologii jsem u něj našel jasnou podporu a pochopení.

Jakým způsobem vás Slávek Kašpárek podporoval při vaší práci na historické hydrologii?

Později, když jsem začal s disertační prací, nabídl mi spoluúčast při vyhodnocení povodně z roku 2002, respektive při hledání historických paralel s touto povodní. Tento druh spolupráce trval i dál, přišlo spoluautorství impaktovaných článků. Připravoval jsem historické podklady pro různé studie, mimo jiné i pro Rakovnický potok. Často jsem se jen ptal, zda to či ono je prostě dobrý nápad.Na úplný závěr si dovolím vzpomínku, která neobsahuje žádnou humornou pointu ani hluboký skrytý smysl. Je to ale vzpomínka, kterou si rád v duchu znovu promítnu. Souvisí s katastrofální periodou sucha. Hydrologické sucho se začalo projevovat již v roce 2014 a pokračovalo až do jara 2020. Vše zlé je k něčemu dobré, dlouhou dobu jsme čekali na příležitost, až co nejvíc vystoupí z vody „hladový kámen" v Děčíně. Nejlepší příležitost zaměřit všech třicet značek minimálních vodních stavů na jeho povrchu nastala v srpnu 2015. Po telefonátech a teoretické přípravě Slávek zorganizoval měřičskou výpravu. Jeli jsme terénním autem, které řídil Honza, jeho syn. Samozřejmě s námi jel geodet Zvonimír Dragoun, nepostradatelný spolupracovník. Vykopat a očistit „hladový kámen" je práce pro čtyři osoby zhruba na půl dne. Vodní stav i přes dotaci z vltavské kaskády klesl velmi nízko, takže byly vidět všechny značky dobře. Ten den, myslím 14. srpna 2015, byla odpolední maxima v Děčíně kolem 38 °C, přesto Slávek pracoval s lopatou velmi zdatně. Kolem třetí hodiny jsme toho ale měli všichni dost. Kámen byl vykopaný a čistý. Z boku, tam kde je slavný nápis „Wenn du mich siehst, dann weine" (*„Spatříš-li mne, zaplač," poznámka redakce*), se pod hladinou objevilo ještě něco. Snad pěticípá hvězda. Je tam někde pod ní i značka? Jenže hlouběji jsme nemohli, ledaže by na chvilku přivřeli ve Střekově odtok z vodního díla. Slávek klidně pronesl: „No tak to zajímkujeme". Rychle jsme postavili hrázku kolem boku kamene. Vodu jsme vyčerpali plastovou lahví od minerálky a snad i čerpadlem určeným původně na čištění a ostřikování kamene. Byl to boj mezi průsakem a výkonem čerpadla. Honza Kašpárek vyhazoval štěrk a bahno a nezastavil se, dokud nebylo hotovo. Vyhrabal tak vůbec nejnižší značku z roku 1934. Ukázalo se, že údaje odečtené kdysi na vodočtu a výšky značek souhlasí téměř přesně. Rozdíl mezi výškou ročního minima na vodočtu k roku 1868 a značkou nebyl žádný! Stejnou, trochu zdokonalenou metodu jsme užili i při skenování kamene v roce 2018.

Který společný projekt nebo téma byste označil za stěžejní pro vaši spolupráci?

Pokud bych měl určit červenou nit naší spolupráce, je to asi zcela jistě povodeň z května 1872. Tato povodeň Slávka od roku 1981 již neopustila, vracel se k ní znovu a znovu. Inicioval práci na toto téma i v roce 2000, což bylo spojeno s terénním průzkumem podél Střely a Blšanky. Pak přišly další kroky, které se týkaly podrobnějších informací o škodách na vodních mlýnech a rybnících, a využití Aqualogu pro resimulaci. Posledním krokem byl odhad průtoku Rakovnického potoka završený knihou o historických povodních (*Historické povodně na Rakovnickém potoce, poznámka redakce*). Po skončení společné přednášky při prezentaci této knihy 18. března ve VÚV TGM jsme si povídali ještě asi dvě hodiny v kanceláři. Nakonec jsme šli do jeho archivu na chodbě a na půdu. Ukázal na podstatné věci, které by měly zůstat zachovány. To už je bohužel ta opravdu poslední vzpomínka…

Pane doktore, srdečně vám děkujeme za rozhovor i poskytnuté fotografie.

