

VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VTEI / 2026 / 5

4 / Změny prameníšť po náhlých významných disturbancích

18 / Retenční potenciál bobřích hrází z hlediska akumulace povrchové vody v české krajině

62 / Rozhovor s doc. RNDr. Janem Unuckou, Ph.D., vedoucím Oddělení hydrologie
v Českém hydrometeorologickém ústavu v Ostravě

Psali jsme před 60 lety

Ve VTEI č. 2 v roce 1966 vyšel článek s názvem „Potápěčská stanice“. Jeho autorem byl L. Pojezdný z organizace Labe-Vltava.

Potápěčská stanice organizace Labe-Vltava má zatím 6 potápěčů, strojníka a vedoucího stanice. Za 2 roky své existence odpracovali zaměstnanci již 1830 hodin pod vodou.

Co všechno je jejich pracovní náplní? Především zasahují při poruchách denního provozu, jako např. nejdou dovřít spodní vrata malé plavební komory, hrozí nebezpečí deformace vrat při vjezdu a výjezdu lodí. Zaměstnanci komory si nevědí s poruchou rady. Potápěči zjistí, že se ve vratech zpříčila 40 cm dlouhá traverza, kterou do komory odhodil nedbalý řemeslník dodavatelského podniku. Kromě toho jsou tu větší akce, při nichž jsou potápěči naprosto nezbytní, jako např. v Jihočeských

papírnách ve Větřní nařezávali larsenové jímky v hloubce 60 cm, zúčastnili se demontáže vtokových ventilů na přehradě Orlík, asistovali při prohlídce lan pomocných věží Žďákovského mostu v hloubce 48 m apod.

Vodohospodářské organizace, které budou potřebovat pomoc při odstraňování překážek pod vodou, provést řezací práce až do hloubky 40 m a ostatní montážní práce až do hloubky 60 m, necht' se obrátí na adresu:

Potápěčská stanice pro Čechy a Moravu, organizace Labe-Vltava, Praha 5, V Botanice 4.

Cena za hodinu práce včetně dopravy na místo činí 494,- Kčs.

Z archivu VÚV TGM



Zdroj: VÚV TGM

Obsah



3 Úvod

4 Změny pramenišť po náhlých významných disturbancích

Pavel Eckhardt, Kamila Tichá



18 Retenční potenciál bobřích hrází z hlediska akumulace povrchové vody v české krajině

Adam Babuljak, Miroslav Bauer, Martin Dočkal, Petr Koudelka,
Jitka Uhlíková, Jan Mokří, Aleš Vorel, Tomáš Dostál

30 Digitální dvojče povodí: nástroj pro modelování adaptačních opatření na retenci vody v krajině zasažené změnou klimatu

Jana Bernsteinová, Evžen Zeman, Maxim Bernstein, Václav Rára,
Milan Fischer, Pavel Tachecí, Miroslav Trnka



36 Hodnocení migrační průchodnosti Rolavy a odhad dopadů její obnovy na rybí společenstva

Eduard Bouše, Miroslav Barankiewicz, Petr Vlašánek,
Hana Nováková, Tomáš Daněk



50 Simulace teplotního režimu vodárenské nádrže v podmínkách uvažovaných klimatických změn

Aleš Havlík, Adam Vizina, Barbora Krijt

62 Rozhovor s doc. RNDr. Janem Unuckou, Ph.D., vedoucím Oddělení hydrologie v Českém hydrometeorologickém ústavu v Ostravě

Zuzana Řehořová



Vážení čtenáři,

Říjen nabízí několik příležitostí připomenout si témata, která úzce souvisejí také s vodou a vodním hospodářstvím. Na 5. říjen 2026 připadá Světový den lidských sídel a na 13. říjen Mezinárodní den snižování rizika katastrof. Obě tyto události obracejí pozornost k otázkám, jež jsou v době probíhající změny klimatu stále aktuálnější – k odolnosti krajiny a sídel, schopnosti předcházet rizikům a připravovat se na extrémní situace.

Voda přitom v této odolnosti hraje zásadní roli. Schopnost krajiny vodu zadržet, ochrana a obnova vodních zdrojů, zmírňování dopadů sucha a povodní, zachování funkčních vodních ekosystémů i příprava vodohospodářské infrastruktury na budoucí podmínky jsou témata, která se navzájem prolínají. A právě z několika různých pohledů se jim věnuje také říjnové číslo VTEI.

První článek kolegů Pavla Eckhardta a Kamily Tiché se zaměřuje na změny pramenišť po náhlých významných disturbancech. Autoři porovnávají vývoj lokalit ovlivněných odběry podzemní vody, poruchami odvodňovacích systémů a rozsáhlým lesním požárem. Výsledky ukazují rozdílnou citlivost pramenišť na jednotlivé zásahy. Zatímco jímání pramenů pro zásobování pitnou vodou může zásadně ovlivnit jejich samotnou existenci, v hodnoceném případě neměl ani rozsáhlý lesní požár významný dopad na kvalitu a množství podzemních vod. Zajímavým zjištěním je rovněž postupný vznik druhotných pramenišť spojený se samovolnou renaturací nefunkčních odvodňovacích systémů.

Příkladům, kdy se na zadržování vody v krajině významně podílí samotná příroda, se věnuje studie Adama Babuljaka a jeho spoluautorů o retenčním potenciálu bobřích hrází. Autoři na základě terénních dat a GIS analýz kvantifikovali množství vody akumulované v bobřích zdržích a zároveň se pokusili modelově odhadnout retenční potenciál povodí při předpokládaném maximálním osídlení bobrem evropským. Studie tak přináší konkrétní údaje o hydrologickém významu druhu, jenž svou činností dokáže výrazně měnit charakter vodních toků a jejich okolí.

Možnosti moderního modelování představuje článek Jany Bernsteinové a kolektivu autorů věnovaný digitálnímu dvojčeti povodí. Na příkladu povodí Dyje a pilotního povodí horní Svatky autoři využívají integrovaný modelovací systém MIKE SHE k posouzení vlivu adaptačních opatření na vodní bilanci v podmínkách klimatické změny. Do hodnocení zahrnuli soubor 26 klimatických scénářů a ověřovali mimo jiné účinky komplexního souboru opatření označeného jako „hydrologicky optimální zemědělství“. Výsledky ukazují potenciál těchto opatření zpomalovat odtok z krajiny a podporovat základní odtok a současně dokumentují možnosti využití digitálních nástrojů jako podpory rozhodování v managementu povodí.

Od množství vody se v dalším příspěvku přesouváme také k ekologické kontinuitě vodních toků. Eduard Bouše, Miroslav Barankiewicz a jejich kolegové hodnotili vliv obnovy migrační průchodnosti Rolavy na populace reofilních ryb. Výsledky jejich práce ukazují dopady fragmentace říční sítě na druhové složení rybiho společenstva a současně potvrzují význam vhodně provedených revitalizačních opatření. Radiotelemetrické sledování prokázalo vysokou funkčnost vybudovaných rybích přechodů a schopnost ryb využívat obnovené kontinuum toku. Studie zároveň upozorňuje na význam zbývajících migračních bariér pro dlouhodobý stav původní ichtyofauny.

Pátý odborný článek Aleše Havlíka, Adama Viziny a Barbory Krijt se zabývá simulací teplotního režimu vodárenské nádrže v podmínkách uvažovaných klimatických změn. Autoři na příkladu vodárenské nádrže Vrchlice využívají dvourozměrný model CE-QUAL-W2 a hodnotí možné změny teplotního režimu pro klimatické horizonty let 2050 a 2085. Práce tak otevírá další důležitý aspekt adaptace vodního hospodářství – možné změny podmínek v nádržích, které slouží jako zdroje pitné vody.

Říjnové číslo uzavírá rozhovor s doc. RNDr. Janem Unuckou, Ph.D., vedoucím oddělení hydrologie Českého hydrometeorologického ústavu v Ostravě, jenž je pro naše VTEI již několik let pravidelným autorem odborných článků, recenzentem, ale také fotografem.

Při pohledu na celé číslo je dobře patrné, jak široké spektrum procesů dnes musíme při nakládání s vodou zohledňovat. Od drobného pramenišť přes působení bobra a migrační průchodnost vodního toku až po modelování celého povodí či budoucího režimu vodárenské nádrže jde v konečném důsledku o tutéž otázku: jak porozumět změnám, jež ve vodním prostředí probíhají, a jak na ně správně reagovat.

Děkuji všem autorům, recenzentům i ostatním, kteří se na přípravě tohoto čísla podíleli. Vám, našim čtenářům, děkuji za přízeň a přeji příjemné a inspirativní čtení.

**Za redakci VTEI
Ing. Josef Nistler**

Změny pramenišť po náhlých významných disturbancích

PAVEL ECKHARDT, KAMILA TICHÁ

Klíčová slova: podzemní voda — prameny — vodní zdroje — odvodnění — renaturace — lesní požár

ABSTRAKT

Článek porovnává stav vybraných pramenišť po náhlých významných disturbancích s předchozím stavem a zároveň hodnotí dlouhodobé změny na odvodněných a neodvodněných prameništích. Popisovanými vlivy jsou významné změny v rámci odběrů podzemní vody pro pitné účely, disturbance po poruchách odvodňovacích systémů a dopady rozsáhlého lesního požáru. Pro výzkum byly zvoleny tři oblasti s rozdílnými hydrogeologickými vlastnostmi. Výsledky ukazují, že zatímco jímání pramenů pro zásobování pitnou vodou má zásadní vliv na jejich samotnou existenci, rozsáhlý lesní požár kvalitu ani kvantitu podzemních vod významně neovlivnil. Pozvolné změny v zemědělském hospodaření a samovolná renaturace nefunkčních odvodňovacích systémů naopak vedou ke vzniku druhotných pramenišť a postupnému zlepšování kvality vyvěrající vody.

ÚVOD

Pramen je soustředěný vývěr podzemní vody na zemský povrch, představující unikátní a velmi zranitelný biotop na pomezí podzemních, povrchových a suchozemských ekosystémů [1–3]. Prameny jsou náchylné k řadě změn, jakými může být kontaminace podzemní vody z povrchu, změny vydatnosti v závislosti na poškození podložního izolátoru či změny podchycení pramene a mnohé další, většinou antropogenní činitele. Zvláště od 19. století, s rozvojem potřeb zemědělství a hromadného zásobování vodou, docházelo v celé Evropě k plošným přeměnám pramenných oblastí [3]. Území České republiky bylo navíc od nížin až po podhorské polohy silně zasaženo systematickým plošným odvodňováním, které kulminovalo ve druhé polovině 20. století [4, 5].

Tyto narušené ekologické procesy se dnes projevují nejen poklesem lokální biodiverzity, ale v kontextu probíhající klimatické změny i sníženou schopností krajiny čelit extrémním hydrologickým situacím, jako jsou povodně nebo dlouhotrvající sucha. Zachování a obnova přirozených pramenišť jsou přitom klíčové, protože tyto lokality fungují jako spolehlivá teplotně stabilní hydrologická refugia [6]. V tomto článku se věnujeme změnám vybraných pramenů zejména vlivem jejich podchycení a vlivem významných odběrů podzemních vod v jejich blízkosti; dále byl zkoumán vliv rozsáhlého požáru na vybrané prameny a také vlivy historického odvodnění území a současné renaturace těchto pramenů. Zájmové prameny byly mapovány a zkoumány předchozími pracemi, např. [7–14]. Současné výzkumné práce jsou součástí úkolu TA ČR Prostředí pro život II (projekt č. SQ01010130).

METODIKA

Hlavním cílem této práce je vyhodnotit a porovnat dopady náhlých environmentálních disturbancí (lesní požár, intenzivní jímání podzemní vody) a dlouhodobých krajinných změn (plošné odvodnění a následná samovolná renaturace) na hydrochemický stav pramenů, případně jejich vydatnost.

Pro další výzkum byla vybrána zejména prameniště, u nichž jsme měli podchycen výchozí stav před významnými změnami. Byly prostudovány a vytěženy veškeré dostupné archivní materiály a porovnávány s aktuálním stavem.

Pro všechny studované prameny byl v roce 2026 jednotně vyplněn rozsáhlý formulář, který obsahoval nejen charakteristiky umístění a rozsahu prameniště, výsledky terénně měřených parametrů vod, ale i popis a základní kvantifikaci biologických složek přírodního prostředí.

Na vybraných pramenech byly měřeny vydatnosti a fyzikálně-chemické vlastnosti vody a byly odebrány vzorky vody na chemický rozbor. Při opakovaných návštěvách pramenů byla změřena jejich vydatnost za použití vhodné odměrné nádoby a parametry vody – elektrická vodivost, teplota, případně pH a rozpuštěný kyslík.

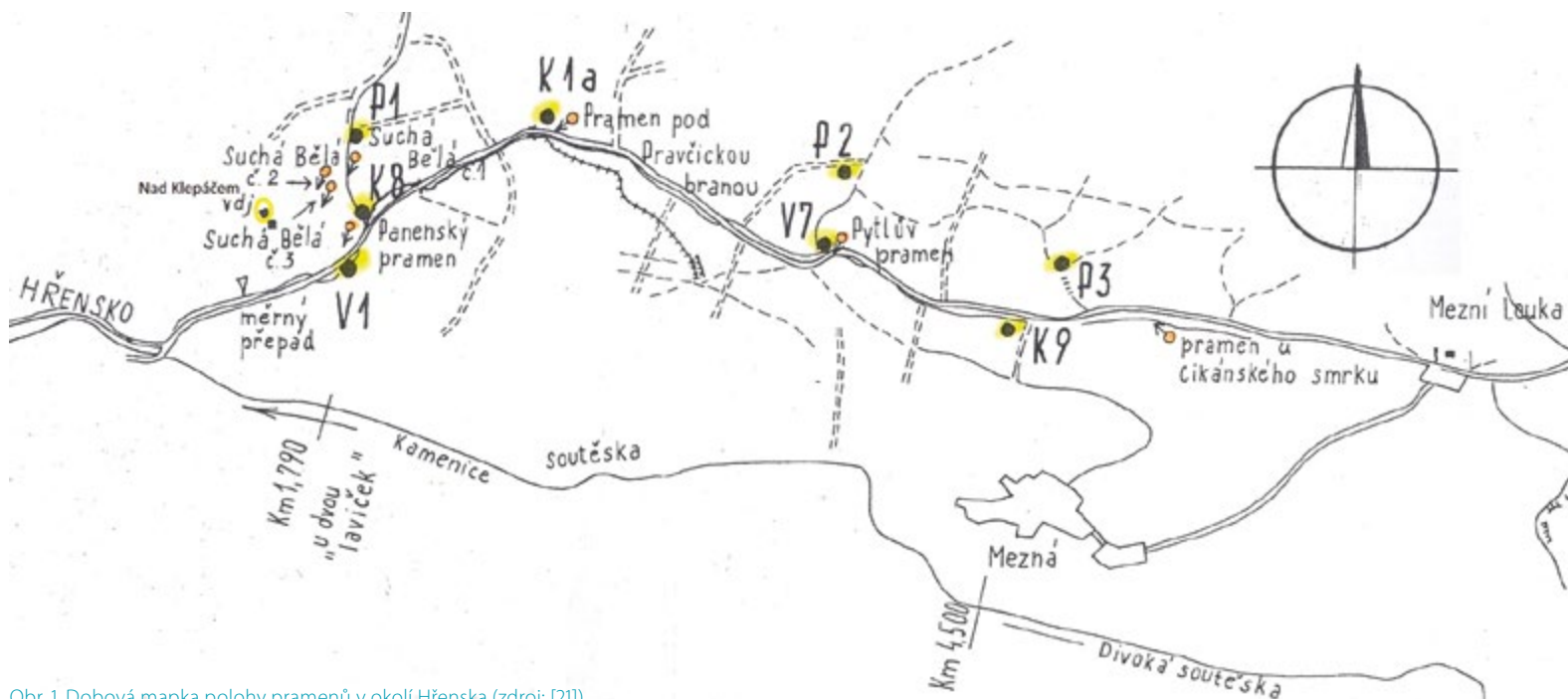
Pro výzkum byly vybrány tři oblasti s výrazně odlišnými hydrogeologickými vlastnostmi. Zkoumaná oblast okolí Hřenska v severních Čechách je součástí České křídové pánve s významnými hlubokými hydrogeologickými strukturami a větším zpožděním reakce vydatnosti pramenů na srážkové úhrny a leží v národním parku. V oblasti Hřenska bylo pracemi probíhajícího zájmového projektu přímo sledováno osm vydatných pramenů v různých úrovních nadmořských výšek, další prameny nebyly pro sledování přístupné, a k jejich posuzování byla proto využita pouze archivní data a podklady.

V oblasti Hřenska byl zkoumán vliv rozsáhlého požáru na prameny. K tomu bylo použito jednak srovnání vlastních terénních měření a výsledků analýz vod s archivními zdroji odborných informací, jednak data z databáze Surová voda a v neposlední řadě i z volně dostupných dat Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ).

Další vybranou pramennou oblastí bylo Ašsko v západních Čechách, hydrogeologicky v oblasti krystalinika (podloží jsou slaběji metamorfované fylity a svory), kde bývají prameny výrazně závislé na klimatických poměrech. V nedávné minulosti tu došlo k zásadním změnám zemědělského hospodaření s vlivem na prameny a zároveň se zde vyskytují zvláště chráněné organismy vázané na vodní prostředí.

Třetí zájmovou oblastí bylo povodí Blanice v Pošumaví. Z hydrogeologického hlediska leží v krystaliniku, v oblasti silně metamorfovaných hornin Moldanubika (migmatity, granulity aj.). Oblast se nachází ve vyšší nadmořské výšce než dvě předchozí, je proto mírně vlhčí a chladnější.

Pro porovnání kvality vody na prameništích ovlivněných a neovlivněných odvodněním byla dohledána data ze dvou časových období, vzdálených od



Obr. 1. Dobová mapka polohy pramenů v okolí Hřenska (zdroj: [21])

Fig. 1. Historical map showing the locations of springs around Hřensko (source: [21])

sebe 16–20 let. První období zahrnuje začátek monitoringu mezi roky 2005 a 2009. Srovnávací datová sada je aktuální, z let 2025/2026. Data zahrnují jednotlivá prameniště ze dvou zájmových oblastí – Ašska a povodí Blanice a Zlatého potoka. Jako parametry kvality vody byly vybrány: konduktivita, obsah dusičnanů, dusitanů, amonných iontů, fosforečnanů a chloridů. Pro výpočet výsledného bodového skóre, které ukazuje zlepšení či zhoršení hydrochemického stavu prameniště, byly využity ty ukazatele, pro něž existovala data z prvního období (tab. 2). Pokud byla k dispozici data z více sezon pro jedno prameniště v daném časovém období, byl použit průměr hodnot. Jednotlivé parametry byly hodnoceny jedním nebo dvěma kladnými či zápornými body podle výraznosti zlepšení či zhoršení. Pokud byl parametr beze změny (nebo byla změna zanedbatelná), byl hodnocen nulou. Teoretické bodové skóre tak mohlo nabýt hodnoty od -12 (výrazné zhoršení všech sledovaných parametrů) po +12 (výrazné zlepšení všech sledovaných parametrů).

Sledovaná prameniště byla rozdělena do dvou kategorií podle toho, zda byla, nebo nebyla ovlivněna odvodněním. Odvodněním se v tomto případě rozumí jak systematické podpovrchové drenáže, tak i zahloubené povrchové příkopy odvádějící vodu do recipientu. Do kategorie neovlivněných pramenišť byl kromě zcela přirozených pramenišť zařazen i pramen SP82/SC05 (U panenky Marie), který je sice upraven jako pitná studánka, ale není odvodněním nijak dotčen.

VÝSLEDKY PRO VYBRANÉ PRAMENNÉ OBLASTI

Výzkumná oblast okolí Hřenska

Zkoumaná oblast východního okolí města Hřensko se nachází v Ústeckém kraji na území Národního parku České Švýcarsko.

Z hydrologického hlediska leží zkoumané prameny v povodí potoka Dlouhá Bělá, jenž se vlévá ve Hřensku zprava do Hřenské Kamenice, lehce přes kilometr od jejího ústí do Labe. Pravostranným přítokem Dlouhé Bělé je potok Suchá Bělá, v jehož povodí leží pět zkoumaných pramenů. Celkově bylo v rámci projektu přímo sledováno osm vydatných pramenů, některé další historické

prameny byly přímému sledování nepřístupné (zejména vzhledem k využití pro exploataci podzemní vody pro hromadné zásobování obyvatel pitnou vodou).

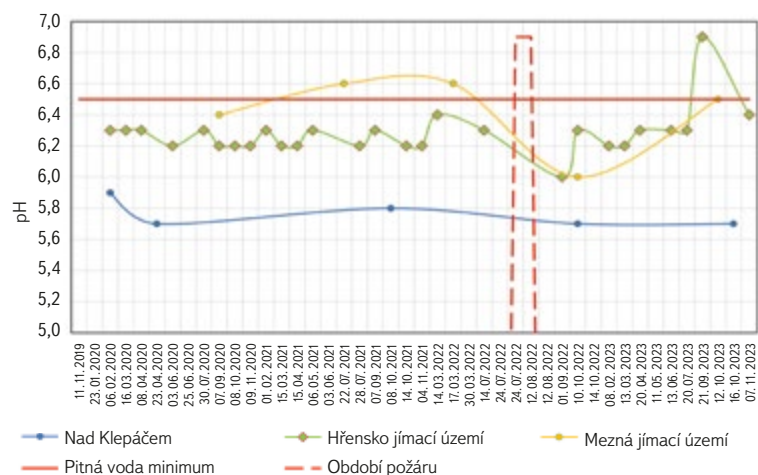
Z hydrogeologického hlediska je zájmové území součástí České křídové páne, leží v severní části hydrogeologického rajonu 4660 – Křída dolní Kamenice a Křinice a útvaru podzemních vod základní vrstvy 46600 – Křída dolní Kamenice a Křinice [15]. V zájmovém území jsou z hydrogeologického hlediska významné zvodně v psamitických křídových horninách, především pískovcích, s průlinovo-puklinovou propustností. Výskyt studovaných pramenů je vázán na místní nejvýznamnější kolektor (BC) v pískovcích jizerského a svrchní části bělohorského souvrství [16]. Zájmové vydatné prameny se vyskytují na vrstvách poloizolátorů v rámci kolektoru BC, které specifikují např. podrobnější saské geologické a hydrogeologické studie [10].

Vývoj pramenů východně od Hřenska

Nejstarší dostupná studie pramenů [7] zaznamenala výstižně stav pramenů před více než 100 lety. V letech 1911 až 1912 popisuje následující situaci: Osada Hřensko již měla zavedený vodovod z podchyceného pramene v horní části Malinového dolu (pramen Nad Klepáčem, viz obr. 4), autor ho řadí k vrstevním pramenům na výchozu výše položené vrstvy pískovců, pod kterou je jílovitá vrstva.

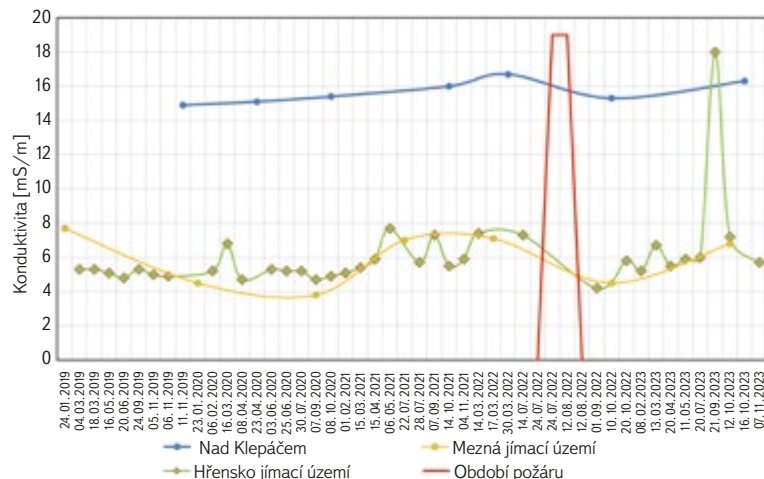
Jedním z nejvydatnějších pramenů oblasti bylo prameniště Tří prameny (pramen Pod Pravčickou bránou) s nadmořskou výškou 200 m n. m. U odbočky turistické cesty k Pravčické bráně od potoka Dlouhá Bělá tu ze sutí pokrytého skalnatého svahu vyvěral mocný pramen a vytvářel malý rybníček, obývaný pstruhy a pokrytý vodními rostlinami. Původní tři vývěry prameniště byly již uměle spojeny. Vydatnost pramene byla minimálně šest litrů za sekundu a teplota vody dne 6. března 1912 činila 8 °C. Autor vyvozuje, že jde o vrstevní pramen na výchozu vrstvy pískovců (Labiatus).

Jeden z nejznámějších pramenů Českého Švýcarska představoval Panenský pramen (nadmořská výška 185 m n. m.), tehdy již upravený, s uměle rozšířenými břehy. Ze země tu na několika místech vyvěrala průzračně čistá voda, která si ve vývěru pohrávala s bílými oblázky. Vydatnost pramene byla obdobná jako u Tří pramenů. Teplota vody nejsilnějšího vývěru Panenského pramene dne



Obr. 2a. Graf průběhu hodnot pH jímáných zdrojů podzemních vod u Hřenska v období před požárem a po něm (zdroj dat: [22])

Fig. 2a. Changes in pH of abstracted groundwater sources near Hřensko before and after the fire (data source: [22])



Obr. 2b. Graf průběhu hodnot konduktivity vody jímáných zdrojů podzemních vod u Hřenska v období před požárem a po něm (zdroj dat: [22])

Fig. 2b. Changes in conductivity of water from abstracted groundwater sources near Hřensko before and after the fire (data source: [22])

3. února 1911 byla změřena na 9,05 °C, z čehož autor vyvozoval, že jde o vzestupný pramen, protože jeho teplota by se za běžných podmínek měla pohybovat pouze okolo 7,5 °C. V údolí Suché Bělé, asi 200 metrů od ústí do Dlouhé Bělé, vyvěral ze sutě pramen (pramen Suchá Bělá 3), s vydatností okolo dvou litrů za sekundu [7].

Na konci šedesátých a začátkem sedmdesátých let minulého století byla v zájmové oblasti provedena celá řada průzkumných hydrogeologických prací, jež mimo jiné monitorovaly i část místních významných pramenů (např. [9] a další práce [21]). Vrtne a další hydrogeologické práce vyústily ve zřízení významného rozsáhlého jímacího území Hřensko. Podzemní voda zde byla a je čerpána ze soustavy hydrogeologických vrtů v údolí Dlouhé Bělé. Do systému byly následně připojeny i vydatné prameny Pod Pravčickou bránou (Tři prameny) a Pytlův pramen. Jímací území Hřensko slouží od druhé půle minulého století k zásobování města Děčína a jeho okolí pitnou vodou.

V okolí jímacího území bylo na přelomu šedesátých a sedmdesátých let pravidelně jednou týdně sledováno sedm pramenů (Panenský pramen, Suchá Bělá 1 až 3, pramen Pod Pravčickou bránou, Pytlův pramen, pramen U Cikánského smrku). Někdejší polohu pramenů znázorňuje dobová mapka na obr. 1. Panenský pramen vlivem čerpání podzemních vod zcela zanikl, byl zlikvidován v roce 1974 [20]. Sledované prameny byly postupně z měření vyřazovány. Do současnosti přetrvávalo pouze pravidelné sledování pramene „Suchá Bělá 3“ (ČHMÚ).

U pramene Suchá Bělá 2 došlo k poklesu vydatnosti z úrovně 3,8 l/s v roce 1960 postupně až k úplné ztrátě přelivu na povrch v roce 1989. Stalo se tak s vysokou pravděpodobností vlivem kombinace zvýšené exploatace podzemních vod z jímacího území Hřensko (až 135 l/s) a nepříznivých klimatických podmínek [10]. Po snížení exploatace podzemních vod a odeznění suchého období se vydatnost pramene Suchá Bělá 2 opět mírně zvýšila.

Obdobně na vysoké odběry podzemních vod a nepříznivé klimatické podmínky reagovaly i vydatnosti některých dalších významných pramenů. Místní nejvydatnější pramen Pod Pravčickou bránou měl na přelomu sedmdesátých a osmdesátých let vydatnost cca 20 l/s, v roce 2013 už pouze okolo 10,6 l/s. Vydatnost pramene U Cikánského smrku kolísala mezi lety 1957 až 1982 většinou v rozmezí 0,5 až 3,3 l/s, v letech 2012 až 2014 odtékalo již průměrně pouze 0,22 l/s.

V letech 2012 až 2014 proběhlo v oblasti mapování, měření a vyhodnocení průběhu vydatnosti pramenů v rámci přeshraničního programu GRACE [8, 10].

Na počátku dvacátých let tohoto století postihla oblast kůrovcová kalamita. Suchá dřevní hmota pak byla v červenci 2022 na ploše přes 10 km² zachvátna rozsáhlým požárem (např. [18]), který s několika výjimkami zasáhl celou sledovanou oblast od intravilánu města Hřensko až po intravilán obce Mezná.

Aktuální situace pramenů v oblasti Hřenska

Panenský pramen vlivem čerpání podzemní vody zanikl a v místě jeho bývalého vývěru nejsou po něm již žádné stopy. Prameniště Nad Klepáčem v Malinovém dole je využíváno pro odběr pitné vody pro město Hřensko, hlavní vývěr tohoto prameniště na povrch zanikl (podchycení pramene je na obr. 4), v lokalitě prameniště se vyskytují řádově slabší vývěry podzemní vody, které se po několika desítkách metrů vsakují do horninového prostředí. Přepad po využití hlavního pramene je bez užitku trubkou sveden do potoka Dlouhá Bělá. Pramen Pod Pravčickou bránou (Tři prameny) a Pytlův pramen jsou oploceny, překryty šachticemi a zeminou, svedeny do vodárenského systému a v daných lokalitách již neexistují vývěry podzemní vody na povrch (obr. 5). Pramen U Cikánského smrku existuje v degradované podobě (betonová skruž, viz obr. 6) a má výrazně nižší vydatnost než v minulém století. Sledovaných pět vydatných pramenů v údolí Suché Bělé volně vytéká na terén bez zásadních omezení, z toho nejvydatnější pramen Suchá Bělá 3 je pravidelně sledován (ČHMÚ). Odběry podzemní vody z jímacího území Hřensko oproti minulosti poklesly a pohybují se okolo 80 l/s [17]. Velká část povrchu oblasti je i po několika letech po požáru pokryta zuhelnatělými zbytky dřeva. K nebi se tyčí ohořelý pahýl stromů, mezi nimiž dochází k postupné obnově vegetace, ze dřevin především náletových bříz (obr. 5 a 6).

Možné ovlivnění kvality vody v pramenech důsledky požáru

Rozsáhlý požár od 24. července do 12. srpna roku 2022 zasáhl široké okolí sledovaných pramenů v oblasti východně od města Hřensko v rozsahu přes 10 km² [18]. Jednalo se o nejrozsáhlejší lesní požár v novodobé historii Česka.

Požáry obecně mohou ovlivnit podzemní vody zejména kontaminací látek spalín a popela (toxické kovy, polycyklické aromatické uhlovodíky apod.), určitou roli může hrát i vsakování hasební vody a hasebních látek [19]. K hašení požáru byla v tomto případě použita voda z Labe, z jezera Milada a dalších zdrojů.

Vyhodnocení údajů z databáze Surová voda

Pro vyhodnocení změn chemismu vody bylo možné u jímáných pramenů využít hodnoty analýz odebírané podzemní vody z databáze Surová voda [22]. V databázi existují údaje pro pramen Nad Klepáčem (zdroj pitné vody pro Hřensko)



Obr. 3. Kolísání vydatnosti pramene Suchá Bělá 3 v roce 2022 (zdroj dat: ČHMÚ)

Fig. 3. Fluctuation in the discharge of the Suchá Bělá 3 spring in 2022 (data source: CHMI)

a jímací území Hřensko, kam jsou zaústěny vydatné prameny Pod Pravčickou bránou a Pytlův pramen. V zájmovém území, které bylo postiženo požárem, je takto monitorováno i jímací území Mezná, jež odebírá podzemní vodu z hydrogeologického vrtu, umístěného východně od pramene U Cikánského smrku. Výsledky z jímacího území Mezná byly pro srovnání také zahrnuty do vyhodnocení vlivu požáru na podzemní vody (viz např. grafy na obr. 2a a 2b).

Uvedené tři zdroje podzemní vody jímají podzemní vodu s nízkou mineralizací a nízkým pH. Podzemní voda těchto zdrojů byla vzorkována jak před požárem (v úvahu vzaty analýzy z období 2019 až jaro 2022), tak i po požáru (analýzy vod z podzimu 2022 a roku 2023).

Jímaný pramen Nad Klepáčem

Hodnota pH odebírané vody prameniště Nad Klepáčem se pohybovala před požárem na úrovni 5,8, po požáru mírně poklesla na 5,7 (obr. 2a). Konduktivita vody mezi podzimem 2019 a jarem 2022 postupně mírně narůstala až na 16,7 mS/m před požárem, po požáru poklesla na 15,3 mS/m, aby se v roce 2023 vrátila na hodnoty okolo 16,3 mS/m (obr. 2b).

V roce 2022 po požáru došlo oproti stavu před požárem k drobnému nárůstu koncentrace chloridů (z 4,47 na 5,35 mg/l) a k mírnému poklesu obsahu síranů (z 46,7 na 40,7 mg/l). Koncentrace dusičnanů dosáhly shodné hodnoty před požárem i po něm (11,5 mg/l). Obsahy hořčíku kolísaly před požárem i po něm okolo hodnoty 3 mg/l. Před požárem i po něm měly nižší hodnoty než mez detekce analytického stanovení koncentrace amonných iontů, dusitanů, hliníku a manganu. Před požárem i po něm byly zjištěny nulové hodnoty obsahu některých bakterií (*Escherichia coli*, enterokoky).

Po požáru na podzim 2022 byl v jímané vodě pramene Nad Klepáčem zaznamenán mírný nárůst koncentrací železa (z < 0,02 na 0,07 mg/l), vápníku (z 18,4 na 20,2 mg/l), součtu Ca + Mg (z 0,58 na 0,63 mmol/l) a ChSK_{Mn} (z < 0,5 na 0,71 mg/l). Všechny tyto mírně zvýšené parametry se však v následujícím roce 2023 vrátily zpět na své běžné předchozí hodnoty.

Po požáru v říjnu 2022 bylo provedeno širší spektrum analýz, které v jímané vodě potvrdily nepřítomnost významnějšího množství polyaromatických uhlovodíků (PAU), niklu, olova, zinku, fosforečnanů, boru, mědi, rtuti, fluoridů, selenu, chromu, kadmia, kyanidů a berylia.

Při srovnání s požadavky vyhlášky č. 252/2004 Sb. [20] nesplňovala jímaná voda některé shodné parametry před požárem i po něm. Šlo zejména o nízké pH vody, nízké obsahy hořčíku apod., příčinou bylo přírodní pozadí.

Odebíraná podzemní voda jímacího území Hřensko

V jímacím území Hřensko je odebírána většina podzemní vody čerpáním z hydrogeologických vrtů. V roce 2022 bylo z tohoto jímacího území odebíráno



Obr. 4. Historické podchytení pramene Nad Klepáčem u Hřenska v únoru 2026 (foto: P. Eckhardt)

Fig. 4. Historical capture structure at Nad Klepáčem spring near Hřensko; condition in February 2026 (photo: P. Eckhardt)



Obr. 5. Lokalita pramene Pod Pravčickou bránou u Hřenska je aktuálně bez vývěru vody na povrch (květen 2026; foto: P. Eckhardt)

Fig. 5. Pod Pravčickou bránou spring site near Hřensko, currently with no water emerging at the surface, status in May 2026 (photo: P. Eckhardt)



Obr. 6. Betonová skruž na prameni U Cikánského smrku v zájmové oblasti Hřenska v květnu 2026 (foto: P. Eckhardt)

Fig. 6. Concrete well ring at U Cikánského smrku spring in the Hřensko study area, May 2026 (photo: P. Eckhardt)

průměrně 75,7 l/s [17]. Vydátnost dvou jímáním podchycených pramenů (Pod Pravčickou bránou a Pytlův pramen) není měřena, jen dopočítávána, což podle našich zjištění není spolehlivé [8]. Odborným odhadem tvoří voda z pramenů přibližně sedminu jímaného množství. Případná kontaminace pramenů požárem se tak na směsných výsledcích jímané podzemní vody může projevit, ale jen do určité míry (významné ředění čerpanou vodou z vrtů). V roce 2022 byly prováděny analýzy vody z období jak před požárem (březen, 14. července), tak i po požáru (září a říjen 2022).

Odebíraná surová voda jímacího území Hřensko před požárem i po něm byla slabě mineralizovaná a mírně kyselá. Při srovnání hodnot před požárem a po něm mírně poklesla hodnota pH (z 6,3 na 6,0), aby se pak vrátila na výchozí hodnoty (*obr. 2a*). Rovněž konduktivita jímané podzemní vody po požáru poklesla a pak se poměrně rychle vrátila na předchozí úroveň hodnot (*obr. 2b*). Na uvedených grafech je patrné ojedinělé skokové zvýšení pH a konduktivity vody ze září 2023 (tedy více než rok po požáru), které interpretujeme vzhledem k předchozím i následujícím měřeným hodnotám pravděpodobně jako chybu, a to buď měření, nebo zápisu do databáze.

Pro srovnání, v jímacím území Mezná poklesla po požáru konduktivita jímané vody obdobně jako v jímacím území Hřensko (*obr. 2b*). Naopak pH vody po požáru pokleslo v jímacím území Mezná významně více (z 6,6 až na 6,0), a dostalo se tak výrazně pod minimální meznou hodnotu pro pitnou vodu podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. [20].

Před požárem i po něm měla odebíraná podzemní voda jímacího území Hřensko příznivě nízké obsahy dusičnanů, dusitanů, amonných iontů, fosforečnanů, síranů, chloridů, železa, manganu, toxických kovů, vybraných bakterií a široké škály dalších stanovení.

Při srovnání s požadavky vyhlášky č. 252/2004 Sb. [20] odebíraná voda před požárem i po něm v jímacím území Hřensko nesplňovala shodná kritéria, jako kyselejší pH (mimo interval mezních hodnot), nízké obsahy vápníku a hořčíku apod., které jsou přírodního původu. Surová voda je před dodávkou do veřejného vodovodu upravována, aby vyhověla požadavkům podle vyhlášky [20]. Analýzy vody prokazují, že požár nezpůsobil závažné změny jakosti odebírané vody v jímacím území Hřensko.

Generelně lze shrnout, že rozdíly v kvalitě jímané podzemní vody na sledovaných zdrojích s jímáním pramenů před požárem a po něm u Hřenska nejsou významné, určité negativní krátkodobé změny však pozorovány byly. Výrazný pokles pH podzemní vody po požáru byl zaznamenán v jímacím území Mezná, jež ovšem neodebírání vodu z pramenů.

Sledovaný pramen Suchá Bělá 3

V zájmové oblasti je dlouhodobě monitorován ČHMÚ vydatný pramen Suchá Bělá 3 (pod databankovým číslem PP0552). Pramen je upraven pro potřeby sledování, monitorován je jak průtok, tak i kvalita vody pramene. Volně k dispozici jsou ze zájmového období (2019 až 2024) denní hodnoty vydatnosti i výsledky chemických a bakteriologických analýz, prováděné většinou jednou až dvakrát ročně (<https://hydro.chmi.cz/hpps>).

Vydátnost pramene Suchá Bělá 3 v letech 2013 až 2024 mírně kolísala okolo průměrné hodnoty 4,3 l/s. V některých obdobích vydatnosti stoupaly až nad 5 l/s, v dalších klesaly až lehce nad 3 l/s. Jedinou výjimkou, kdy došlo k poklesům vydatnosti pod 3 l/s, je období zájmového roku 2022 (*obr. 3*). K výrazným poklesům vydatnosti tu docházelo již před požárem – až k 2,5 l/s v únoru, pak následuje pokles až pod 2 l/s s ročními minimy v polovině dubna. Poté vydatnost postupně narůstá až na roční maxima cca 4,8 l/s na přelomu června a července, následovaná poklesem v polovině července až na úroveň okolo 3 l/s. V době požáru koncem července vydatnost pramene stoupá z 3,18 l/s až ke 4 l/s a začátkem srpna klesá až k 2,44 l/s (velmi výrazný denní pokles až o 0,9 l/s). Po požáru následuje vzestup vydatnosti v druhé půli srpna až k obvyklým 4 l/s, pak pokles s druhým nejvýznamnějším ročním minimem v listopadu a opětovný nárůst vydatnosti na obvyklé hodnoty koncem prosince. K vyhodnocení denních dat průtoku při

požáru je podle našeho názoru třeba přistupovat s opatrností, zejména vzhledem k možné citlivosti automatického měřicího zařízení na změny, např. pád stromů a větví do měřicího objektu či na práci hasičů (např. využití vody). I přesto je patrné, že k celkově výraznějším absolutním změnám vydatnosti pramene docházelo v roce 2022 nikoli v průběhu požáru, ale v obdobích před požárem a po něm.