Ing. Adam Beran, Ph.D.
Mgr. Zuzana Řehořová

Ing. Libor Elleder, Ph.D.

Ing. Libor Elleder, Ph.D., se narodil 11. července 1963 v Praze. Vystudoval Fakultu stavební ČVUT, obor Vodní stavby a vodní hospodářství. Zaměřil se na hydrologii včetně diplomové práce *Automatická optimalizace hydrologického modelu*. Po dokončení studia nastoupil do Českého hydrometeorologického ústavu. Do roku 1993 pracoval v Oddělení režimového zpracování dat se zaměřením na *N*-leté průtoky, generování umělých řad nebo zpracování v nepozorovaných profilech, a to i jako programátor řady úloh. V letech 1993 až 2013 se coby prognostik zabýval hydrologickými prognózami. Od devadesátých let 20. století se zároveň věnuje historické hydrologii. Roku 2009 na Karlově univerzitě obhájil svoji disertační práci *Využití proxydat v hydrologii*. Od roku 2013 pracuje v Oddělení aplikované hydrologie a věnuje se výzkumu. Spolupracoval na řadě odborných článků jako spoluautor nebo hlavní autor, na několika odborných knihách i na aplikaci pro mapové zpracování povodní v ArcGIS. V současnosti je členem Floods Working Group Pages a spolupracuje s Working Group for History of Hydrology.

Odbor hydrauliky, hydrologie a hydrogeologie: mezinárodní projekty zahájené v roce 2025

Ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka (VÚV TGM) bylo v roce 2025 zahájeno řešení dvou mezinárodních projektů. Jde o projekt „*SWIM*“ financovaný v rámci evropského programu Horizon Europe (HORIZON) a projekt „*FrauNyLu*“ podpořený programem přeshraniční spolupráce Interreg. Oba projekty jsou zaměřeny i na řešení hydrologických témat, jež bude mít na starosti Odbor hydrauliky, hydrologie a hydrogeologie.

PROJEKT „*SWIM*“ (HORIZON)

Projekt „*SWIM*“ („*Sustainable Water and Integrated Management of Fish Migration and their Habitats in the Danube River Basin and NW Black Sea*“) se věnuje obnově, ochraně a zlepšení stavu stanovišť migrujících druhů ryb v dunajském povodí a v oblasti severozápadního Černého moře. Projekt „*SWIM*“ je realizován v rámci evropské mise Obnova našich oceánů a vod (Restore our Ocean and Waters Mission) a navazuje na dlouhodobé aktivity v oblasti mezinárodní spolupráce týkající se ochrany vodních ekosystémů. Na řešení projektu se podílí více než 20 partnerů ze zemí střední a jihovýchodní Evropy, včetně klíčových vědecko-výzkumných institucí, správ vodních toků, environmentálních organizací a regionálních samospráv.

Cíle a hlavní aktivity

Hlavním cílem projektu „*SWIM*“ je obnova konektivity říční sítě, zlepšení kvality stanovišť a posílení ochrany klíčových migračních tras rybích populací. Projekt je strukturován do třinácti aktivit realizovaných na sedmi pilotních lokalitách na horním, středním a dolním Dunaji, včetně Dunajské delty a černomořského pobřeží.

Mezi klíčové výstupy projektu patří:

- identifikace a mapování klíčových stanovišť pro migraci ryb,
- návrh a realizace opatření na obnovu říční konektivity (např. laterální propojení, rybí přechody),
- založení *ex-situ* záchranných zařízení pro chov vybraných druhů ryb ohrožených vyhynutím (např. jeseteři, losos černomořský, hrouzek),
- vytvoření sítě chráněných území (tzv. rybích útočišť) a příprava plánů jejich dlouhodobého managementu,
- využití digitálních technologií pro monitoring a sdílení dat (včetně rozšíření MEASURES Info systému a napojení na evropský Digital Twin Ocean),
- zapojení místních komunit a podpora udržitelných místních modelů (např. ekologický turismus, šetrná akvakultura).

SWIM
Sustainable Water and Integrated Management of Fish Migration and their Habitats in the Danube River Basin and NW Black Sea

Úloha VÚV TGM v projektu „*SWIM*“

VÚV TGM se zaměřuje především na hydrologickou podporu projektu, vyhodnocení dopadů klimatické změny a návrh renaturačních a adaptačních strategií. Součástí je také modelování vodního režimu v pilotních lokalitách a vyhodnocení efektivity přírodě blízkých řešení pro zajištění konektivity a zlepšení podmínek pro migraci ryb.