Ke srovnání kvality vody pramene posloužily především výsledky analýzy z října 2021 (délce před požárem), z května 2022 (poslední analýza před požárem), z října 2022 (první analýza po požáru) a z května 2024 (druhá analýza následující po požáru).

Voda pramene byla před požárem i po něm nízkou mineralizovaná a mírně kyselá (pH okolo 6). Stabilně pod mezí detekce laboratorních stanovení před požárem i po něm se pohybovaly koncentrace amonných iontů, dusitanů, fluoridů, rozpuštěného organického uhlíku, fosforečnanů i zásadová neutralizační kapacita do pH 4,5 a kyselinová neutralizační kapacita do pH 8,3. Obdobnou úroveň před požárem i po něm vykazovaly koncentrace hydrogenuhličitánů (okolo 5 mg/l), hořčíku (cca 1,7 mg/l), draslíku (okolo 2,5 mg/l), sodíku (cca 2,8 mg/l), uhličitánů a celkové tvrdosti (okolo 0,26 mval/l). K mírnému zvýšení po požáru došlo u koncentrace dusičnanů (z 10 na 11 mg/l), vápníku (z 6,75 na 7,75 a dále na 8,11 mg/l), chloridů (nad 4 mg/l) a síranů (z 17,9 na 18,5 mg/l). Hodnota ChSK_{Mn} vzrostla z cca 0,5 mg/l před požárem na 0,62 mg/l v říjnu po požáru, v roce 2024 poklesla na 0,54 mg/l.

V záznamu chybí analýza kovů a dalších prvků nedlouho po požáru. Nicméně před požárem (říjen 2021 a květen 2022) i v květnu 2024 ležely pod mezí detekce laboratorního stanovení (po filtraci) koncentrace antimonu, arsenu, boru, chromu, kadmia, kobaltu, lithia, manganu, mědi, molybdenu, niklu, olova, selenu, vanadu, zinku a železa. Obdobně bylo pod mezí detekce stanovení aniontových tenzidů, stanovených pesticidů, chlorovaných alifatických uhlovodíků, jednoduchých aromátů, chlorovaných benzenů a dalších látek.

Při srovnání s limity pro pitnou vodu [20] se hodnocení kvality vody pramene Suchá Bělá 3 před požárem a po něm nemění. Voda nevyhovuje zejména z důvodu nízkého pH (pod intervalem mezních hodnot), nedosažením mezní hodnoty pro koncentrace hořčíku a nedosažením intervalu doporučených hodnot pro vápník a hořčík apod. Tyto neshody jsou přírodního původu.

Měřené a vzorkované prameny v rámci prezentovaného úkolu Prameniště

V rámci prací v první půli roku 2026 byly terénně měřeny parametry u již dříve sledovaných osmi významných volně přístupných pramenů zájmové oblasti. Vzorky na chemické analýzy byly odebrány ze šesti z nich.

Aktuální analýzy podzemní vody pěti pramenů v údolí Suché Bělé vykazovaly velmi podobné vlastnosti – pH se pohybovalo v mírně kyselé oblasti mezi 5,8 a 6,0, konduktivity vody byly nízké (8,7 až 10,0 mS/m), koncentrace amonných iontů i dusitanů ležely pod mezí detekce analytických stanovení (pod 0,05 mg/l), obdobně jako obsahy fosforečnanů a celkového fosforu (pod 0,025 mg/l) a obsahy hliníku (pod 0,005 mg/l). Koncentrace dusičnanů se pohybovaly pouze okolo 10 mg/l, obsahy vápníku kolísaly okolo 8 mg/l a hořčíku okolo 1,6 mg/l. Podzemní voda pramene Nad Klepáčem pochází z vyšší úrovně pískovcového komplexu. Oproti pramenům v údolí Suché Bělé měla odebraná voda menších vývěrů prameniště Nad Klepáčem vyšší konduktivitu (16,8 mS/m), vyšší obsahy vápníku a hořčíku apod., ve shodě s výše popsány charakteristikami z databáze Surová voda [22].

Při srovnání parametrů vyvěrající podzemní vody v terénu změřených shodným způsobem (vždy průměr alespoň tří sad bodových měření v různých obdobích) v letech 2012 až 2014 (délce před požárem) a v roce 2026 (délce po požáru) můžeme konstatovat následující skutečnosti:

Měřená vydatnost zůstala ve srovnání období 2012–2014 a 2026 u čtyř pramenů víceméně obdobná, např. u pramene Suchá Bělá 3 (cca 3,9 l/s) a pramene U Cikánského smrku (cca 0,22 l/s). U dvou sledovaných pramenů měřená

vydatnost výrazně klesla, mj. u pramene Suchá Bělá 2 (z 1,2 na 0,5 l/s). Naopak u dvou dalších měřených pramenů vydatnost výrazně vzrostla.

Změřená průměrná konduktivita vody se od let 2012 až 2014 mírně zvýšila. Např. u pramene Suchá Bělá 2 vzrostla z průměrných 7,75 na 9,0 mS/m. Výše položené prameny tu mají vyšší konduktivitu vody – např. pramen U Cikánského smrku zaznamenal nárůst průměrných hodnot z 19,55 na 22,2 mS/m. Mírné zvýšení konduktivity vod pravděpodobně nemusí mít souvislost s požárem, podle častěji sledovaných pramenů (např. Nad Klepáčem) jde spíše o dlouhodobější trend.

Generelně lze shrnout, že rozdíly v kvalitě podzemní vody sledovaných pramenů před požárem a po něm nebyly vyhodnoceny jako zásadní.

Výzkumná oblast Ašsko

Pro porovnání změn na prameništích, které prokazatelně probíhají a jsou měřitelné, nicméně nejde o náhlé disturbance, jsme zvolili dvě oblasti, z nichž máme jak starší, tak novější data. První zkoumaná pramenná oblast okolí města Aš se nachází v Karlovarském kraji v okrese Cheb. Starší a neúplná datová sada z mapování prameništ, kterou máme k dispozici, pochází z roku 2009 z Revitalizační studie zadané AOPK ČR [11]. V rámci projektu Interreg v letech 2020–2022 byla některá z těchto prameništ znovu monitorována. Nejnovější data pocházejí z aktuálního projektu TA ČR „Metody identifikace a stabilizace stávajících a obnovy historických prameništ“.

Z hydrologického hlediska leží zkoumané prameny v povodí potoků Lužního, Pekelského, Újezského, Rokytnice a Bystřiny. Tyto vodní toky odtékají přes hranice do Německa, kde prostřednictvím vodních toků Südliche Regnitz a Schwesnitz spadají do povodí Sáhy (Saale), potažmo Labe.

Hydrogeologicky je území součástí krystalinika Českého masivu, hydrogeologického rajonu základní vrstvy 6111 – Krystalinikum Smrčin a západní části Krušných hor a útvaru podzemních vod základní vrstvy 61110 stejného názvu [15]. Z hydrogeologického hlediska je území tvořeno strukturami puklinových podzemních vod ve skalních horninách (zejména fylity a svory), včetně průlinového zvodnění jejich pokryvů [12].

Vývoj zájmových pramenů na Ašsku

Historicky bylo vodní hospodářství na Ašsku spjato s hustou sítí pramenů a drobných potoků, které člověk po staletí intenzivně přetvářel. Na počátku 18. století poháněly zdejší vodní toky na 20 mlýnů a koncem 19. století krajinu doplňovaly soustavy drobných rybníků (klauz). V údolních nívách Bílého Halštrova či Rokytnice hospodáři budovali důmyslné zavlažovací a odvodňovací systémy. Unikátní kapitolu pak na konci 19. století napsal rozmach textilního průmyslu, kvůli němuž dali místní továrníci vybudovat specifické podzemní jímací štol, jejichž pozůstatky dodnes nacházíme v okolí obcí Mokřiny, Štítary či Verněřov [23].

Okolo roku 1900 byla část pramenů, např. v povodí Pekelského potoka, jímána pro zásobování obyvatel pitnou vodou. Stalo se tak zejména na německé straně státní hranice, ale do systému byl napojen i pramen Pekelského potoka, který leží na české straně [12]. Aktuálně je tento pramen podchycen betonovou šachticí s litinovým poklopem bez vývěru vody na povrch (obr. 7), veškerá voda odtéká trubkami do Německa. V místě hraničního Pekelského potoka existuje koryto s mokřadní vegetací, v pramenné oblasti je zcela bez vody, níže jen s lokálním výskytem stojaté vody. Na německé straně státní hranice v pramenné části Pekelského potoka byly prameny oploceny a opatřeny šachticemi s lépe vypadajícími nerezovými poklopy, výsledek pro prameny i pro Pekelský potok je však obdobný, povrchové vývěry zanikly a do bývalého hraničního potoka z nich neodtéká žádná voda.

Dalším významným zásahem do struktury pramenů v zájmové oblasti bylo odvodnění pozemků za účelem vyšších výnosů zejména orné půdy. Podpovrchové a povrchové odvodňovací systémy v této oblasti pocházejí ze šedesátých a sedmdesátých let minulého století [23] (obr. 8). V posledních třiceti letech je orná půda



Obr. 7. Od podchyceného pramene Pekelského potoka (v šachtici) u Aše neodtéká po povrchu žádná voda (foto: P. Eckhardt)

Fig. 7. No water flows at the surface from the captured Pekelský stream spring near Aš, which is enclosed in a chamber (photo: P. Eckhardt)



Obr. 8. Historický letecký snímek budování odvodňovacích systémů na Ašsku v okolí obce Pastviny

Fig. 8. Historical aerial photograph showing the construction of drainage systems around the village of Pastviny in the Aš area



Obr. 9. Prameniště Luz 67 na poruše drenáže v pastvině, v minulosti vyploceno, aktuálně se sekundární vývěr přesunul, takže mokřadní plocha je opakovaně devastována dobytčím (oblast Ašsko)

Fig. 9. Luz 67 spring area formed by a drainage-system failure in a pasture; previously fenced off, the secondary spring outlet has since shifted, and the wetland area is now repeatedly damaged by livestock (Aš area)



Obr. 10. Jeden z horních vývěrů Lužního potoka, v roce 2025 vyschlý; 20 až 50 metrů od vývěru vedou odvodňovací strouhy k Lužnímu potoku, které ovlivňují vydatnost a celkový stav prameniště (oblast Ašsko)

Fig. 10. One of the upper spring outlets of the Lužní stream, dry in 2025; drainage channels located 20–50 m from the outlet convey water towards the Lužní stream, affecting the discharge and overall condition of the spring areas (Aš area)

v této podhorské oblasti převáděna na louky a pastviny, a odvodnění tak větší ztratilo svůj hospodářský význam. Krajina prošla od doby vybudování meliorací řadou změn a v současnosti se v ní nachází mozaika funkčních či degradovaných odvodňovacích systémů [13]. Na některých rovinatých pozemcích v nivách drobných vodních toků zejména v povodí Rokytnice jsou staré drenáže již zcela nefunkční, což vedlo k samovolné renaturaci a návratu území do přírodě blízkého stavu mokřadů či periodicky zaplavovaných niv. Zároveň přibližně třetina všech prameniště zmapovaných v letech 2020–2022 v oblasti Ašska na obou stranách státních hranic se objevuje na plochách odvodněných systematickými drenážemi. Jde tedy o tzv. „sekundární prameniště“ vzniklá ucpáním nebo poškozením potrubí, kvůli kterému drenážní voda vystupuje na povrch (obr. 9). Může být překvapivé, že tato druhotně vzniklá prameniště mohou v krajině plnit stejnou funkci jako prameniště přirozená, i když mohou mít oproti nim určité nedostatky. Může jít např. o větší kolísání teploty v průběhu roku, horší a proměnlivější kvalitu vody nebo nestabilitu samotného vývěru, který se vlivem ucpávání a dalších změn uvnitř různě poškozených drenážních trubek může stěhovat z místa na místo, jak pozorujeme např. u dlouhodobě sledovaného sekundárního prameniště U stružky (Luz 67) (obr. 9), kde víme od správce Národní přírodní památky Bystřina – Lužní potok (CHKO Slavkovský les), že podpovrchová drenáž je mnoho let zacpaná. V pramenné oblasti s narušeným vodním režimem jsou ale i tyto biotopy důležitými body heterogenní struktury krajiny – slouží jako refugium pro temporární druhy makrozoobentosu a dalších živočichů a zvyšují biodiverzitu zájmové oblasti. V tab. 1 uvádíme základní údaje o devíti sledovaných prameništích s uvedením jejich základních parametrů a o jejich vazbě na odvodnění.



Obr. 11. Strouhou odvodněné prameniště VMP08 (oblast povodí horní Blanice)

Fig. 11. VMP08 spring area drained by a drainage channel (upper Blanice catchment area)

Naopak v místech, kde jsou části podpovrchových systémů stále funkční, dochází nadále ke zrychlenému odtoku vody, což zhoršuje schopnost krajiny zadržovat vodu a vede k vysychání pramenných mokřadů. Existují případy, kdy odvodnění má stále svůj smysl, např. v okolí významných nebo v nedávné minulosti rekonstruovaných liniových staveb jsou často drenáže zachovány, aby nedocházelo k poškození staveb. V chráněných územích či v povodích bezprostředně sousedících s těmito územími by však měl převážet zájem ochrany přírody [24]. V pramenných oblastech je zase kvalita pitné vody a přínos zadržení vody v krajině vyšší než přínos zachování zemědělské půdy na pozemcích, které by jinak byly přirozeně podmaččené. Nicméně ačkoli je odstranění systematického odvodnění na mnoha místech žádoucí, naráží na řadu administrativních i praktických překážek, provází ho složité majetkoprávní vztahy, je finančně nákladné a vyžaduje kromě projektování také spolupráci několika zúčastněných stran.

V lesních porostech v této oblasti byly v minulosti vytvořeny povrchové odvodňovací rýhy, které sloužily k lokálnímu odvodnění některých prameniště a dalších mokřadů (obr. 10). Nejvíce je jich koncentrováno v pramenné části Lužního potoka nebo v povodí Rokytnice nad rybníkem Dolíška. Zpravidla jde o jednoduchým způsobem vykopané strouhy, vedoucí z drobných lesních prameniště k nejbližšímu vlásečnicovému vodnímu toku, případně bývají zaústěny do další rýhy, čímž vzniká více či méně funkční síť odvodňovacích struh. Některé strouhy odvádějí vodu celoročně, jiné jen část roku a některé jsou již zcela vyschlé. K urychlenému odtoku a omezenému vsakování přispívají i betonovými dlaždicemi opevněné a narovnané pramenné stružky, jaké jsou např.



Obr. 12. Lesní přírodní prameniště M01A (oblast povodí horní Blanice)

Fig. 12. Natural forest spring area M01A (upper Blanice catchment area)

v pramenné oblasti Újezdského potoka. Aktuální podoba krajiny Ašska se mění také tím, že drobné historické rybníčky a tůňe, ležící často v lesích nebo na jejich okrajích, které budovali již od začátku novověku, ale zejména v průběhu 19. století původní němečtí obyvatelé této oblasti, se postupně zazemňují a samovolně zanikají. Zajímavostí je, že jedním z důvodů budování rybníků (klauz) bylo v oblasti Ašska už v té době zaznamenané kolísání průtoků v letních měsících a potřeba udržovat stabilní přísun vody pro mlýny, pily a první železářské hamry, v pozdější době i papírný a textilní průmysl [23].

Odvodnění zemědělské a lesní půdy, ať už jde o podpovrchové systémy, nebo o povrchové drény, odvádějí vodu z pramenišť velmi rychle do vodotečí, což přispívá v letech s podprůměrnými srážkovými úhrny k vysychání pramenných mokřadů a následně i drobných vodních toků. V letech s průměrnými nebo nadprůměrnými srážkovými úhrny může zrychlený odtok vody naopak přispět ke vzniku bleskové povodně nebo vést ke vzniku strží a dalších erozních jevů. Mnoho drobných i větších revitalizací a změn hospodaření k lepšímu již proběhlo od vyhlášení maloplošných chráněných území na Ašsku od devadesátých let 20. století [14], nejnověji revitalizace narovnaného a zahloubeného úseku Lužního potoka u Pastvin [25]. Většinou se revitalizační akce týkaly pouze toků, prameniště a drobné vlasečnicové stružky byly z různých důvodů opomíjeny.

Výzkumná oblast povodí Blanice a Zlatého potoka

Horní povodí šumavské Blanice a Zlatého potoka patří mezi významné pramenné oblasti, kde byly kromě známých pramenů a studánek využívaných historicky zmapovány od roku 2005 do současnosti v několika vlnách, vázaných na různé projekty, stovky přírodních a přírodě blízkých pramenišť.

Z hydrogeologického hlediska se zájmová oblast nachází v rajonu 6310 – Krystalinikum v povodí Horní Vltavy a Úhlavy, v útvaru podzemních vod základní vrstvy 63101 shodného jména [15]. Hydrologicky spadá část těchto pramenišť do povodí Spálenického, Sněžanského a Tetřívčího potoka a samotné horní Blanice, další část leží v povodí Lučního a Zlatého potoka, který je rovněž přítokem Blanice pod nádrží Husinec.

Vývoj pramenů v zájmové oblasti Blanice

Historicky byly drobné vodní toky od pramenů v oblasti Křišťanova, Arnoštova a Boletic využívány už od 14. století pro rýžování zlata, stejně jako Blanice samotná. Později pod schwarzenberskou správou nastal v povodí rozmach těžby dřeva, jehož doprava si vyžádala úpravu hydrografické sítě stavbou splavovacích nádrží (klauz), jež sloužily k umělému nadlepšování stavu vody. Většina z nich je v současné době již zaniklá, z existujících lze jmenovat např. Puchárenský rybník. Jarní plavba dřeva se udržela až do začátku 20. století. Kromě dopravy dřeva sloužila voda stejně jako i v jiných oblastech pro pohon mlýnů a hamrů.

Tato oblast je v České republice unikátní díky tomu, že ačkoli v období let 1970–1990 probíhala i zde intenzifikace zemědělství a lesnictví, se kterou souvisely snahy o plošné odvodňování pozemků pro zemědělské využití, byla melioracemi zasažena poměrně málo [26, 27] (obr. 11) – snad proto, že „na ni došla řada“ až na konci osmdesátých let 20. století. Systematické podpovrchové drenáže byly vybudovány např. v povodích Vyšenského, Zbytinského, Magdalenského a Kukaččího potoka v povodí Blanice či Lučního a Zlatého potoka v povodí sousedním. Některá povodí nejsou plošným odvodněním dotčena, např. Hornosněženský, Tetřívčí a Spálenický potok, stejně jako další

drobné vodní toky ve Vojenském újezdu Boletice (obr. 12). V těchto povodích lze tedy i ve větším měřítku než na Ašsku dobře porovnat schopnost přirozených pramenišť zadržet vodu v krajině, udržet lokální biodiverzitu, případně poskytovat další ekosystémové služby, s omezenou funkčností sekundárních pramenišť. Ačkoli po roce 1990 v NPP Blanice a NPP Prameniště Blanice došlo k zatravnění orné půdy a přechodu na extenzivní hospodaření, což výrazně zlepšilo kvalitu vody [28], samotné historické plošné odvodnění je dodnes hodnoceno jako neodstranitelný nepříznivý zásah, jehož erodující systémy nadále negativně ovlivňují vodní režim krajiny.

Pro porovnání jsme dohledali základní parametry a vazbu na odvodnění u 14 pramenišť v povodích Blanice a Zlatého potoka. Jejich přehled je uveden v tab. 1.

Srovnání kvality vody přírodních a renaturovaných pramenišť v oblastech Ašska a Blanice

Výsledky srovnání změny kvality vody přírodních a odvodněných pramenišť ukázaly na tomto omezeném vzorku několik zajímavých skutečností. Zatímco některá přírodní prameniště vykazují mírná zlepšení a některá naopak mírná zhoršení, pokud se podíváme na celkový průměr ze všech neodvodněných pramenišť (0,42 bodu), byla kvalita vody z těchto vývěrů poměrně stabilní. Rozdíly mezi povodími (Ašsko versus Blanice/Zlatý potok) nebyly pozorovány. Jiný výsledek ukázala bodová skóre pro prameniště ovlivněná odvodněním. Zde nebylo zaznamenáno žádné zhoršení, kvalita vody z těchto vývěrů se od prvního odběru v letech 2005–2009 buď nezměnila, nebo se zlepšila (průměr 2,22 bodu). K poměrně významnému zlepšení kvality vody ve dvou až třech parametrech došlo např. na třech prameništích v oblasti Ašska, z toho dvě jsou sekundární prameniště na poruchách meliorací (Luz 67 – U stružky a Bys 04 – U hlásky) a jedno je odvodněno zahloubenou struhou (Luz 23 – Bílý vývěr).

DISKUZE

Ze zkoumaných tří vlivů se jako fatální pro samou existenci pramenných vývěrů projevilo jejich podchycení pro veřejné zásobování obyvatelstva pitnou vodou, a to jak v zájmové oblasti Hřenska (pramen Pod Pravčickou bránou, Pytlův pramen, hlavní vývěr pramene Nad Klepáčem), tak i na Ašsku (např. pramen Pekelského potoka). Výrazné čerpání podzemních vod u Hřenska mělo za následek zánik Panenského pramene a pokles vydatnosti části okolních pramenů v oblasti.

Naproti tomu vliv rozsáhlého požáru v okolí Hřenska neznamenal významné dlouhodobé změny v kvantitě ani chemismu vody sledovaných významných pramenů v této hydrogeologické struktuře. Určité negativní krátkodobé změny však pozorovány byly. Výrazný pokles pH podzemní vody po požáru byl zaznamenán v jímacím území Mezná, které ovšem neodebírá vodu z pramenů. Po zhoršení některých parametrů podzemních vod po požáru následně došlo v horizontu měsíců až jednoho roku k návratu jednotlivých parametrů chemismu podzemních vod do dlouhodobě obvyklých hodnot. Lesní požár se tak na kvalitě podzemních vod projevil jen slabě, na rozdíl od některých požárů průmyslových areálů [19].

Odvodnění pozemků a zkrácení a narovnání vodotečí na Ašsku mělo za následek zrychlení odtoku srážkové vody z povodí, což spolu s jímáním části pramenů zejména v oblasti Pekelského potoka v obdobích sucha přináší v této oblasti výrazné problémy. Změny vodního režimu krajiny spolu s klimatickou změnou vytvářejí více extrémních hydrologických situací – povodně nebo sucho –, což zasahuje stále častěji do běžného fungování lidské společnosti a má výrazný dopad také na vodní a na vodu vázané organismy v této oblasti. V oblasti povodí Blanice a Zlatého potoka díky menšímu rozsahu odvodnění pozemků sice také dochází k povodním a vysychání některých povrchových pramenů, zatím ale z této oblasti nemáme žádné záznamy o vysychání vodotečí.

Z výsledků srovnání kvality vody z pramenišť je patrné, že ve sledovaných prameništích ovlivněných odvodněním se zlepšila kvalita vody především v obsahu dusíkatých sloučenin. Na rozdíl od náhlých disturbancí, jakou byl např. požár v okolí Hřenska, lze tedy konstatovat, že pozvolné změny mohou mít na kvalitu vody v prameništích pozitivní dopad. Pozorované zlepšení pravděpodobně spočívalo z velké části ve změně hospodaření mezi roky 2005 a 2025 a v postupné samovolné renaturaci systematickým odvodněním dotčených ploch. Všechna zkoumaná sekundární prameniště leží buď v maloplošných rezervacích, nebo v jejich bezprostředním okolí. Na konci devadesátých let 20. století a po roce 2000 byla v této oblasti většina dříve intenzivně obhospodařovaných pozemků převedena na louky nebo pastviny, což je i případ pozemků, na nichž se nacházejí sledovaná nelesní prameniště. Zatímco v prvním období vzorkování ještě pravděpodobně přetrvával vliv intenzivního hospodaření a koncentrace sloučenin dusíku byly zvýšené, ve druhém sledovaném období již byly tyto látky v sekundárních vývěrech pod mezí detekce. Druhým vlivem je samovolná renaturace odvodněného území, kdy vlivem chárání neudržovaných podpovrchových drenážních systémů se sekundární prameny posouvají směrem k přírodě blízkému charakteru, a jejich kvalita vody se tak díky přirozenému samočištění zlepšuje.

Zjištěné postupné zlepšování kvality vody na sekundárních prameništích na Ašsku i na Šumavě úzce koresponduje s rostoucí potřebou chránit tyto drobné vodní biotopy. Ačkoli tato prameniště vznikla druhotně na místech poruch odvodňovacích systémů, zahraniční studie ukazují, že i přes svůj sekundární charakter mohou plnit klíčové ekosystémové služby [29, 30]. Ochrana a podpora těchto samovolně renaturovaných vývěrů je o to naléhavější, že v důsledku probíhající klimatické změny budou prameny pravděpodobně čelit stále většímu antropogennímu tlaku na plošné čerpání vodních zdrojů, což může vést k další nevratné degradaci těchto citlivých stanovišť [6]. Hodnocení samotného chemismu vody je však pouze prvním krokem a jedním z mnoha kritérií. Pro komplexní posouzení úspěšnosti samovolné renaturace pramenišť je nezbytné zohlednit také zástupné bioindikátory, typicky společenstva makrozoobentosu a mechorostů [31]. Z provedených výzkumů totiž vyplývá, že ekologická obnova mokřadních biotopů nemusí probíhat zcela lineárně; diverzita citlivých společenstev může bezprostředně po změně habitatových podmínek dočasně klesnout či stagnovat, než dojde k jejímu prokazatelnému nárůstu [32–34]. Z toho důvodu budou v rámci aktuálně probíhajícího projektu č. SQ01010130 předložená hydrochemická data dále konfrontována s výsledky podrobného biologického monitoringu.

Prameny přispívají ke zvýšení biodiverzity území a k zásobení přípoверхové části území vodou v suchých obdobích. Proto by jejich alespoň částečná obnova nejen v zájmových územích byla žádoucí.

Např. v Národním parku České Švýcarsko, kde by mělo být zvýšení biodiverzity a ochrana přírody prioritou, by mohla být na vhodných místech realizována obnova části historických pramenů. Využita k obnově by mohla být např. voda přepadu pramene Nad Klepáčem, případně i část vody pramene Pod Pravčickou bránou a Pytlova pramene, pokud by tato voda nebyla nezbytně potřeba pro zásobování veřejného vodovodu a provedení by bylo realizováno v souladu s místní zvýšenou ochranou podzemních vod. Citlivé vyvedení vody pramenů zpět na povrch by znamenalo nejen zvýšení biodiverzity, ale i snížení nebezpečí požárů v citlivém území národního parku. V neposlední řadě by se silně využívaná turistická stezka k Pravčické bráně, v současnosti prašná a vedoucí podél silnice, tak mohla stát opět příjemnějším místem nejen pro přírodu, ale i pro četné návštěvníky oblasti.

Obdobně by vrácení alespoň části vod pramene Pekelského potoka na Ašsku na povrch mohlo znamenat obnovení hraniční vodoteče a přínos pro přírodní podmínky, zvýšení biodiverzity a určité zvýšení protipožární ochrany pozemků po obou stranách státní hranice.

Tab. 1. Základní charakteristiky prameniští ovlivněných a neovlivněných odvodněním v oblastech Ašsko a povodí horní Blanice a Zlatého potoka
 Tab. 1. Basic characteristics of spring areas affected and unaffected by drainage in the Aš area and the upper Blanice and Zlatý stream catchments

Oblast	Kód	Název	Záznam	Souřadnice	Nadmořská výška [m n. m.]	Odvodnění
Ašsko	Luz08	Boční pramen Kyselého potoka	2008, 2020, 2026	50.2561000N, 12.1304000E	659	odvodňovací příkop
Ašsko	Ryb01	Železný pramen	2008, 2020, 2026	50.2649000N, 12.1570667E	655	odvodňovací příkop
Ašsko	Luz67	U stružky	2008, 2020, 2026	50.2713833N, 12.1548667E	642	plošná drenáž
Ašsko	Str03	Střelecká louka	2008, 2021, 2026	50.3262572N, 12.1409178E	607	žádné
Ašsko	LesL03	Helokren u klád	2008, 2021, 2026	50.2570667N, 12.1510000E	642	žádné
Ašsko	Luz20	Terezčín pramen	2008, 2021, 2026	50.2509206N, 12.1440689E	643	žádné
Ašsko	Luz23	Bílý vývěr	2008, 2020, 2026	50.2475850N, 12.1453897E	675	odvodňovací příkop
Ašsko	Bys04	U hlásky	2008, 2020, 2026	50.3133031N, 12.1361653E	593	plošná drenáž
Ašsko	Luz07	Ptačí helokren	2008, 2021, 2026	50.2573500N, 12.1373667E	633	žádné
Bla/Zla	LV03	Nad pasekou	2005, 2026	48.9228889N, 14.0673889E	741	odvodňovací příkop
Bla/Zla	TET52	(bez názvu)	2023, 2026	48.9158231N, 13.9996119E	840	odvodňovací příkop
Bla/Zla	M03	Skřípinná rozlivná louka	2005, 2026	48.9042419N, 13.9902008E	849	žádné
Bla/Zla	M01A	Olšové kaliště	2005, 2026	48.9033781N, 13.9927350E	860	žádné
Bla/Zla	VMP08	U čarověníku	2005, 2026	48.9085519N, 13.9924664E	864	plošná drenáž
Bla/Zla	VMP05	Helokren pod klenem	2005, 2026	48.9083672N, 13.9893950E	850	plošná drenáž
Bla/Zla	SN05	U borovic	2006, 2009, 2025	48.9144249N, 13.9673625E	870	žádné
Bla/Zla	SNB17B	Kukačka	2005, 2023, 2025	48.9134517N, 13.9625612E	865	žádné
Bla/Zla	SP82 / SC05	U panenky Marie	2005, 2006, 2009, 2023, 2025	48.9063987N, 13.9527977E	935	žádné
Bla/Zla	LAP02	Lapačka	2006, 2009, 2025	48.9190200N, 13.9674361E	812	žádné
Bla/Zla	ZL66	Pod sklípkem	2006, 2009, 2025	48.9476542N, 14.0176434E	824	plošná drenáž
Bla/Zla	1P2	Nad dvěma zubatými koly	2006, 2009, 2025	48.9209885N, 14.0562187E	797	žádné
Bla/Zla	TA08	Studánka Tetřívčí	2005, 2023, 2025	48.9255836N, 14.0018190E	849	odvodňovací příkop
Bla/Zla	Bla16	Bílý pramen	2006, 2009, 2025	48.9225082N, 13.9789619E	800	žádné

Tab. 2. Chemické parametry kvality vody ve vybraných prameništích ve dvou sledovaných obdobích
Tab. 2. Chemical water-quality parameters in selected spring areas during the two monitoring periods

BEZ ODVODNĚNÍ								
Kód	Konduktivita [µS/cm]	NO ₃ [mg/l]	NO ₂ [mg/l]	NH ₄ [mg/l]	PO ₄ [mg/l]	Cl- [mg/l]	Parametry	Změna (skóre bodů)
1P2 – Nad dvěma zubatými koly								
2005–2009	68	6,57	< 0,005	< 0,01	0,111	1,75	6/6	–1
2020–2026	79	6,62	< 0,050	< 0,050	0,129	1,82		
Bla16 – Bílý pramen								
2005–2009	50	1,41	< 0,050	< 0,050	0,081	4,88	6/6	0
2020–2026	62	1,45	< 0,050	< 0,050	0,082	1,27		
LAP02 – Lapačka								
2005–2009	73,7	1,35	< 0,005	< 0,01	0,027	3,95	6/6	–3
2020–2026	80	5,26	< 0,050	< 0,050	0,113	2,05		
LesL03 – Helokren u klád								
2005–2009	79,2	3,2	1,2	0,9	N/A	N/A	4/6	0
2020–2026	135,0	6,3	< 0,050	< 0,050	< 0,077	2,99		
Luz07 – Ptačí helokren								
2005–2009	84,8	5,0	0,05	0,8	N/A	N/A	4/6	+2
2020–2026	135,8	< 0,500	< 0,050	< 0,050	< 0,077	2,18		
Luz20 – Terežčin pramen								
2005–2009	65,3	2,3	0,1	N/A	N/A	N/A	3/6	+2
2020–2026	85,0	0,555	< 0,050	< 0,050	< 0,077	2,69		
M01A – Olšové kaliště								
2005–2009	80	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1/6	0
2020–2026	81	3,0	< 0,050	< 0,050	< 0,077	1,77		
M03 – Skřípinná rozlivná louka								
2005–2009	64	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1/6	+2
2020–2026	39	< 0,500	< 0,050	< 0,050	0,102	1,11		
SN05 – U borovic								
2005–2009	60,5	2,07	< 0,005	< 0,01	0,085	3,44	6/6	0
2020–2026	56	2,21	< 0,050	< 0,050	0,11	1,64		
SNB17B – Kukačka								
2005–2009	111	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1/6	+2
2020–2026	68,6	< 0,500	< 0,050	0,051	< 0,077	< 0,500		
SP82/SC05 – U panenky Marie								
2005–2009	41,3	2,63	< 0,005	< 0,01	0,113	1,21	6/6	+2
2020–2026	42,9	0,515	< 0,050	< 0,050	1,17	< 0,077		
Str03 – Střelecká louka								
2005–2009	122	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1/6	–1
2020–2026	135	6,30	< 0,050	< 0,050	< 0,077	3,31		

S ODVODNĚNÍM

Kód	Konduktivita [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	NO_3 [mg/l]	NO_2 [mg/l]	NH_4 [mg/l]	PO_4 [mg/l]	Cl [mg/l]	Parametry	Změna (skóre bodů)
Bys04 – U hlásky								
2005–2009	123,5	2,3	1,7	0,15	N/A	N/A	4/6	+4
2020–2026	80,0	9,07	< 0,050	< 0,050	< 0,077	2,13		
Luz08 – Boční pramen Kyselého potoka								
2005–2009	125,6	3,0	0,05	1,3	N/A	N/A	4/6	+2
2020–2026	113	5,74	< 0,050	< 0,050	< 0,077	3,12		
Luz23 – Bílý vývěř								
2005–2009	79,0	2,2	0,6	0,4	N/A	N/A	4/6	+5
2020–2026	52,0	2,31	< 0,050	< 0,050	0,089	2,67		
Luz67 – U stružky								
2005–2009	89,59	2,1	0,15	0,3	N/A	N/A	4/6	+4
2020–2026	101,0	1,54	< 0,050	< 0,050	< 0,077	2,84		
LV03 – Nad pasekou								
2005–2009	74	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1/6	0
2020–2026	76	1,18	< 0,050	< 0,050	< 0,077	1,18		
Ryb01 – Železný pramen								
2005–2009	112,3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1/6	+2
2020–2026	106	< 0,500	< 0,050	< 0,050	< 0,077	3,17		
TA08 – Studánka Tetřivčí								
2005–2009	99,6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1/6	0
2020–2026	98	6,23	< 0,050	< 0,050	< 0,077	2,93		
VMP05 – Helokren pod klenem								
2005–2009	70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1/6	+2
2020–2026	39	< 0,500	< 0,050	< 0,050	< 0,077	< 0,500		
ZL66 – Pod sklípkem								
2005–2009	77	4,53	< 0,005	0,01	0,085	4,86	6/6	+1
2020–2026	79	3,79	< 0,050	< 0,050	0,86	1,67		

ZÁVĚR

Prameny jsou důležitým krajinným prvkem, který zvyšuje lokální biodiverzitu a zajišťuje zásobení krajiny vodou v suchých obdobích. Výzkum prameniště ve třech zájmových oblastech ukázal, že nejvýraznějším zásahem do prameniště je jejich přímé technické podchycení pro pitné účely, které vede k úplnému zániku povrchových vývěřů. Významné je i plošné odvodnění pozemků, jež v suchých letech přispívá k vysychání drobných vodních toků a mokřadů a zrychluje odtok vody z krajiny. Naopak některé náhlé disturbance, jako byl rozsáhlý lesní požár v národním parku, nemají na hydrochemický stav ani množství podzemní vody v hlubších strukturách zásadní dlouhodobý vliv.

Sledování v delším časovém horizontu potvrdilo, že pozitivní dopad na kvalitu vody (zvláště pokles koncentrace dusíkatých sloučenin) mají pozvolné

změny – konkrétně přechod na extenzivní hospodaření a zároveň samovolná renaturace území způsobená degradací starých drenážních systémů, díky níž vznikají více či méně stabilní sekundární prameniště. Pro budoucí management krajiny je žádoucí realizovat citlivou obnovu historických pramenů vyvedením přebytečné či přepadové vody zpět na povrch (např. v Národním parku České Švýcarsko nebo na Ašsku). Tento krok by přispěl nejen k opětovnému posílení biodiverzity, ale také k efektivnější protipožární ochraně v citlivých oblastech.

Poděkování

Práce byly financovány z programu Technologické agentury ČR Prostředí pro život 2 č. SQ01010130. Děkujeme také za možnost využití volně přístupných dat monitoringu pramenů ČHMÚ a archivu ČGS (Geofond).

Literatura

[1] BARQUÍN, J., SCARSBROOK, M. Management and Conservation Strategies for Coldwater Springs. *Aquatic Conservation – Marine and Freshwater Ecosystems*. 2008, 18, s. 580–591. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/aqc.884>

[2] BOTOŠANEĀNU, L. *Studies in Crenobiology: The Biology of Springs and Springbrooks*. Leiden: Backhuys Publishers, 1998. 261 s. ISBN 90-73348-04-8.

[3] CANTONATI, M., GERECKE, R., BERTUZZI, E. Springs of the Alps – Sensitive Ecosystems to Environmental Change: From Biodiversity Assessments to Long-Term Studies. *Hydrobiologia*. 2006, 562(1), s. 59–96. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10750-005-1806-9>

[4] HORSÁK, M., POLÁŠKOVÁ, V., ZHAI, M., BOJKOVÁ, J., SYROVÁTKA, V., ŠORFOVÁ, V. et al. Spring-Fen Habitat Islands in a Warming Climate: Partitioning the Effects of Mesoclimate Air and Water Temperature on Aquatic and Terrestrial Biota. *Science of The Total Environment*. 2018, 634, s. 355–365. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.319>

[5] KUBÍKOVÁ, L., SIMON, O. P., TICHÁ, K., DOUDA, K., MACIAK, M., BÍLÝ, M. The Influence of Mesoscale Habitat Conditions on the Macroinvertebrate Composition of Springs in a Geologically Homogeneous Area. *Freshwater Science*. 2012, 31(2), s. 668–679. Dostupné z: <https://doi.org/10.1899/11-174.1>

[6] DAVIS, J. A., KEREZSY, A., NICOL, S. C. Springs: Conserving Perennial Water is Critical in Arid Landscapes. *Biological Conservation*. 2017, 211(Part B), s. 30–35. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.bioccon.2016.12.036>

[7] BEYER, A. *Über Quellen in der Sächsisch – böhmischen Schweiz*. Dresden: Buchdruckerei der Wilhelm und Berta v. Baensch Stiftung, 1913. 107 s.

[8] ECKHARDT, P. *Vývoj vydatnosti pramenů a pramenných oblastí v oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitzsch. Závěrečná zpráva*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., 2013. 95 s.

[9] ŽITNÝ, L., TŮMA, W. *Hydrogeologická studie povodí Kamenice s ohledem na možnosti zachycení většího množství podzemní vody pro zásobování Děčína*. Praha: Vodní zdroje, n. p., 1968. 36 s.

[10] ECKHARDT, P., POLÁKOVÁ, K. *Vývoj vydatnosti pramenů v Česko-saském Švýcarsku. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2014, 56(2), s. 1–4. Dostupné z: https://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2015/08/vtei_2014_2.pdf

[11] SPISAR, O. *Revitalizační studie v trojstátí Bavorsko-Čechy-Sasko v povodí Lužního potoka a Bystřiny. Závěrečná zpráva*. Praha: AOPK ČR, 2009 (nepublikováno). 33 s.

[12] ECKHARDT, P. *Hydrogeologická studie zájmového území na Ašsku. Závěrečná zpráva*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., 2021. 76 s.

[13] TICHÁ, K., KLADIVOVÁ, V., BERAN, A. *Vodní režim krajiny Ašska. Závěrečná zpráva projektu Interreg č. 293 CZ-BY Historické využití území a jeho význam pro budoucí ochranu významných druhů podél bavorsko-české hranice*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., 2023, 56 s.

[14] BÍLÝ, M. (ed.). *Effects of Environmental Factors on the Freshwater Pear Mussel Population in the National Nature Monument Lužní potok (Zinnbach)*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., 2008. ISBN 978-80-85900-86-6.

[15] *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*.

[16] HERČÍK, F., HERRMANN, Z., VALEČKA, J. *Hydrogeologie české křídové pánve*. 1. vydání. Praha: Český geologický ústav, 1999. 118 s. ISBN 80-7075-309-9.

[17] *Hydroekologický informační systém VÚV TGM*. Dostupné z: <https://heis.vuv.cz>

[18] HÄRTEL, H., VÉBROVÁ, D., ŠAFRÁNEK, J., SOJKA, V., BLAŽEJ, L. *Vývoj plochy po požáru v Národním parku České Švýcarsko rok poté. Ochrana přírody*. 2023, 6, s. 2–5. Dostupné z: <https://www.casopis ochranaprirody.cz/z-nasi-prirody/vyvoj-plochy-po-požaru-v-narodnim-parku-ceske-svycarsko-rok-pote/>

[19] DANIHELKA, P., SOLDÁN, P. Jsou hasební vody potenciálním ohrožením vodního prostředí? *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2012, 54(6), s. 8–13. Dostupné z: https://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2015/08/vtei_2012_6.pdf

[20] *Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, v platném znění*.

[21] *Databáze a archiv ČGS (Geofond)*. Dostupné např. z: https://mapy.geology.cz/vrtna_prozkoumanost/

[22] *Databáze Surová voda – slouží pro vkládání a správu dat jakosti surové vody v rozsahu úplných a krácených rozběrů dle požadavků vyhlášky č. 428/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů*. Dostupné z: <https://surovavoda.chmi.cz>

[23] PFF UK, Universität Regensburg, Fakultät für Biologie und Vorklinische Medizin, Bund Naturschutz e. V. in Bayern, Kreisgruppe in Hof, VÚV TGM, AOPK ČR. *Ašská krajina v proměnách času. Interaktivní prezentace, která vznikla v rámci projektu č. 293 „Historické využití území a jeho význam pro budoucí ochranu významných druhů podél bavorsko-české hranice“ (Program přeshraniční spolupráce Česká republika – Svobodný stát Bavorsko, Člil EUS 2014–2020)*. Dostupné z: <https://landschaftimwandel.de/text/>

[24] TLAPÁKOVÁ, L., ČMELÍK, M., ŽALOUDÍK, J., KARAS, J. *Metodika identifikace drenážních systémů a stanovení jejich funkčnosti*. Pardubice: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2016. 214 s. ISBN 978-8087361-58-0.

[25] JONGEPIEROVÁ, I., PEŠOUT, P., PRACH, K. (eds.). *Ekologická obnova v České republice II*. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2018. ISBN 978-80-88076-83-4.

[26] HOLUB, M. *Obnova biotopu perlorodky říční v údolní nivě Lužního potoka a monitoring*, AOPK ČR, CHKO Slavkovský les. *Prezentace projektu MGSII-57*, 2017. Dostupné z: <https://www.eeagrants.cz/assets/en/media/Milos-Holub.pdf>

[27] *Informační systém melioračních staveb*. Dostupné z: <https://meliorace.vumop.cz/>

[28] AOPK ČR. *Plán péče o Národní přírodní památku Blanice a Národní přírodní památku Prameníště Blanice na období 2012–2026*, 2012. Dostupné z: <https://drusop.nature.cz/>

[29] STAPONITES, L. R., SIMON, O. P., BARTÁK, V., BÍLÝ, M. Management Effectiveness in a Freshwater Protected Area: Long-Term Water Quality Response to Catchment-Scale Land Use Changes. *Ecological Indicators*. 2022, 144, 109438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109438>

[30] BIKSE, J., GAVINOLLA, M. R. Tourism and Restoration of Spring Ecosystem Services. Case Study of Latvia. In: GOWREESUNKAR, V. G. B., MAINGI, S. W., MING'ATE, F. L. M. (eds.). *Management of Tourism Ecosystem Services in a Post Pandemic Context*. Part VI. 20. London: Routledge, 2022. 22 s. ISBN 9781003280217.

[31] LAMERS, L. P. M., VILE, M. A., GROOTJANS, A. P., ACREMAN, M. C., VAN DIGGELEN, R., EVANS, M. G., RICHARDSON, C. J., ROCHEFORT, L., KOOIJMAN, A. M., ROELOFS, J. G. M., SMOLDERS, A. J. P. Ecological Restoration of Rich Fens in Europe and North America: From Trial and Error to an Evidence-Based Approach. *Biological Reviews*. 2015, 90(1), s. 182–203. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/brv.12102>

[32] LEHOSMAA, K., JYVÄSJÄRVI, J., VIRTANEN, R., ROSSI, P. M., RADOS, D., CHUZHKOVA, T., MARKKOLA, A., ILMONEN, J., MUOTKA, T. Does Habitat Restoration Enhance Spring Biodiversity and Ecosystem Functions? *Hydrobiologia*. 2017, 793(1), s. 161–173. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10750-016-2760-4>

[33] ILMONEN, J., VIRTANEN, R., PAASIVIRTA, L., MUOTKA, T. Detecting Restoration Impacts in Inter-Connected Habitats: Spring Invertebrate Communities in a Restored Wetland. *Ecological Indicators*. 2013, 30, s. 165–169. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.02.014>

[34] SMITH, R. F., NEIDEIGH, E. C., RITTLE, A. M., WALLACE, J. R. Assessing Macroinvertebrate Community Response to Restoration of Big Spring Run: Expanded Analysis of Before-After-Control-Impact Sampling Designs. *River Research and Applications*. 2020, 36, s. 79–90. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/rra.3556>

Autoři

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

Mgr. Kamila Tichá, Ph.D.
✉ kamila.ticha@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-0863-481X

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

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2026.07.002

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

CHANGES IN SPRING AREAS FOLLOWING SUDDEN MAJOR DISTURBANCES

ECKHARDT, P.; TICHÁ, K.

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

Keywords: groundwater — springs — water resources — drainage — restoration — forest fire

This article compares the condition of selected spring areas after sudden major disturbances with their previous state, together with evaluating long-term changes in drained and undrained spring areas. The analyzed impacts include

significant changes in groundwater abstraction for drinking water purposes, disturbances resulting from drainage system failures, and the consequences of a large-scale forest fire. Three regions with contrasting hydrogeological characteristics were selected for the study. The results indicate that while drawing springs for drinking water supply has a critical impact on their very existence, the extensive forest fire did not significantly affect either the quality or quantity of groundwater. Conversely, gradual changes in agricultural practices and the spontaneous renaturation of malfunctioning drainage systems lead to the formation of secondary spring areas and a progressive improvement in the quality of discharging water.



Retenční potenciál bobřích hrází z hlediska akumulace povrchové vody v české krajině

ADAM BABULJAK, MIROSLAV BAUER, MARTIN DOČKAL, PETR KOUDELKA, JITKA UHLÍKOVÁ, JAN MOKRÝ, ALEŠ VOREL, TOMÁŠ DOSTÁL

Klíčová slova: bobr evropský — ekosystémový inženýr — retence vody — bobří hráz — hydrologický režim — GIS analýza — modelování kapacity bobřích hrází — mokřady — management krajiny

ABSTRAKT

Bobr evropský (*Castor fiber*) je významným ekosystémovým inženýrem, který svou aktivitou mění hydrologický režim krajiny. Cílem studie bylo kvantifikovat objem povrchové vody zadržené bobřími hrázemi v české krajině a odhadnout potenciální retenční kapacitu vybraného povodí při maximálním předpokládaném rozsahu bobřího osídlení. Hlavním předmětem výzkumu bylo stanovení objemu povrchové vody akumulované 150 bobřími hrázemi na lokalitách v Plzeňském kraji (v povodí Křemelné a deseti dalších vybraných mokřadech) a určení zatopené plochy jejich bobřích zdrží. K výpočtům byly využity GIS analýzy založené na kombinaci přesných geodetických dat a digitálního modelu terénu. Pro povodí Chlístovického potoka (IV. řád, 13,8 km²) byl dále aplikován model kapacity bobřích hrází vycházející z principů fuzzy logiky a parametrů, jako jsou sklon toku, šířka koryta, síla proudu a dostupnost břehové vegetace s cílem odhadnout reálné množství vody, které může být zadrženo bobřími hrázemi v zájmovém území za předpokladu plného osídlení předmětného povodí bobry.

Výsledky terénních měření prokázaly, že 150 sledovaných hrází zadržuje celkem 31 321 m³ povrchové vody, z toho 89 hrází v povodí Křemelné zachycuje na ploše 169 km² 12 389 m³ povrchové vody. Rozdělení objemů vykazuje výraznou pravostrannou asymetrii (medián 41,0 m³, průměr 208,8 m³), což potvrzuje, že drtivá většina hrází zadržuje relativně malé objemy, zatímco zásadní podíl na celkovém zadržném objemu má malý počet velkých bobřích zdrží – 3 % největších zdrží akumulují 54 % celkového objemu. Obdobný charakter vykazovalo také rozdělení zatopených ploch bobřích zdrží, jejichž celková výměra dosáhla 98 586 m². Mediánová zatopená plocha jedné bobří zdrže činila pouze 168,9 m² oproti průměrné hodnotě 657,2 m² a čtyři největší zdrže tvořily 53 % celkové zatopené plochy. Modelování v povodí Chlístovického potoka o ploše 13,8 km² identifikovalo téměř 6 km vodních toků vhodných pro kolonizaci bobrem. Při plném osídlení model predikuje vznik 13 až 43 hrází. Na základě zjištěných objemů z experimentálních lokalit lze v povodí Chlístovického potoka očekávat povrchovou akumulaci v řádu stovek až jednotek tisíc m³ vody. Důležitá část retence však probíhá i v podzemní složce, což dále zvyšuje celkový hydrologický přínos. Ekologický význam by mohl představovat vznik bobřích zdrží o celkové ploše v řádu jednotek až nižších desítek tisíc m², poskytující prostor pro rozvoj mokřadních stanovišť. Studie dokládá, že bobří hráže představují významný prvek přírodě blízké retence vody v krajině, jejich význam ale akumulaci povrchové vody zdaleka nekončí. Bobří hráže přispívají mimo jiné také k ukládání sedimentů, ke stabilizaci odtokových poměrů a zvýšení ekologické stability krajiny, a proto je žádoucí jim v krajině poskytnout odpovídající prostor.

ÚVOD

Bobr evropský je původním druhem evropské krajiny, jenž historicky obýval rozsáhlá území od Britských ostrovů po východní Sibiř. Intenzivní lov však vedl téměř k jeho vyhubení a na konci 19. století byla evropská populace odhadována pouze na přibližně 1 200 jedinců v osmi izolovaných populacích [1]. Díky ochraně druhu a reintrodukčním programům dochází od 20. století k jeho postupnému návratu a okolo roku 2020 byla evropská populace vyčíslena již na zhruba 1,5 milionu jedinců [2]. Podobný vývoj proběhl i v České republice (ČR), kde byl bobr po úplném vyhubení znovu zaznamenán v roce 1977 na soutoku Dyje a Kyjovky a jeho populace od začátku 21. století rychle roste [3, 4]. V roce 2020 byla početnost populace v ČR odhadována přibližně na 15 000 jedinců [5, 6].

Bobři jsou často označováni za „ekosystémové inženýry“ díky své schopnosti měnit prostředí stavbou hrází [7], což při rychlém růstu populace vede ke konfliktům s člověkem, ale také k řadě pozitivních efektů. Bobří hráz je konstrukce z přírodních materiálů sloužící k přehrazení vodního toku. Nad hrází vzniká bobří zdrž, tedy objem akumulované vody měnící charakter toku z proudícího na stojatý. Hráze a zdrže často vytvářejí kaskády vedoucí k rozlivu vody do okolní nivy. Tyto komplexy následně tvoří takzvaný bobří mokřad (obr. 1 a 2) [6, 8]. Přestože hráze a jimi vytvořené zdrže primárně slouží jako ochrana před predátory a zajištění přístupu k potravě [9], významně ovlivňují také hydrologický režim krajiny. Zpomalují proudění, podporují sedimentaci, posilují interakce mezi povrchovou a podzemní vodou a zvyšují zásoby povrchové i podzemní vody [10–12].

Přínosy bobří činnosti však přesahují samotné zadržování vody. Stavba hrází přispívá k obnově přírodě blízkých říčních pásů a k přirozené členitosti niv, podporuje samovolnou renaturaci technicky upravených vodních toků a omezuje negativní účinky zemědělských nebo lesnických odvodňovacích zařízení [6, 13–15]. Nově vznikající mokřadní biotopy posilují stanovištní pestrost a biodiverzitu, k čemuž přispívá skutečnost, že bobři svou činností ve vodních tocích zvyšují množství ekologicky cenného mrtvého dřeva [6, 13, 16, 17].

Hlavním předmětem této studie je stanovení objemu povrchové vody, který bobří hráže zadržují. Naprostá většina studií, jež se tomuto tématu věnují, pochází ze Severní Ameriky a ukazuje, že bobří hráže výrazně zvyšují objem vody akumulovaný ve vodních tocích a mokřadech [18–20]. Beedle [18] např. zjistil, že bobří zdrže na Aljašce zadržovaly až 37krát více vody než přirozené úseky vodních toků, přičemž objemy jednotlivých zdrží dosahovaly od desítek po více než 11 000 m³. Karran et al. [19] na čtyřech lokalitách v Severní a Jižní Americe vyhodnotili objemy zdrží v rozsahu 1–9 001 m³. Také ojedinělé evropské studie potvrzují významný retenční efekt bobřích hrází, např. v povodí Krzemianka v Polsku byl celkový objem vody zadržené 22 bobřími hrázemi odhadnut na 15 000 m³ [21].



Obr. 1. Dronový snímek mokřadu na Litohlavském potoce zobrazuje dvě hráze a přilehlé zdrže tvořící kaskádu a mokřad, který vznikl na pravém břehu potoka (foto: T. Laburda)
 Fig. 1. Drone image of a beaver wetland on the Litohlavský stream, showing two beaver dams and associated ponds forming a cascade, and a wetland that developed on the right bank of the stream (photo: T. Laburda)

Kromě zadržených objemů naše studie kvantifikuje také zatopenou plochu bobřích zdrží, která je významná nejen z hydrologického hlediska, ale i z hlediska ekologického, protože větší rozsah bobřích mokřadů je spojen s vyšší druhovou bohatostí a abundancí ptáků a současně rozšiřuje nabídku lentických a litorálních stanovišť v nivě [22, 23].

Přestože chování bobrů a vývoj jejich teritorií nelze spolehlivě predikovat, na základě určitých parametrů je možné posoudit vhodnost území pro potenciální osídlení bobry [24]. Výzkumy ukazují souvislosti mezi výskytem bobrů a charakteristikami vodních toků, jako jsou sklon, šířka koryta nebo dostupnost břehové vegetace [25]. Na těchto poznatcích vznikají prostorové modely umožňující predikovat kapacitu prostředí pro stavbu hrází [26]. Tyto modely se dále využívají i pro odhady potenciální retence vody v krajině. Např. studie ze Sierra Nevady v Kalifornii uvádí, že bobří hráze by zde mohly akumulovat až 120 milionů m³ povrchové vody a současně přispět ke zvýšení odolnosti krajiny vůči požárům [27].

V naší studii jsme pomocí přesných geodetických metod stanovili objem povrchové vody akumulovaný 150 bobřími hrázemi v povodí Křemelné a na 10 dalších vybraných mokřadech v Plzeňském kraji, převážně na Šumavě, s cílem přispět k hodnocení významu bobra v naší krajině pomocí reálných čísel. Součástí vyhodnocení byla také zatopená plocha bobřích zdrží. Současně jsme modelovali potenciální počet hrází, které by mohly vzniknout ve vybraném povodí IV. řádu při kolonizaci území bobry a při minimálním omezení

bobří aktivity člověkem. Na základě těchto výsledků jsme kvantifikovali, kolik vody by v povodí mohli bobři svou činností zadržet.

Cílem studie tak bylo rozšířit poznání v oblasti kvantifikace pozitivních přínosů bobřího osídlení z hlediska zadržování povrchové vody v krajině, která je jedním z předpokladů pro efektivní management bobra evropského a objektivní hodnocení konfliktů spojených s jeho výskytem. Retence povrchové vody je přitom pouze jedním z přínosů bobřích hrází, na který navazuje řada dalších hydrologických a ekologických procesů. Vedle zadržování vody a sedimentů mohou bobří stavby přispívat např. k podpoře průtoků během období sucha, zlepšení mikroklimatu, ke vzniku cenných mokřadních biotopů nebo zvýšení množství mrtvého dřeva ve vodních tocích [11, 18, 28].

METODIKA

V povodí Křemelné na Šumavě, kde se v geograficky a hydrologicky uceleném území v době průzkumu na jaře 2023 nacházelo 89 bobřích hrází, a na 10 vybraných bobřích mokřadech v Plzeňském kraji, byly pomocí přesného geodetického zaměření v terénu stanoveny objemy povrchové vody, které tyto hráze zadržují, a zatopené plochy bobřích zdrží. V povodí Chlístovického potoka byl dále modelován potenciální výskyt bobřích hrází z hlediska vhodnosti jednotlivých úseků vodních toků pro jejich stavbu.



Obr. 2. Mokřad na Litohlavském potoce při pohledu proti vodě; hlavní bobří hráz (vpravo) rozlévá vodu mimo koryto a vytváří mokřad (vlevo) (foto: A. Babuljak)

Fig. 2. Beaver wetland on the Litohlavský stream, viewed upstream; the main beaver dam (right, among the trees) has caused water to spread beyond the stream channel, creating a wetland (left and centre) (photo: A. Babuljak)

Řešené lokality

V rámci studie byly řešeny tři lokality, jež jsou znázorněny na obr. 3. Terénní měření a vyhodnocení skutečných objemů vody zadržené bobřími hrázemi a zatopených ploch jejich zdrží bylo provedeno na 89 bobřích hrázích v povodí Křemelné a na 10 bobřích mokřadech na Železnorudsku, Úslavě a Voldušském potoce.

Povodí Křemelné bylo vybráno ve spolupráci s NP Šumava pro účely studie *Terénní měření a mapování bobřích hrází v povodí Křemelné* [29] jako příklad krajiny, kde je přítomnost bobrů jen zcela minimálně omezena člověkem. Zkoumány byly všechny známé bobří hráze v rámci povodí od malých zdrží v korytech vodních toků po rozsáhlé zdrže tvořící mokřady v potočních nivách. Díky tomu výzkum v povodí Křemelné poskytl ucelený obrázek o charakteru bobřích hrází a zdrží v regionálním měřítku.

V Plzeňském kraji bylo vybráno 10 bobřích mokřadů ve spolupráci s AOPK pro účely studie *Vliv bobrů na ekosystémy říční krajiny* [30] jako příklady území reprezentující cílový stav vývoje toku a jeho blízkého okolí po osídlení bobrem. Jedná se o mokřady s různým počtem, charakterem a velikostí bobřích hrází a přilehlých zdrží, v průměru jde ale spíše o rozlehlější bobří zdrže než v povodí Křemelné.

Třetí lokalita, povodí Chlístovického potoka, byla využita pro modelování kapacity bobřích hrází. Tato úloha byla řešena v rámci projektu *Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu*, kde bylo povodí Chlístovického potoka využíváno pro další modelování v oblasti retence vody v krajině a srážkoodtokových vztahů, a proto bylo vybráno také pro účel modelování kapacity potenciálních bobřích hrází.

Povodí Křemelné

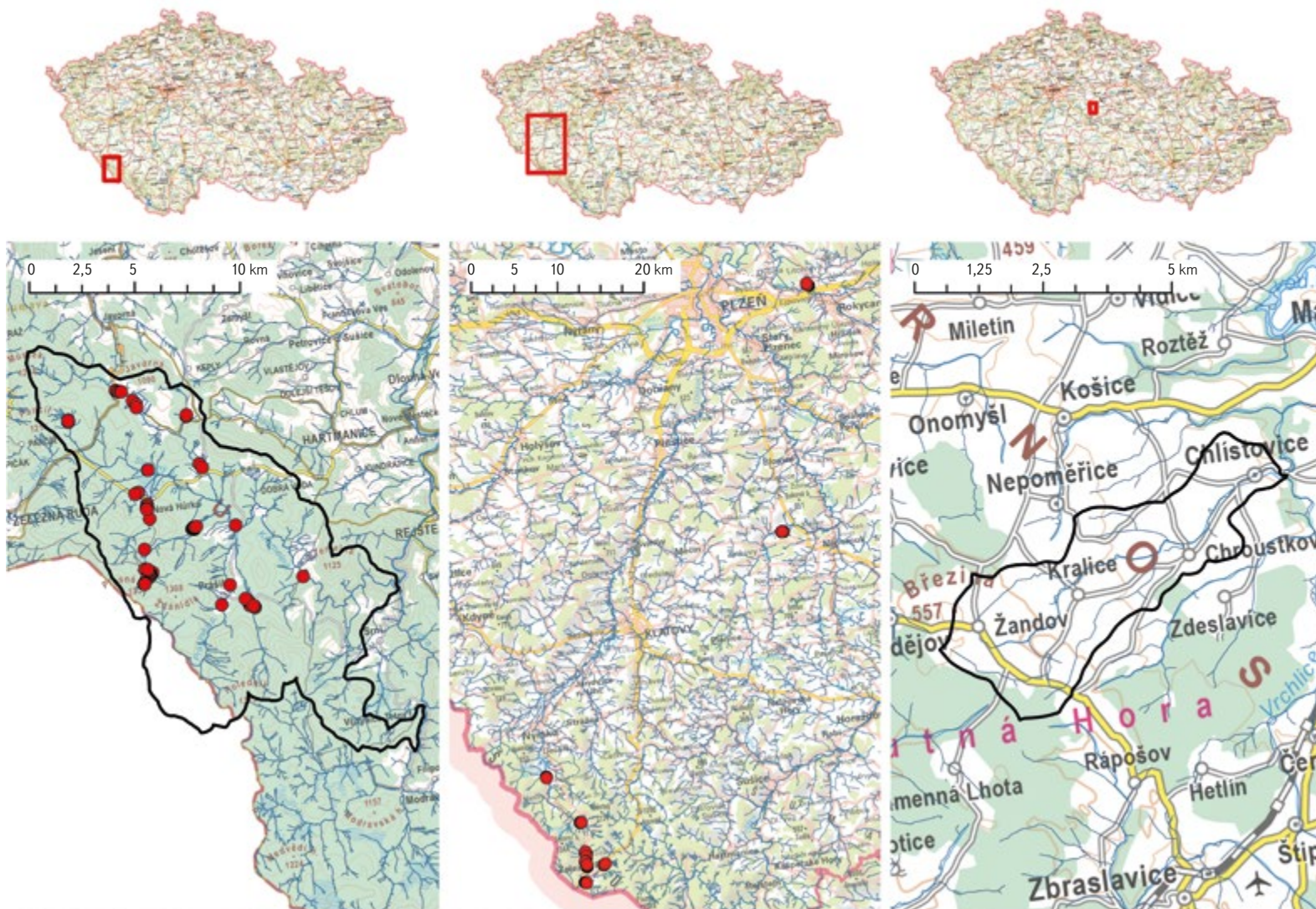
Zaměření a stanovení skutečného objemu vody akumulovaného bobřími hrázemi a zatopených ploch bobřích zdrží bylo realizováno v povodí řeky Křemelné v NP Šumava. Zájmové území, jehož páteřním tokem je řeka Křemelná s délkou přesahující 30 km, leží v severozápadní části parku, převážně na území ČR, okrajově však zasahuje i do Německa. Celková rozloha povodí činí přibližně 169 km², což odpovídá asi jedné čtvrtině rozlohy NP Šumava.

Vlivem orografických podmínek dosahují srážkové úhrny v povodí dlouhodobě nadprůměrných hodnot (srážkoměrná stanice Prášíly uvádí průměrný roční úhrn srážek v letech 1991 až 2020 1 413,7 mm), což se projevuje dostatkem vody a hustou hydrografickou sítí. Ta zahrnuje jak bystřinné úseky v zaříznutých horských údolích, tak meandrující drobné vodní toky na náhorních plošinách.

Vodní toky a jejich nivy si díky vysokému stupni ochrany i historicky omezené antropogenní činnosti zachovaly relativně přirozený charakter. Tyto podmínky vytvářejí vhodné prostředí pro bobra evropského, jehož populace zde prosperuje a svou činností dále zvyšuje retenční kapacitu krajiny.

Správa NP Šumava v území dlouhodobě provádí monitoring aktivity bobra evropského. Výsledná data z tohoto monitoringu jsme využili k identifikaci lokalit s výskytem bobřích hrází, jež jsme následně podrobili terénnímu šetření.

Jedna z bobřích hrází v povodí Křemelné poblíž osady Mechov je zachycena na obr. 4.



Obr. 3. Řešené lokality – vlevo: povodí Křemelné, uprostřed: 10 vybraných mokřadů v Plzeňském kraji, vpravo: povodí Chlístovického potoka (podkladové mapy: Základní topografická mapa ČR ČÚZK)

Fig. 3. Study areas – left: Křemelná catchment; centre: ten selected beaver wetlands in the Plzeň Region; right: Chlístovický catchment (basemaps: Basic Topographic Map of the Czech Republic, Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre; ČÚZK)



Obr. 4. Jedna z největších bobřích hrází a přilehlých zdrží v povodí Křemelné, součást mokřadu u osady Mechov (foto: A. Babuljak)

Fig. 4. One of the largest beaver dams and associated ponds in the Křemelná catchment, forming part of the wetland near the settlement of Mechov (photo: A. Babuljak)

Deset bobřích mokřadů v Plzeňském kraji

Stanovení skutečných objemů vody zadržené bobřími zdržemi proběhlo také na 10 bobřích mokřadech v Plzeňském kraji. Osm z nich bylo vybráno v okolí Železných Rud, v povodí Řezné a v povodí Úhlavy, které sousedí s povodím Křemelné. Tyto mokřady se nacházejí mimo území národního parku a lokality jsou zde více ovlivněny lidskou činností než v povodí Křemelné, přesto je zde ochrana přírody posílena statutem CHKO Šumava.

Zbývající dva sledované mokřady se nacházely na řece Úslavě u obce Prádlů a na Voldušském potoce u Litohlav. Obě lokality již leží mimo chráněná území, v typické české zemědělské krajině. Zatímco mokřad na Úslavě vznikl v otevřené krajině, mokřad na Voldušském potoce se nachází částečně v lesním prostředí; 10 sledovaných mokřadů zahrnovalo celkem 61 dílčích, často přímo navazujících bobřích zdrží.

Jedna ze čtyř hrází, které tvoří bobří mokřad na řece Úslavě, je zachycena na obr. 5.



Obr. 5. Jedna ze čtyř hrází tvořících bobří mokřad na řece Úslavě u obce Prádlo (foto: A. Babuljak)

Fig. 5. One of the four dams that make up the beaver wetland on the Úslava river near the village of Prádlo (photo: A. Babuljak)

Povodí Chlístovického potoka

Modelování potenciálního výskytu bobřích hrází bylo provedeno v povodí Chlístovického potoka. Jde o povodí IV. řádu o rozloze 13,8 km² s výrazně zemědělským charakterem. Povodí se nachází ve Středočeském kraji nedaleko obce Malešov. Hlavním vodním tokem povodí je Chlístovický potok, levostranný přítok řeky Vrchlice, do níž se vlévá u Malešova přibližně 3 km nad začátkem vzdutí vodní nádrže Vrchlice.

Vyhodnocování zadržených objemů a zatopených ploch

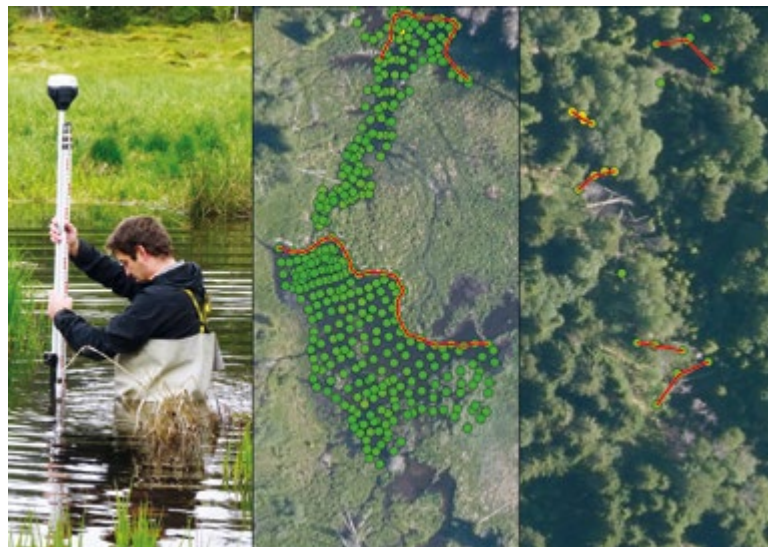
Objem vody zadržený skutečnými hrázemi v experimentálních lokalitách a zatopená plocha bobřích zdří byly určeny analýzou výstupů geodetického zaměření s využitím nástrojů GIS.

Zaměření

Geodetické měření bobřích hrází a zdří v povodí Křemelné proběhlo na jaře roku 2023, měření bobřích mokřadů na Železnorudsku, Úslavě a Volduškém potoce na jaře let 2024 a 2025. Geodetické měření bylo provedeno pomocí tří přesných GPS zařízení. Na všech lokalitách byly využity GPS Emlid Reach RS+ a Emlid Reach RS2, v povodí Křemelné byl navíc použit přístroj GPS CHC X91.

V povodí Křemelné bylo zaměřeno celkem 89 bobřích hrází a jejich zátop. U převážné většiny hrází byla trojbodově zaměřena hráz (levé zavázání, pravé zavázání, střed koruny), dále bylo zaměřeno dno pod hrází, v zátopě nad hrází a kraj zátopy na přítoku. Několik hrází s komplikovaným tvarem zátopy nebo linií hráže bylo zaměřeno podrobněji, pro pět vybraných hrází byly detailně proměřeny i zdře včetně hloubek pro validaci GISové metody k určení zadržených objemů (obr. 6). Celkem bylo v povodí Křemelné zaměřeno 1 445 bodů.

Na 10 vybraných mokřadech na Železnorudsku, Volduškém potoce a na Úslavě bylo zaměřeno dohromady 61 bobřích hrází a jejich zátop (linie hrází, obvody zátop i hloubky vody ve zdřích). Na rozdíl od povodí Křemelné se díky morfologickým podmínkám jednalo většinou o větší zdře. Celkem bylo v těchto lokalitách zaměřeno 3 716 bodů.



Obr. 6. Zaměření bobřích zdří a hrází – vlevo: systém měření pomocí GPS a odečítání hloubky vody, uprostřed: podrobné zaměření zdře bobřích hrází, vpravo: zjednodušené zaměření bobřích hrází a kraje zátop

(foto: J. Uhlíková; podkladové mapy: Ortofoto České republiky, ČÚZK)

Fig. 6. Surveying of beaver ponds and dams – left: GPS-based surveying and water-depth measurement; centre: detailed survey of a beaver pond; right: simplified survey of beaver dams and inundation boundaries (photo: J. Uhlíková; basemap: Orthophoto of the Czech Republic, Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre; ČÚZK)

GIS nástroje

Na základě terénního GPS měření popsaného v předchozí kapitole byly pro stanovení objemu vody zadržené bobřími hrázemi aplikovány GIS analýzy ve dvou experimentálních lokalitách. Použité přístupy vycházejí ze společného principu kombinace přesných geodetických dat s digitálním modelem terénu (DMR), přičemž jejich konkrétní implementace byla přizpůsobena charakteru jednotlivých lokalit a dostupnosti dat.

Pro 89 hrází v povodí Křemelné zaměřených na jaře 2023 byla použita metoda určení objemu pomocí GIS založená na kombinaci linií bobřích hrází zaměřených pomocí přesné GPS a podrobného digitálního modelu terénu reprezentujícího stav před vznikem zdří. Linie hrází byly odvozeny z geodetického zaměření, použit byl přesný DMR s jemným prostorovým rozlišením, jenž zachycuje morfologii dna zdře (LIDAR DTM v rozlišení 50 × 50 cm z roku 2017, který byl pro NP Šumava zpracován německými partnery v rámci společného přeshraničního projektu).

Linie hrází byly v prostředí GIS převedeny do rastrové podoby a na jejich základě byla určena úroveň hladiny v jednotlivých zátopách jako nejvyšší hodnota úrovně terénu v rámci linie bobří hráže (pravidelně v levém nebo pravém zavázání hráže). Dále byl vymezen rozsah přispívajících povodí tak, aby jednotlivé zdře byly hodnoceny odděleně i v případě bezprostředně na sebe navazujících zdří v kaskádách. Rozsah jednotlivých zátop byl poté stanoven jako průnik přispívajících povodí a ploch s úrovní terénu pod stanovenou úrovní hladiny.

Samotný výpočet objemu spočíval v porovnání výšky hladiny s digitálním modelem terénu v rámci vymezené zátopy, z čehož byla odvozena prostorová distribuce hloubek. Celkový objem vody byl následně stanoven jako suma dílčích objemů odpovídajících jednotlivým prvkům rastru. Tento postup byl implementován formou skriptu v jazyce Python v prostředí ArcGIS Pro, což umožnilo efektivní zpracování většího množství hrází i generování doprovodných rastrových výstupů.

Metoda byla validována pomocí podrobného geodetického zaměření pěti hrází. U těchto hrází bylo provedeno podrobné proměření hloubek v zátopě

i detailní zaměření obvodu a koruny hráze, objem byl stanoven metodou Thiessenových polygonů a porovnán s hodnotou určenou na základě GIS analýzy hrázových linií a modelu terénu. Srovnání potvrdilo vhodnost užití této metody pro účely stanovení objemu povrchové vody zadržené bobřími hrázemi.

Pro vyhodnocení objemu, který zadrží 61 hrází v rámci bobřích mokřadů na Železnorudsku, Úslavě a na Voldušském potoce, byla metoda mírně upravena, a to ze dvou důvodů: bobří hráze v těchto lokalitách v některých případech vytvořily rozlehlé mokřady s více úrovněmi hladiny v mokřadní nivě, což původní metoda nebyla schopna reflektovat. Druhým důvodem bylo podrobnější zaměření obvodů zátop i hloubek vody ve zdržích a snaha o zahrnutí těchto hodnot do přesnějšího výpočtu. Pro optimální využití výstupů zaměření a zahrnutí proměnlivé úrovně hladiny byla aplikována modifikovaná metoda kombinující bodová měření hloubek s digitálním modelem terénu DMR 5G v rozlišení 1×1 m.

Z naměřených hloubek a odpovídajících výšek digitálního modelu terénu byla odvozena úroveň hladiny v jednotlivých bodech, jež byla následně interpolována do spojitého rastru úrovně hladiny. Porovnáním této hladiny s modelem terénu byla získána prostorová distribuce hloubek a následně i objem vody a zatopená plocha jednotlivých zdrží. Metoda tak zachovává vysokou přesnost v místech, kde jsou k dispozici přímá měření, a současně minimalizuje nejistoty spojené s řídkou pokrytí partiemi s obtížně přístupným terénem nebo příliš velkou hloubkou z hlediska zajištění bezpečí měřičského týmu.

Modelování potenciálního výskytu bobřích hrází

Na základě zahraničních modelů byl v prostředí ArcGIS Pro vytvořen model kapacity bobřích hrází přizpůsobený českým datovým zdrojům. Výstupem modelu je klasifikace dílčích úseků vodních toků podle potenciálního počtu bobřích hrází, jež na nich mohou vzniknout po osídlení bobry. Každému úseku je přiřazena příslušná kategorie spolu s odhadem minimálního a maximálního očekávaného počtu hrází.

Model kapacity bobřích hrází použitý pro povodí Chlístovického potoka vychází z britského modelu, který byl odvozen z amerického modelu BRAT (Beaver Restoration Assessment Tool). Tento americký model vytvořil vědecký

tým vedený Williamem W. Macfarlanem [26], následně byl opakovaně validován v několika lokalitách v Severní Americe [14, 31] a využit v řadě studií [27, 32, 33]. V evropských podmínkách byl model upraven týmem vedeným Hughem A. Grahamem z University of Exeter [24], přičemž z této úpravy vychází i model aplikovaný na povodí Chlístovického potoka.

Studie Graham et al. [24] představuje modely BFI (Beaver Foraging Index) a BDC (Beaver Dam Capacity), které byly vyvinuty, validovány a aplikovány na britských povodích Tay, Otter a Coombeshead. Model BFI klasifikuje dostupnost vegetace pro potravu a stavbu hrází ve dvou klíčových zónách: v bezprostřední blízkosti břehu (10 m) a v širším břehovém pásmu (40 m). Výstupy BFI jsou následně využity jako jeden ze vstupů pro model BDC, který dále analyzuje podélný sklon koryta a sílu vodního proudu (stream power) při nízkých (Q80% – 80% kvantil) i vysokých (Q2% – 2% kvantil) průtocích, čímž hodnotí schopnost bobrů hráze postavit a jejich potenciální odolnost vůči povodním. K integraci těchto proměnných model využívá systém fuzzy inference (FIS). Hlavním výstupem BDC je klasifikace úseků do kategorií teoretické maximální kapacity, jež jsou vyjádřeny prostřednictvím intervalů počtu hrází na kilometr vodního toku.

Validaci Graham et al. [24] provedli porovnáním predikcí s daty z terénního průzkumu zahrnujícího 258 km vodních toků a 89 identifikovaných bobřích hrází.

Model použitý pro povodí Chlístovického potoka zachovává stejné parametry a principy fuzzy logiky jako britský model, liší se však ve vstupních datech, která byla v původní verzi částečně specifická pro území Velké Británie. Další úpravou je zavedení dvou limitních hodnot: maximální šířky vodního toku a minimálního průtoku Q80%. Podle Hartman et al. [34] bobří staví hráze téměř výhradně na vodních tocích užších než 6 m; v případě Chlístovického potoka se sice takto široké toky nevyskytují, omezení však slouží k vyloučení malých vodních nádrží. Druhou zavedenou limitní hodnotou byl minimální průtok, což reflektuje skutečnost, že bobří budují hráze pouze na vodních tocích s celoročním průtokem, zatímco občasné vodoteče vhodné nejsou. Úseky vodních toků, které některou z limitních hodnot nesplňovaly, byly v modelu automaticky klasifikovány jako „none“ (žádné), tedy s nulovou kapacitou pro výstavbu bobřích hrází. Jednotlivé parametry a použitá vstupní data jsou shrnuty v *tab. 1*.

Aplikací modelu kapacity bobřích hrází byly jednotlivé úseky vodních toků v povodí Chlístovického potoka rozděleny do čtyř kategorií podle potenciální

Tab. 1. Vstupní parametry modelu kapacity bobřích hrází

Tab. 1. Input parameters for the beaver dam capacity model

Parametr	Vstupní data	Způsob odvození / Poznámka
Síť vodních toků	Jemné vodní toky – DIBAVOD	Vodní toky byly přijaty z databáze DIBAVOD, úseky delší než 100 m byly dále děleny na poloviny, dokud všechny dílčí úseky nebyly kratší než 100 m.
Sklon vodního toku	DMR 5G	Odvození zonální statistikou modelu terénu pro každý dílčí úsek vodního toku.
Síla vodního proudu Q2% a Q80%	DMR 5G, Denní data limnigrafických stanic ČHMÚ	Síla vodního proudu pro nízký průtok Q80% a vysoký průtok Q2% byla odvozena na základě sklonu terénu a odhadovaných průtoků Q80% a Q2%. Odhad průtoků byl stanoven analýzou řad denních průtoků ČHMÚ, kdy pro 7 stanic v regionu s plochou povodí do 100 km ² byly určeny hodnoty Q2% a Q80% a pro Q2% i Q80% pak byly definovány regionální regresní rovnice v závislosti na ploše povodí. Pro každý úsek vodního toku byla odvozena plocha zdrojového povodí a aplikací regresních rovnic pak byly stanoveny odhady průtoků Q2% a Q80%.
Vegetace	Copernicus Tree Cover Density	Na základě TCD byla určena průměrná hustota stromového porostu pro přímé okolí vodního toku (do 10 m – pro stavbu hrází) a pro blízké okolí vodního toku (do 40 m – pro potravu), ta byla dále klasifikována do kategorií dle Graham et al. [24]. TCD sice nereflkuje druhovou skladbu porostu, což u jehličnatých lesů může vést k zavádějícím výsledkům, pro povodí Chlístovického potoka s listnatými a smíšenými lesy je však tento dataset vhodný.
Šířka vodních toků	ZABAGED	U drobných toků byl přijat předpoklad, že jsou užší než 6 m. U širších toků a úseků protínajících vodní nádrže byla šířka určena GIS analýzou polygonové vrstvy vodních ploch.
Minimální průtok	Denní data limnigrafických stanic ČHMÚ	Limitní hodnota Q80% stanovená jako $10 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ byla porovnávána s hodnotami Q80% určenými v rámci výpočtu síly vodního proudu (viz výše).