Ústav se rovněž podílí na metodickém sjednocení postupů monitoringu a sdílení zkušeností mezi výzkumnými partnery z různých zemí. Důležitou součástí je i zapojení místních stakeholderů, včetně veřejnosti, což přispívá ke zvýšení povědomí o významu migrace ryb pro zachování biodiverzity a ekologické stability vodních ekosystémů.

Význam projektu pro Českou republiku a mezinárodní spolupráci

Projekt „*SWIM*“ přináší významný posun v řešení ochrany migrujících druhů ryb i v rámci České republiky, a to zejména díky výzkumu horního Dunaje a jeho přítoků. Obnova migračních tras a zlepšení ekologického stavu říčních úseků napomáhá plnění cílů Rámcové směrnice o vodách (2000/60/ES), Strategie EU v oblasti biologické rozmanitosti 2030 i nového nařízení o obnově přírody.

Díky transnacionálnímu přístupu a spolupráci napříč vědeckými obory a správními úrovněmi má projekt potenciál stát se modelovým příkladem pro obnovu říčních ekosystémů v celé Evropě. Zapojením do projektu „*SWIM*“ se VÚV TGM aktivně podílí na formování budoucích přístupů k ochraně sladkovodní biodiverzity a adaptaci vodního hospodářství na klimatickou změnu.

Projekt „*SWIM*“ představuje unikátní příležitost propojit ekologickou obnovu, výzkum, inovace i regionální rozvoj. Jeho úspěch bude záviset nejen na odborném přístupu, ale i na schopnosti zapojit do jeho řešení širší veřejnost, zainteresované instituce i komunity podél vodních toků. VÚV TGM bude v dalších letech hrát klíčovou roli při naplňování cílů tohoto ambiciózního mezinárodního projektu.

PROJEKT „*FRAUNYLU: SPOLEČNÉ ŘEŠENÍ PRO BEZPEČNÉ ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU V ČESKO-BAVORSKÉM POHRANIČÍ*“ (PROGRAM INTERREG)

VÚV TGM se rovněž zapojil do nového přeshraničního projektu „*FrauNyLu*“, který bude hodnotit propojení vodárenských nádrží Nýrsko, Lučina a Frauenau. Cílem projektu je vyvinout společná opatření, která posílí odolnost a bezpečnost zásobování pitnou vodou v česko-bavorském pohraničí, zejména s ohledem na očekávané dopady změny klimatu.

Projekt „*FrauNyLu*“ vznikl jako odpověď na společnou výzvu obou regionů k vytvoření dlouhodobě udržitelného a efektivního hospodaření s vodními zdroji v prostředí s nízkou retenční schopností hornin a omezenou kapacitou podzemních vod. Území krystalinika Šumavy, Českého lesa a Bavorského lesa je vysoce citlivé na sucha a výkyvy srážek, jež jsou stále častější a intenzivnější v důsledku klimatické změny. Projekt proto usiluje o posílení spolupráce a o vytvoření komplexního systému pro sdílení informací, vyhodnocení vodní bilance a návrh společných technických i organizačních opatření.

Společný přístup

Zcela novým přístupem aplikovaným v projektu „*FrauNyLu*“ je přeshraniční vyhodnocení současného i budoucího stavu zásobování vodou na základě vzájemně harmonizovaných metod a společně sdílených dat. Zatímco dříve byly obdobné analýzy prováděny odděleně na národní úrovni, projekt „*FrauNyLu*“ přináší integrovaný pohled na celé území zásobované z klíčových vodních zdrojů – nádrží Nýrsko, Lučina a Frauenau.

Na základě vytvořené databáze bude možné stanovit bilanci vodních zdrojů, vyhodnotit jejich potenciální deficity a navrhnout konkrétní adaptační opatření, která mohou zahrnovat technická řešení (např. propojení systémů, sdílení zdrojů v období sucha) i opatření organizačního charakteru (inteligentní řízení odběrů, krizové scénáře, koordinační platformy).

Projekt „*FrauNyLu*“ přinese konkrétní užitek české i bavorské části území, a to zejména v oblasti:

- zvýšení odolnosti zásobování pitnou vodou v obdobích sucha nebo při haváriích,
- zlepšení plánování investic do vodohospodářské infrastruktury díky sdíleným analýzám a modelům,
- využití synergií při správě vodních zdrojů – omezení duplicit, efektivní využití existujících kapacit,
- posílení česko-bavorské spolupráce na lokální i institucionální úrovni,
- zvýšení bezpečnosti a soběstačnosti obyvatel v oblasti s potenciálním nedostatkem vody.