četnosti bobřích hrází v případě kolonizace povodí bobrem. Každá kategorie představuje rozsah maximální a minimální četnosti bobřích hrází na kilometr, kterou je možné očekávat při kolonizaci vodního toku bobrem. Výstupem modelu je tedy následná kategorizace a rozmezí předpokládaného počtu bobřích hrází převzaté ze studií Graham et al. [24] a MacFarlane et al. [26]:

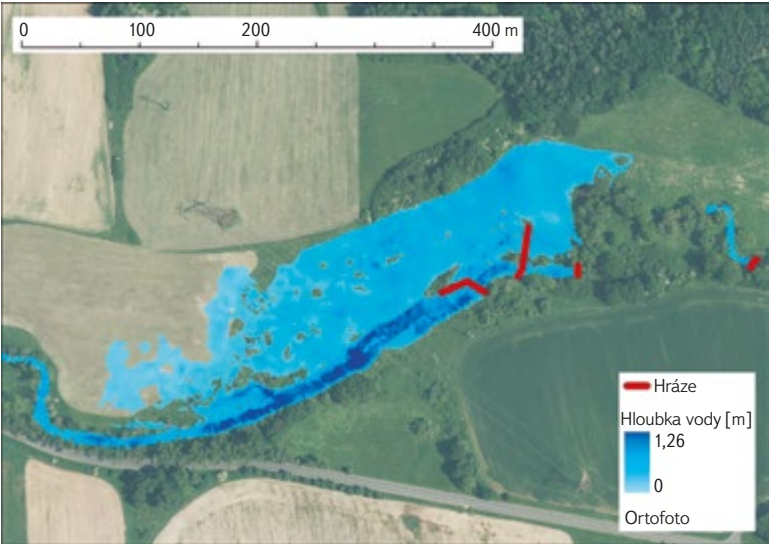
- Frequent – časté – kapacita 5 až 15 bobřích hrází na kilometr toku;
- Occasional – občasné – kapacita 1 až 4 bobřích hrází na kilometr toku;
- Rare – vzácné – kapacita 0 až 1 bobřích hrází na kilometr toku;
- None – žádné – kapacita 0 bobřích hrází na kilometr toku.

VÝSLEDKY

Skutečný objem zadržený bobřími hrázemi v experimentálních lokalitách

Celkem 150 bobřích hrází v experimentálních lokalitách zadržuje 31 321 m³ vody. Soubor měření objemů povrchové vody zadržené bobřími hrázemi vykazuje výrazně pravostranně asymetrické rozdělení s vysokou variabilitou hodnot. Průměrný objem činí 208,8 m³, medián 41,0 m³ a směrodatná odchylka dosahuje 681,5 m³, což dokládá značnou variabilitu velikosti bobřích zdrží. Zaznamenané objemy se pohybují v rozmezí od 0,02 do 6 583 m³. Vysoká hodnota šikmosti (6,83) a špičatosti (53,78) potvrzuje výraznou asymetrii rozdělení a přítomnost extrémních hodnot, zatímco test normality prokázal statisticky významnou odchylku od normálního rozdělení (p < 0,001).

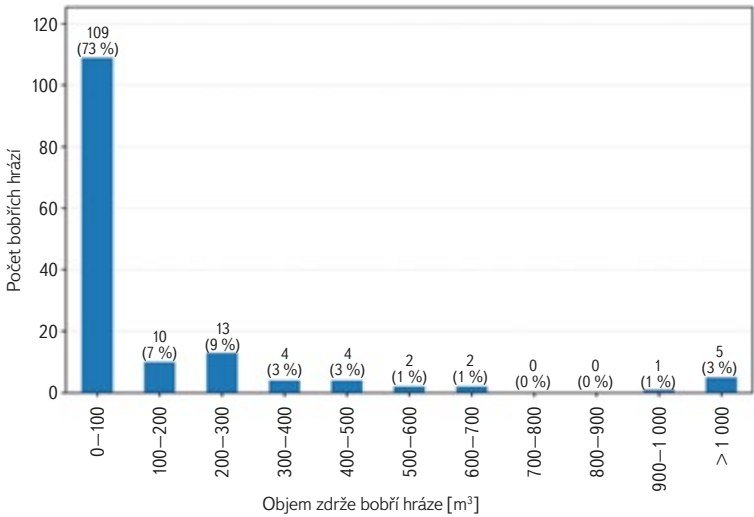
Největší zdrž je součástí bobřího mokřadu na řece Úslavě a zadržuje 6 583 m³ vody. Celý tento mokřad, tvořený čtyřmi hrázemi, akumuluje celkem 9 991 m³ vody. Rozložení hloubek v tomto mokřadu je znázorněno na obr. 7.



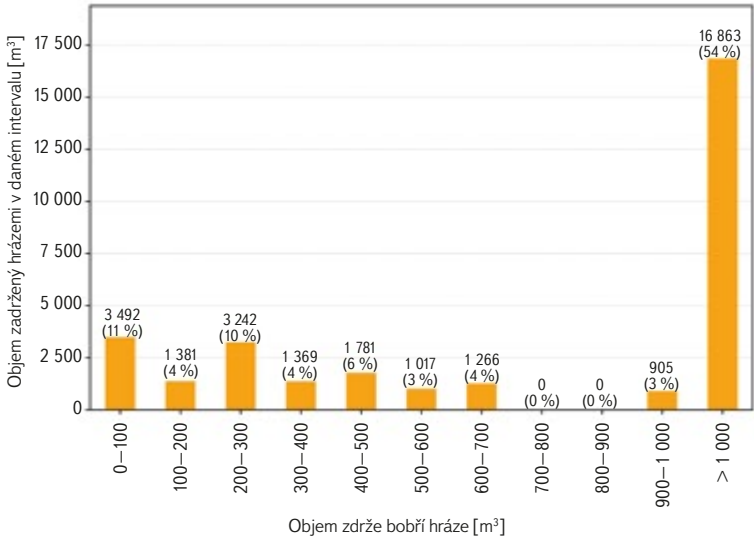
Obr. 7. Hloubky vody v bobřím mokřadu na řece Úslavě, který je tvořen čtyřmi hrázemi a přilehlými zdržemi (podkladové mapy: Ortofoto České republiky, ČÚZK)
Fig. 7. Water depths in a beaver wetland on the Úslava river formed by four dams and their associated beaver ponds (basemap: Orthophoto of the Czech Republic, Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre; ČÚZK)

Data ukazují, že většina bobřích hrází zadržuje relativně malé objemy vody, zatímco pouze malý počet lokalit akumuluje výrazně vyšší objemy a zásadně ovlivňuje celkovou distribuci dat.

Z obr. 8 a 9 je patrné, že pět největších zdrží, představujících 3 % z celkového počtu zdrží, akumulovalo 54 % celkového objemu vody. Naopak 80 % nejmenších zdrží s kapacitou do 200 m³ zadrželo pouze 15 % celkového objemu.



Obr. 8. Histogram objemů zadržených bobřími hrázemi v experimentálních lokalitách
Fig. 8. Water volumes retained by beaver dams at the experimental sites



Obr. 9. Podíl zdrží různých velikostí na celkovém zadrženém objemu
Fig. 9. Contribution of different pond size classes to the total retained volume

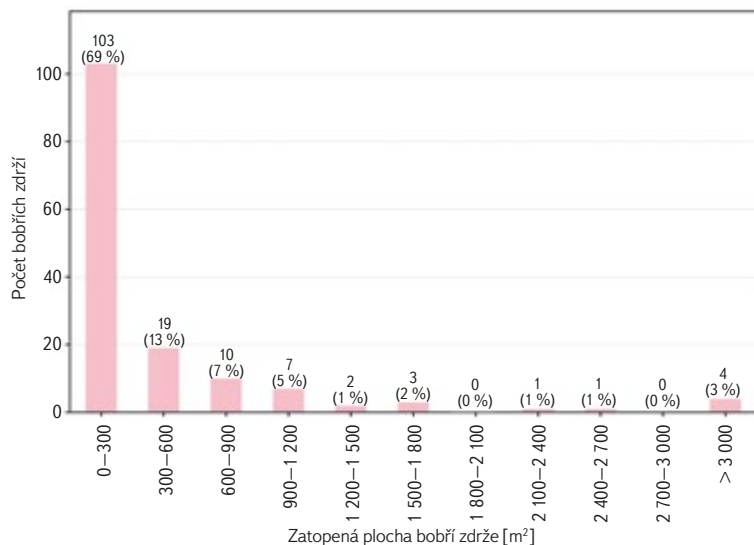
Tento trend je zesílen zahrnutím několika rozlehlých bobřích mokřadů, především mokřadu na řece Úslavě. Výrazný však zůstává i při zúžení souboru dat pouze na povodí Křemelné, tedy geograficky a hydrologicky ucelené území, kde byly stanoveny objemy zadržené všemi známými bobřími hrázemi. Také zde vykazuje soubor 89 hrází výrazně pravostranně asymetrické nenormální rozdělení. Průměrný objem činí 139,2 m³, medián 33,9 m³ a směrodatná odchylka 404,9 m³. Hodnoty šikmosti (6,14) a špičatosti (41,27) opět potvrzují vysokou asymetrii dat a vliv několika extrémních hodnot.

V povodí Křemelné představuje největší zdrž 26 % celkového zadrženého objemu, konkrétně 3 274 m³ z celkových 12 389 m³. Deset procent největších hrází zde zadrží přibližně dvě třetiny celkového objemu vody. V průměru zadrží bobřích hrází v povodí Křemelné 73,3 m³ na kilometr čtvereční plochy.

Výsledky ukazují, že naprostá většina hrází v experimentálních lokalitách zadržuje pouze malé objemy vody – 73 % hrází mělo objem 0–100 m³. Tyto objemy nejsou v celkovém měřítku zásadní. Rozhodující roli naopak představuje malé procento rozlehlých zdrží, které akumuluji tisíce metrů krychlových vody. Malé zdrže sice nehrají výraznou roli z pohledu celkového zadrženého objemu, mohou ale mít velký význam z hlediska biodiverzity a dalších výše uvedených souvisejících aspektů.

Zatopená plocha bobřích zdrží v experimentálních lokalitách

Celkem 150 bobřích hrází v experimentálních lokalitách vytváří zatopenou plochu o celkové výměře 98 586 m². Stejně jako v případě objemů zadržené vody vykazuje také soubor zatopených ploch bobřích zdrží výrazně pravostranně asymetrické rozdělení s převahou menších zdrží a malým počtem extrémně rozsáhlých zdrží. Průměrná zatopená plocha činí 657,2 m², zatímco medián dosahuje pouze 168,9 m², přičemž zaznamenané hodnoty se pohybovaly v rozmezí od 0,5 do 27 941 m². Výrazné hodnoty šikmosti (8,84) a špičatosti (85,73) potvrzují silný vliv extrémních hodnot na charakter rozdělení; ve srovnání s objemy zadržené vody vyšší hodnoty těchto charakteristik indikují ještě výraznější dominanci několika nejrozsáhlejších bobřích zdrží. Rozdělení zatopených ploch bobřích zdrží je dobře patrné z *obr. 10*.



Obr. 10. Histogram zatopených ploch bobřích zdrží v experimentálních lokalitách

Fig. 10. Inundated areas of beaver ponds at the experimental sites

Největší zatopená plocha byla zaznamenána u stejné zdrže na řece Úslavě, která zároveň představovala největší zdrž z hlediska objemu zadržené vody; dosáhla hodnoty 27 941 m². Celý tento bobří mokřad, tvořený čtyřmi bobřími hrázemi, dosahuje celkové zatopené plochy 41 740 m², což představuje více než 40 % celkové zatopené plochy ve sledovaném souboru (mokřad na řece Úslavě zachycený na *obr. 11*).

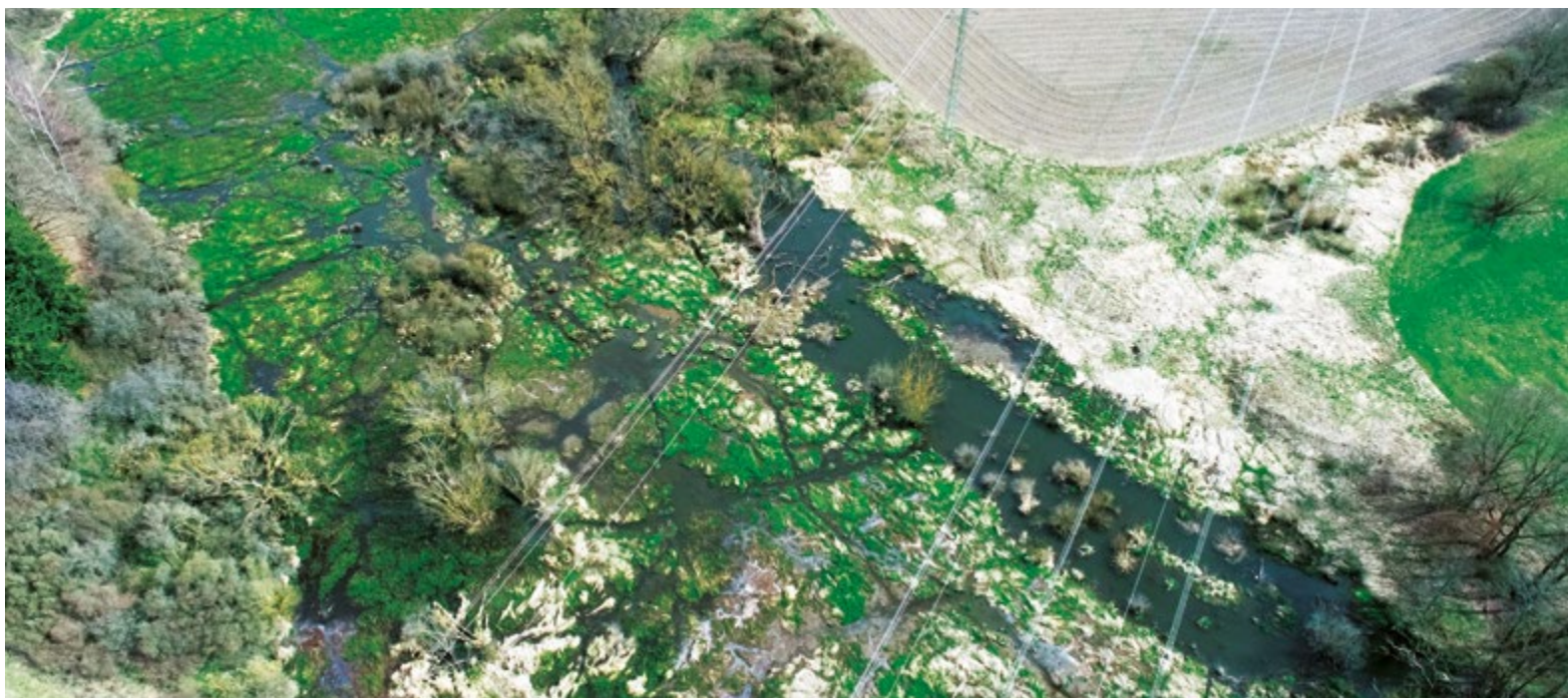
Výsledky ukazují, že stejně jako u objemů zadržené vody je i v případě zatopených ploch celková hodnota výrazně ovlivněna několika největšími zdržemi. Čtyři největší zdrže se zatopenou plochou nad 4 000 m², které představují pouze 2,7 % sledovaných lokalit, tvoří 53 % celkové zatopené plochy.

Tento trend zůstává patrný i po omezení souboru pouze na povodí Křemelné. Soubor 89 bobřích zdrží vykazuje stejně jako celkový soubor výrazně pravostranně asymetrické nenormální rozdělení. Ve srovnání s celkovým souborem jsou však hodnoty šikmosti (5,69) a špičatosti (39,40) nižší, což odráží absenci několika extrémně rozsáhlých lokalit, zejména bobřího mokřadu na řece Úslavě. Průměrná zatopená plocha činí 379,6 m², medián 137,8 m² a celková zatopená plocha všech sledovaných zdrží v povodí Křemelné dosahuje 33 785 m².

Největší zdrž v povodí Křemelné dosahuje zatopené plochy 6 639 m² a představuje přibližně 20 % celkové zatopené plochy bobřích zdrží v povodí. Devět největších zdrží, představujících 10 % lokalit v povodí Křemelné, tvoří 54 % celkové zatopené plochy. Obdobné procento přitom v celém souboru tvoří pouze čtyři nejrozsáhlejší zdrže. Průměrná zatopená plocha bobřích zdrží v povodí Křemelné odpovídá přibližně 200 m² na kilometr čtvereční plochy povodí.

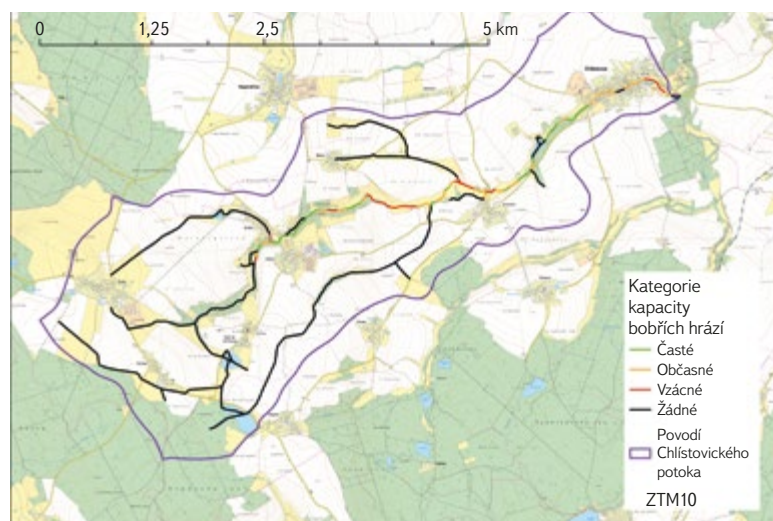
Modelování kapacity potenciálních bobřích hrází na vodních tocích v povodí Chlístovického potoka

Veškeré úseky vodních toků v povodí Chlístovického potoka byly klasifikovány do čtyř kategorií podle potenciální četnosti bobřích hrází na kilometr vodního toku. Výsledná klasifikace dílčích úseků vodních toků je znázorněna na *obr. 12*.



Obr. 11. Dronový snímek bobřího mokřadu na řece Úslavě, jehož plocha představuje více než 40 % celkové plochy všech 150 bobřích zdrží (foto: T. Laburda)

Fig. 11. Beaver wetland on the Úslava river, which accounts for more than 40 % of the total area of all 150 beaver ponds (photo: T. Laburda)



Obr. 12. Klasifikace vodních toků podle kapacity bobříh hrází v povodí Chlístovického potoka (podkladová mapa: Základní topografická mapa ČR, ČÚZK)

Fig. 12. Classification of watercourses according to beaver dam capacity in the Chlístovický potok catchment (basemap: Basic Topographic Map of the Czech Republic, Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre; ČÚZK)

Po rozdělení všech vodních toků v povodí (Chlístovický potok a všechny jeho přítoky) na úseky maximální délky 100 m bylo identifikováno 274 úseků vodních toků o celkové délce 23,1 km. Celkově bylo v povodí klasifikováno:

- 28 úseků vodních toků s charakteristikou **frequent – časté**, s celkovou délkou 2 200 m a kapacitou 11 až 33 bobříh hrází;
- 27 úseků vodních toků s charakteristikou **occasional – občasné**, s celkovou délkou 2 225 m a kapacitou 2 až 9 bobříh hrází;
- 17 úseků vodních toků s charakteristikou **rare – vzácné**, s celkovou délkou 1 540 m a kapacitou 0 až 2 bobříh hrází;
- Zbývajících 202 úseků vodních toků celkové délky 17,1 km bylo klasifikováno jako **none – žádné**. Tyto úseky nejsou pro bobří hráze vhodné.

Celkově bylo v povodí modelem definováno téměř 6 km vodních toků vhodných pro kolonizaci bobrem a stavbu bobříh hrází. Při plném osídlení povodí zde může bobr postavit 13 až 43 bobříh hrází.

Na základě našeho vyhodnocení objemů povrchové vody, jež zadrží 150 bobříh hrází v experimentálních lokalitách povodí Křemelné a mokřadů v Plzeňském kraji, lze odhadnout, kolik vody by zachytily případné bobří hráze v povodí Chlístovického potoka a jak velkou zatopenou plochu by tyto hráze mohly vytvořit. Je ale třeba zdůraznit, že uváděné hodnoty vycházejí z parametrů bobříh hrází v odlišném území, než ve kterých je objem odhadován.

Při uvažování mediánového zadrženého objemu zaokrouhleného na 40 m³ by 13 bobříh hrází zadrželo přibližně 520 m³ vody, zatímco 43 hrází by zadrželo 1 720 m³ vody. Při uvažování průměrného zadrženého objemu zaokrouhleného na 200 m³ a přijetí předpokladu, že v povodí vznikne několik větších bobříh zdrží, by 13 bobříh hrází zadrželo 2 600 m³ vody a 43 bobříh hrází by zadrželo dokonce 8 600 m³ vody.

Analogicky lze pro zatopenou plochu při uvažování mediánové hodnoty z povodí Křemelné a 10 mokřadů v Plzeňském kraji odhadnout, že 13 až 43 bobříh zdrží v povodí Chlístovického potoka by vytvořilo zatopenou plochu o celkové výměře přibližně 2 200–7 200 m². Při předpokladu vzniku několika větších zdrží a využití průměrné zatopené plochy by celková plocha mohla dosáhnout celkové výměry 8 500–28 000 m².

Velké rozsahy limitních hodnot očekávaných objemů jsou způsobeny charakterem použitého modelu kapacity bobříh hrází, reflektují ale i různorodost a nepravidelnost, která je pro bobří zdrže charakteristická. Čísla mohou být pravděpodobně

zpřesněna geomorfologickou analýzou území, výsledek bobříh činnosti v dané lokalitě je ale vždy unikátní a nelze jej přesně předpovědět. Je tedy možné konstatovat, že kolonizace bobrem by v povodí Chlístovického potoka vedla ke vzniku nižších desítek bobříh hrází, které by vytvořily objem zadržené povrchové vody v řádu jednotek tisíc metrů krychlových a zatopily území v ploše jednotek tisíc až nižších desítek tisíc metrů čtverečních. Při ploše povodí 13,8 km² by to představovalo nižší stovky metrů krychlových a stovky až nižší tisíce metrů čtverečních na kilometr čtvereční plochy povodí.

DISKUZE

V České krajině jsme monitorovali objem povrchové vody, který zadrží bobří hráze. 150 zkoumaných hrází v Plzeňském kraji zadržovalo 31 321 m³ povrchové vody s průměrným objemem zdrže 208,8 m³ a mediánovým objemem zdrže 41,0 m³. Ve srovnání s publikovanými studiemi ze severoamerických lokalit vykazují bobří zdrže zjištěné v této práci výrazně nižší objemy, neboť pouze 3 % zkoumaných hrází zadržovalo více než 1 000 m³ vody a většina zdrží měla objem do 200 m³, zatímco v severoamerických studiích dosahují objemy zdrží zpravidla řádu jednotek tisíc metrů krychlových. Výrazně vyšší objemy uvádějí např. Burns a McDonnell [35], kteří kvantifikovali objem jedné bobří zdrže na 7 500 m³, nebo Westbrook et al. [20], kteří na rašelinisti Sibbald stanovili u čtyř zdrží celkový objem 18 992 m³. Beedle [18] při zaměření 44 hrází na Aljašce zjistil průměrný objem jedné zdrže 1 020 m³, přičemž hodnoty se pohybovaly od 10 do 11 400 m³. Přestože průměrné objemy byly vyšší než v našem souboru, charakter distribuce odpovídal našim výsledkům – zadržené objemy vykazovaly výraznou pravostrannou asymetrii s výskytem několika extrémně velkých zdrží. Naopak evropské studie poskytují s našimi výsledky srovnatelnější hodnoty. Puttock et al. [36] určili u 13 hrází v jihovýchodní Anglii celkový objem přibližně 1 000 m³ a Grygoruk et al. [21] odhadli v polském povodí Krzemianka retenční objem 15 000 m³ pro 22 hrází, přičemž po poklesu bobří aktivity a počtu hrází na 19 objem zdrží klesl na 7 000 m³. To také poukazuje na skutečnost, že zadržené objemy se v čase mění s tím, jak se vyvíjí stupeň rozvoje bobřího mokřadu, jak dlouho trvá osídlení a jak roste nebo naopak klesá aktivita bobrů v dané lokalitě.

Podobný charakter jako objemy zadržené vody vykazovaly také zatopené plochy bobříh zdrží. Celková plocha 98 586 m² při průměrné hodnotě 657 m² a mediánu 169 m² ukazuje, že většina bobříh zdrží vytváří jen relativně malou zatopenou plochu, zatímco několik rozsáhlých zdrží výrazně ovlivňuje celkovou bilanci. Tento efekt byl u zatopených ploch ještě výraznější než u objemů zadržené vody – čtyři největší zdrže představující 2,7 % všech lokalit tvořily více než polovinu celkové zatopené plochy.

Modelování v povodí Chlístovického potoka ukázalo, že by zde bobří mohli potenciálně vybudovat 13 až 43 hrází. Na základě objemů zjištěných v této studii v povodí Křemelné a na 10 dalších bobříh mokřadech v Plzeňském kraji lze odhadovat, že by tyto hráze mohly akumulovat přibližně 520–1 720 m³ vody při uvažování mediánového objemu zdrže, případně až 2 600–8 600 m³ při použití průměrných hodnot zahrnujících vznik několika větších zdrží. Tyto hodnoty představují pouze objem povrchové akumulované vody, zatímco významná část retence probíhá též v půdě. Dittbrenner et al. [37] a Hafen et al. [38] uvádějí, že pod povrchem je navíc akumulován 2 až 2,4násobek objemu povrchové vody zadrženého bobřími hrázemi. V případě Chlístovického potoka by tak mohlo dojít k navýšení zásob podzemní vody až o přibližně 20 000 m³.

Vedle samotného objemu zadržené vody by bobří hráze posílily ekologickou hodnotu území také rozšířením vodních ploch [22, 23]. Při využití hodnot zjištěných v této studii lze odhadovat celkovou zatopenou plochu bobříh zdrží v povodí Chlístovického potoka přibližně na 2 200–7 200 m² při mediánových hodnotách a až 8 500–28 000 m² při průměrných hodnotách s předpokladem vzniku několika větších zdrží.

Významný je také vliv bobříh hrází na transport sedimentu. Hráze zpomalují proudění a vytvářejí podmínky pro ukládání sedimentů, přičemž publikované

sedimentační rychlosti se výrazně liší podle charakteru lokality – od $0,4 \text{ cm} \cdot \text{rok}^{-1}$ dle Polvi et al. [12] v Rocky Mountains až po $28 \text{ cm} \cdot \text{rok}^{-1}$ v Montaně [39]. Při předpokládané celkové ploše zdrží v povodí Chlístovického potoka $2\,200\text{--}28\,000 \text{ m}^2$ by tak mohlo velmi orientačně docházet k ukládání desítek až – při extrémním scénáři – nižších tisíců metrů krychlových sedimentu ročně. Rozsah tohoto procesu je však silně závislý na charakteru povodí, produkci sedimentu i hydrologických podmínkách.

Přestože se tato studie zaměřila na kvantifikaci objemu povrchové vody zadržené bobřími hrázemi, retenční efekt představuje pouze jednu část jejich působení. Jak ukazují publikované studie, bobří činnost má významný vliv na řadu hydrologických a ekologických procesů, mezi něž patří např. renaturace vodních toků a niv, omezení účinků historických odvodňovacích systémů, zvýšení stanovištní pestrosti a množství říčního dřeva nebo podpora biodiverzity [6, 13–15, 17].

ZÁVĚR

Naše studie kvantifikovala objem povrchové vody zadržené 150 bobřími hrázemi v experimentálních lokalitách v české krajině a současně posoudila potenciál výskytu bobřích hrází v povodí Chlístovického potoka jakožto modelového povodí v běžně využívané středočeské zemědělské krajině.

Celkový objem povrchové vody zadržené bobřími hrázemi v experimentálních lokalitách přesáhl 31 tisíc m^3 . Distribuce objemů byla však velmi nerovnoměrná – zatímco medián činil $41,0 \text{ m}^3$, průměrná hodnota dosáhla $208,8 \text{ m}^3$. Více než polovinu celkového objemu vody (54 %) zadržovalo pouze pět největších zdrží, zatímco 80 % menších zdrží akumulovalo dohromady jen 15 % celkového objemu. V povodí Křemelné bobří hráze zadržely $73,3 \text{ m}^3$ povrchové vody na kilometr čtvereční.

Srovnání se zahraničními studiemi ukázalo, že objemy bobřích zdrží jsou v českých podmínkách obecně nižší než v severoamerických lokalitách, charakter jejich distribuce je však obdobný. Toto srovnání naznačuje, že retenční schopnost bobřích hrází závisí nejen na geomorfologických a hydrologických podmínkách lokality, ale také na dalších faktorech, jako je délka bobřího osídlení nebo to, kolik prostoru člověk bobřům v krajině poskytne.

Obdobně jako objemy zadržené vody vykazovaly i zatopené plochy bobřích zdrží výrazně nerovnoměrné rozdělení. Celková zatopená plocha přesáhla 98 tisíc m^2 , z této hodnoty však 53 % připadalo pouze na čtyři největší zdrže. Mediánová zatopená plocha činila jen $168,9 \text{ m}^2$ oproti průměrné hodnotě $657,2 \text{ m}^2$, což stejně jako u objemů zadržené vody ukazuje na vysokou heterogenitu bobřích zdrží podmíněnou především rozdílnými lokálními podmínkami.

Modelování potenciální kolonizace povodí Chlístovického potoka ukázalo, že na ploše $13,8 \text{ km}^2$ se nachází přibližně 6 km vodních toků vhodných pro stavbu bobřích hrází. Při plném osídlení by zde mohlo vzniknout 13 až 43 bobřích hrází. S ohledem na objemy stanovené v experimentálních lokalitách lze očekávat akumulaci stovek až jednotek tisíc m^3 povrchové vody. Na základě dostupných poznatků se dá předpokládat, že celkový retenční efekt může být vyšší také díky akumulaci podzemní vody, jež představuje důležitou součást retence vody v bobřích mokřadech. Z hlediska zatopených ploch bobřích zdrží je možné navíc odhadnout, že bobří hráze by zatopily plochu o rozloze v řádu tisíců až nižších desetitisíců m^2 , a posílily tak ekologickou hodnotu území. Kromě toho jsou bobřím hrázím připisovány i další přínosy, zejména ukládání sedimentu, podpora mokřadních biotopů, stabilizace odtokových poměrů a zvýšení ekologické stability krajiny.

Výsledky studie potvrzují význam role bobra evropského jako ekosystémového inženýra schopného lokálně výrazně ovlivňovat hydrologický režim krajiny. Přestože většina jednotlivých hrází zadržuje relativně malé objemy vody, soustava více hrází a vznik rozsáhlejších mokřadů mohou představovat významný prvek přírodě blízké retence vody v krajině. Stejně jako u jiných přírodě blízkých opatření v boji proti dopadům klimatické změny platí, že v některých dílčích funkcích nedosahují takové účinnosti jako cílená technická opatření – několik menších

vodních nádrží může akumulovat větší objem vody než výrazně vyšší počet bobřích hrází. Současně je ale z odborné literatury dobře známo, že stavbou hrází bobří přinášejí také široké spektrum dalších pozitivních efektů přispívajících k hydrologické i ekologické stabilizaci krajiny, jejíž jsou přirozenou součástí a do níž historicky patří. Proto je důležité, aby v krajině dostali odpovídající prostor.

Poděkování

Výzkum prezentovaný v této studii byl realizován za přispění projektu Technologické agentury ČR č. S502030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda)“, č. SGS26/149/OHK1/3T/11 „Dlouhodobý monitoring a experimentální metody výzkumu srážkoodtokových a erozních procesů“ a dále zakázek Agentury ochrany přírody a krajiny ČR „Vliv bobrů na ekosystémy říční krajiny“ a Národního parku Šumava „Terénní měření a mapování bobřích hrází v povodí Křemelné“. Děkujeme tímto uvedeným institucím i odpovědným osobám za podporu a umožnění realizace výzkumu. Poděkování dále patří Matouši Oukropcovi, Oldřichu Vojtěchovi, Micol Genazzi, Michalu Vránovi a Tomáši Laburdovi za pomoc při terénních měřeních a poslednímu jmenovanému rovněž za poskytnutí dronových snímků bobřích mokřadů.

Literatura

- [1] HALLEY, D. J., ROSELL, F. The Beaver's Reconquest of Eurasia: Status, Population Development and Management of a Conservation Success. *Mammal Review*. 2002, 32(3), s. 153–178. ISSN 03051838. Dostupné z: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2907.2002.00106.x>
- [2] HALLEY, D. J., Saveljev, A. P., ROSELL, F. Population and Distribution of Beavers *Castor Fiber* and *Castor Canadensis* in Eurasia. *Mammal Review* [on-line]. 2021, 51(1), s. 1–24. ISSN 13652907. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/mam.12216>
- [3] VOREL, A., ŠAFÁŘ, J., ŠIMŮNKOVÁ, K. Recentní rozšíření bobra evropského (*Castor fiber*) v České republice v letech 2002–2012 (*Rodentia: Castoridae*). *Lynx, Series Nova*. 2012, 43(1–2), s. 149–179. Dostupné z: <https://publikace.nm.cz/periodicke-publikace/Insr/43-1-2/recentni-rozsireni-bobra-evropskeho-castor-fiber-v-ceske-republice-v-letech-20022012-rodentia-castoridae-recent-expansion-of-castor-fiber-in-the-czech-republic-during-20022012-rodentia-castoridae>
- [4] VOREL, A., KORBEOVÁ, J. (eds.). *Handbook for Coexisting with Beavers*. Prague: Czech University of Life Sciences, 2016. 137 s. ISBN 978-80-213-2672-9.
- [5] VOREL, A., KORBEOVÁ, J. Rozšíření a početnost bobra evropského v ČR. 2020. Dostupné z: <https://www.zachranneprogramy.cz/bobr-evropsky/rozsireni/>
- [6] JUST, T., BEJČKOVÁ, K., BRANWEN HELEBRANDOVÁ, J., DAJČ, L., FISCHER, D., FIŠER, B., HAVLÁT, A., HLAVÁČ, V., HRŮZOVÁ, L., CHLAPEK, J., KNEBLOVÁ, I., KOLÁŘ, V., KOŽENÝ, P., KRÁLOVCOVÁ, P., LUKAVSKÝ, J., MORAVEC, P., POJER, F., SOUČEK, M., SOVÍK, Z., STODOLA, J., ŠENIGL, F., ŠREJBEROVÁ, J., ŠTÁSTNÝ, V., TRÁVNÍČEK, D., UHLÍKOVÁ, J., VLČEK, J., VOGELTANZ, L., VRÁNA, P. *Renaturace vodních toků a tvorba mokřadů činností bobra evropského*. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2024. 171 s. ISBN 978-80-7620-176-7.
- [7] WRIGHT, J. P., JONES, C. G., FLECKER, A. S. An Ecosystem Engineer, the Beaver, Increases Species Richness at the Landscape Scale. *Oecologia*. 2002, 132(1), s. 96–101. ISSN 00298549. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00442-002-0929-1>
- [8] BRAZIER, R. E., PUTTOCK, A., GRAHAM, H. A., AUSTER, R. E., DAVIES, K. H., BROWN, CH. M. L. Beaver: Nature's Ecosystem Engineers. *WIREs Water*. 2021, 8(1), e1494. ISSN 20491948. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/wat2.1494>
- [9] COLLEN, P., GIBSON, R. J. The General Ecology of Beavers (*Castor* spp.), as Related to Their Influence on Stream Ecosystems and Riparian Habitats, and the Subsequent Effects on Fish – A Review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 2000, 10, s. 439–461. Dostupné z: <https://doi.org/10.1023/A:1012262217012>
- [10] BUTLER, D. R., MALANSON, G. P. The Geomorphic Influences of Beaver Dams and Failures of Beaver Dams. *Geomorphology*. 2005, 71(1–2), s. 48–60 [citováno 2024-02-20]. ISSN 0169-555X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2004.08.016>
- [11] HOOD, G. A., BAYLEY, S. E. Beaver (*Castor canadensis*) Mitigate the Effects of Climate on the Area of Open Water in Boreal Wetlands in Western Canada. *Biological Conservation*. 2008, 141(2), s. 556–567. ISSN 00063207. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.12.003>
- [12] POLVI, L. E., WOHL, E. The Beaver Meadow Complex Revisited – The Role of Beavers in Post-Glacial Floodplain Development. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2011, 37(3), s. 332–346. ISSN 01979337. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/esp.2261>
- [13] LARSEN, A., LARSEN, J. R., LANE, S. N. Dam Builders and Their Works: Beaver Influences on the Structure and Function of River Corridor Hydrology, Geomorphology, Biogeochemistry and Ecosystems. *Earth-Science Reviews*. 2021, 218, 103623 [citováno 2025-01-13]. ISSN 0012-8252. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2021.103623>

[14] SCAMARDO, J. E. *Rivers and Beaver-Related Restoration in Colorado. Thesis*. Fort Collins: Colorado State University, 2019. Dostupné z: <https://doi.org/10.25675/3.020881>

[15] LAMSODIS, R. Attempt to Manage After-Effects of Beaver Impounding Activities in Drainage Systems: One Trial Assay. *Irrigation and Drainage*. 2011, 60(2), s. 207–215. ISSN 15310353. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ird.566>

[16] ROMANSIC, J. M., NELSON, N. L., MOFFETT, K. B., PIOVIA-SCOTT, J. Beaver Dams Are Associated with Enhanced Amphibian Diversity Via Lengthened Hydroperiods and Increased Representation of Slow-Developing Species. *Freshwater Biology*. 2020, 66(3), s. 481–494. ISSN 13652427. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/fwb.13654>

[17] THOMPSON, S., VEHKAJOJA, M., NUMMI, P. Beaver-Created Deadwood Dynamics in the Boreal Forest. *Forest Ecology and Management*. 2016, 360, s. 1–8 [citováno 2026-08-05]. ISSN 0378-1127. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2015.10.019>

[18] BEEDLE, D. *Physical Dimensions and Hydrologic Effects of Beaver Ponds on Kuiu Island in Southeast Alaska. A Thesis*. Corvallis, OR: Oregon State University, 1991. 94 s. Dostupné z: <https://www.seakfhp.org/wp-content/uploads/2015/04/Beedle-1991.pdf>

[19] KARRAN, D. J., WESTBROOK, CH. J., WHEATON, J. M., JOHNSTON, C. A., BEDARD-HAUGHN, A. Rapid Surface-Water Volume Estimations in Beaver Ponds. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2017, 21(2), s. 1 039–1 050. ISSN 16077938. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/hess-21-1039-2017>

[20] WESTBROOK, CH. J., RONNQUIST, A., BEDARD-HAUGHN, A. Hydrological Functioning of a Beaver Dam Sequence and Regional Dam Persistence during an Extreme Rainstorm. *Hydrological Processes*. 2020, 34(18), s. 3 726–3 737. ISSN 10991085. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/hyp.13828>

[21] GRYGORUK, M., NOWAK, M. Spatial and Temporal Variability of Channel Retention in a Lowland Temperate Forest Stream Settled by European Beaver (*Castor fiber*). *Forests*. 2014, 5(9), s. 2 276–2 288. ISSN 19994907. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/f5092276>

[22] FEDYŇ, I., SOBOCIŇSKI, W., CZYŻOWICZ, S., WYKA, J., CIACH, M. Ecosystem Engineers Cause Biodiversity Spill-Over: Beavers Are Associated with Breeding Bird Assemblages on Both Wetlands and Adjacent Terrestrial Habitats. *Science of The Total Environment*. 2024, 950, 175166 [citováno 2026-08-06]. ISSN 0048-9697. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2024.175166>

[23] BASHINSKIY, I. W., ANDRIUSHKEVICH, E. N., KADETOV, N. G., OSIPOV, V. V. Ecosystem Engineering at the Regional Scale – Beaver Impact on Floodplain Pondscales. *Limnologica*. 2024, 109, 126214 [citováno 2026-08-06]. ISSN 0075-9511. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/J.LIMNO.2024.126214>

[24] GRAHAM, H. A., PUTTOCK, A., MACFARLANE, W. W., WHEATON, J. M., GILBERT, J. T., CAMPBELL-PALMER, R., ELLIOTT, M., GAYWOOD, M. J., ANDERSON, K., BRAZIER, R. E. Modelling Eurasian Beaver Foraging Habitat and Dam Suitability, for Predicting the Location and Number of Dams throughout Catchments in Great Britain. *European Journal of Wildlife Research*. 2020, 66, 42. ISSN 14390574. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10344-020-01379-w>

[25] GURNELL, A. M. The Hydrogeomorphological Effects of Beaver Dam-Building Activity. *Progress in Physical Geography*. 1998, 22(2), s. 167–189. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/030913339802200202>

[26] MACFARLANE, W. W., WHEATON, J. M., BOUWES, N., JENSEN, M. L., GILBERT, J. T., HOUGH-SNEE, N., SHIVIK, J. A. Modeling the Capacity of Riverscapes to Support Beaver Dams. *Geomorphology*. 2017, 277, s. 72–99 [citováno 2025-01-09]. ISSN 0169-555X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2015.11.019>

[27] MORAVEK, J. A., BRASHARES, J., GIROTTI, M., SPIVAK, R., KERR, A., MOLOD, A., FEIRER, S., JOHNSON, R., GETIRANA, A., FAIRFAX, E., RUHÍ, A. Maximizing the Potential Benefits of Beaver Restoration for Fire Resilience and Water Storage. *Ecological Applications*. 2025, 35(7), e70102. ISSN 19395582. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/eap.70102>

[28] NYSEN, J., PONTZEELE, J., BILLI, P. Effect of Beaver Dams on the Hydrology of Small Mountain Streams: Example from the Cheval in the Ourthe Orientale Basin, Ardennes, Belgium. *Journal of Hydrology*. 2011, 402(1–2), s. 92–102 [citováno 2024-02-20]. ISSN 0022-1694. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2011.03.008>

[29] DOSTÁL, T., VOREL, A., BAUER, M., DOČKAL, M., BABULJAK, A., VOJTĚCH, O., GENAZZI, M., OUKROPEC, M. *Terénní měření a mapování bobíků hrází v povodí Křemelne*. 2023.

[30] VOREL, A., DOSTÁL, T., BUDSKÁ, D., MACHÁČ, J. *Vliv bobrů na ekosystémy říční krajiny*. 2025.

[31] MACFARLANE, W. W., GILBERT, J., BAKER, D., GUNNELL, C., GILBERT, J., D'SOUZA, N., SARGEANT, P., SEEBORG, CH. *Montana Beaver Dam Census & Beaver Restoration Assessment Tool (BRAT) Verification Report Prepared for Montana Fish, Wildlife and Parks – Region 2 Riverscapes Assessment & Monitoring (RAM) Lab*. Logan, UT: Utah State University, 2024. 36 s. Dostupné z: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14951.05281>

[32] STOLL, N. L., WESTBROOK, CH. J. Beaver Dam Capacity of Canada's Boreal Plain in Response to Environmental Change. *Scientific Reports*. 2020, 10, 16800. ISSN 20452322. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73095-z>

[33] SCAMARDO, J. E., MARSHALL, S., WOHL, E. Estimating Widespread Beaver Dam Loss: Habitat Decline and Surface Storage Loss at a Regional Scale. *Ecosphere*. 2022, 13(3), e3962. ISSN 21508925. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ecs2.3962>

[34] HARTMAN, G., TÖRNLÖV, S. Influence of Watercourse Depth and Width on Dam-Building Behaviour by Eurasian Beaver (*Castor Fiber*). *Journal of Zoology*. 2006, 268(2), s. 127–131. ISSN 09528369. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2005.00025.x>

[35] BURNS, D. A., MCDONNELL, J. J. Effects of a Beaver Pond on Runoff Processes: Comparison of Two Headwater Catchments. *Journal of Hydrology*. 1998, 205(3–4), s. 248–264 [citováno 2024-02-20]. ISSN 0022-1694. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00081-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00081-X)

[36] PUTTOCK, A., GRAHAM, H. A., CUNLIFFE, A. M., ELLIOTT, M., BRAZIER, R. E. Eurasian Beaver Activity Increases Water Storage, Attenuates Flow and Mitigates Diffuse Pollution from Intensively-Managed

Grasslands. *Science of The Total Environment*. 2017, 576, s. 430–443 [citováno 2024-02-20]. ISSN 0048-9697. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2016.10.122>

[37] DITTBRENNER, B. J., SCHILLING, J. W., TORGERSEN, CH. E., LAWLER, J. J. Relocated Beaver Can Increase Water Storage and Decrease Stream Temperature in Headwater Streams. *Ecosphere*. 2022, 13(7), e4168. ISSN 21508925. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ecs2.4168>

[38] HAFEN, K. C., WHEATON, J. M., ROPER, B. B., BAILEY, P., MACFARLANE, W. W., NEILSON, B. T., TENNANT, C. J. Estimating Increased Transient Water Storage with Increases in Beaver Dam Activity. *Water (Switzerland)*. 2024, 16(11), 1515. ISSN 20734441. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/w16111515>

[39] BUTLER, D. R., MALANSON, G. P. Sedimentation Rates and Patterns in Beaver Ponds in a Mountain Environment. *Geomorphology*. 1995, 13(1–4), s. 255–269 [citováno 2024-02-20]. ISSN 0169-555X. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(95\)00031-Y](https://doi.org/10.1016/0169-555X(95)00031-Y)

Autoři

Ing. Adam Babuljak¹
✉ adam.babuljak@fsv.cvut.cz
ORCID: 0009-0008-8972-8693

Ing. Miroslav Bauer, Ph.D.¹
✉ miroslav.bauer@cvut.cz
ORCID: 0000-0001-5178-7497

Ing. Martin Dočkal, Ph.D.¹
✉ dockal@fsv.cvut.cz
ORCID: 0000-0002-1529-4908

Ing. Petr Koudelka, Ph.D.¹
✉ petr.koudelka@fsv.cvut.cz
ORCID: 0000-0001-6961-2249

RNDr. Jitka Uhlíková, Ph.D.³
✉ jitka.uhlikova@aopk.gov.cz
ORCID: 0009-0004-0546-2471

Ing. Jan Mokry⁴
✉ jan.mokry@npsumava.cz

Ing. Aleš Vorel, Ph.D.²
✉ vorel@fzp.czu.cz
ORCID: 0000-0002-5716-3711

prof. Dr. Ing. Tomáš Dostál¹
✉ dostal@fsv.cvut.cz
ORCID: 0000-0003-3984-3462

¹Katedra vodního hospodářství krajiny, Fakulta stavební ČVUT v Praze (Česká republika)
²Katedra ekologie, Fakulta životního prostředí ČZU v Praze (Česká republika)
³Oddělení druhové ochrany živočichů, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha (Česká republika)
⁴Oddělení zoologie, Odbor ochrany přírody, Národní park Šumava, Vimperk (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2026.07.003

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

RETENTION POTENTIAL OF BEAVER DAMS FOR SURFACE WATER STORAGE IN THE CZECH LANDSCAPE

BABULJAK, A.¹; BAUER, M.¹; DOČKAL, M.¹; KOUDELKA, P.¹; UHLÍKOVÁ, J.³; MOKRÝ, J.⁴; VOREL, A.²; DOSTÁL, T.¹

¹Department of Landscape Water Conservation, Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague (Czech Republic)

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

³Department of Species Protection, Nature Conservation Agency of the Czech Republic, Prague (Czech Republic)

⁴Department of Zoology, Nature Conservation Division, Šumava National Park, Vimperk (Czech Republic)

Keywords: Eurasian beaver — ecosystem engineer — water retention — beaver dam — hydrological regime — GIS analysis — beaver dam capacity modelling — wetlands — landscape management

The Eurasian beaver (*Castor fiber*) is an important ecosystem engineer that alters the hydrological regime of the landscape through its activities. The aim of this study was to quantify the volume of surface water stored by beaver dams in the Czech landscape and to estimate the potential water retention capacity of a selected catchment under the assumption of maximum potential beaver colonization. The main focus of the research was to determine the volume of surface water accumulated behind 150 beaver dams at sites in the Plzeň Region (in the Křemelná catchment and at ten other selected wetlands) and to determine the flooded area of associated beaver ponds. GIS analyses based on a combination of precise geodetic data and a digital terrain model were

used for the calculations. In parallel, a beaver dam capacity model based on fuzzy logic principles and parameters such as stream slope, channel width, flow intensity, and availability of riparian vegetation was applied to the Chlístovický potok catchment (4th-order stream, 13.8 km²). The aim was to estimate the realistic amount of water that could be retained by beaver dams in the study area under the assumption of full beaver colonization of the catchment.

Field measurements showed that the 150 surveyed beaver dams retain a total of 31,321 m³ of surface water, of which 89 beaver dams in the Křemelná catchment retain 12,389 m³ of surface water across an area of 169 km². The distribution of stored volumes exhibits pronounced right skewness (median 41.0 m³, mean 208.8 m³), confirming that the vast majority of beaver dams retain relatively small volumes, while a small number of large beaver ponds account for a substantial proportion of the total stored volume – the largest 3 % of beaver ponds account for 54 % of the total volume. A similar distribution pattern was observed for the beaver pond flooded area, with a total flooded area of 98,586 m². The median flooded area of an individual beaver pond was only 168.9 m², compared with a mean value of 657.2 m², and the four largest beaver ponds accounted for 53 % of the total flooded area. Modelling in the 13.8 km² Chlístovický potok catchment identified nearly 6 km of watercourses suitable for beaver colonization. Under full colonization, the model predicts the formation of 13 to 43 beaver dams. Based on the volumes measured at the experimental sites, surface water accumulation in the Chlístovický potok catchment can be expected to reach hundreds to several thousand cubic metres. A significant proportion of water retention, however, also occurs in the subsurface component, further increasing the overall hydrological contribution. An important ecological benefit could be the formation of beaver ponds with a total flooded area on the order of several thousand to tens of thousands of square metres, providing space for the development of wetland habitats. The study demonstrates that beaver dams represent an important component of nature-based water retention in the landscape; however, their importance extends far beyond surface water accumulation. Beaver dams also contribute to sediment deposition, stabilization of runoff patterns, and increased ecological stability of the landscape, and therefore it is desirable to provide them with adequate space within the landscape.



Digitální dvojče povodí: nástroj pro modelování adaptačních opatření na retenci vody v krajině zasažené změnou klimatu

JANA BERNSTEINOVÁ, EVŽEN ZEMAN, MAXIM BERNSTEIN, VÁCLAV RÁRA, MILAN FISCHER, PAVEL TACHECÍ, MIROSLAV TRNKA

Klíčová slova: digitální dvojče povodí — MIKE SHE — klimatická změna — adaptační opatření — vodní bilance — základní odtok

ABSTRAKT

Technologie zvaná digitální dvojče povodí (Digital Twin) představuje pokročilý nástroj pro posuzování vlivu komplexních adaptačních opatření na vodní bilanci v kontextu probíhající klimatické změny. Integrovaný, plně distribuovaný, fyzikálně založený modelovací systém MIKE SHE tvoří základ digitálního dvojčete navrženého pro detailní simulace hydrologického cyklu. Na příkladu povodí Dyje a pilotního povodí horní Svratky byla testována, navržena a kvantifikována specifická opatření pro podporu přirozené infiltrace a nadlepšení základního odtoku. Vliv klimatické změny byl hodnocen pomocí ansámblu 26 nezávislých klimatických scénářů vycházejících z globálních klimatických modelů (CMIP6) pro období 30 let okolo roku 2050 v porovnání s referenčním historickým obdobím 1981–2010. Výsledky simulací bez zavedených opatření predikují pokles středních a nízkých průtoků. Modelové testy prokázaly, že zavedení komplexního souboru opatření nazvaného „hydrologicky optimální zemědělství“, zahrnujícího úpravu hydropeologických vlastností půdy a změnu vegetačního krytu, sice nezvýší celkový objem odtoku, ale má prokazatelný potenciál zpomalit odtok z dotčených lokalit a nadlepit základní odtok. Vybudovaný simulační nástroj představuje podporu pro rozhodovací procesy v managementu povodí.

ÚVOD

Racionální hospodaření s vodními zdroji čelí v současnosti bezprecedentním výzvám plynoucím z probíhající změny klimatu a z ní pramenících rizik pro vodní bilanci. Pro zachování funkčních ekosystémů je v tomto kontextu nezbytné zaměřit se na komplexní podporu přirozené infiltrace prostřednictvím retence vody v krajině. Strategickým cílem moderních adaptačních opatření je především posílení základního odtoku, zajištění vyšší infiltrace do podzemních vod a transformace povodňových vln. Tyto kroky bezprostředně směřují ke zlepšení celkové zabezpečení zdrojů povrchových i podzemních vod. Spolehlivé hodnocení vlivu klimatické změny a návrh účinných adaptačních strategií se neobejde bez pokročilých simulačních nástrojů, zatížených uceleným ansámblem klimatických scénářů, které spolehlivě pokrývají interval prognostické nejistoty.

Pro řešení těchto komplexních interdisciplinárních otázek již tradiční statické modely nedostačují.

Inovativní odpovědí je budování technologie označované jako digitální dvojče (Digital Twin), původně vyvinuté pro průmyslové aplikace, která se

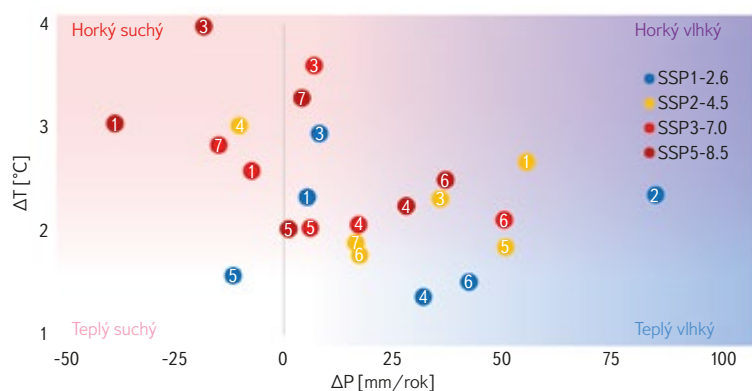
v posledních letech etabloje v environmentálních vědách [1]. Přestože přesná definice pojmu není jednotná [2], digitální dvojče ve vodním hospodářství a hydrologii představuje slibný nástroj pro integrovaný management povodí, predikci povodní či optimalizaci vodárenských soustav [3–5]. Definice se povětšinou shodují na tom, že jde o virtuální repliku fyzického prostředí, jež propojuje pokročilou analýzu dat s procesním modelováním a zahrnuje asimilaci měřených dat v reálném čase včetně obousměrné zpětnovazební interakce. Vývoj takto komplexního systému je postupný proces, avšak výpočetní architektura představovaného nástroje digitální dvojče povodí Dyje umožňuje chod v reálném čase pro řešení otázek v operativním provozu, jako je adaptivní řízení odběrů či varovný systém pro epizody sucha.

Cílem tohoto článku je představit jádrový prvek digitálního dvojčete povodí Dyje, pokročilý scénářový model vybudovaný pro kvantitativní a kvalitativní zhodnocení povodí s napjatou vodní bilancí. Hlavní výhodou fyzikálně založeného procesního modelu, který vyžaduje exaktní pochopení hydrologických procesů v krajině, je možnost virtuálně testovat plošné i liniové změny bez rizika negativních vlivů na reálné prostředí. Nástroj je založen na integrovaném hydrologickém modelovacím systému MIKE SHE a aplikován na případové studii povodí Dyje v regionálním měřítku a povodí horní Svratky v měřítku pilotním. Představený metodický postup dokládá připravenost nástroje k detailnímu posuzování vlivu komplexních adaptačních opatření na vodní bilanci, integruje ansámbl klimatických scénářů a vyhodnocuje možnosti zmírnění dopadů klimatické změny na základní odtok pomocí systémové adaptace krajiny.

METODIKA

Scénáře klimatické změny

Pro detailní posouzení vývoje hydrologické bilance v horizontu roku 2050 byly využity klimatické projekce z globálních cirkulačních modelů (GCM) generace CMIP6. Zvolený soubor dat pokrývá čtyři scénáře socioekonomického vývoje (Shared Socioeconomic Pathways, SSP): SSP1–2.6 (Udržitelný rozvoj), SSP2–4.5 (Střední cesta vývoje), SSP3–7.0 (Regionální rivalita) a SSP5–8.5 (Společnost založená na fosilních palivech). Z původní sady přibližně 30 modelů byla na základě validace pro území ČR [6] vybrána reprezentativní podmnožina sedmi nejlépe fungujících modelů zachycujících nejistotu celého souboru (CMCC-ESM2, EC-EARTH3, GFDL-ESM4, MPI-ESM1-2-HR, MRI-ESM2-0, CNRM-CM6-1-HR a TaiESM1).



Obr. 1. Rozdíly průměrných klimatických charakteristik 7 GCM a jejich vývoje v rámci 4 scénářů SSP v prognóze 2050 (2035–2064) od referenčních podmínek (1981–2010) byly agregovány v povodí řeky Dyje. Scénáře SSP jsou rozlišeny charakteristickými barvami [7]. Jednotlivé GCM využitě v této studii jsou očíslovány: (1) CMCC-ESM2, (2) CNRM-CM6-1-HR, (3) EC-EARTH3, (4) GFDL-ESM4, (5) MPI-ESM1-2-HR, (6) MRI-ESM2-0, a (7) TaiESM1. Fig. 1. Differences in the mean climatic characteristics of seven GCMs under four SSP scenarios for the 2050 projection period (2035–2064), relative to the reference period (1981–2010), aggregated for the Dyje River basin. SSP scenarios are distinguished by colour [7]. The GCMs used in this study are numbered as follows: (1) CMCC-ESM2, (2) CNRM-CM6-1-HR, (3) EC-EARTH3, (4) GFDL-ESM4, (5) MPI-ESM1-2-HR, (6) MRI-ESM2-0, and (7) TaiESM1.

Celkový predikční ansámbl tvořilo 26 nezávislých modelových běhů CMIP6 (obr. 1), hodnocených vůči referenčnímu stavu (klimatický normál 1981–2010) v horizontu roku 2050 (2035–2064).

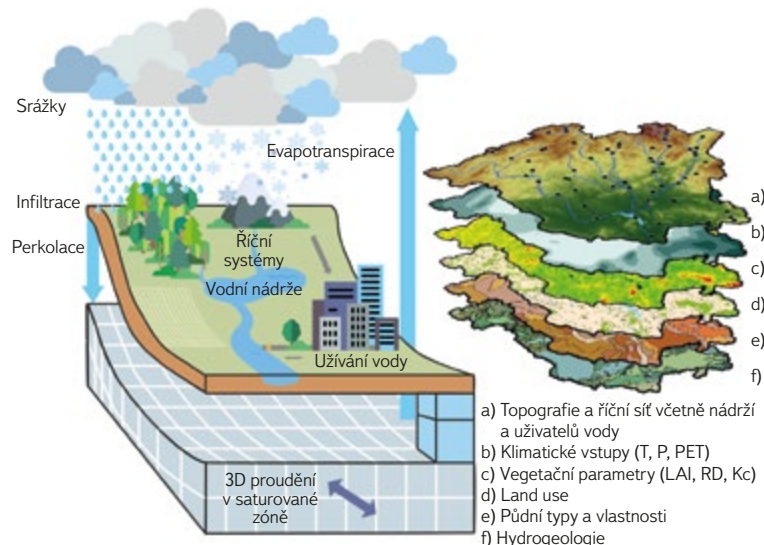
Ansámbl modelů vykazuje vysokou míru variability a absenci konzistentního prostorového vzorce vývoje srážek (a to i v rámci jednotlivých SSP scénářů). Ačkoli je scénář SSP1–2.6 obecně spojován s relativně mírnějším oteplením a menšími změnami srážkových režimů, zatímco SSP5–8.5 představuje velmi silné oteplení se zásadními změnami srážek, nelze napříč modely v jednotlivých SSP scénářích identifikovat žádný konzistentní prostorový vzorec vývoje. Variabilita mezi jednotlivými modely z hlediska dlouhodobých průměrů se navíc v jednotlivých dekádách budoucího období výrazně liší. Pro pochopení a objektivní spolehlivou kvantifikaci nejistoty spojené se změnou klimatu je tudíž nezbytné vždy vyhodnocovat celý klimatický predikční ansámbl namísto určování konkrétního středního scénáře.

Vzhledem k hrubému prostorovému rozlišení a systematickým chybám globálních modelů byly jejich výstupy transformovány metodou přímé modifikace (Advanced Delta Change, ADC) s využitím pozorovaných časových řad reprezentujících místně specifické klimatické podmínky referenčního období 1981–2010. Tento postup integruje do procesu transformace změny v průměrech i variabilitě, čímž zohledňuje odlišný posun extrémů oproti průměrům a kompenzuje systematické chyby srážkových simulací [8]. Průměrná denní teplota a srážkové úhrny vstoupily do modelovacího procesu přímo ve formě okrajových podmínek, zatímco referenční evapotranspirace (ET₀) byla vypočtena pomocí standardní rovnice Penman-Monteith.

Digitální dvojče povodí

Základem digitálního dvojčete povodí Dyje je plně distribuovaný a fyzikálně založený modelovací systém MIKE SHE (obr. 2), navržený k simulaci komplexních hydrologických procesů napříč vodohospodářskými segmenty [9, 10]. Prostorová diskretizace v regionálním měřítku využívá ortogonální síť s buňkou 500 × 500 m.

Výměna dat mezi moduly probíhá v denním kroku, simulační jádra však pracují s jemnějším časovým dělením dle své vnitřní dynamiky. Povrchový odtok je řešen dvoudimenzionální aproximací difuzní vlny, dynamicky provázanou



Obr. 2. Schéma modelového nástroje MIKE SHE s popisem jednotlivých zahrnutých procesů (vlevo) a nákresem prostorově distribuovaných vrstev vstupních parametrů (vpravo).

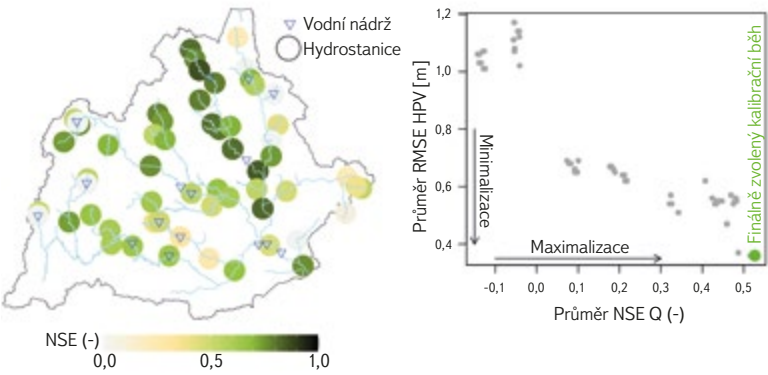
Fig. 2. MIKE SHE model structure, showing the processes represented in the model (left) and spatially distributed input-parameter layers (right).

s prouděním v korytech. Procesy v nenasycené zóně popisuje jednodimenzionální Richardsova rovnice (včetně vlivu makropórů), zatímco nasycená zóna se řídí trojrozměrnou aproximací Boussinesqovy rovnice. Toto těsné provázání umožňuje modelovat obousměrnou interakci mezi vzvodní a říční sítí (základní odtok, břehová infiltrace). Zahrnuta je rovněž evapotranspirace slučující výpar z intercepce, obnažené půdy a transpiraci. Vegetační parametry (např. index listové plochy) byly v denním kroku odvozeny ze satelitních dat senzoru MODIS na družici Terra [11]. Součástí modelu je i 17 vodních nádrží, jejichž plně dynamická simulace vychází z platných manipulačních řádů vodních děl. V neposlední řadě jsou zahrnuta data o užívání vody vycházející z historických záznamů registrů nakládání s vodami.

Spolehlivost nástroje se opírá o měřená data z 52 limnigrafických stanic. Model byl kalibrován na hydrologicky standardním období 2000–2010 a úspěšně validován na navazující dekádě 2011–2020 (zahrnující extrémní sucho z let 2015–2018), což potvrdilo jeho robustnost i v extrémních podmínkách. Kalibrace cílila na parametry s nejvyšší mírou nejistoty a citlivosti (transmisivita nasycené zóny, charakteristiky odtoku, vegetace a tání sněhu), půdní parametry byly nastaveny na základě vlastních měření hydrogeologických vlastností včetně laboratorního stanovení retenčních křivek z kopaných sond reprezentativních lokalit povodí Dyje. Shoda průtoků byla hodnocena Nash-Sutcliffe koeficientem (NSE), hladiny podzemní vody (HPV) na 70 vrtech střední kvadratickou chybou (RMSE). Finální běh (optimalizující NSE a RMSE; obr. 3) vykázal hodnotu NSE > 0,5 u 78 % stanic. Při kalibraci byl kladen důraz na shodu celého průběhu čar překročení, se zvláštním zřetelem na oblast nízkých průtoků. Nižší efektivita kalibrace v povodí Svitavy byla způsobena limity plošné schematizace velmi složitých hydrogeologických podmínek.

Konceptualizace adaptačních opatření

Návrh adaptačního opatření zahrnoval několik navazujících fází (obr. 4) a opírá se o oficiální metodiku [12]. Nejprve bylo zapotřebí definovat a konceptualizovat efekt adaptačního opatření ve fyzické realitě povodí a definovat, které procesy opatření přímo ovlivní. Dále bylo zapotřebí objektivně vytipovat místa pro cílení navrhovaného opatření. Dalším krokem byla takzvaná „translace“ fyzikálních účinků opatření do jazyka modelových parametrů systému MIKE SHE a zaručení funkčnosti



Obr. 3. Výsledky kalibrace průměrných denních průtoků v prostorovém pohledu (vlevo) a multikriteriální výběr finálního běhu na základě minimalizace hodnot RMSE simulovaných a pozorovaných hladin podzemní vody (HPV) a maximalizace hodnot NSE průměrných denních průtoků (vpravo)

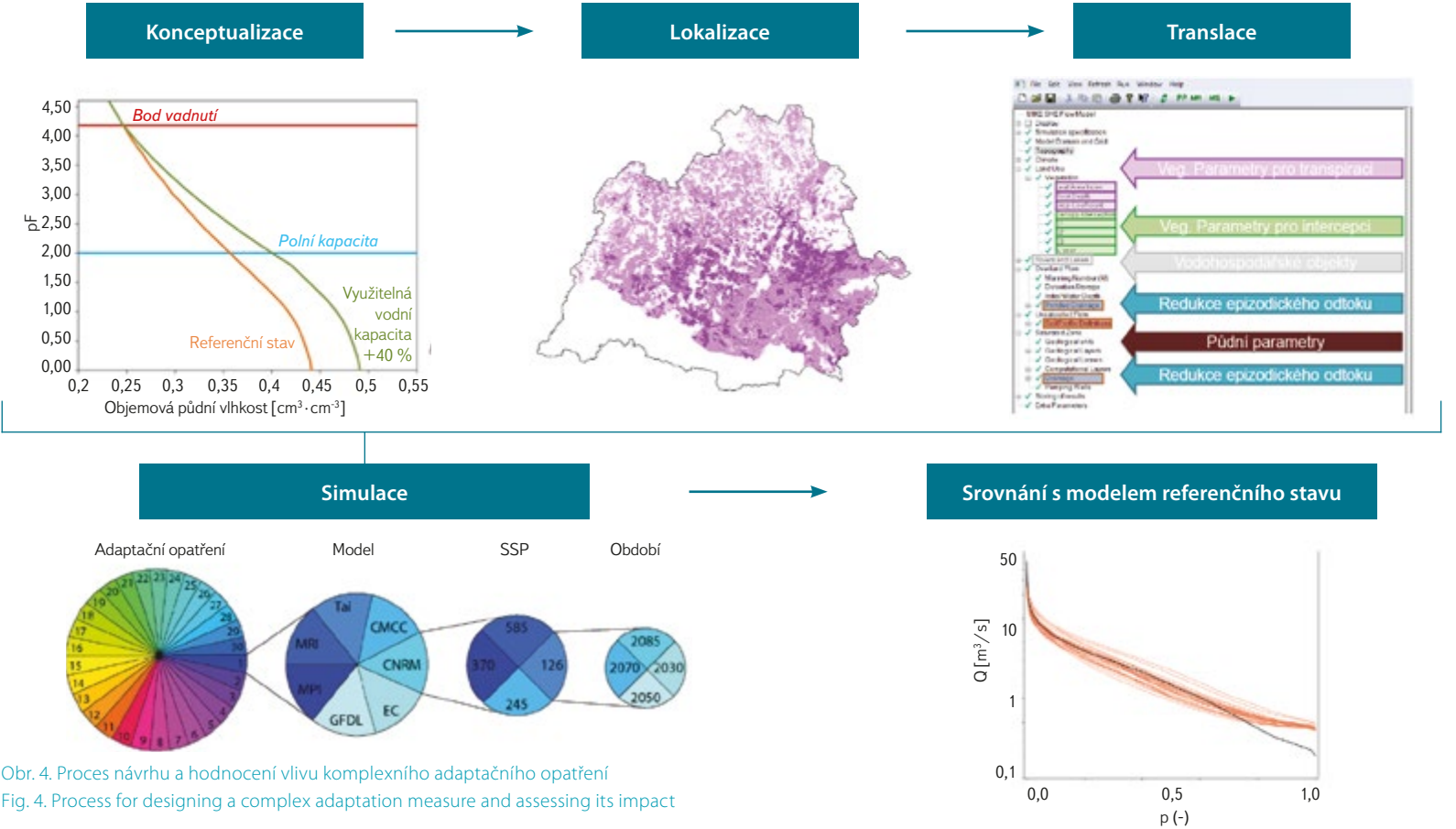
Fig. 3. Calibration results for mean daily discharge: spatial distribution of NSE values (left) and multicriteria selection of the final model run based on minimising RMSE for simulated and observed groundwater levels (GWL) and maximising NSE for mean daily discharge (right)

a logiky opatření z hlediska nelineárních zpětnovazebných vztahů parametrů ve čtyřrozměrném simulačním prostředí (3D prostor a čas) digitálního dvojčete. Tyto fáze bývají časově náročné a zahrnují iterativní proces testování vlivu navrženého opatření a sladění s očekáváním opřeným o expertní odhad, měřená data či literární rešerši. V další fázi je model se zahrnutím opatření zatížen 26 klimatickými scénáři a výsledky jednotlivých běhů jsou srovnány s modelem referenčního stavu a s výsledky budoucí prognózy bez zahrnutí adaptačních opatření.

Cílem opatření nazvaného „hydrologicky optimální zemědělství“ bylo posílit přirozenou infiltraci, retenci vody v půdě a základní odtok. Lokalizace vycházela z analýzy zranitelnosti ekosystémů, jež identifikovala největší riziko poklesu odtoků v oblastech vysočin [10]. Jelikož výsledky modelování prokázaly nízkou efektivitu izolovaných opatření (zvýšení retence půdy omezené vláhovým deficitem vedlo primárně k nárůstu evapotranspirace), byl navržen komplexní soubor opatření „hydrologicky optimální zemědělství“. Koncept hydrologicky optimálního zemědělství teoreticky reflektuje dostupné literární zdroje, odborné interdisciplinární odhady týmu CzechGlobe a integruje synergicky působící opatření, jakými jsou bezorebné hospodaření [13], aplikace biouhlu [14], plošné mulčování [15], celoroční pokrytí půdy meziplodinami [16] a cílená podpora půdní bioty k obnově makropórů [17] s úpravami melioračních soustav ke zpomalení epizodického odtoku [18]. Součástí návrhu je také upřednostnění plodin s nižšími transpiračními nároky [19]; v našich podmínkách může takovou plodinu představovat proso. Převod úprav do logiky simulačního nástroje zahrnoval definici nového tvaru půdních retenčních křivek, zvýšení nasycené hydraulické vodivosti a posílení vertikálního toku systémem makropórů. Zpomalení rychlého odtoku bylo modelováno navýšením Manningovy drsnosti a posílením toku makropórů. Změny vegetačního krytu se řešily modifikací indexu listové plochy (LAI) a hloubky kořenové zóny, čímž mohlo digitální dvojče exaktně simulovat hydrologickou odezvu povodí.

VÝSLEDKY

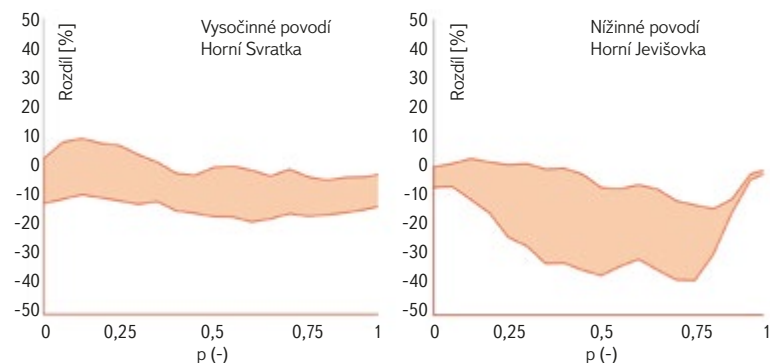
Výsledky modelování naznačují, že v horizontu roku 2050 lze na celém povodí řeky Dyje očekávat v důsledku klimatické změny pokles středních a nízkých průtoků oproti referenčnímu období. Komplexní pohled na budoucí vývoj poskytuje analýza čar překročení průměrných denních průtoků, hodnocená



Obr. 4. Proces návrhu a hodnocení vlivu komplexního adaptačního opatření

Fig. 4. Process for designing a complex adaptation measure and assessing its impact

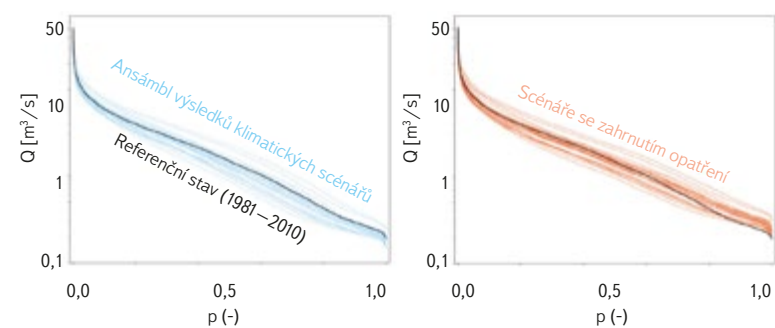
v intervalu percentilů P25 až P75 (obr. 5). V celém spektru průtoků je očekáván výrazný úbytek (až 20 % ve vysočinných oblastech a -40 % v nížinných oblastech), s výjimkou nejvyšších vodních stavů, kde optimistické klimatické scénáře (převážně SSP1-2.6) naopak modelují mírný nárůst. Variabilita poklesu průtoků je vyšší v nížinném povodí.



Obr. 5. Vliv klimatické změny v horizontu 2050 na čáry překročení průměrných denních průtoků se zahrnutím intervalu nejistoty (P25 až P75) klimatických scénářů ve vysočinném povodí (vlevo) a v nížinném povodí (vpravo)

Fig. 5. Effects of climate change by 2050 on flow duration curves for mean daily discharge, including the P25–P75 uncertainty interval of the climate scenarios, in the highland catchment (left) and lowland catchment (right)

Modelové testy potvrdily, že zvažovaná adaptační opatření mají relevantní efekt pouze při komplexní aplikaci (úprava hydropedologických vlastností, vhodná vegetace a hospodaření zamezující utužení a rychlému epizodickému odtoku). Přestože v horizontu 2050 komplexní zemědělská opatření nepřinesou celkové navýšení dlouhodobých průtoků Q_a (nezaručí větší absolutní objem odtoku vody z povodí v dlouhodobé bilanci), zlepšují distribuci vody v rámci hydrologických situací, vedou k zadržování vody v krajině a nadlepšují základní odtok o jednotky až desítky procent (obr. 6).



Obr. 6. Vliv klimatické změny na odtoky (čáry překročení průměrných denních průtoků) v horizontu 2050 na horním toku Svratky (4420 – Dalečín). Vlevo je prognóza přímého vlivu klimatické změny, vpravo je prognóza se zavedením komplexního adaptačního opatření „hydrologicky optimální zemědělství“. Čáry překročení vycházejí z modelovaných průtoků v denním kroku. Jednotlivé barevné linie představují 26 konkrétních modelových scénářů

Fig. 6. Effects of climate change by 2050 on flow duration curves for mean daily discharge in the upper Svratka catchment (station 4420 – Dalečín): direct effects of climate change (left) and effects following implementation of the complex adaptation measure “hydrologically optimal agriculture” (right). The curves are based on daily modelled discharge. Individual coloured lines represent the 26 model scenarios

DISKUZE

Hodnocení dopadů klimatické změny a návrh adaptačních strategií jsou neodmyslitelně spjatá s kaskádou nejistot. Ty pramení nejen ze samotných klimatických scénářů, ale rovněž z procesu modelování, kalibrace i z expertních odhadů při parametrizaci navrhovaných opatření [20]. Vzhledem k nezávislosti jednotlivých klimatických projekcí nelze jednoduše určit jeden univerzálně platný scénář. Pro spolehlivější zachycení budoucího vývoje je proto nezbytné pracovat s uceleným ansámblem vhodně vybraných klimatických modelů [7, 21]. Z toho důvodu je nutné výsledné predikce prezentovat nikoli jako izolované deterministické hodnoty, nýbrž v podobě pravděpodobnostního vývoje s jasně definovaným intervalem nejistoty. V kontextu této studie posuzující vliv navrženého opatření v celém povodí se naplno projevují benefity detailního fyzikálně založeného přístupu. Po nezbytném ověření správnosti modelového nastavení se opakovaně ukazuje, že nelineární podstata vzájemně propojených hydrologických procesů vyvrací zjednodušené hypotézy o chování povodí, a modelovaný vliv navržených opatření se tak liší od prvotních expertních očekávání. Jak upozorňují např. O’Connell et al. [22] nebo Collentine a Futter [23], prostorová redistribuce vody a nelineární interakce mezi retencí a evapotranspirací často generují neintuitivní výsledky, které lze exaktně postihnout pouze nástroji na bázi fyzikálních distribuovaných modelů. V případě použití jednodušších empirických či koncepčních modelů by právě tyto apriorní a zjednodušené předpoklady mohly představovat primární zdroj zásadního zkrácení výsledků. Plně distribuované fyzikální modely naopak umožňují tyto nelineární zpětnovazebné mechanismy exaktně postihnout, a snižují tak riziko nadhodnocení či podhodnocení celkového efektu opatření.

Plně distribuované modely rovněž umožňují exaktně kvantifikovat tzv. paradox zelené a modré vody. Rozšířený expertní předpoklad, že podpora vegetace a zvýšená infiltrace automaticky posilují základní odtok, se často ukazuje jako zavádějící. Jak dokládají Jackson et al. [24], hustší vegetační kryt zvyšuje celkovou evapotranspiraci. V podmínkách kulturní krajiny tak může být infiltrovaná voda buď zcela spotřebována plodinami s vysokými transpiračními nároky, nebo urychleně odvedena historickými systémy plošných meliorací. Synergie posílené evapotranspirace a funkčních mělkých drenáží pak může paradoxně vést k celkovému poklesu průtoků v říční síti (úbytku tzv. modré vody), čímž navržené retenční opatření ztratí svůj primární účel.

ZÁVĚR

Technologie digitálního dvojčete povodí (Digital Twin) představuje klíčový nástroj pro exaktní hodnocení dopadů klimatické změny a návrh adaptačních strategií. Aplikace plně distribuovaného fyzikálního modelu MIKE SHE na povodí Dyje a pilotní povodí horní Svratky potvrdila jeho schopnost detailně postihnout složité, nelineární hydrologické procesy v krajině. Vyhodnocení ansámblu 26 nezávislých klimatických scénářů ukázalo, že bez včasného zavedení opatření lze do roku 2050 očekávat významný pokles středních a nízkých průtoků. Ke spolehlivému zmírnění těchto negativních jevů nepostačují izolované zásahy, nýbrž je nutná implementace komplexního souboru opatření, např. ve formě hydrologicky optimálního zemědělství. Ačkoli tato plošná synergická úprava hydropedologických vlastností půdy a vegetačního krytu nezvyšuje absolutní objem dlouhodobého odtoku, zlepšuje distribuci vody v povodí a nadlepšuje základní odtok v obdobích sucha. Simulační nástroj exaktně kalibrováný za využití historických dat tak představuje robustní a plně operativní podporu pro strategické rozhodovací procesy v managementu povodí.