Úloha VÚV TGM v projektu „*FrauNyLu*“

VÚV TGM v rámci řešení projektu zajišťuje hydrologickou analýzu a návrh adaptačních opatření. Využívá přitom dlouhodobé zkušenosti s modelováním vodní bilance a vývojem metodik pro hodnocení dopadů klimatické změny na vodní režim.

VÚV TGM přináší do projektu know-how z předchozích mezinárodních projektů, jako byly „*Thaya*“ (Interreg), „*Dyje*“ (TA ČR), „*RAINMAN*“ (Interreg) či projekt „*DALIA*“ (EU HORIZON). Ústav se rovněž aktivně podílí na přenosu výsledků výzkumu do praxe, a to jak v oblasti veřejné správy, tak i ve spolupráci s uživateli vody, např. zemědělci nebo správci nádrží.

Přeshraniční spolupráce

Záměrem projektu „*FrauNyLu*“ je ukázat, že společné hospodaření s vodními zdroji přesahující státní hranice má zásadní význam nejen pro zajištění dostatku pitné vody, ale i pro zachování ekologické rovnováhy v pohraničním česko-bavorském regionu. Vzhledem k podobným přírodním podmínkám a společným výzvám je koordinovaný přístup efektivnější než izolovaná národní řešení.

Využití velkých nádrží jako strategických víceletých zásobáren vody v území s nízkým retenčním potenciálem podzemních vod je v kontextu klimatické změny klíčové. Projekt tak představuje nejen technickou a institucionální inovaci, ale i symbol spolupráce a solidarity mezi sousedními zeměmi.

Autoři

Ing. Adam Beran, Ph.D.
✉ adam.beran@vuv.cz

Ing. Petr Pavlík
✉ petr.pavlik@vuv.cz

Ing. Martin Vokoun, Ph.D.
✉ martin.vokoun@vuv.cz

Ing. Adam Vizina, Ph.D.
✉ adam.vizina@vuv.cz

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

Informativní článek, který nepodléhá recenznímu řízení.

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

Interreg Bavorsko – Česko
Spolufinancováno Evropskou unií

Magdeburský seminář o ochraně vod 2025: voda v povodí Labe včera, dnes a zítra

Ve dnech 8.–9. října 2025 se v německém Magdeburku uskuteční již 21. ročník Magdeburského semináře o ochraně vod. Tato tradiční mezinárodní akce, pořádaná střídavě v České republice a Německu, se za více než tři desetiletí etablovala jako významná odborná a vědecká platforma pro výměnu poznatků v oblasti vodního hospodářství a ochrany vod v povodí Labe.

TÉMA ROČNÍKU 2025

Letošní ročník nese ústřední téma „Hospodaření s vodou v povodí Labe – včera, dnes a zítra“, které reflektuje dlouhodobý vývoj, současné výzvy i budoucí perspektivy v řízení vodních zdrojů regionu. Obsahová struktura semináře je rozdělena do tří hlavních tematických okruhů:

- Zabezpečenost vodních zdrojů a funkcí ekosystémů s ohledem na klimatické změny
- Labe jako vodní cesta – možnosti a limity
- Strategie monitorování a hospodaření s vodami

PROGRAM A ZAPOJENÍ INSTITUCÍ

Program semináře zahrnuje celkem 27 odborných přednášek, posterovou sekci a tři odborné exkurze zaměřené na praktické aspekty ochrany a využívání vod. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka (VÚV TGM) se aktivně podílí na programu prostřednictvím dvou přednášek a čtyř posterových prezentací.

Hlavním organizátorem letošního ročníku je – stejně jako u všech německých seminářů – Středisko výzkumu životního prostředí H. Helmholtze (UFZ). V případě pořádání semináře na českém území se v roli hlavního organizátora střídají státní podniky Povodí Labe, Povodí Vltavy a Povodí Ohře.

MEZINÁRODNÍ SPOLUPRÁCE A ODBORNÝ PROGRAM

Na přípravě semináře se podílí programový výbor složený ze zástupců institucí z České republiky i Německa. Významnou roli hraje také Mezinárodní komise pro ochranu Labe (MKOL), která prostřednictvím svého sekretariátu zajišťuje organizační, odborné i jazykové zázemí celé akce.

Připravený program nabízí širokou škálu přednášek. Z německé strany stojí za zmínku např. příspěvek Norberta Kamjunkeho (Středisko výzkumu životního prostředí H. Helmholtze) „Přeměna živin a rozpuštěných organických látek v řece od pramene až po moře“ nebo prezentace Jörga Tittela ze stejné instituce s názvem „Úprava Labe na vodní cestu snižuje odolnost vod v údolní nivě vůči klimatické změně – průzkumy na německém středním Labi u Magdeburku“.

Česká strana bude zastoupena rovněž řadou příspěvků. Za všechny jmenujme např. vystoupení Pavla Richtera (VÚV TGM) „Současný stav krajiny v místě

MAGDEBURSKÉ SEMINÁŘE

zaniklé rybniční soustavy v povodí Doubravy a možnosti její proměny s ohledem na probíhající klimatickou změnu" či příspěvek Karla Březiny (Povodí Vltavy, státní podnik) „Přešetření zabezpečenosti dodávky povrchové vody z vodárenských nádrží v podmínkách klimatické změny".

Jak už témata semináře napovídají, pozornost bude věnována také problematice splavnosti Labe. Zmínit lze příspěvek Iris Brunar (Německý svaz pro životní prostředí a ochranu přírody) „Perspektivy pro volně tekoucí Labe: plavba, trendy a potenciál" nebo vystoupení Vojtěcha Dabrowského (Ministerstvo dopravy ČR) „Labská vodní cesta jako součást evropské sítě vnitrozemských vodních cest".

HISTORIE A VÝZNAM SEMINÁŘE

První Magdeburský seminář o ochraně vod se konal v roce 1988 právě v Magdeburku. Od roku 1992 se seminář pravidelně střídá mezi Českou republikou a Německem. Naposledy se v Magdeburku konal v roce 2008, zatímco poslední ročník (2023) uspořádal státní podnik Povodí Ohře ve spolupráci s MKOL v Karlových Varech.

Za více než třicet let své existence se seminář stal klíčovým fórem pro odborníky z oblasti vědy, státní správy i vodohospodářské praxe. Poskytuje prostor pro sdílení aktuálních vědeckých poznatků, diskuzi nad strategickými přístupy a posilování přeshraniční spolupráce v rámci povodí Labe. Jeho význam podtrhla i slova současného prezidenta MKOL Ing. Tomáše Fojtíka:

„Hospodaření s vodou v povodí Labe je úkolem, který přesahuje hranice států i generací. Věřím, že diskuze na letošním semináři přispějí k hledání řešení, která zajistí udržitelné využívání našich vodních zdrojů i pro budoucí generace."

Autor

Dr. rer. nat. Slavomír Vosika
✉ vosika@ikse-mkol.org
Mezinárodní komise pro ochranu Labe

Informativní článek, který nepodléhá recenznímu řízení.

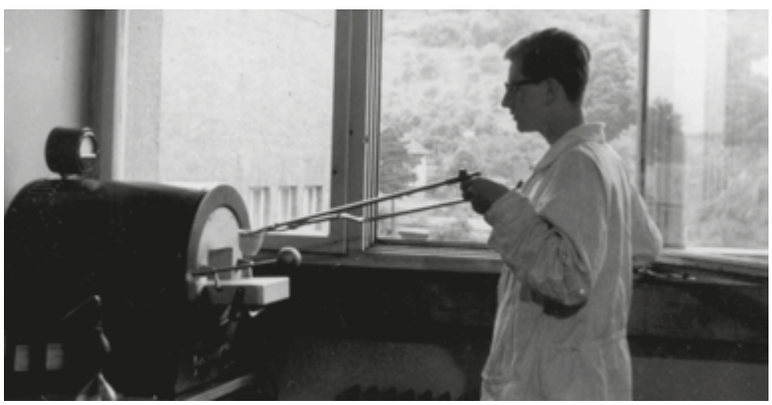
ISSN 0322-8916/© 2025 Autor. Tuto práci je kdokoli oprávněn šířit a využívat za podmínek licence CC BY-NC 4.0

Vzpomínka na Ing. Eduarda Hanslíka, CSc.