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory Technologické agentury České republiky (TA ČR) č. SŠ02030027 v rámci projektu „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda)“ a metodická část článku byla financována z programu Evropské unie pro výzkum a inovace Horizon Europe v rámci projektu „PHISHES“ (grantová dohoda č. 101157438) a projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum (NAZV) č. QL25020021 „Integrované strategie pro přehradní nádrže k udržení jakosti vody při klimatické změně“.

Literatura

[1] BAUER, P., STEVENS, B., HAZELEGER, W. A Digital Twin of Earth for the Green Transition. *Nature Climate Change*. 2021, 11, s. 80–83. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41558-021-00986-y>

[2] BROO, D. G., SCHOOLING, J. Digital Twins in Infrastructure: Definitions, Current Practices, Challenges and Strategies. *International Journal of Construction Management*. 2023. 23(7), s. 1 254–1 263. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/15623599.2021.1966980>

[3] VALVERDE-PÉREZ, B., JOHNSON, B., WÄRFF, CH., LUMLEY, D., TORFS, E., NOPENS, I., TOWNLEY, L. *Digital Water: Operational Digital Twins in the Urban Water Sector: Case Studies*. IWA Digital Water Programme White Paper Series. London: International Water Association (IWA), 2021. Dostupné z: <https://www.iwa-network.org/publications/operational-digital-twins-in-the-urban-water-sector-case-studies>

[4] MORLOT, M., RIGON, R., FORMETTA, G. Hydrological Digital Twin Model of a Large Anthropized Italian Alpine Catchment: The Adige River Basin. *Journal of Hydrology*. 2024, 629, 130587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130587>

[5] PAL, D., MARTTILA, H., ALA-AHO, P., LOTSARI, E., RONKANEN, A.-K., GONZALES-INCA, C. et al. Blueprint Conceptualization for a River Basin's Digital Twin. *Hydrology Research*. 2025, 56(3), s. 197–212. Dostupné z: <https://doi.org/10.2166/nh.2025.111>

[6] MEITNER, J., ŠTĚPÁNEK, P., SKALÁK, P., DUBROVSKÝ, M., LHOTKA, O., PENČEVOVÁ, R., ZAHRADNÍČEK, P., FARDA, A., TRNKA, M. Validation and Selection of a Representative Subset from the Ensemble of EURO-CORDEX EUR11 Regional Climate Model Outputs for the Czech Republic. *Atmosphere*. 2023, 14(9), 1442. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/atmos14091442>

[7] IPCC. Sections. In: LEE, H., ROMERO, J. (eds.). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC, 2023, s. 35–115. Dostupné z: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

[8] ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., FARDA, A., SKALÁK, P., TRNKA, M., MEITNER, J., RAJDL, K. Projection of Drought-Inducing Climate Conditions in the Czech Republic according to Euro-CORDEX Models. *Climate Research*. 2016, 70(2), s. 179–193.

[9] DHI. *MIKE SHE: Integrated Catchment Modeling [software]*. Verze 2021.1. Hørsholm, Dánsko: DHI A/S, 2021. Dostupné z: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-she>

[10] BERNSTEINOVÁ, J., FISCHER, M., TACHECÍ, P., ŠTĚPÁNEK, P., ZEMAN, E., RÁRA, V., BERNSTEIN, M., VIZINA, A., TRNKA, M. Rivers in Transition: 21st-Century Hydroclimate Projections for the Thaya River Basin, Central Europe. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2026, 65, 103375. ISSN 2214-5818. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2026.103375>

[11] MYNENI, R., KNYAZIKHIN, Y., PARK, T. *MOD15A2H MODIS/Terra Leaf Area Index/FPAR 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V061*. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2021. Dostupné z: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD15A2H.061>

[12] FISCHER, M., ZEMAN, E., BERNSTEINOVÁ, J., VIZINA, A., HANEL, M., TACHECÍ, P., BLÁHOVÁ, M., ŠTĚPÁNEK, P., PAVLÍK, P., MÁČA, P., GHISI, T., RAPANTOVÁ, N., JANÁL, P., TRNKA, M. *Metodika pro rychlé, komplexní, nezávislé rozhodování o potřebnosti, efektivitě a interakci adaptačních opatření v povodích v podmínkách změny klimatu. Certifikovaná metodika*. Brno: Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., 2023. ISBN 978-80-87902-38-7. Osvědčení MZE-65728/2023-15000 vydalo Ministerstvo zemědělství, Sekce vodního hospodářství, dne 20. 11. 2023.

[13] STRUDLEY, M. W., GREEN, T. R., ASCOUGH, J. C. II. Tillage Effects on Soil Hydraulic Properties in Space and Time: State of the Science. *Soil and Tillage Research*. 2008, 99(1), s. 4–48. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.01.007>

[14] BLANCO-CANQUI, H. Biochar and Soil Physical Properties. *Soil Science Society of America Journal*. 2017, 81(4), s. 687–711. Dostupné z: <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.01.0017>

[15] KADER, M. A., SENGE, M., MOJID, M. A., ITO, K. Recent Advances in Mulching Materials and Methods for Modifying Soil Environment. *Soil and Tillage Research*. 2017, 168, s. 155–166. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.01.001>

[16] BASCHE, A. D., DELONGE, M. S. Comparing Infiltration Rates in Soils Managed with Conventional and Alternative Farming Methods: A Meta-Analysis. *PLoS ONE*. 2019, 14(9), e0215702. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215702>

[17] BLOUIN, M., HODSON, M. E., DELGADO, E. A., BAKER, G., BRUSSAARD, L., BUTT, K. R., DAI, J., DENDOOVEN, L., PERES, G., TONDOH, J. E., CLUZEAU, D., BRUN, J.-J. A Review of Earthworm Impact on Soil Function and Ecosystem Services. *European Journal of Soil Science*. 2013, 64(2), s. 161–182. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/ejss.12025>

[18] KULHAVÝ, Z., FUČÍK, P. Adaptation Options for Land Drainage Systems Towards Sustainable Agriculture and the Environment: A Czech Perspective. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2015, 24(3), s. 1 085–1 102. Dostupné z: <https://doi.org/10.15244/pjoes/34963>

[19] MEKONNEN, M. M., HOEKSTRA, A. Y. The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2011, 15(5), s. 1 577–1 600. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>

[20] REFSGAARD, J. CH., VAN DER SLUIJS, J. P., HØJBERG, A. L., VANROLLEGHEM, P. A. Uncertainty in the Environmental Modelling Process – A Framework and Guidance. *Environmental Modelling and Software*. 2007, 22(11), s. 1 543–1 556. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2007.02.004>

[21] CLARK, M. P., WILBY, R. L., GUTMANN, E. D., VANO, J. A., GANGOPADHYAY, S., WOOD, A. W., FOWLER, H. J., PRUDHOMME, CH., ARNOLD, J. R., BREKKE, L. D. Characterizing Uncertainty of the Hydrologic Impacts of Climate Change. *Current Climate Change Reports*. 2016, 2(2), s. 55–64. ISSN 2198-6061. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s40641-016-0034-x>

[22] O’CONNELL, P. E. et al. Review of Impacts of Rural Land Use and Management on Flood Generation: Impact Study Report. R&D Technical Report FD2114/TR. *Department for Environment, Food and Rural Affairs*. 2004. Dostupné z: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/602ce71fe90e0709dfea47d0/Review_of_impacts_of_rural_land_use_and_management_on_flood_generation_.pdf

[23] COLLENTINE, D., FUTTER, M. N. Realising the Potential of Natural Water Retention Measures in Catchment Flood Management: Trade-Offs and Matching Interests. *Journal of Flood Risk Management*. 2018, 11(1), s. 76–84. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/jfr.12269>

[24] JACKSON, R. B., JOBBÁGY, E. G., AVISSAR, R., ROY, S. B., BARRETT, D. J., COOK, CH. W., FARLEY, K. A., LE MAITRE, D. C., MCCARL, B. A., MURRAY, B. C. Trading Water for Carbon with Biological Carbon Sequestration. *Science*. 2005, 310(5756), s. 1 944–1 947. Dostupné z: <https://doi.org/10.1126/science.1119282>

Autoři

RNDr. Jana Bernsteinová, Ph.D.¹
✉ bernsteinova.j@czechglobe.cz
ORCID: 0009-0003-9342-0572

doc. Ing. Evžen Zeman, CSc.¹
✉ zeman.e@czechglobe.cz
ORCID: 0000-0003-0790-4849

Ing. Maxim Bernstein¹
✉ bernstein.m@czechglobe.cz

Ing. Václav Rára¹
✉ rara.v@czechglobe.cz
ORCID: 0009-0005-7657-6721

Ing. Milan Fischer, Ph.D.¹
✉ fischer.m@czechglobe.cz
ORCID: 0000-0002-7841-9317

Ing. Pavel Tachecí, Ph.D.²
✉ pt@dhigroup.com
ORCID: 0000-0001-7944-1746

prof. Mgr. Ing. Miroslav Trnka, Ph.D.¹
✉ trnka.m@czechglobe.cz
ORCID: 0000-0003-4727-8379

¹Ústav výzkumu globální změny Akademie věd ČR, Brno (Česká republika)
²Dánský hydraulický institut, a. s., pobočka Praha (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2026.07.005

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

RIVER BASIN DIGITAL TWIN: A TOOL FOR MODELLING ADAPTATION MEASURES FOR WATER RETENTION IN A LANDSCAPE AFFECTED BY CLIMATE CHANGE

BERNSTEINOVÁ, J.¹; ZEMAN, E.¹; BERNSTEIN, M.¹; RÁRA, V.¹; FISCHER, M.¹; TACHECÍ, P.²; TRNKA, M.¹

¹Global Change Research Institute, CAS – Czech Globe, Brno (Czech Republic)

²Danish Hydraulic Institute, Prague branch (Czech Republic)

Keywords: river basin digital twin – MIKE SHE – climate change – adaptation measures – water balance – baseflow

The digital twin technology for river basins (Digital Twin) is an advanced tool for assessing the impact of complex adaptation measures on the water balance in the context of ongoing climate change. At study sites, Dyje River basin and

the pilot basin of the upper Svratka, specific measures to promote natural infiltration and enhance baseflow were designed and quantified. For detailed simulation of the hydrological cycle, an integrated, fully distributed, physically based modeling system called MIKE SHE was implemented. The impact of climate change was evaluated using an ensemble of 26 independent climate scenarios derived from global climate models (CMIP6) for 30-year periods around year 2050, compared to a reference historical period from 1981 to 2010. Simulation results of climate change impact without implemented measures predict a decline in average and low flows by 2050. Model tests have shown that implementing a comprehensive set of measures aimed at hydrologically optimal agriculture (including adjusting the soil's hydro-pedological properties and changing the vegetation cover) won't increase the total runoff, but could have a clear potential to improve water distribution and increase base flow. The simulation tool is fully calibrated and provides solid support for decision-making in watershed management.



Hodnocení migrační průchodnosti Rolavy a odhad dopadů její obnovy na rybí společenstva

EDUARD BOUŠE, MIROSLAV BARANKIEWICZ, PETR VLAŠÁNEK, HANA NOVÁKOVÁ, TOMÁŠ DANĚK

Klíčová slova: revitalizace – fragmentace – ichtyofauna – biodiverzita – povodí Ohře – rybí přechody

ABSTRAKT

Studie se zabývá vlivem fragmentace říční sítě na populace reofilních druhů ryb v povodí Rolavy a Ohře, přičemž klade důraz na hodnocení migrační průchodnosti a efektivitu revitalizačních opatření. Na základě analýzy pasportizace vodních toků vykazuje Rolava vysokou míru antropogenního narušení; z identifikovaných 41 příčných objektů představuje více než polovina kritickou překážku s výškou nad 0,6 m, kterou většina původních druhů ryb nedokáže překonat. Ichtyologickými odlovy realizovanými v letech 2022–2025 bylo prokázáno, že zatímco úsek pod klíčovou bariérou v Rybářích hostí druhově bohaté společenstvo včetně zvláště chráněných druhů, jako je vranka obecná či mihule potoční, izolované úseky nad jezem vykazují pokles diversity a nárůst nepůvodních druhů. Radiotelemetrický monitoring migrací pstruha obecného přes revitalizované stupně v Nové Roli potvrdil vysokou funkčnost rybích přechodů (úspěšnost 88–100 %) a schopnost ryb využívat obnovené kontinuum vodního toku, což doprovázel i zvýšený výskyt plůdku pstruha obecného, ačkoli svou roli mohly sehrát i specifické podmínky daného roku. Ze závěrů práce vyplývá, že zprůchodnění zbývajících kritických bariér v Karlových Varech je nezbytným krokem pro rekolonizaci toku původní ichtyofaunou a dlouhodobou udržitelnost populací, které v současnosti nedokáže efektivně stabilizovat ani intenzivní umělé vysazování.

ÚVOD

Říční prostředí bylo v minulosti dynamickým systémem s přirozeným mean-drováním a vysokou členitostí koryt. S rostoucím antropogenním tlakem však došlo k tomu, že celosvětově je až 95 % vodních ekosystémů přímo ovlivněno nebo intenzivně využíváno člověkem [1], což z nich činí jedny z nejvíce degradovaných biotopů vůbec [2, 3]. Tato transformace – zahrnující např. napřimování koryt, zatrubňování, výstavbu jezů a stupňů atd. – mnohdy proměnila dříve členité vodní toky v uniformní kanály bez vazby na nivu. Zároveň došlo ke zhoršení kvality struktury a funkce vodních ekosystémů (ekologického stavu). Evropská agentura pro životní prostředí uvádí, že špatný ekologický stav se týká více než poloviny evropských řek [4]. Nejinak je tomu i v České republice (ČR), kde byl technickými úpravami narušen ekologický stav desítek tisíc kilometrů vodních toků [3].

Zásadním problémem říční sítě v ČR je její fragmentace. V současnosti jsou registrovány tisíce příčných staveb, přičemž více než 6 000 z nich přesahuje výšku 1 m a postrádá rybí přechod [5, 6]. Tyto bariéry zásadním způsobem

ovlivňují původní ekosystémy a mají značný dopad nejen na rybí společenstva [5, 7]. Ztráta vhodných trdlišť, úkrytů a fragmentace prostředí má značně negativní dopad u reofilních druhů ryb, kde vede ke snížení početnosti, biomasy i poklesu druhové rozmanitosti [8–10]. Nejvíce jsou však zasaženy populace diadromních druhů ryb, např. losos obecný (*Salmo salar*) nebo úhoř říční (*Anguilla anguilla*), které v rámci svého životního cyklu migrují za rozmnožováním mezi sladkovodním prostředím vodních toků a mořským prostředím. Tyto druhy jsou v současné době v ČR zcela závislé na umělém vysazování.

Rolava i Ohře prošla v minulosti intenzivními úpravami koryta, jež jsou úzce spjatá s průmyslovým rozvojem Krušnohoří, kdy nejstarší dřevěné a kamenné stupně vznikaly již od 16. století pro potřeby hamrů a mlýnů, zejména v okolí Nejdku. Významným dokladem o stavu řeky v 19. století jsou práce přírodovědce Antonína Friče, který prováděl rozsáhlý průzkum v povodí Ohře. Podle jeho zjištění sice na Ohři již v té době existovaly různé jezy, ale s výjimkou staveb na dolním toku v Terezíně a Doksanech byla Ohře pro migrující lososy stále neprůstupná [11].

Zásadní proměna obou vodních toků nastala v osmdesátých letech 19. století během zlatého věku industrializace, kdy se řeka Ohře i její přítok Rolava začaly systematicky využívat pro moderní městskou infrastrukturu a průmysl. Zatímco na Ohři v Karlových Varech město roku 1880 odkoupilo mlýn v Tuhnicích, aby zde o dva roky později zprovoznilo první vodárnu a vybudovalo Tuhnický jez, na Rolavě došlo v roce 1885 k založení průmyslového areálu v Rybářích pro potřeby Knollovy porcelánky, což s sebou neslo výstavbu dalších technických stupňů v korytě. U obou vodních toků se těmito zásahy migrační průstupnost významně zhoršila.

Při hodnocení migrační průstupnosti jsou zcela zásadními faktory počet, charakter a výška jednotlivých příčných bariér. Zatímco pstruh obecný (*Salmo trutta*) dokáže díky svým schopnostem překonat překážky do výšky přibližně 60 cm (za ideálních podmínek i 100 cm), pro většinu ostatních druhů našich ryb představuje již 50 cm vysoký stupeň prakticky nepřekonatelnou bariéru [7, 12]. Ještě citlivější jsou v tomto ohledu menší nebo bentické druhy, jako jsou střevle potoční (*Phoxinus phoxinus*) nebo vranka obecná (*Cottus gobio*). Pro tyto druhy ryb mohou být limitující i velmi nízké příčné objekty o výšce cca 5–10 cm [7, 12].

Existující příčné překážky lze zprůchodnit několika způsoby – mezi nejpožívanější patří rybí přechody. Ty mají v českém prostředí dlouhou tradici – na Ohři u Terezína byly budovány již v roce 1885 za doby Antonína Friče [13]. Jejich efektivita je závislá na mnoha faktorech, jako jsou lokalizovatelnost vstupu pro ryby, rychlost proudění v přechodu, celkový spád, hloubka a rozměry vnitřních komor atd. [7]. Pokud tyto atributy neodpovídají biologickým nárokům a plaveckým schopnostem konkrétních druhů, dochází k tzv. selektivní průstupnosti,

kdy překážka pro část rybí obsádky nadále zůstává bariérou [7, 12]. Zajištění volné migrace ryb by však mělo být prioritou, mimo jiné i z důvodu naplňování cílů Rámcové směrnice o vodách [14].

Tato práce si klade za cíl posoudit stav migrační průchodnosti toku Rolavy a porovnat běžně používané metodické přístupy. Nedílnou součástí stanovených cílů je predikce ekologických dopadů revitalizačních opatření, konkrétně odhad vlivu obnovení říčního kontinua na Rolavě a Ohři na proměnu druhového složení a biodiverzitu.

MATERIÁL A METODIKA

Lokalita

Zájmová lokalita se nachází v severní části Karlovarského kraje a je tvořena řekou Rolavou a na ni navazujícím úsekem Ohře. Rolava (délka 36,7 km, plocha povodí 137,3 km²) pramení v Krušných horách v nadmořské výšce 920,8 m n. m. Průměrný spád řeky se pohybuje okolo 1,5 %, nicméně ve střední části toku dosahuje i přes 2 %. Z důvodu protipovodňové ochrany intravilánu obcí (Nejdek, Nová Role, Karlovy Vary) bylo koryto v šedesátých a sedmdesátých letech 20. století technicky stabilizováno regulačními zdmi a náspy. Vysoký spád a antropogenní úpravy toku si vyžádaly instalaci příčných objektů (jezů a stupňů). Tyto bariéry snižují celkový spád, ale zároveň způsobují fragmentaci říční sítě a brání migraci ryb v podélném směru toku. V Karlových Varech se Rolava na 171,6 ř. km vlévá do Ohře, jejíž keltské jméno „Agara“ (v překladu „lososí řeka“) odkazuje na historický význam.

Podle klasifikace A. Friče [15, 16] patří Rolava díky vysokému spádu, prudkému toku a chladné, silně okysličené vodě do pásma pstruhového až lipanového. Naproti tomu Ohře představuje pásmo parrmové, pro které je typický mírnější sklon, pomalejší proudění a vyšší teplota vody s přirozeně nižším obsahem kyslíku. Zatímco Rolava je domovem pro chladnomilné lososovité ryby, pro Ohři jsou typické spíše druhy ryb preferující hlubší, teplejší a na živiny bohatší prostředí, např. společenstva *Barbus-Chondrostoma*.

Složení ichtyofauny

Pro stanovení vývoje ichtyofauny na Rolavě a přilehlém úseku Ohře byla zmapována dostupná odborná literatura a řada publikací. Vzhledem k jejich omezenému množství byly do hodnocení zahrnuty i hospodářské statistiky Českého rybářského svazu (ČRS; evidence úlovků a záznamy o zarybňování) na revírech Rolava 1A, Rolava 1B, Rolava 2 a Ohře 13 a 14. Přestože tato data mají svá omezení, mohou být klíčovým podkladem pro interpretaci vývoje ichtyofauny.

Jelikož historické prameny a statistiky většinou postrádají přesné údaje o početnosti či velikostní struktuře populací, byly tyto záznamy vyhodnocovány na kvalitativní úrovni (přítomnost/nepřítomnost druhu). To umožnilo vytvořit alespoň základní srovnávací rámec pro hodnocení dlouhodobých změn v druhové diverzitě sledovaného území.

Současný stav ichtyofauny byl stanoven na základě vlastního terénního monitoringu, který byl zaměřen na oblast dolního toku Rolavy (Nová Role – soutok s Ohří v Karlových Varech). Sledování zahrnovalo i bezprostřední okolí soutoku, jež je z hlediska migračního chování ryb zcela klíčové. Průzkum proběhl celkem na osmi lokalitách v termínech 18. a 19. května 2022, 27. června 2023, 17. a 18. dubna 2024 a 20. května 2025: šest z nich se nacházelo na Rolavě (100 m dlouhý úsek pod každou příčnou překážkou) a dvě lokality stejné délky na Ohři v oblasti soutoku (obr. 1).

Odlov ichtyofauny byl realizován pomocí elektrického agregátu v souladu s platnou legislativou ČR. Při vlastním odběru vzorků byla zvolena kontinuální metoda odlovu „brodění“, kterou detailně popisuje např. [2]. Kodlovu poslouží



Obr. 1. Geografické rozmístění osmi sledovaných lokalit na dolním toku Rolavy a v přilehlém úseku Ohře

Fig. 1. Geographical distribution of eight monitored sites on the lower reaches of the Rolava river and the adjacent reach of the Ohře river

zádový benzinový elektrický agregát ELT 60 – IIH (300–500 V, impuls DC, Hans Grassl GmbH Schönau am Königssee), vybavený dvoumetrovou lovnou tyčí s kruhovou anodou o průměru 30 cm a velikostí ok 4 mm. Každý úsek byl 2x po sobě proloven a k hrazení úseku sloužila příčná překážka ve vodním toku, kde byl odlov ukončen. Všechny ulovené ryby byly následně druhově determinovány. U každého jedince byla změřena standardní délka (SL – Standard Length) a celková délka (TL – Total Length) s přesností na 1 mm.

Hodnocení migrační prostupnosti

Pro komplexní posouzení migrační prostupnosti na toku Rolavy bylo využito několik metodických přístupů. Hodnocení bylo nejprve provedeno na základě dat z Pasportizace vodních toků, dále pomocí biologického monitoringu s využitím radiové telemetrie a jako poslední podklad pro posouzení migrační prostupnosti posloužily samotné odlovy ryb realizované pod každou z překážek.

V první fázi byla pro analýzu použita data z mapování vodních toků a mokřadů – Pasportizace vodních toků [17], kde je u překážky uvedena její

výška a informace ohledně přítomnosti či absence rybiho přechodu. Následně byly překážky nacházející se v úseku soutok Ohře – Nová Role ještě posouzeny samotnými posuzovateli.

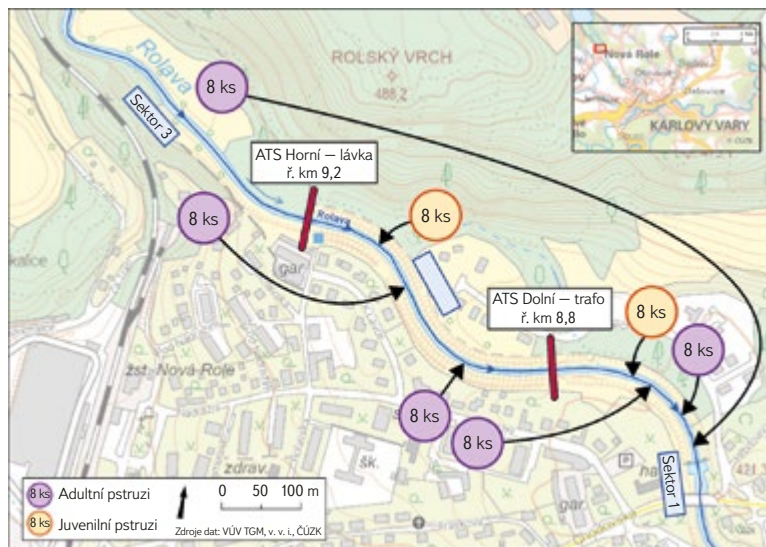
V navazující fázi byl pomocí radiové telemetrie v období od 30. září 2021 do 11. října 2022 realizován biologický monitoring migrace ryb na dvou revitalizovaných stupních toku Rolavy (ř. km 8,8 a 9,2) v obci Nová Role. Celkem bylo označeno 56 jedinců pstruha obecného. Dle metodiky pro hodnocení rybních přechodů [18] je u malých vodních toků v pstruhovém pásmu při telemetrickém sledování doporučen monitoring 1–2 indikátorových druhů. Vzhledem k předchozím zjištěním [19] se však v dotčeném úseku toku vyskytuje v dostatečném množství a odpovídající velikosti pouze pstruh obecný. Adultní jedinci ($n = 40$) byli opatřeni vysílači NTF-6-2 (Lotek, Newmarket, Kanada) a juvenilní jedinci ($n = 16$) vysílači NTF-5-2 (Lotek, Newmarket, Kanada). Vysílače byly naprogramovány na frekvencích 138,30 MHz a 138,42 MHz s periodou pulzů 5,0–5,5 s. Ryby byly získány elektrolovem přímo na sledované lokalitě dne 29. září 2021. Pro stimulaci migrace proti proudu byla část značených jedinců přesunuta do jiného sektoru, čímž byl s využitím tzv. homing efektu (snahy o návrat do původního domovského okrsku) testován potenciál pro překonání bariéry (více viz obr. 2).

Sledování pohybu ryb a determinace úspěšnosti překonání překážek probíhalo kombinací dvou metod radiotelemetrie. Pro zjištění aktuální pozice jedinců v úsecích nad a pod sledovanými stupni byla v pravidelných měsíčních intervalech využívána mobilní telemetrie SRX 800 (Lotek, Newmarket, Kanada) a GPS lokátor 60CSx (Garmin, Kansas, USA). To umožnilo detailní mapování pohybu ryb v celém sledovaném úseku toku. Kontinuální záznam migrace přes revitalizované úseky zajišťovala automatická stacionární telemetrie ATS – Lotek SRX 800D a SRX DL (Lotek, Newmarket, Kanada). Tyto stanice byly osazeny dvěma anténami směřujícími do podjezí a nadjezí, což umožnilo přesnou detekci průchodu ryb sledovaným stupněm.

Při hodnocení funkčnosti rybiho přechodu byly sledovány dva parametry: úspěšnost tratě (poměr počtu ryb, jež dokázaly celou trasu přechodu proplout, vůči těm, které do něj pouze vpluly) a celková migrační úspěšnost (poměr úspěšných migrantů k počtu všech značených ryb). Počet značených ryb byl korigován celkovým koeficientem $K = 0,17$, který v sobě zahrnuje ztrátovost vysílačů, mortalitu ryb i přesnost detekce ATS systémů [18]. Do analýzy migrační úspěšnosti byli zahrnuti všichni jedinci detekovaní pod bariérou, a to jak ryby vysazené, tak jedinci, kteří přirozeně přimigrovali po i proti proudu. V rámci monitoringu byl rovněž sledován směr a načasování migračního chování.

Získaná data byla následně statisticky vyhodnocena. Rozdíly v úspěšnosti překonání dolního a horního stupně byly porovnávány pomocí Fisherova exaktního testu [20]. Pro posouzení rozdílů v rychlosti přesunu mezi jednotlivými ročními obdobími byla použita analýza rozptylu pro opakovaná měření (Repeated Measures ANOVA) [20], resp. lineární smíšený model (LMM) [21]. Pro následné vzájemné porovnání jednotlivých období mezi sebou (post-hoc analýza) pak posloužily párové t-testy s Bonferroniho korekcí hladiny významnosti [20].

Posledním klíčovým přístupem pro stanovení migrační prostupnosti bylo využití dat o současné struktuře rybiho společenstva. Ta byla hodnocena na základě druhového složení (srovnání úseků nad a pod jednotlivými překážkami). Vstupní data tvořily standardizované abundance (CPUE; ks/100 m) pro 23 druhů ryb z 32 odlovů (osm lokalit v letech 2022–2025). Pro analýzu společenstva byla použita netransformovaná data o abundanci ryb. Cílem studie bylo zachovat plný vliv kvantitativní dominance klíčových reofilních druhů (zejména pstruha obecného a jelce tlouště) na strukturu společenstev v jednotlivých sektorech. Právě extrémní dominance pstruha v horních úsecích nad neprostupnými bariérami a naopak vyrovnanější struktura s vysokým zastoupením kaprovitých ryb v dolním úseku pod jezy představuje hlavní ekologický gradient v toku, který by transformace dat nežádoucím způsobem oslabila. Pro vizualizaci podobnosti společenstev mezi jednotlivými odlovy a sektory byla použita ordinace metodou NMDS (Non-metric Multidimensional Scaling) založená na Bray-Curtisově distanci [22]. Do ordinačního diagramu byly vyneseny 95% konfidenční elipsy pro jednotlivé sektory a pozice významných druhů.



Obr. 2. Schéma rozdělení lokality a vysazení ryb v rámci jednotlivých sektorů na řece Rolavě; šipky značí, zda ryby byly vypuštěny do stejného sektoru řeky, kde byly odloveny, či přemístěny do jiného sektoru za účelem podpory migrací značených jedinců přes migrační bariéry proti proudu (homing efekt)

Fig. 2. Division of the study area into sectors and the release of fish within individual sectors of the Rolava river; arrows indicate whether fish were released into the same sector in which they were captured or translocated to a different sector to encourage upstream migration of tagged individuals across migration barriers (homing effect)

Statistická významnost rozdílů v druhovém složení mezi lokalitami a sektory byla testována permutační multivariátní analýzou rozptylu (PERMANOVA) s nastavením 999 permutací. K identifikaci druhů, které se nejvíce podílely na výsledné odlišnosti mezi úseky, byla použita analýza SIMPER (Similarity Percentages) [23]. Všechny statistické analýzy byly provedeny v programu R Core Team [24].

VÝSLEDKY

Složení ichtyofauny

Historické záznamy z 19. století uvádějí v zájmovém území výskyt 20 druhů ryb [25], resp. 28 druhů ryb dle Howorky [26]. V těchto nejstarších přehledech figurují téměř výhradně naše původní druhy ryb, přičemž v záznamech z 19. století zcela chybí zmínka o výskytu pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*), který byl přítom do Rolavy prokazatelně vysazován už v roce 1887 [27]. Práce pocházející z konce 20. století [28] již v povodí zaznamenaly celkem 37 druhů. Z našich původních druhů se ve výčtu nově objevuje candát obecný (*Sander lucioperca*) a jelec jesen (*Leuciscus idus*), nicméně mezi nově zaznamenanými taxony výrazně převažují nepůvodní druhy, jako jsou siven americký (*Salvelinus fontinalis*), sumeček americký (*Ameiurus nebulosus*), okounek pstruhový (*Micropterus salmoides*), tolstolobik bílý (*Hypophthalmichthys molitrix*), tolstolobec pestrý (*Hypophthalmichthys nobilis*) a v povodí Ohře nepůvodní ostroretka stěhovavá (*Chondrostoma nasus*).

Nejvyšší druhovou diverzitu v této oblasti uvádějí Matějů a Holub [29], v jejichž práci je zmiňován výskyt až 43 druhů ryb. Ve výčtu se nově objevují nepůvodní druhy jako jeseter sibiřský (*Acipenser baerii*) a invazní slunečnice pestrá (*Lepomis gibbosus*), ale také naše původní druhy ryb, konkrétně karas obecný (*Carassius carassius*) a slunka obecná (*Leucaspis delineatus*). Z bližšího popisu lokálních nálezu těchto autorů však vyplývá, že u těchto nově uvedených druhů jde většinou o soukromé rybníky nebo izolované tůně a jejich výskyt v Rolavě a Ohři je velmi vzácný. Cenné informace o výskytu některých druhů přinášejí

Tab. 1. Výskyt druhů ryb v povodí Ohře v oblasti Karlových Varů

Tab. 1. Occurrence of fish species in the Ohře River basin in the Karlovy Vary area

	Český název	Latinský název	Glückselig [25]	Howorka [26]	Flasar a Flasarová [28]	Matějů a Hulub [29]	ČRS (2010–2024)	VÚV TGM (2022–2025)	Ochrana, hodnocení
Pstruhové a lipanové pásmo	Lipan podhorní	<i>Thymallus thymallus</i>	x	x	x	x	x	x	EVL, VU
	Losos obecný	<i>Salmo salar</i>		x	x*				EVL, CR
	Mihule potoční	<i>Lampetra planeri</i>	x	x	x	x		x	KO, EVL, VU
	Mník jednovousý	<i>Lota lota</i>	x	x	x	x	x	x	O, NT
	Mřenka mramorovaná	<i>Barbatula barbatula</i>	x	x	x	x		x	
	Ouklejška pruhovaná	<i>Alburnoides bipunctatus</i>		x	x				SO, VU
	Pstruh duhový	<i>Oncorhynchus mykiss</i>			x	x	x	x	BL
	Pstruh obecný	<i>Salmo trutta</i>	x	x	x	x	x	x	
	Úhoř říční	<i>Anguilla anguilla</i>	x	x	x	x	x		EW
	Siven americký	<i>Salvelinus fontinalis</i>			x	x	x		BL
	Střevle potoční	<i>Phoxinus phoxinus</i>		x	x	x		x	O, VU
	Vranka obecná	<i>Cottus gobio</i>	x	x	x	x		x	O, EVL, NT
Parmové pásmo	Bolen dravý	<i>Aspius aspius</i>		x	x	x	x		EVL
	Cejn velký	<i>Abramis brama</i>	x	x	x	x	x		
	Cejnek malý	<i>Blicca bjoerkna</i>		x	x	x			
	Hrouzek obecný	<i>Gobio gobio</i>		x	x	x		x	
	Jelec jesen	<i>Leuciscus idus</i>	x		x	x	x	x	O, NT
	Jelec proudník	<i>Leuciscus leuciscus</i>		x	x	x		x	
	Jelec tloušť	<i>Squalius cephalus</i>		x	x	x	x	x	
	Ježdík obecný	<i>Gymnocephalus cernuus</i>		x	x	x			
	Kapr obecný	<i>Cyprinus carpio</i>	x	x	x	x	x	x	
	Okoun říční	<i>Perca fluviatilis</i>	x	x	x	x	x	x	
	Ostroretka stěhovavá	<i>Chondrostoma nasus</i>			x	x	x		VU
	Ouklejš obecná	<i>Alburnus alburnus</i>	x	x	x	x		x	
	Parma obecná	<i>Barbus barbus</i>	x	x	x	x	x	x	EVL, NT
	Perlín ostrobřichý	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	x	x	x	x			
	Plotice obecná	<i>Rutilus rutilus</i>	x	x	x	x		x	
	Podoustev říční	<i>Vimba vimba</i>		x	x	x	x		VU
	Štika obecná	<i>Esox lucius</i>	x	x	x	x	x	x	

	Český název	Latinský název	Hodnocení migrační průchodnosti						
			Glückselig [25]	Howorka [26]	Flasar a Flasarová [28]	Matějů a Hulub [29]	ČRS (2010–2024)	VÚV TGM (2022–2025)	Ochrana, hodnocení
Čejnové pásmo	Amur bílý	<i>Ctenopharyngodon idella</i>				x	x		BL
	Candát obecný	<i>Sander lucioperca</i>	x		x	x	x	x	
	Jeseter sibiřský	<i>Acipenser baerii</i>				x			WL
	Karas obecný	<i>Carassius carassius</i>	x	x	x	x			CR
	Karas stříbřitý	<i>Carassius gibelio</i>				x	x	x	BL+
	Koljuška tříostná	<i>Gasterosteus aculeatus</i>				x		x	WL
	Lín obecný	<i>Tinca tinca</i>	x	x	x	x	x	x	
	Okounek pstruhový	<i>Micropterus salmoides</i>			x				BL
	Piskoř pruhovaný	<i>Misgurnus fossilis</i>	x	x		x			O, EVL, EN
	Síh sp.	<i>Coregonus</i> sp.				x	x		WL
	Slunečnice pestrá	<i>Lepomis gibbosus</i>				x			IN, BL+
	Slunka obecná	<i>Leucaspis delineatus</i>			x	x			CR
	Střevlička východní	<i>Pseudorasbora parva</i>				x		x	IN, BL+
	Sumec velký	<i>Silurus glanis</i>				x	x		
	Sumeček americký	<i>Ameiurus nebulosus</i>			x	x			GL
	Tolstolobec pestrý	<i>Hypophthalmichthys nobilis</i>			x	x			BL
	Tolstolobik bílý	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>			x	x	x		BL

Vysvětlivky: **ČRS** – data od Českého rybářského svazu, **VÚV TGM** – odlovy v letech 2022–2025, ***** – historický záznam; **EVL** – evropsky významný druh; **O/SO/KO** – ohrožený / silně ohrožený / kriticky ohrožený druh (dle vyhlášky č. 395/1992 Sb.); **EW/CR/EN/VU/VU+/NT** – Červený seznam ČR (vymřelý ve volné přírodě / kriticky ohrožený / ohrožený / zranitelný / zranitelný, v povodí nepůvodní / téměř ohrožený); **IN** – invazivní druh (dle unijního seznamu); **BL/BL+/GL/WL** – klasifikace nepůvodních druhů (black list – šířen člověkem / black list+ – šířící se spontánně / grey list – nepůvodní, tolerován / watch list – sledovaný, možný výskyt). Legend: **ČRS** – data provided by the Czech Anglers Union; **VÚV TGM** – fish sampling/surveys conducted between 2022 and 2025; ***** – historical record; **EVL** – Species of Community Interest (Natura 2000 species); **O/SO/KO** – threatened / highly threatened / critically threatened species (pursuant to Decree No. 395/1992 Coll.); **EW/CR/EN/VU/VU+/NT** – Red List of the Czech Republic (extinct in the wild / critically endangered / endangered / vulnerable / vulnerable, non-native to the basin / near threatened); **IN** – invasive species (on the Union list); **BL/BL+/GL/WL** – classification of non-native species (**black list** – human-dispersed / **black list+** – spontaneously spreading / **grey list** – non-native, tolerated / **watch list** – monitored, potential occurrence).

záznamy sportovních rybářů. Z analýzy úlovků a vysazování rybářského svazu je v Ohři a na Rolavě běžně loveno 23 druhů ryb. Nicméně ve statistikách jsou zastoupeny primárně druhy s hospodářským nebo sportovním významem a zcela chybějí údaje o menších druzích, jako jsou např. vranka obecná (*Cottus gobio*), mřenka mramorovaná (*Barbatula barbatula*), střevle potoční (*Phoxinus phoxinus*) atd.

V rámci našeho monitoringu, který probíhal v letech 2022–2025, byla zjištěna přítomnost 23 druhů ryb. Detailní přehled o výskytu druhů v jednotlivých studiích je v tab. 1.

Hodnocení migrační průchodnosti

Na základě analýzy Pasportizace vodních toků [17] a následného vlastního terénního posouzení sledovaného úseku (od soutoku s Ohří po Novou Roli) vykazuje říční síť Rolavy a Ohře vysokou míru antropogenní fragmentace. Celkem bylo na Rolavě identifikováno 41 příčných objektů (jezů, stupňů, skluzů atd.), které narušují její podélnou kontinuitu. Detailní analýza ukázala, že 25 z těchto bariér dosahuje výškového rozdílu nad 0,6 m. V současné době je pouze osm z těchto objektů (32 %) opatřeno rybím přechodem.