V srpnu 2025 nás navždy opustil Ing. Eduard Hanslík, CSc., jenž zasvětil svůj profesní život Výzkumnému ústavu vodohospodářskému T. G. Masaryka, kde působil neuvěřitelných 59 let. Patřil k průkopníkům radioekologie v Československu a později v České republice, zejména v oblasti sledování výskytu a chování radionuklidů v hydrosféře. Od svého nástupu v roce 1959 se podílel na řešení zásadních projektů spojených s důlními a odpadními vodami, problematikou radonu a následně i s vlivy provozu jaderných elektráren na vodní prostředí.

Jeho práce se stala pevnou součástí výzkumu, normalizace i praktických opatření v oblasti jakosti vod. Výsledky jeho bádání byly využívány nejen v českém vodním hospodářství, ale i na mezinárodní úrovni. Byl autorem a spoluautorem řady odborných publikací a monografií, podílel se na vedení magisterských a doktorandských prací a aktivně působil v odborných komisích a radách. Díky své odbornosti, vytrvalosti a lidskému přístupu si získal respekt a uznání kolegů a studentů jak ve VÚV TGM, tak i široké odborné veřejnosti.

Vzpomínáme na něj nejen jako na uznávaného odborníka, ale také jako na mimořádného člověka, který dokázal svou prací inspirovat celé generace vodohospodářů. Jeho odkaz zůstane pevně spjat s historií i současností našeho ústavu. Čest jeho památce.



Literatura

REDAKCE, R. Rozhovor s radioekologem Ing. Eduardem Hanslíkem, CSc. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace.* 2016, 58(1), s. 46–48. ISSN 0322-8916.

HANSLÍK, E. 60 let radiologie ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace.* 2018, 60(6), s. 62–64. ISSN 0322-8916.

Kolegové a kolegyně z VÚV TGM

Foto: 123rf.com

VTEI/2025/5

Od roku 1959

VODOHOSPODÁŘSKÉ
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

WATER MANAGEMENT
TECHNICAL AND ECONOMICAL INFORMATION

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

Ročník 67

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

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

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

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

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

Zdroje fotografií tohoto čísla:
VÚV TGM, 123RF.com, doc. RNDr. Jan Unucka, Ph.D., Ing. Martin Vokoun, Ph.D.,
archiv Ing. Libora Elledera, Ph.D.

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

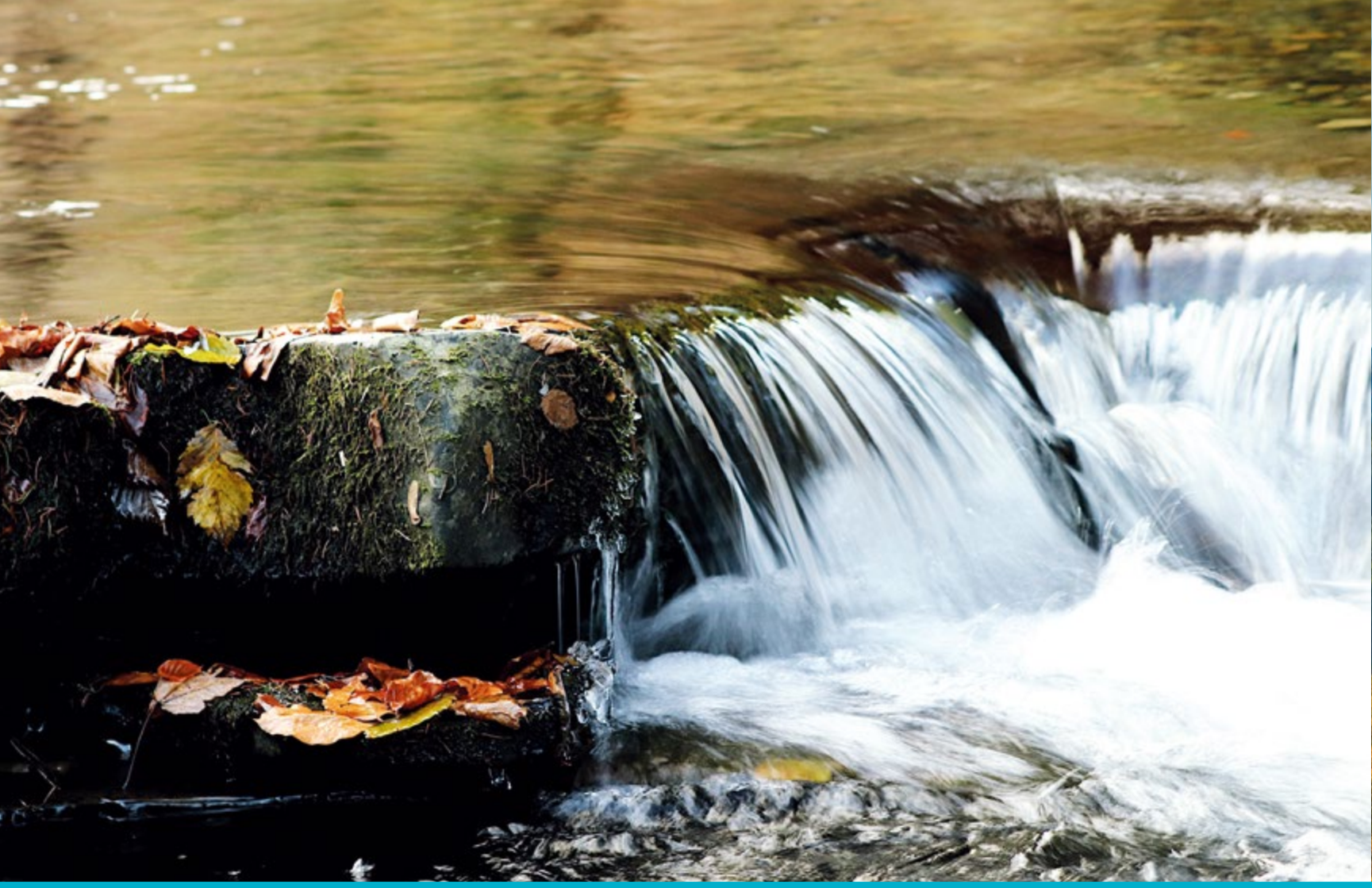
Náklad 400 ks. Časopis VTEI vychází od roku 2022 v anglické mutaci,
která je k dispozici na https://www.vtei.cz/en/

Příští číslo časopisu vyjde v prosinci. 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



RÝMAŘOVSKÉ ZASTAVENÍ ANEB ZAŠLÉ ČASY JESENICKA

Babí léto již pozvolna končí, hlasy ptáků utichají a soumrak přichází stále dříve. Stejně tak končí tento malý seriál věnovaný historickým vodním dílům v Jeseníkách zastavením u Rýmařova. Náhon ve Žďárském Potoce nalezneme na Stříbrném potoce nad soutokem s Podolským potokem. V současnosti je už jen torzem rozsáhlejší víceúčelové soustavy náhonů a vodních nádrží v povodí Podolského potoka a jeho přítoků, jež sloužila ke splavování dříví (odtud i německý název jednoho z přítoků Klautzenbach), k pohonu pily (do roku 1885, kdy byl instalován parní stroj) a mlýna níže po toku a konečně i Girardotovy turbíny v Anenské huti, která tam byla v provozu v letech 1885 až 1955. Mezi technické zajímavosti Žďárského Potoka (tehdejšího Brandseifenu) můžeme zařadit i lesní úzkokolejnou železnici s rozchodem 700 mm, z níž se dochovaly jen naprosté fragmenty převážně ve formě zbytků terénních úprav (náspy, terénní zářezy apod.), nikoli železničního svršku. Samotný náhon je v současnosti dlouhý 0,88 km, rozdělovací objekt je situován na Stříbrném potoce v nadmořské výšce 691 m n. m. Končí pak soustavou výrazně sedimenty zanesených nádrží a přivaděčem na již zdemolovaný akvadukt přes silnici ve výšce 684 m n. m. Převýšení oproti korytu Podolského potoka v místě bývalého ústí činí zhruba 11 m. Z druhé strany do vyrovnávacích nádrží dodával vodu Podolský potok tunelem dlouhým cca 0,8 km, jenž byl zbudován během první světové války, jde tedy nejen v tomto ohledu o pozoruhodné technické dílo. Samotná Anenská huť byla významným dodavatelem železa na Moravě, postupně však kvůli sílícímu vlivu Vítkovických železáren nastával útlum, takže v roce 1881 došlo k odstavení pece a v roce 1955 pak k úplnému zániku podniku.

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

VÝZKUMNÝ ÚSTAV
VODOHOSPODÁŘSKÝ
T. G. MASARYKA
veřejná výzkumná instituce

VTEI.cz