Obr. 3. Současný stav pevného jezu s pohyblivou tabulí v Rybářích na ř. km 1,1 (foto: E. Bouše)

Fig. 3. Current condition of the fixed weir with a movable gate in Rybáře at river km 1.1 (photo: E. Bouše)



Obr. 4. Jez ve Staré Roli na ř. km 4,6 – konstrukce z balvanů zalitých betonem (foto: E. Bouše)

Fig. 4. Weir in Stará Role at river km 4.6, constructed of boulders embedded in concrete (photo: E. Bouše)



Obr. 5. Jez v Karlových Varech na ř. km 1,5 – příklad migrační překážky s narušenou konstrukcí (foto: E. Bouše)

Fig. 5. Weir in Karlovy Vary at river km 1.5 – an example of a migration barrier with a damaged structure (photo: E. Bouše)

Hlavními migračními překážkami v námi sledovaném úseku jsou dva velké jezy v Karlových Varech, jež postrádají rybí přechody. Prvním je jez č. 1 – Rybáře (ř. km 1,1), který představuje nejproblematictější bod z hlediska kontinuity, neboť izoluje celou Rolavu od řeky Ohře. Konstrukčně jde o pevný jez s nasazenou pohyblivou tabulí o výšce přesahující 1,5 m (více viz obr. 3). Druhou migrační překážkou je jez nacházející se ve Staré Roli (ř. km 4,6). Tento kolmý stupeň s výškou přesahující 1,5 m je tvořen velkými balvany, které jsou prolité betonem (obr. 4).

Mimo tyto dvě hlavní bariéry se na území Karlových Varů nacházejí další tři menší příčné objekty s výškovým rozdílem hladin 0,2–0,3 m. Stavebně-technický stav těchto tří objektů je v současné době částečně narušen (lokální erozi tělesa či chybějící betonovou výplní), viz obr. 5.

Na úsek nad jezem ve Staré Roli (ř. km 4,6) navazuje část toku, kde v roce 2020 proběhla revitalizace dvou stupňů v Nové Roli. V rámci těchto úprav došlo ke zprostupnění jezů na ř. km 8,8 a 9,2, na což následně navázala také revitalizace jezu na ř. km 8,4. Z původních neprostupných migračních překážek, jež svou výškou přesahovaly 1,5 m, byly vytvořeny rybí přechody ve formě skluzů (obr. 6).



Obr. 6. Revitalizovaný jez na ř. km 9,2 v Nové Roli (foto: E. Bouše)
Fig. 6. Restored weir in Nová Role at river km 9.2 (photo: E. Bouše)

Tato úprava tří stupňů v Nové Roli zprůchodnila přibližně 10 km toku. Navazující monitoring pomocí radiové telemetrie následně potvrdil úspěšnost průchodu ryb tímto úsekem. Úspěšnost průchodu samotnými rybími přechody dosahovala hodnot 88–100 %, zatímco celková migrační úspěšnost se pohybovala v rozmezí 66–90 % (tab. 2).

Tab. 2. Kvantitativní vyhodnocení úspěšnosti rybích přechodů na Rolavě
Tab. 2. Quantitative assessment of fish-pass efficiency on the Rolava river

Profil rybiho přechodu	Úspěšnost tratě RP	Celková migrační úspěšnost		
		Juvenilní ryby	Adultní ryby	Celkem
Dolní RP – Trafo	100%	67%	95%	90%
Horní RP – Lávka	88%	10%	82%	66%

Z celkového souboru 40 značených dospělých pstruhů prokazatelně překonalo spodní jez 16 a horní jez 14 jedinců. U skupiny 16 juvenilních pstruhů byla

zaznamenána migrace u pěti jedinců přes spodní jez, přičemž jeden úspěšně zdolal i jez horní. Statistická analýza však nepotvrdila rozdíl v prostupnosti obou sledovaných jezů pro dospělé ani juvenilní jedince ($p = 0,4669$).

Nejvyšší aktivita byla u ryb zaznamenána do 14 dnů od vypuštění, a to u obou věkových kategorií ($t = 13,531$, $p < 0,001$), přičemž v tomto období převládal pohyb primárně proti proudu. U dospělců tento směr pohybu úzce souvisel s výrazným „homing“ efektem, tedy snahou o návrat do původního teritoria. Tento efekt se ukázal jako klíčový motivační faktor, neboť dospělí pstruzi přemístění pod bariéry vykazovali celkovou úspěšnost návratu v rozmezí 75–100 %. Konkrétní míra úspěchu byla přímo ovlivněna vzdáleností, kdy ryby přemístěné o dva sektory níže dosahovaly 75% úspěšnosti, zatímco u jedinců přemístěných o jeden sektor byla úspěšnost návratu 100%. Naproti tomu ryby vypuštěné přímo v místě odlovu zůstávaly ve svém sektoru.

Z hlediska sezonality byly nejvýraznější přesuny zaznamenány na podzim, zatímco nejnižší aktivita byla v létě. Podzimní migrace se signifikantně lišila od jarní ($t = 4,405$, $p < 0,001$), letní ($t = 5,375$, $p < 0,001$) i zimní aktivity ($t = -4,126$, $p < 0,001$). Vysoká míra úspěšnosti návratu a schopnost juvenilních ryb překonat obě bariéry potvrzují, že oba jezy jsou prostupné. Pohyb v daném úseku tak závisí primárně na aktuální motivaci ryb.

Další možností posouzení migrační průchodnosti byly odlovy ryb realizované pod jednotlivými překážkami. Tento ichtyologický průzkum umožnil detailně vyhodnotit druhovou a velikostní strukturu rybích společenstev v profilech bezprostředně pod jednotlivými bariérami. Srovnání druhového složení a abundance ichtyofauny na těchto lokalitách prokázaly statisticky průkazné rozdíly ($F = 8,7939$; $p < 0,001$). Tyto významné odlišnosti v distribuci společenstev se projeví jak mezi hlavním tokem Ohře, tak mezi izolovanými jezovými stupni. Analýza SIMPER ukázala, že k těmto rozdílům přispělo především pět druhů ryb, které společně vysvětlují přes 81 % celkové variability v datech. Největší podíl na odlišnosti společenstev měl pstruh obecný (35,0 %), následován jelcem tloušťem (16,9 %), vrankou obecnou (15,2 %), mřenkou mramorovanou (8,2 %) a hrouzkem obecným (6,3 %). Průměrné relativní zastoupení jednotlivých druhů v % ($\pm$ směrodatná odchylka) je podrobně shrnuto v tab. 3.

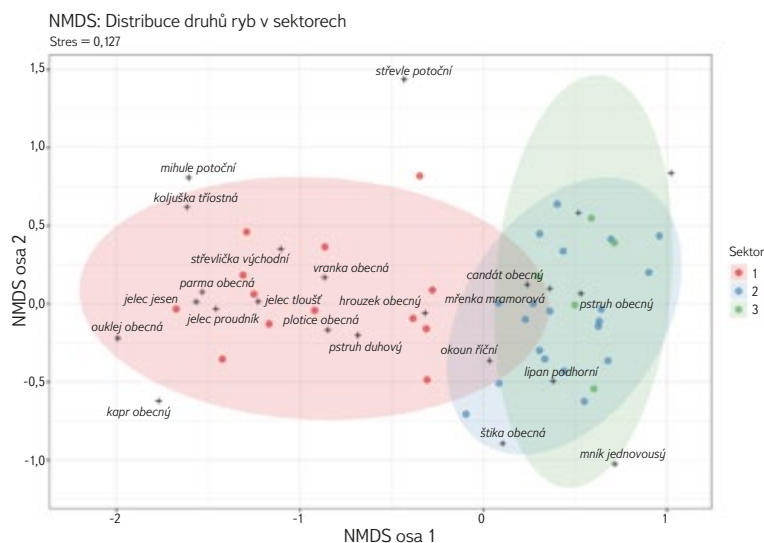
Profily Ohře (Pod/Nad soutokem) vykazovaly vysokou druhovou diverzitu. Dominoval zde jelec tloušť (*Squalius cephalus*) ($30,3 \pm 16,3$ %, resp. $38,9 \pm 6,2$ %) společně s vrankou obecnou (*Cottus gobio*) ($24,9 \pm 16,5$ %, resp. $18,3 \pm 5$ %) a jelcem proudníkem (*Leuciscus leuciscus*). Na těchto dvou lokalitách se jako na jediné v celém sledovaném úseku vyskytovala parma obecná (*Barbus barbus*), přičemž na profilu Ohře nad soutokem byl potvrzen také ojedinělý výskyt kriticky ohrožené mihule potoční (*Lampetra planeri*) ($0,2 \pm 0,3$ %).

Směrem proti proudu Rolavy byl patrný pokles diverzity reofilních druhů kaprovitých ryb doprovázený nástupem lososovitých druhů. Jez č. 1 – Rybáře představoval přechodovou zónu, kde stále dominovala vranka obecná ($39,1 \pm 12,7$ %), avšak projevoval se zde již významný podíl pstruha obecného ($27,9 \pm 11,2$ %) a mřenky mramorované ($12,7 \pm 6,8$ %). Pouze na této lokalitě byla zaznamenána střevle potoční ($0,3 \pm 0,6$ %). Na profilech jezů č. 2 až č. 6 již společenstvu zcela dominoval pstruh obecný, jehož průměrný relativní podíl postupně narůstal od hodnoty $56,2 \pm 9,6$ % (jez č. 2) až po maximum $81,1 \pm 10,7$ % (jez č. 6). Stabílní složku společenstva tvořila mřenka mramorovaná s maximem na jezu č. 2 ($20,3 \pm 4$ %). Významné zastoupení vykazoval také lipan podhorní (*Thymallus thymallus*) (zejména na jezích č. 2 a č. 3), jehož procentuální podíl však na nejvyšších stupních prudce klesal.

Na vybraných jezových profilech byl indikován ojedinělý výskyt eurytopních druhů, konkrétně candáta obecného (jezy č. 3 a 5), karase stříbřitého (jezy č. 4 a 6) a lína obecného (*Tinca tinca*) (většina jezových stupňů). Jejich průměrné zastoupení však v žádném případě nepřesáhlo hodnotu 1,4 % a bylo doprovázeno vysokou směrodatnou odchylkou, což ukazuje na jejich náhodný výskyt v daných úsecích. Štika obecná (*Esox lucius*) byla detekována výhradně na jezu č. 3. Tato zjištěná distribuce a celková struktura rybích společenstev na jednotlivých lokalitách byly dále vyhodnoceny pomocí vícerozměrné statistické

Tab. 3. Relativní zastoupení ichthyofauny na jednotlivých úsecích v rámci čtyř let, vyjádřené v % a doplněné o směrodatnou odchylku
 Tab. 3. Relative abundance of ichthyofauna in individual river sections over a 4-year period, expressed in % ± standard deviation

Název česky	Název latinsky	Ohře – pod soutokem	Ohře – nad soutokem	Jez č. 1	Jez č. 2	Jez č. 3	Jez č. 4	Jez č. 5	Jez č. 6
Candát obecný	<i>Sander lucioperca</i>					0,2 ± 0,4		0,2 ± 0,4	
Hrouzek obecný	<i>Gobio gobio</i>	9 ± 11,4	10 ± 3,5	2,5 ± 2,4	7,8 ± 10,8	5 ± 4,6		2,1 ± 2,4	0,3 ± 0,4
Jelec jesen	<i>Leuciscus idus</i>	2 ± 1,5	5,3 ± 5						
Jelec proudník	<i>Leuciscus leuciscus</i>	11,9 ± 16	9,1 ± 9,1	1,4 ± 2,4		0,2 ± 0,4			
Jelec tloušť	<i>Squalius cephalus</i>	30,3 ± 16,3	38,9 ± 6,2	7,3 ± 8,3					
Kapr obecný	<i>Cyprinus carpio</i>		0,1 ± 0,1						
Karas stříbřitý	<i>Carassius gibelio</i>						0,4 ± 0,7		0,2 ± 0,3
Koljuška tříostná	<i>Gasterosteus aculeatus</i>		1,1 ± 1,1						
Lín obecný	<i>Tinca tinca</i>			0,4 ± 0,7	1,4 ± 2,4	0,6 ± 1		1,2 ± 1	1 ± 0,4
Lipan podhorní	<i>Thymallus thymallus</i>	0,7 ± 0,8	0,1 ± 0,1	5,9 ± 6,8	13,6 ± 13,4	12 ± 9,1	9,5 ± 12,6	0,6 ± 0,6	2,3 ± 3,3
Mihule potoční	<i>Lampetra planeri</i>		0,2 ± 0,3						
Mník jednovousý	<i>Lota lota</i>				0,4 ± 0,7				0,1 ± 0,2
Mřenka mramorovaná	<i>Barbatula barbatula</i>	2,8 ± 2	7 ± 1,3	12,7 ± 6,8	20,3 ± 4	12,3 ± 2,3	18,6 ± 14,4	16,1 ± 7,2	14 ± 10,5
Okoun říční	<i>Perca fluviatilis</i>	0,2 ± 0,3	0,6 ± 0,9	1 ± 1,2		6 ± 4,2			0,8 ± 0,5
Ouklej obecná	<i>Alburnus alburnus</i>	0,8 ± 1,1	0,1 ± 0,1						
Parma obecná	<i>Barbus barbus</i>	5,3 ± 2,1	2,2 ± 1,1						
Plotice obecná	<i>Rutilus rutilus</i>	0,9 ± 1,1	3 ± 2,5		0,3 ± 0,5	0,6 ± 0,7			0,3 ± 0,4
Pstruh duhový	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	0,6 ± 0,9		0,4 ± 0,6					
Pstruh obecný	<i>Salmo trutta</i>	4,9 ± 5,7	0,9 ± 0,8	27,9 ± 11,2	56,2 ± 9,6	62,4 ± 2,6	71,5 ± 12,2	79,8 ± 8,5	81,1 ± 10,7
Střevle potoční	<i>Phoxinus phoxinus</i>			0,3 ± 0,6					
Střevlička východní	<i>Pseudorasbora parva</i>	5,5 ± 5,5	3 ± 2,2	1 ± 1,1		0,6 ± 1			
Štika obecná	<i>Esox lucius</i>					0,2 ± 0,3			
Vranka obecná	<i>Cottus gobio</i>	24,9 ± 16,5	18,3 ± 5	39,1 ± 12,7					



Obr. 7. NMDS ordinační diagram podobnosti druhového složení ichtyofauny na sledovaných lokalitách (Sektor 1–3); hodnota stresu = 0,127

Fig. 7. NMDS ordination plot showing similarity in the species composition of ichthyofauna at the monitored sites (Sectors 1–3); stress = 0.127

analýzy. Výsledná ordinační analýza NMDS (obr. 7) vykazuje hodnotu stresu 0,127, což indikuje velmi dobrou reprezentativnost dat ve dvourozměrném prostoru a umožňuje jejich spolehlivou interpretaci.

Ordinační diagram potvrzuje výraznou separaci Sektoru 1 (pod jezem č. 1 v části Karlovy Vary – Rybáře) od úseků situovaných nad touto bariérou. Zatímco červená elipsa jasně vymezuje unikátní společenstvo Sektoru 1 (lokalita Ohře Pod/Nad soutokem a jez č. 1) s charakteristickým výskytem chráněných reofilních druhů, jako jsou mihule potoční, vranka obecná či jelec jesen, Sektor 2 (jezy č. 2–5) a Sektor 3 (jez č. 6) vykazují vysokou druhovou podobnost a značný prostorový překryv. V pravé části grafu jsou patrné druhy indikující splachy z okolních stojatých vod (např. lín obecný, karas stříbřitý), které nad bariérami doplňují jinak druhově chudší reofilní obsádku.

DISKUZE

Složení ichtyofauny

Při interpretaci dlouhodobého vývoje ichtyofauny je nutné zohlednit metodické limity a specifika jednotlivých informačních zdrojů, které přímo vysvětlují odlišnosti v celkových počtech zjištěných druhů. Relativně nízký počet 20 druhů zaznamenaný v první polovině 19. století [25] byl nepochybně ovlivněn tehdejší úrovní taxonomie, kdy se v literatuře běžně nerozlišovaly některé blízké příbuzné taxony, jako např. cejn velký (*Abramis brama*) a cejn malý (*Blicca bjoerkna*) [28]. Celková druhová bohatost v minulosti tak byla velmi pravděpodobně vyšší, než uvádějí tehdejší prameny.

Nížší druhovou bohatost vykazují také statistiky ČRS. Rybářská evidence je primárně zatížena zájmem o hospodářsky a sportovně atraktivní druhy, což vysvětluje, proč v nich zcela chybějí údaje o drobných druzích, jako jsou např. vranka obecná, mřenka mramorovaná nebo střevle potoční. I přes toto zkreslení však rybářské statistiky představují vysoce hodnotný datový zdroj, který efektivně doplňuje selektivitu odlovů elektrickým agregátem. Ta se projevuje především u mobilnějších druhů ryb, jako jsou např. kapr obecný (*Cyprinus carpio*), tolstolobik bílý, bolen dravý (*Leuciscus aspius*) atd., nebo u druhů žijících v hlubších partiích vodních toků, např. sumec velký (*Silurus glanis*), kde bývá jejich početnost výrazně podhodnocena. Potvrzují to i výsledky našeho monitoringu,

kde tyto druhy ve výčtu chybějí, přičemž se v dané lokalitě prokazatelně vyskytují. V těchto případech jsou záznamy o úlovcích sportovních rybářů a statistiky o vysazování ryb ze strany ČRS nenahraditelným indikátorem reálné přítomnosti těchto taxonů ve vodním toku a poskytují důležitý kontext pro rozlišení přirozené reprodukce od populací závislých na umělém doplňování.

Nížší druhová diverzita v rámci naší studie je patrně dána kombinací menšího územního rozsahu a zvolené metodiky. Na rozdíl od studie [29], která zahrnuje jak vlastní terénní průzkumy, tak výsledky z databáze Agentury ochrany přírody a krajiny ČR (AOPK ČR) za dlouhá časová období, jsme my využili pouze vlastní terénní průzkum za pomoci elektrického agregátu. Práce [29] navíc zahrnovala i specifické izolované biotopy, jako jsou soukromé chovné rybníky a tůňe. Druhy jako jeseter sibiřský (*Acipenser baeri*) či slunka obecná (*Leucaspis delineatus*) jsou vázány právě na tato stanoviště a do samotného tekoucího koryta Ohře či Rolavy pronikají pouze raritně (např. při výlovech).

Dlouhodobý vývoj společenstva je úzce spojen s rostoucí četností výskytu nepůvodních druhů ryb, která je v zájmovém území jasně patrná od 20. století. Zatímco v historických přehledech z 19. století byl výskyt cizích druhů prakticky nulový a říční společenstvo bylo tvořeno výhradně našimi původními druhy, v současnosti se četnost výskytu nepůvodních taxonů výrazně zvýšila a představují již stálou složku druhové bohatosti povodí. Tento vzestupný trend byl zpočátku podporován záměrnými introdukcemi hospodářsky a sportovně atraktivních druhů (např. amur, tolstolobici, siven či pstruh duhový), jejichž populace jsou v toku dodnes udržovány umělým vysazováním ze strany ČRS. Vedle těchto managementových zásahů však moderní data vykazují také stoupající četnost spontánně se šířících invazních taxonů z tzv. černé listiny (jako je karas stříbřitý, střevlička východní či slunečnice pestrá). Postupná proměna druhového spektra od čistě původního společenstva k systému se stále běžnějším výskytem alochtonních druhů tak jasně demonstuje dlouhodobý antropogenní tlak a změny v charakteru celého říčního habitatu.

Hodnocení migrační průchodnosti

Vysoká míra fragmentace Rolavy představuje zásadní limit pro fungování říčního ekosystému. Na toku o celkové délce pouhých 37 km se v současnosti nachází celkem 41 překážek. Výškový rozdíl nad 0,6 m je obecně považován za kritickou mez, kterou většina našich původních druhů ryb nedokáže překonat. Na Rolavě je přitom 25 z těchto bariér vyšších než 0,6 m, což už znamená kritickou míru neprostupnosti pro většinu migrujících ryb. Tuto nepříznivou situaci dále umocňuje fakt, že pouze osm z těchto vysokých překážek je v současné době opatřeno rybím přechodem.

I přes zjevnou potřebu řešení této fragmentace je však při návrhu konkrétních revitalizačních opatření nutné vzít v úvahu socioekonomické limity. Z tohoto důvodu musíme jezy č. 1 – Rybáře (ř. km 1,1) a č. 5 – Stará Role (ř. km 4,6) klasifikovat jako překážky, jejichž úplné odstranění není v současné době možné. Oba objekty totiž stabilizují spádové poměry a zajišťují vzdutí hladiny pro provoz malých vodních elektráren (MVE), přičemž jez Rybáře navíc slouží jako klíčový zdroj užitkové vody pro místní koupaliště. Úplná obnova říčního kontinua formou odstranění těchto těles proto není reálná. Podélnou průchodnost dolního toku Rolavy je však možné řešit technickými zásahy, jež se pro obě lokality v nejbližší době plánují.

Konkrétně u jezu č. 1 v Rybářích se předpokládá vybudování rybního přechodu bazénového typu s balvanitými překážkami. Situován bude na pravém břehu v těsné blízkosti MVE. Toto umístění je optimální, neboť migrující ryby budou k přechodu přirozeně lákány silným vábícím proudem odcházejícím z turbín elektrárny. Na tuto přestavbu by měla následně navazovat i úprava jezu č. 5 ve Staré Roli. Plánovaná přeměna jeho kolmého betonového stupně na balvanitý skluz vytvoří drsné dno s dostatečnou hloubkou vody, což umožní bezpečnou migraci širokého spektra vodních organismů.

Naopak zbývající tři menší překážky, které se nacházejí v úseku mezi oběma velkými objekty, nepředstavují vzhledem ke své výšce ($< 0,3$ m) limit pro reofilní druhy s dobrou skokanskou a plaveckou schopností, jako je pstruh obecný potoční či lipan podhorní. Navíc díky jejich částečně narušenému technickému stavu vznikají v tělese těchto překážek proudové stíny, lokální kaverny a zóny s nižší rychlostí vody. Lze tedy předpokládat, že za běžných vodních stavů jsou tyto stupně migračně průchodné i pro druhy ryb s omezenou plaveckou schopností (vranka obecná, střevle potoční atd.). Skutečnou míru migrační průchodnosti těchto menších poškozených objektů však bude nutné v budoucnu potvrdit další navazující studií. Z hlediska prioritizace nápravných opatření na Rolavě je proto smysluplné soustředit se primárně na zprostřednění obou hlavních karlovarských jezů (č. 1 a č. 5), které v současnosti představují absolutní migrační překážku.

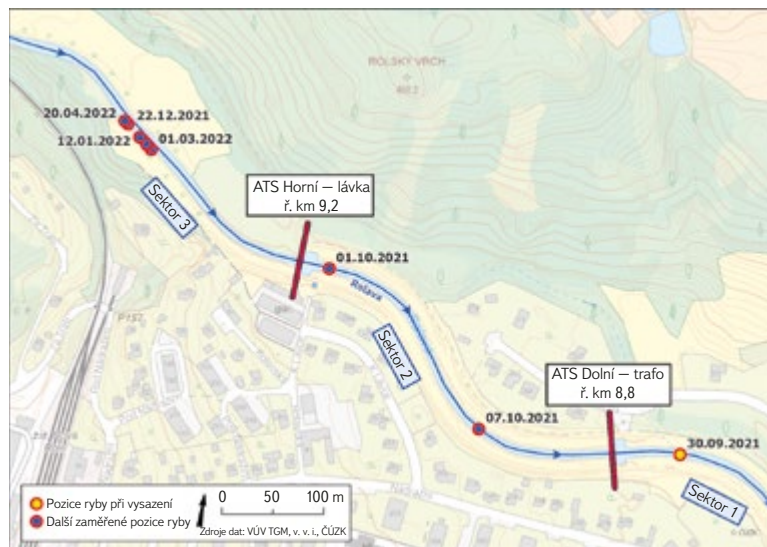
Porovnání metod – radiová telemetrie vs. odlovy pod překážkou

Hodnocení migrační propustnosti vodních toků je základním pilířem pro pochopení vlivu fragmentace říční sítě na rybí společenstva a jejich biodiverzitu. Tento princip je úzce provázán s požadavky Rámcové směrnice o vodách [14], která sice nevyžaduje aktivní monitoring propustnosti jednotlivých překážek, ale ukládá povinnost hodnotit podélnou kontinuitu vodního útvaru jako celku. Spojitost říční sítě zde figuruje jako klíčová podpůrná složka pro stanovení ekologického stavu vodních útvarů. Volba správné metodiky pro posouzení této propustnosti je proto zásadní pro získání validních dat, jež umožní efektivní návrh nápravných opatření či výstavbu funkčních rybích přechodů v souladu s evropskými standardy. Následující analýza porovnává telemetrické sledování a ichtyologické odlovy jako dva přístupy, které se liší mírou detailu, nároky na realizaci i interpretačními riziky.

Telemetrie představuje vysoce přesný nástroj pro detailní analýzu chování jednotlivců. Umožňuje identifikovat konkrétní bariéry, jež rybu zastavily, relativně přesně zdokumentovat čas potřebný k překonání migrační překážky a korelovat tuto aktivitu s okamžitými podmínkami prostředí, jako jsou teplota či průtok. Z pohledu konektivity habitatů poskytuje telemetrie unikátní data o dynamice přesunů mezi klíčovými stanovišti. V rámci naší studie se díky telemetrickému sledování podařilo potvrdit migrační průchodnost u dvou zprostředněných překážek na ř. km 8,8 a 9,2, přičemž data jasně prokázala, že tyto rybí přechody jsou schopni úspěšně překonat jak dospělí, tak i juvenilní jedinci pstruha obecného. Telemetrie nám navíc umožnila přesně detekovat rychlost tohoto pohybu a ukázala, že návrat do domovského teritoria probíhal většinou ihned po vysazení, případně do několika dní od vypuštění (obr. 8). Telemetrie umožnila detailně sledovat migrační chování v širším časovém kontextu v rámci celého roku. Ačkoli nejvyšší frekvence přesunů byla zaznamenána krátce po vysazení, kontinuální celoroční monitoring poskytl zásadní data o tom, zda pstruzi aktivně využívají i zbývající části toku během celého roku. To potvrzuje schopnost ryb aktivně využívat různé části toku v závislosti na sezónních potřebách, což by bez kontinuálního sledování nebylo možné detekovat.

Mimo sledování těchto plošných přesunů však telemetrie umožňuje také detailní mapování lokálního pohybu jedinců, což pomáhá detekovat, které konkrétní části vodního toku jsou pro ryby atraktivní. Možnost kontinuálně sledovat výskyt ryb v daném místě dovoluje přesně identifikovat mikrohabitáty, které ryby s oblibou využívají. Tyto poznatky představují jednu z klíčových odpovědí pro budoucí management a nápravná opatření. Poskytují totiž neocenitelné podklady pro optimální návrh revitalizací vodních toků – zejména pak v silně modifikovaných úsecích v intravilánu obcí, kde je správné prostorové uspořádání koryta a úkrytových možností pro udržení rybích společenstev zásadní.

Nevýhodou telemetrie je však vysoká finanční náročnost, nutnost chirurgického zákroku a především váhový limit. Hmotnost vysílačky by totiž v ideálním



Obr. 8. Pozice pstruha obecného ID 17 – Adult, migrace jedince odloveného v sektoru 3 a vysazeného do sektoru 1 zpět do původního domovského okrsku v sektoru 3 (homing); v září vypuštěn v sektoru 1, v říjnu zaznamenáván v sektoru 2, od listopadu již zpět v sektoru 3

Fig. 8. Movement of adult brown trout ID 17 following translocation from Sector 3 to Sector 1 and subsequent homing: released in Sector 1 in September, detected in Sector 2 in October, and returned to its original home range in Sector 3 by November

případě neměla přesáhnout 2 % hmotnosti ryby. Ačkoli nejmenší dostupné vysílačky na trhu váží přibližně 0,24 g, což teoreticky umožňuje značit jedince o minimální hmotnosti 12 g, životnost jejich baterie se v takovém případě pohybuje v řádu pouhých několika dní. Pro dlouhodobý monitoring ryb, jež navíc nepatří mezi vysoce mobilní druhy, je takto krátká doba zcela nedostačující. Telemetrie proto ze své podstaty není schopna spolehlivě potvrdit, zda je úsek migračně průchodný pro drobnější druhy ryb, jako jsou vranky, střevle či mřenky, u nichž je dlouhodobé sledování touto metodou nereálné. Z toho důvodu je nezbytné pro hodnocení konektivity u menších druhů využít jiné monitorovací metody, které dokážou určit překonatelnost bariér. Klíčovou roli zde mohou hrát pravidelné ichtyologické odlovy nad a pod překážkou, které nám na základě přítomnosti či absence těchto drobných druhů poskytují zásadní informaci o tom, zda byly ryby schopny skrze danou překážku reálně projít.

Navíc ichtyologické odlovy pod a nad překážkou nabízejí širší ekologický vhled za nižší náklady. Umožňují identifikovat bariéry na základě prezence či absence konkrétních taxonů, detekovat invazní druhy a analyzovat věkovou či velikostní strukturu populací. V rámci našeho monitoringu jsme touto metodou identifikovali celkem 23 druhů ryb a mihulí. Zaznamenali jsme jak chráněné a ekologicky hodnotné druhy (vranka obecná, střevle potoční, mník jednovousý, jelec jesen a mihule potoční), tak i nepůvodní či invazní taxony (karas stříbřitý, koljuška tříostná, pstruh duhový a střevlička východní). Tyto záznamy slouží jako cenný podklad pro návrh budoucích nápravných opatření k ochraně ohrožených druhů a zároveň umožňují stanovit riziko šíření nepůvodních druhů v povodí.

Detailní hodnocení velikostní struktury nám navíc umožnilo určit aktuální stav jednotlivých populací a ověřit, zda se v zájmovém území přirozeně rozmnožují. Úspěšná přirozená reprodukce byla na Rolavě potvrzena u pstruha obecného, mřenky mramorované a vranky obecné. Na řece Ohři bylo přirozené rozmnožování prokázáno mimo jiné u všech tří druhů jeliců (tloušť, jesen, proudník), parmy obecné, plotice obecné, koljušky tříostné a střevličky východní.

Mezi hlavní limity odlovů patří častější přímý zásah do prostředí vodního toku a riziko zranění ryb během odlovu/manipulace, jež bývá frekvencovanější u větších jedinců; ve vzácných případech může dojít i k úmrtí. Úspěšnost a selektivita

odlovů elektřinou je navíc vysoce závislá na mnoha faktorech prostředí, jako jsou vodivost vody, šířka a hloubka koryta, členitost, rychlost proudění či charakter dnového substrátu. Odlovy postrádají kontinuální záznam o pohybu konkrétních jedinců v čase, a poskytují tak pouze statický obraz v momentě vzorkování; nelze tudíž určit, zda ryba v minulosti danou překážku překonala a pak se vrátila zpět do svého původního okrsku. V neposlední řadě je nutné zdůraznit, že vypovídací hodnota odlovů může být výrazně zkreslena v revírech s umělým vysazováním ryb, kde přítomnost jedinců z obsádek často maskuje skutečnou (ne)propustnost vodního toku pro daný druh.

Obě sledované metody migrací ryb mají tedy své specifické přednosti a omezení. Nicméně právě v kombinaci ichtyologických odlovů s rádiovou telemetrií, která doplňuje chybějící individuální a časový detail, získáváme komplexní a robustní nástroj pro objektivní hodnocení říční konektivity a funkčnosti vodních ekosystémů. Získaná data o distribuci a početnosti jednotlivých druhů poskytují přímé indikace o tom, které překážky fungují jako selektivní filtry a pro které taxony či velikostní skupiny jsou zcela neprostupné. Výsledky terénních odlovů tak klíčovým způsobem doplňují telemetrická data a odhalují reálný, dlouhodobý dopad bariér na přirozenou strukturu rybí populace v dotčených úsecích Rolavy.

Predikce budoucího vývoje ichtyofauny v Rolavě

Obnovení podélné kontinuity toku a opětovné napojení Rolavy na Ohři představuje zásadní ekologický impuls, který patrně ovlivní budoucí složení místní ichtyofauny. Zároveň bude zajímavé sledovat, jakým způsobem na toto obnovené spojení zareaguje přirozená reprodukce lososovitých ryb, což je klíčový předpoklad pro zvrácení negativního trendu vývoje jejich populací [5].

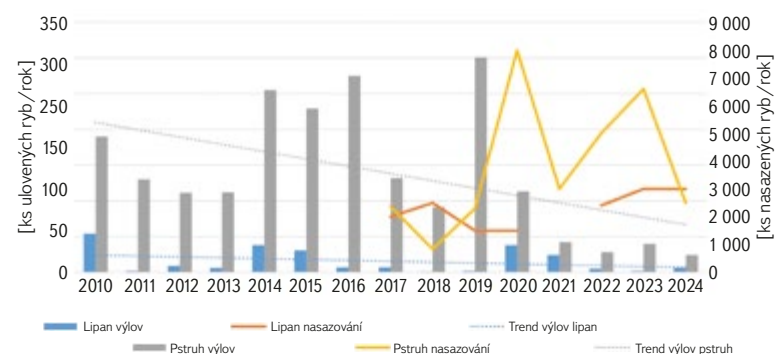
První část predikce se opírá o plánované stavební úpravy na Rolavě, konkrétně o zprůchodnění dvou klíčových migračních bariér. V lokalitě Stará Role bude současný jez č. 5 nahrazen balvanitým skluzem, avšak naprosto zásadním krokem bude zprůchodnění jezu č. 1 v Rybářích výstavbou rybího přechodu [30]. Tento jez v současnosti tvoří pro ryby nepřekonatelnou překážku. Jeho zprůchodnění obnoví migrační trasu z řeky Ohře, což by mělo vést k rekolonizaci Rolavy původními druhy, jako jsou vranka obecná, střevle potoční a mihule potoční. Tyto ekologicky náročné druhy vyžadují vysoce kvalitní, čistou vodu a běžně se vyskytují až v horních partiích pstruhového pásma; lze proto očekávat, že postupně rekolonizují celou délku toku Rolavy až po nejbližší další neprostupnou překážku. Mihule potoční však bude v tomto šíření limitována výskytem klidových zón s jemnými bahnitými sedimenty, v nichž její larvy (minohy) tráví první roky svého života. Do Rolavy by se mohl vrátit i mník jednovousý (*Lota lota*), který je také typickým zástupcem pstruhového pásma a je pravidelně vysazován Českým rybářským svazem do Ohře v Karlových Varech. Zprůchodněná Rolava by pro něj měla opět představovat typický domov a ideální stanoviště.

Co se týče hrouzka obecného (*Gobio gobio*) a reofilních kaprovitých ryb, jako jsou jelec proudník a jelec tlušť, lze očekávat, že se jejich výskyt bude počátku soustřeďovat spíše na dolní část toku Rolavy. Nicméně probíhající klimatická změna, která do našich řek přináší oteplování vody a nižší množství srážek, by mohla tuto ekologickou hranici postupně posouvat výše směrem proti proudu (k horním úsekům), což těmto druhům v budoucnu umožní kolonizovat i doposud chladnější podhorské partie. Naopak rozvoj nepůvodních druhů ryb, jako jsou koljuška tříostná (*Gasterosteus aculeatus*), karas stříbřitý či střevlička východní (*Pseudorasbora parva*), není v širším měřítku očekáván. Vzhledem k biologickým nárokům těchto limnofilních taxonů lze předpokládat, že by po zprůchodnění dolních bariér mohly potenciálně proniknout pouze do nejnižšího, antropogenně modifikovaného úseku v intravilánu Karlových Varů.

Druhá část predikce je zaměřena na vývoj populací lososovitých druhů ryb a opírá se o vlastní ichtyologické průzkumy realizované na Rolavě v letech

2022–2025. Tyto průzkumy probíhaly převážně na přelomu jara a léta, přičemž na Rolavě a Ohři bylo provedeno celkem 32 kontrolních odlovů. V posledním roce řešení projektu jsme v horní části úseku u jezu č. 5 a 6 zaznamenali výrazný nárůst abundance plůdku pstruha obecného, která dosahovala desítek až stovek kusů na 100 metrů toku. U odlovených jedinců dosahovala délka přibližně 30 mm. Dle zarybňovacího plánu vysazuje ČRS do revíru Rolava 1A běžně ročka či násadu pstruha, jejíž délka dosahuje minimálně 100 mm. Vzhledem k tomuto výraznému rozdílu ve velikosti je zcela zjevné, že nalezení jedinci pocházejí z přirozeného výtěru. Tento výsledek představuje výrazný kontrast k předchozím letům, kdy zde nebyl plůdek detekován vůbec, případně byl zaznamenán pouze v minimálním množství [19].

Vzhledem k ojedinělosti tohoto nálezu není v současné chvíli zcela jasné, zda se na vysoké početnosti plůdku primárně podílelo zprůchodnění jezu na ř. km 8,8 a 9,2, nebo zda šlo o vliv specifických podmínek daného roku. Pro potvrzení trvalého přínosu zprůchodnění bude nezbytné provést v dané lokalitě další monitoring stavu ichtyofauny. Nicméně i tak jde o zásadní indikátor potenciálu toku pro přirozenou reprodukci. Právě její podpora se jeví jako klíčová metoda pro dosažení stabilní a věkově strukturované populace. Z dat ČRS (obr. 9) je patrný dlouhodobě klesající trend úlovků pstruha obecného i lipana podhorního, a to navzdory intenzivnímu umělému vysazování, které tento propad nedokáže efektivně kompenzovat. Přestože přesné záznamy o zarybňování jsou k dispozici až od roku 2017, dle ústního sdělení technika územního svazu Ing. H. Dorta probíhalo vysazování i v dřívějších letech v objemech přibližně 1 500 ks lipana a 2 000 ks pstruha ročně. Příčiny tohoto negativního vývoje jsou komplexní; zahrnují predáční tlak, nelegální lov i celkovou degradaci biotopů, což je jev pozorovatelný u většiny pstruhových revírů v ČR. Zprůchodnění toku je jeden z nezbytných předpokladů pro záchranu místních populací, musí však jít ruku v ruce s řešením ostatních environmentálních tlaků.



Obr. 9. Statistika ulovených a nasazených ryb v jednotlivých letech u pstruha potočního (*Salmo trutta m. fario*) a lipana podhorního (*Thymallus thymallus*) na revíru Rolava 1A (zdroj dat: Západočeský územní svaz ČRS)

Fig. 9. Annual catch and stocking data for brown trout (*Salmo trutta m. fario*) and grayling (*Thymallus thymallus*) in Rolava 1A angling district (data source: West Bohemian Territorial Union of the Czech Anglers Union [ČRS])

ZÁVĚR

Řeka Rolava se v posledních letech stává klíčovým dějištěm v úsilí o obnovu říční kontinuity v Karlovarském kraji. Hlavním cílem je zajištění migrační průchodnosti, což je zásadní faktor pro stabilitu populací reofilních druhů ryb. Revitalizace vodních toků přímo navazuje na historický odkaz přírodovědce Antonína Friče, jenž již ve druhé polovině 19. století definoval potřebu volných migračních cest v českých povodích.

Kombinace neprostupných stupňů v dolním i horním toku vytváří z Rolavy sérii izolovaných úseků, což zásadně degraduje ekologický potenciál celého

povodí, znemožňuje rybám využívat jejich přirozené migrační trasy a brání naplnění legislativních požadavků na biologickou integritu vodních ekosystémů. Odstraňování bariér na Rolavě tak otevírá cestu k obnově celého říčního ekosystému a návratu mnoha ohrožených a vzácných druhů a k vytvoření přírodě blízkých společenstev nejen ryb.

Analýza vývoje ichtyofauny ukazuje zajímavý trend: celkový počet zjištěných druhů v rámci našeho monitoringu (23 druhů) zůstává velmi podobný historickým záznamům z 19. století, jež uváděly 20 až 28 druhů. Došlo však k zásadnímu posunu ve složení společenstva. Vlivem extrémní fragmentace vodního toku, kterou způsobuje 41 příčných překážek, z Rolavy vymizely některé původní citlivé druhy. Ty byly v průběhu let nahrazeny druhy nepůvodními či invazními, jež jsou k degradaci prostředí odolnější.

Že je cesta obnovy migrační prostupnosti technicky i biologicky realizovatelná, potvrdila úspěšná revitalizace tří stupňů v Nové Roli v roce 2020. Použitá radiová telemetrie jednoznačně prokázala, že vybudované rybí přechody jsou přinejmenším pro pstruha obecného plně funkční a umožňují přirozený pohyb ryb ve vodním toku. Vysoká úspěšnost překonávání již revitalizovaných úseků tak dává velmi pozitivní výhled pro plánované zprůchodnění kritických bariér v Rybářích a Staré Roli, což je nezbytný předpoklad pro dlouhodobou udržitelnost místní ichtyofauny.

Výsledky monitoringu v letech 2022–2025, zejména z posledního roku sledování, naznačují význam a značný rozsah přirozené reprodukce na Rolavě. Zatímco v předchozích letech byl výskyt plůdku pstruha obecného minimální, aktuální data potvrzují schopnost tohoto vodního toku poskytovat vhodné podmínky pro úspěšný přirozený výtěr.

Tato zjištění jsou o to významnější v kontextu obecného klesajícího trendu v početnosti reofilních druhů ryb, který v posledních letech nedokáže efektivně kompenzovat ani intenzivní umělé vysazování. To se projevuje i v revíru Rolava 1A klesajícími úlovky pstruha a lipana. Ukazuje se, že pokud je rybám dán prostor v podobě migrační prostupnosti, je přirozená reprodukce nejen možná, ale stává se jedním z hlavních nástrojů pro udržení stabilní a věkově strukturované populace.

Poděkování

Tento výstup vznikl za finanční podpory projektu č. SS02030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda)“ v rámci programu Technologické agentury ČR Prostedí pro život.

Autoři děkují státnímu podniku Povodí Ohře za poskytnutí cenných podkladových materiálů. Poděkování patří také Českému rybářskému svazu – Západočeskému územnímu svazu, jmenovitě Ing. Hynku Dortovi, a kolegům Patriku Slaninovi a Vítu Břicháčkovi za pomoc při odlovech. V neposlední řadě autoři děkují Ing. Jiřímu Musilovi, Ph.D., a MVDr. Janě Kvičerové, Ph.D., za odbornou pomoc a spolupráci.

Literatura

- [1] RONI, P., HANSON, K., BEECHIE, T. Global Review of the Physical and Biological Effectiveness of Stream Habitat Rehabilitation Techniques. *North American Journal of Fisheries Management*. 2008, 28(3), s. 856–890. Dostupné z: <https://doi.org/10.1577/M06-169.1>
- [2] RANDÁK, T., SLAVÍK, O., KUBEČKA, J. et al. *Rybářství ve volných vodách*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2013. 434 s. ISBN 978-80-87437-49-0.
- [3] JUST, T. *Ekologicky orientovaná zpráva vodních toků v oblasti péče o jejich morfologický stav. Metodika AOPK ČR*. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2016. 83 s.
- [4] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. *Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2012: An Indicator-Based Report*. Copenhagen, 2012. 300 s. ISBN 978-92-9213-346-7.
- [5] MUSIL, J., HORKÝ, P., SLAVÍK, O., ZBOŘIL, A., HORKÁ, P. The Response of the Young of the Year Fish to River Obstacles: Functional and Numerical Linkages between Dams, Weirs, Fish Habitat Guilds and Biotic Integrity across Large Spatial Scale. *Ecological Indicators*. 2012, 23, s. 634–640. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.05.018>

[6] VOGL, Z. et al. *Koncepce zprůchodnění říční sítě ČR, aktualizace 2020*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2020. 28 s.

[7] SLAVÍK, O., VANČURA, Z. et al. *Migrace ryb, rybí přechody a způsob jejich testování. Metodický postup pro návrh, realizaci a možnosti testování funkce rybích přechodů pro žadatele OPŽP*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2012. 139 s. ISBN 978-80-7212-580-7. Dostupné z: https://mzp.gov.cz/system/files/2024-12/OAZK-Migrace_ryb_rybi_prechody_a_zpusob_jejich_testovani.pdf

[8] FRIČ, A. *Losos labský. Biologická a anatomická studie*. Praha: A. Frič, 1894. 103 s.

[9] PILCHER, M. W., COPP, G. H., SZOMOLAI, A. A Comparison of Adjacent Natural and Channelised Stretches of a Lowland River. *Biologia*. 2004, 59(5), s. 669–673.

[10] WEBER, A., WOLTER, C. Habitat Rehabilitation for Juvenile Fish in Urban Waterways: A Case Study from Berlin, Germany. *Journal of Applied Ichthyology*. 2016, 33(1), s. 136–143. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/jai.13212>

[11] FRIČ, A. Třetí zpráva o biologických a anatomických zkoumáních na lososu labském. *Vesmír*. 1887, 16(13), s. 153–154. Dostupné z: <https://kramerius.lib.cas.cz/view/uuid:4dcdcf3-5625-11e1-1726-001143e3f55c?page=uuid:4dcdcf9a-5625-11e1-1726-001143e3f55c>

[12] LUSK, S., HARTVICH, P., LOJKÁSEK, B. *Migrace ryb a migrační prostupnost vodních toků*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2014. ISBN 978-80-87437-77-3.

[13] MILOTOVÁ, N. Řeka Ohře ve světle vědeckých a praktických rybářských aktivit Antonína Friče realizovaných v rámci záchranné akce na zvýšení populace lososa obecného (*Salmo salar*) v řekách na území Čech v poslední třetině 19. století. *Journal of the National Museum (Prague). Natural History Series*. 2023. 192(1), s. 21–42. Dostupné z: <https://doi.org/10.37520/jnmpnhs.2023.003>

[14] *Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady z 23. října 2000 ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky*. 2000.

[15] FRIČ, A. *Rybářská mapa království Českého*. Praha: A. Frič, 1888. Dostupná z: <https://ndk.cz/view/uuid:e7855980-1a31-11df-82f8-000bdb925259?page=uuid:f52e3e8f-3147-46a9-9414-08d352c3078d>

[16] FRIČ, A. *Vysvětlivky ku Rybářské mapě Čech*. Praha: A. Frič, 1888. 8 s. Dostupné z: <https://ndk.cz/view/uuid:e7855980-1a31-11df-82f8-000bdb925259?page=uuid:f52e3e8f-3147-46a9-9414-08d352c3078>

[17] AGENTURA OCHRANY PŘÍRODY A KRAJINY ČR. *Pasportizace vodních toků*. Praha: AOPK ČR, 2025. [citováno 2026-01-23]. Dostupné z: <https://aopk.gov.cz/pasportizace-vodnich-toku>

[18] MUSIL, J., MAREK, P., BARANKIEWICZ, M. *Biologické hodnocení rybích přechodů. Metodika AOPK ČR*. Praha: AOPK ČR, 2020. 39 s. ISBN 978-80-7620-052-4.

[19] JANDA, P. *Hydrobiologický a ichtyologický průzkum. VT Rolava - revitalizace 2 stupňů v Nové Roli*. 2018.

[20] LEPS, J. *Biostatistika*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Přírodovědecká fakulta, 2006.

[21] ZUUR, A. F., IENO, E. N., WALKER, N., SAVELIEV, A. A., SMITH, G. M. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. New York: Springer New York, 2009.

[22] BRAY, J. R., CURTIS, J. T. An Ordination of the Upland Forest Communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*. 1957, 27(4), s. 325–349. Dostupné z: <https://doi.org/10.2307/1942268>

[23] CLARKE, K. R. Non-Parametric Multivariate Analyses of Changes in Community Structure. *Australian Journal of Ecology*. 1993, 18(1), s. 117–143. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x>

[24] R CORE TEAM. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2026. Dostupné z: <https://www.r-project.org/>

[25] GLÜCKSELIG, A. M. *Der Elbogner Kreis des Königreich Böhmen. In medizinisch, naturhistorischer und statistischer Hinsicht geschildert*. Carlsbad: Gebrüder Franke, 1842. 218 s.

[26] HOWORKA, F. W. Die Fische und Fischerei-Verhältnisse des Egergebietes. In: *Programm des Kommunal-Obergymnasiums in Kaaden. Veröffentlicht am Schlusse des Schuljahres*. Kaaden: Heinrich Meyer, 1888. 40 s.

[27] Činnost rybářského spolku v Karlových Varech. Zprávy rybářské. *Vesmír*. 1887, 16(6), s. 70. Dostupné z: <https://kramerius.lib.cas.cz/view/uuid:4dcdcf3-5625-11e1-1726-001143e3f55c?page=uuid:4dcdcf47-5625-11e1-1726-001143e3f55c>

[28] FLASAR, I., FLASAROVÁ, M. *O rybách řeky Ohře*. Monografické studie Krajského muzea v Teplicích, sv. 21. Teplice: Krajské muzeum Teplice a Povodí Ohře Chomutov, 1981. 91, [4] s.

[29] MATĚJŮ, J., HOLUB, M. *Ryby a mihule Karlovarského kraje*. Karlovy Vary: Karlovarský kraj, 2019. 134 s. ISBN 978-80-88017-35-6.

[30] POVODÍ OHŘE, s. p. *Plán dílčího povodí Ohře, dolního Labe a ostatních přítoků Labe*. 2025. Dostupné z: [https://www.poh.cz/plan-dilciho-povodi-ohre-dolního-labe-a-ostatních-přítoku-labe/ds-1163](https://www.poh.cz/plan-dilciho-povodi-ohre-dolního-labe-a-ostatnich-přítoku-labe/ds-1163)

Autoři

Mgr. Eduard Bouše

✉ eduard.bouse@vuv.cz

ORCID: 0000-0001-7762-0222

Ing. Miroslav Barankiewicz

✉ miroslav.barankiewicz@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-7829-4294

RNDr. Petr Vlašánek, Ph.D.

✉ petr.vlasanek@vuv.cz

ORCID: 0009-0000-1244-9831

Ing. Hana Nováková, Ph.D.

✉ hana.novakova@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-5946-4796

RNDr. Tomáš Daněk, Ph.D.

✉ tomas.danek@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-7131-7625

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

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2026.07.001

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



Hrouzek obecný (*Gobio gobio*), typický zástupce ryb z proudných úseků s písčitým či štěrkovým dnem (foto: M. Barankiewicz)

Gudgeon (*Gobio gobio*), a typical representative of fish from fast-flowing sections with sandy or gravelly bottoms (photo: M. Barankiewicz)

ASSESSMENT OF FISH PASSAGE IN THE ROLAVA RIVER AND ESTIMATED EFFECTS OF ITS RESTORATION ON FISH COMMUNITIES

BOUŠE, E.; BARANKIEWICZ, M.; VLAŠÁNEK, P.; NOVÁKOVÁ, H.; DANĚK, T.

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

Keywords: restoration – fragmentation – ichthyofauna – biodiversity – Ohře River basin – fish passes

The study examines the impact of river network fragmentation on rheophilic fish populations in the Rolava and Ohře river basins, with an emphasis on assessing migratory connectivity and the effectiveness of revitalization measures. Based on a river inventory analysis, the Rolava River exhibits a high degree of anthropogenic disturbance; of the 41 identified transverse structures, more than half represent a critical barrier with a height exceeding 0.6 m, which most native fish species are unable to overcome. Ichthyological surveys conducted between 2022 and 2025 demonstrated that while the section below the key barrier in Rybáře hosts a species-rich community, including specially protected species such as the European bullhead (*Cottus gobio*) and the European brook lamprey (*Lampetra planeri*), isolated sections above the weir show a decline in diversity and an increase in non-native species. Radiotelemetry monitoring of brown trout (*Salmo trutta*) migrations across revitalized sills in Nová Role confirmed the high functionality of fish passes (88–100 % success rate) and the ability of fish to utilize the restored river continuum, a finding further supported by the observed increase in the natural reproduction of brown trout. The study concludes that restoring connectivity at the remaining critical barriers in Karlovy Vary is an essential step for the recolonization of the watercourse by native ichthyofauna and the long-term sustainability of populations, which currently cannot be effectively stabilized even through intensive artificial stocking.



Měření uloveného pstruha potočního (*Salmo trutta m. fario*) při terénním průzkumu rybí obsádky (foto: E. Bouše)

Measurement of a captured brown trout (*Salmo trutta m. fario*) during a field fish stock survey (photo: E. Bouše)



Mřenka mramorovaná (*Barbatula barbatula*), nenápadný, ale významný obyvatel dna našich pstruhových a lipanových toků (foto: E. Bouše)
 Stone loach (*Barbatula barbatula*), an inconspicuous yet significant bottom-dweller of our trout and grayling streams (photo: E. Bouše)



Pstruh potoční (*Salmo trutta m. fario*) – ikona čistých, chladných a dobře okysličených vod (foto: M. Barankiewicz)
 Brown trout (*Salmo trutta m. fario*) – an iconic species of clean, cold, and well-oxygenated waters (photo: M. Barankiewicz)



Mihule potoční (*Lampetra planeri*) – vzácný a přísně chráněný živočich, který je citlivým ukazatelem čistoty vody a přirozeného stavu řeky (foto: M. Barankiewicz)
 Brook lamprey (*Lampetra planeri*) – a rare and strictly protected species that is a sensitive indicator of water purity and the natural state of the river (photo: M. Barankiewicz)

Simulace teplotního režimu vodárenské nádrže v podmínkách uvažovaných klimatických změn

ALEŠ HAVLÍK, ADAM VIZINA, BARBORA KRIJT

Klíčová slova: teplotní profil — teplota vody — klimatická změna — kvalita vody — vodárenská nádrž

ABSTRAKT

Článek se zabývá problematikou možného ovlivnění teplotního režimu vodárenské nádrže v důsledku uvažovaných klimatických změn.

Metodika řešení byla založena na simulování teplotních změn ve vodárenské nádrži pomocí dvourozměrného (2D) softwarového prostředí CE-QUAL-W2, který obsahuje matematický model pro hydrodynamickou simulaci 2D proudění a řešení kvality vody v nádržích. Jeho hydrodynamická část je založena na vodorovném zprůměrování v příčném směru trojrozměrných pohybových rovnic. Simulace modelování teplotního režimu a kvality vody je numericky řešena pomocí turbulentní advekční difuzní rovnice. Celková výměna tepla mezi vodou a atmosférou je kvantifikována na základě průběhu teplot vzduchu, teplot rosného bodu, absolutní vlhkosti, rychlosti větru, oblačnosti a geografické polohy hladiny nádrže.

Posouzení možného ovlivnění teplotního režimu bylo řešeno na příkladu vodárenské nádrže Vrchlice. Kalibrace modelu byla provedena pro rok 2023 s využitím podrobných měření průběhu teploty vody po výšce ve vybraných svislicích zpracovaných správcem vodního toku Povodím Labe; následná verifikace byla provedena pro rok 2022. Pro porovnání ovlivněného režimu se stávajícím stavem byl jako referenční zvolen rok 2018. Pozorovaná denní řada teploty vzduchu z roku 2018 byla metodou Advanced Delta Change (ADC) transformována tak, aby odpovídala změnám odvozeným z klimatických modelů pro horizonty 2050 a 2085. Scénářové výpočty prezentované v tomto článku izolují vliv změny teploty vzduchu, ostatní meteorologické a hydrologicko-provozní vstupy jsou ponechány na referenční úrovni roku 2018.

Výsledkem je porovnání průměrných teplot vody v charakteristických svislicích pro vybrané scénáře klimatických změn postupně pro roky 2050 a 2085 s průběhem hodnot pro rok 2018, obdobně pak pro teplotu vody na hladině.

ÚVOD

Problematika možného ovlivnění teplotního režimu vodárenské nádrže byla řešena v rámci projektu TA ČR „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu“ na Fakultě stavební ČVUT v letech 2020–2026. Na počátku řešení projektu bylo jako pilotní povodí zvoleno povodí řeky Vrchlice, kde se nachází i stejnojmenná vodárenská nádrž. Možné ovlivnění teplotního režimu vodárenské nádrže bylo proto zpracováno právě na příkladu této nádrže.

Jezera a nádrže v celosvětovém měřítku reagují na změnu klimatu růstem teploty vody, změnami délky a intenzity teplotní stratifikace, změnami mísičích režimů a v některých případech také zhoršováním kyslíkových poměrů. Modelové projekce teplotní struktury nádrží proto představují důležitý podklad nejen pro posouzení jejich fyzikálního režimu, ale také pro navazující hodnocení kvality vody a biogeochemických procesů.

Cílem studie je kvantifikovat, jak se může změnit teplotní režim VD Vrchlice v blízkosti hráze a na hladině při klimatických podmínkách reprezentujících horizonty 2050 a 2085 a scénáře SSP2-4.5 a SSP5-8.5, a porovnat tyto změny s referenčním rokem 2018. Studie řeší tři otázky: (i) jak se mění průměrná a povrchová teplota vody, (ii) jak se odezva liší mezi klimatickými scénáři a horizonty a (iii) jaká omezení je nutné zohlednit při interpretaci výsledků pro vodohospodářskou praxi. Vrchlice byla zvolena jako pilotní lokalita projektu a současně jako vodárenská nádrž s dostupnými svislicovými měřeními a provozními údaji. Praktickým přínosem je získání podkladu pro posouzení možných budoucích změn teplotních poměrů v prostoru vodárenských odběrů a pro navazující hodnocení provozu nádrže a kvality vody; metodickým přínosem je aplikace laterálně zprůměrovaného 2D modelu na konkrétní českou vodárenskou nádrž s využitím souboru klimatických scénářů.

METODIKA

Teoretický rozbor

Souhrnné porovnání nádržových modelů uvádí, že CE-QUAL-W2 umožňuje společně simulovat úroveň hladiny, proudění, teplotu vody a vybrané ukazatele její kvality, přičemž volba modelu musí odpovídat geometrii nádrže a dominantním fyzikálním procesům [1]. Problematikou změn teplotního režimu nádrží v podmínkách klimatické změny se zabývala např. práce [2]. Publikace Golub et al. [3] propojuje výpočet teploty a teplotní struktury jezer s budoucím modelováním kyslíku, kvality vody, biogeochemie a vodních květů. Integrovanému modelování systému řeka – nádrž a významu propojení hydrodynamiky, jakosti vody a provozu nádrže se věnovali Ferreira a Fernandes [4]. Vyšší teplota a změny hydrologických extrémů mohou současně ovlivňovat mobilizaci živin, zákal, koncentrace rozpuštěných látek a další ukazatele kvality vody [5]. Starší případové studie navrhovaných nádrží rovněž ukazují, že spojení monitoringu, modelování látkového zatížení a modelování odezvy nádrže může být využito pro prognózu budoucího trofického stavu a pro podporu rozhodování [6].

Pro simulace vývoje teplotního režimu vodárenských nádrží v podmínkách uvažovaných klimatických změn byl zvolen softwarový prostředek CE-QUAL-W2. Ten je tvořen modelem pro hydrodynamickou simulaci 2D proudění a řešení kvality vody v nádržích vyvinutým Department of Civil and Environmental Engineering Portland State University. Model je jako free software nabízen k volnému užívání [7, 8]. Přehledu monitorování a modelování kvality vody v nádržích, včetně možností a omezení softwaru CE-QUAL-W2 se věnovali Talebbeydokhti et al. [1].

V českém prostředí se hydrodynamickému a jakostnímu modelování vodárenských nádrží dlouhodobě věnuje také výzkumný tým Hydrobiologického

ústavu Biologického centra AV ČR s účastí J. Hejzlara. Pro vodárenskou nádrž Římov byl model CE-QUAL-W2 použit k dvourozměrnému modelování hydrodynamiky a kvality vody [9]. Navazující práce se zabývala také možnými dopady změny klimatu na kvalitu vody v nádrži [10].

Teplotní režim hlubších vodárenských nádrží má výrazný sezonní charakter: během teplé části roku se může vytvářet stabilní stratifikace s teplejší povrchovou vrstvou a chladnějším hypolimniem, zatímco v období promíchávání se teplotní rozdíly ve vodním sloupci zmenšují. Pro vodárenskou praxi je významná zejména teplota v úrovni odběru, protože společně se stratifikací a kyslíkovými poměry ovlivňuje volbu odběrové etáže a může souviset s jakostí surové vody. Pro ekologické hodnocení je teplotní režim důležitý také vazbou na rychlost biologických a biogeochemických procesů [3, 9, 10].

Příprava klimatických vstupů byla založena na přírůstkové metodě Advanced Delta Change (ADC), která transformuje pozorované řady tak, aby rozdíl mezi referenční a budoucí řadou odpovídal změnám odvozeným z klimatických modelů [11]. V denním kroku je důležité, aby transformace nezachycovala pouze změnu průměru, ale také změnu variability. To je podstatné zejména pro srážky a extrémní hodnoty, jejichž změna nemusí odpovídat prostému posunu průměrné hodnoty. U teploty vzduchu je transformace provedena lineárně, takže systematická chyba klimatického modelu nemá na výslednou teplotní změnu stejný vliv jako u srážek [11]. Výstupem jsou denní řady průměrné teploty vzduchu a dalších hydroklimatologických veličin použitelné pro navazující hydrologické a vodohospodářské modelování. Pro teplotu vzduchu použitou v této studii transformace zachovává časovou strukturu referenčního roku a přenáší na ni změnu průměru a variability odvozenou pro daný klimatický model, scénář a časový horizont. Problematikou adaptivního řízení nádrží během hydrologického sucha se zabývali Fošumpaur a Kováčová [12].

Software CE-QUAL-W2

Základem řešení jsou řídicí rovnice. Hydrodynamickou část tvoří laterálně zprůměrovaná rovnice hybnosti v podélném směru, hydrostatická rovnice ve svislém směru a rovnice kontinuity. Model CE-QUAL-W2 používá hydrostatickou aproximaci: vzhledem k výrazně většímu podélnému než svislému rozměru nádrže se ve svislé rovnici hybnosti zanedbávají svislá zrychlení a smyková napětí. Svislá složka rychlosti však není nulová; uplatňuje se v advekčním členu podélné rovnice hybnosti a v rovnici kontinuity. Laterální zprůměrování předpokládá, že laterální změny rychlosti, teplot i dalších ukazatelů jakosti vody jsou zanedbatelné. Je třeba si uvědomit, že tento předpoklad může být nevhodný pro velké vodní útvary vykazující významné laterální změny kvality vody.

Pro vodorovnou podélnou osu a při zanedbání podélného gradientu atmosférického tlaku mají rovnice hybnosti v podélném směru (1) a hydrostatická rovnice ve svislém směru (2) tvar:

$$\frac{\partial \bar{u}_x}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_x \bar{u}_x}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}_x \bar{u}_z}{\partial x} = g \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{g}{\rho} \cdot \int_h^z \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \quad (1)$$

$$g - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

kde:

x, z	jsou	souřadnice v podélném a svislém směru [m]
$\bar{u}_x$		příčně zprůměrované podélné složky rychlosti [$m \cdot s^{-1}$]
$\bar{u}_z$		příčně zprůměrované svislé složky rychlosti [$m \cdot s^{-1}$]
t	je	čas [s]
g		tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

ρ	hustota [$kg \cdot m^{-3}$]
p	tlak
H	úroveň hladiny [m]
τ_{xx}, τ_{xz}	jsou turbulentní tečná napětí působící v podélném směru [Pa]

Integračními mezemi jsou hodnoty od úrovně z až po hladinu $z = h$. Podmínkou užití takto sestavených řídicích rovnic je, že příčné složky rychlosti jsou zanedbatelné oproti složkám podélným a svislým. Proto se je doporučuje používat pro úzké a hluboké nádrže, rovněž se doporučuje její převážně přímý směr.

Volba 2D laterálně zprůměrovaného modelu byla pro VD Vrchlice založena na podélném charakteru nádrže. Délka vzdutí dosahuje při maximálních průtocích přibližně 4,8 km, zatímco průměrná šířka dna je v sestaveném modelu přibližně 200 m a maximální šířka dna 476 m; výška hráze nad terénem je téměř 34 m. Z hlediska měřítka nádrže lze proto očekávat, že pro hodnocení podélně-svislé teplotní struktury jsou dominantní gradienty ve směru osy a ve svislici. Tento předpoklad však neznamená, že laterální nehomogenity jsou zanedbatelné za všech situací. Nejistotu mohou zvyšovat zejména lokální vlivy bočních zátok a přítoků, prostorově proměnlivý účinek větru a podmínky v bezprostředním okolí odběrných objektů. Výsledky proto představují laterálně zprůměrovaný obraz teplotního režimu a nemají být interpretovány jako náhrada plně trojrozměrného popisu lokálních proudových a teplotních struktur [7, 8].

Pro rovnici kontinuity (3) platí:

$$\frac{\partial \bar{u}_x}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_z}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

Řídicí difúzní rovnice pro modelování teploty a kvality vody je [13]:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_x \Phi}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}_z \Phi}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left[D_x \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right] - \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left[D_z \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right] = 0 \quad (4)$$

kde:

Φ	je	teplota vody [$^{\circ}C$]
D_x, D_z	jsou	koefficienty podélné a svislé disperze [$m^2 \cdot s^{-1}$]

Z hlediska vnějších vlivů je teplotní režim nádrže dominantně ovlivněn výměnou tepla mezi hladinou a atmosférou. Je však tvořen celou řadou složek, pro celkový tepelný tok platí rovnice (5):

$$q_H = q_1 + q_2 + q_3 - q_4 - q_5 \quad (5)$$

kde:

q_H	je	celkový tepelný tok mezi hladinou a atmosférou [$w \cdot m^{-2}$]
q_1		přijatý tepelný tok od krátkovlnného slunečního záření [$w \cdot m^{-2}$]
q_2		přijatý tepelný tok od dlouhovlnného záření [$w \cdot m^{-2}$]
q_3		tepelný tok konvekci [$w \cdot m^{-2}$]
q_4		ztráta tepla dlouhovlnným vyzařováním z hladiny [$w \cdot m^{-2}$]
q_5		tepelný tok od ztráty tepla výparem [$w \cdot m^{-2}$]

Zatímco veličiny q_1 a q_2 jsou na teplotě nezávislé, zbývající členy jsou funkcí teploty vody na hladině a teploty vzduchu. K jejich stanovení je k dispozici řada známých a ověřených empirických rovnic.

Data pro řešení

Řešení modelu vychází z podélného rozdělení nádrže na sebe navazující segmenty. Každý je definován délkou ve směru osy nádrže, pro každý jsou pak z digitálního modelu dna odvozeny šířky ve zvolených výškových úrovních. Ke stanovení jednotlivých členů rovnice (5) vyžaduje model zadání geografického umístění nádrže a dále časový průběh teplot vzduchu, teploty rosného bodu, rychlosti a směru větru a oblačnosti během řešené epizody [7, 8].

V prezentovaných scénářových výpočtech byla změna klimatu aplikována pouze na teplotu vzduchu. Teplota rosného bodu, rychlost a směr větru a oblačnost byly ponechány ve scénářových bázích shodné s referenční meteorologickou řadou roku 2018. Tím je záměrně izolován vliv změny teploty vzduchu; současně jde o zjednodušení, protože budoucí změny ostatních meteorologických veličin nejsou v této studii zahrnuty.

Okrajovými podmínkami jsou pak časové průběhy přítoku a odtoku vody, teploty vody na přítoku, počátečními podmínkami počáteční úroveň hladiny a teploty vody v nádrži.

Simulacemi kvality vody v nádržích modelem CE-QUAL-W2 se zabývaly např. práce [9, 11 a 14], problematikou teplotního režimu v podmínkách uvažovaných klimatických změn publikace [2 a 10].

Sestavený model a jeho kalibrace

Základem vytvořeného modelu VD Vrchlice byl Bathymetry file, který definuje geometrický model nádrže. Ten byl tvořen celkem 41 segmenty s proměnlivou délkou ve směru osy nádrže, podélný rozměr segmentů byl řádově 100 m. Proměnlivé šířky jednotlivých vrstev byly po výšce vodního sloupce odvozeny pro každý celý 1 m výškového systému Balt po vyrovnání. Ukázka umístění os výpočetních segmentů je na podkladu státní mapy ČUZK [15] na *obr. 1* vyznačena červenou barvou. Maximální šířky dna se pohybovaly od 55 m v segmentu 1 až po 476 m v segmentu 39, v průměru pro celou nádrž pak 200 m.

Kalibrace 2D modelu byla zpracována pro rok 2023, kdy byly provedeny numerické simulace vývoje teplotního režimu nádrže Vrchlice s využitím meteorologických dat ze stanice ČHMÚ Chotusice, Vavřinec a jejich průměrných hodnot (průměrné denní hodnoty). Stanice Chotusice se nachází 12 km východně od nádrže Vrchlice u vojenského letiště Čáslav, stanice Vavřinec 14 km západně blízko obce Uhlířské Janovice. Časový průběh přítoku vody do nádrže byl dopočítán z časových průběhů odtoku vody a úrovně hladiny v nádrži. Pro neznámou hodnotu teploty vody na přítoku byl odhadnut typický roční průběh s využitím měření teploty vody ve svislicích 1 na počátku vzdutí nádrže.

Hydrologický vstup byl v prezentované aplikaci vyjádřen souhrnným přítokem dopočteným z bilanční vazby mezi odtokem a změnou zásoby vody v nádrži. Jednotlivé dílčí přítoky proto nejsou v tomto článku hodnoceny samostatně a jejich případná prostorová teplotní heterogenita představuje jedno z omezení modelového zjednodušení. Odtoková podmínka vycházela z provozních údajů; v hodnocených letech byl podle správce využíván horní ze tří etážových odběrů, což bylo v modelu zohledněno. Vliv alternativní volby odběrové etáže nebyl součástí zde prezentovaných scénářů.

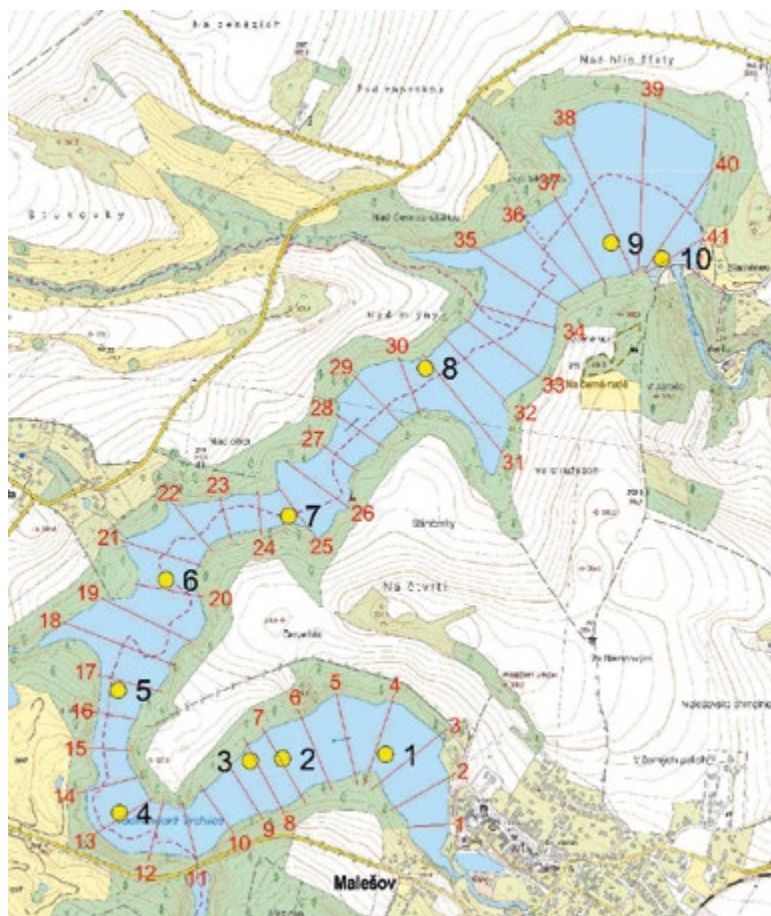
Kalibrační krok byl zpracován pro rok 2023. Porovnávány byly varianty meteorologického vstupu ze stanic Chotusice, Vavřinec a jejich průměru; shoda byla posuzována podle vertikálních teplotních profilů ve svislicích 8 a 9 a podle rozdílu jejich průměrných teplot. Nejlepší shody bylo dosaženo při použití dat ze stanice Chotusice. Na *obr. 2* až *5* jsou jako reprezentativní ukázky uvedena porovnání pro 17. duben 2023, kdy již byla vytvořena letní stratifikace, a pro 28. srpen 2023 při plně vyvinuté letní stratifikaci.

V parametrech, pro které nebyla k dispozici samostatná lokálně specifická kalibrační data, bylo ponecháno základní nastavení vycházející ze vzorových konfigurací CE-QUAL-W2. V rámci této studie nebyla provedena komplexní

vícekriteriální optimalizace všech modelových parametrů ani samostatná citlivostní analýza stínění účinku větru, reliéfového stínění slunečního záření a parametrizace výparu. Tyto skutečnosti jsou proto dále zohledněny jako zdroj nejistoty výsledků.

Následná verifikace byla provedena pro rok 2022 se stejným nastavením modelu. Dosažená shoda vertikálních teplotních profilů byla srovnatelná s kalibračním rokem 2023. Standardní kvantitativní metriky typu RMSE nebo MAE však nebyly v rámci dostupného vyhodnocení stanoveny; výsledky kalibrace a verifikace je proto nutné chápat jako kvalitativní až semikvantitativní ověření shody profilů.

Měření z roku 2024 byla řešitelům k dispozici v rámci širšího projektu, nebyla ale zahrnuta do zde prezentované kalibrační a verifikační sady. Jejich využití spolu s dalšími termíny měření představuje vhodný krok pro navazující nezávislou validaci a kvantitativní vyhodnocení modelu.

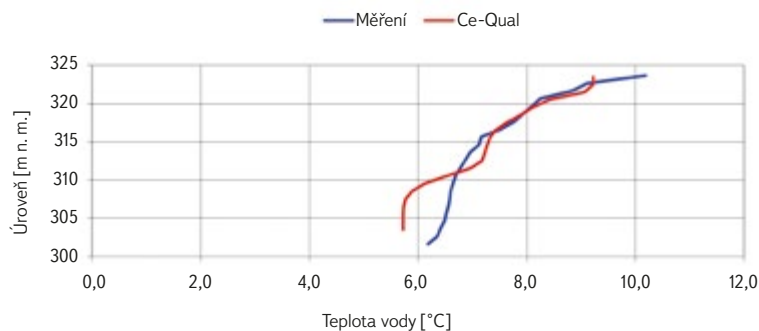


Obr. 1. Poloha vodárenské nádrže Vrchlice na stejnojmenné říčce jihozápadně od Kutné Hory s vyznačením svislic pro měření teploty vody a dalších veličin kvality vody a os výpočetních segmentů

Fig. 1. Vrchlice Reservoir on the Vrchlice river, southwest of Kutná Hora, showing the vertical profiles used for measuring water temperature and other water-quality parameters and the axes of the computational segments

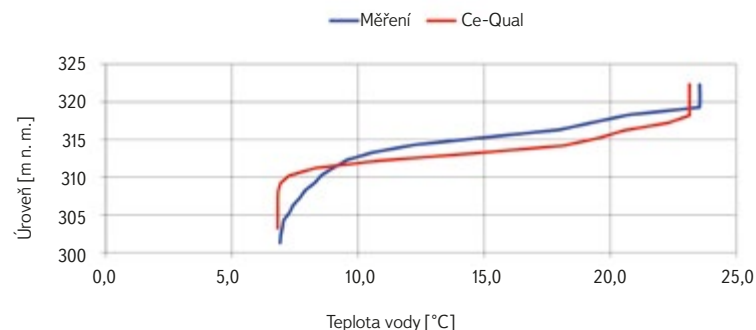
Plán numerických experimentů

Cílem numerických experimentů bylo posouzení možného ovlivnění teplotního režimu vodárenské nádrže v důsledku uvažovaných klimatických změn. K tomu účelu byly zvoleny výhledové periody k rokům 2050 (2036–2065) a 2085 (2071–2100). Jako referenční meteorologicko-hydrologická epizoda, s níž byly výsledky



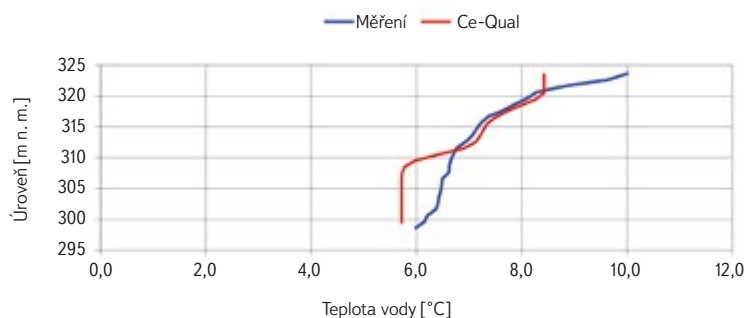
Obr. 2. Porovnání průběhů teplot vody ve svislici 8 pro 17. duben 2023 dle měření Povodí Labe a simulace modelem CE-QUAL-W2

Fig. 2. Comparison of measured and simulated water temperature profiles at vertical profile 8 on 17 April 2023, based on measurements provided by the Elbe River Water Authority and simulations using the CE-QUAL-W2 model



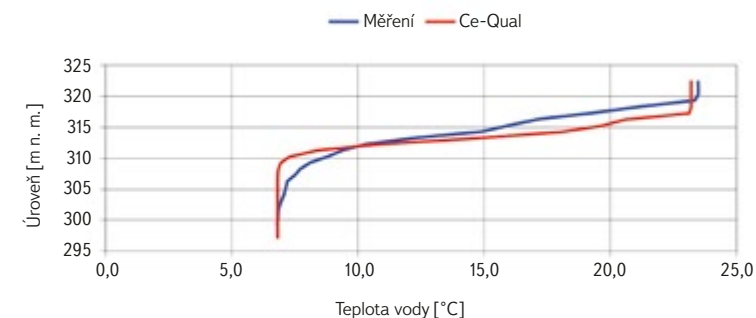
Obr. 4. Porovnání průběhů teplot vody ve svislici 8 pro 28. srpen 2023 dle měření Povodí Labe a simulace modelem CE-QUAL-W2

Fig. 4. Comparison of measured and simulated water temperature profiles at vertical profile 8 on 28 August 2023, based on measurements provided by the Elbe River Water Authority and simulations using the CE-QUAL-W2 model



Obr. 3. Porovnání průběhů teplot vody ve svislici 9 pro 17. duben 2023 dle měření Povodí Labe a simulace modelem CE-QUAL-W2

Fig. 3. Comparison of measured and simulated water temperature profiles at vertical profile 9 on 17 April 2023, based on measurements provided by the Elbe River Water Authority and simulations using the CE-QUAL-W2 model



Obr. 5. Porovnání průběhů teplot vody ve svislici 9 pro 28. srpen 2023 dle měření Povodí Labe a simulace modelem CE-QUAL-W2

Fig. 5. Comparison of measured and simulated water temperature profiles at vertical profile 9 on 28 August 2023, based on measurements provided by the Elbe River Water Authority and simulations using the CE-QUAL-W2 model

porovnávány, byl použit rok 2018. Rok 2018 nebyl zvolen jako reprezentativní průměrný rok současného klimatického období, nýbrž jako záměrně zatěžovací referenční rok. Vyznačoval se souběhem nadprůměrně teplých a suchých podmínek, které mohou představovat analogii častějších budoucích epizod. Jeho použití proto umožňuje posoudit další změny teplotního režimu nádrže při klimatických scénářích vůči již relativně nepříznivému výchozímu stavu. Pro rok 2018 byly současně k dispozici souvislé vstupní řady potřebné pro sestavení a vyhodnocení modelových simulací. Označení roků 2050 a 2085 přitom představují středy třicetiletých období 2036–2065 a 2071–2100; způsob transformace řady roku 2018 metodou Advanced Delta Change je popsán v kapitole Uvažované klimatické změny. Cílem první sady výpočtů byla posouzení možného ovlivnění teplotního režimu pouze v důsledku předpokládaných změn teploty vzduchu. Průtoky vody i odběry byly uvažovány pro roky 2050 i 2085 shodné jako v roce 2018, kdy se hladina vody v nádrži téměř celý rok pohybovala v oblasti blízké hladině zásobního prostoru.

V rámci širšího projektu byla zpracována také druhá sada výpočtů navazující na výstupy z práce Fošumpaura [12], v níž byla uvažována hladina na úrovni dispečerské křivky DG3 při minimálních odběrech vody. Protože výsledky této varianty nejsou v tomto článku prezentovány ani diskutovány, není tento scénář součástí dále vyhodnocovaného souboru a bude uveden samostatně v závěrečné zprávě projektu TA ČR.

Popis lokality

Pro modelování ovlivnění teplotního režimu nádrže v podmínkách uvažovaných klimatických změn byla zvolena vodárenská nádrž Vrchlice. Ta se nachází na stejnojmenném toku, její betonová přehradní hráz je umístěna jihozápadně od Kutné Hory. Koruna hráze má úroveň 325,80 m n. m., kóta přelivu pak 323,80 m n. m., což je také úroveň hladiny zásobního prostoru. Výška hráze nad terénem je téměř 34 m. Délka vzdutí nádrže při maximálních průtocích je 4,8 km, zatopená plocha při úrovni zásobního prostoru je 0,935 km² a objem zásobního prostoru činí 7,89 mil. m³. Umístění nádrže je patrné na obr. 1. Přehradní profil je vybaven třemi etážovými odběry. V posuzovaných letech bylo dle správce vodního toku výhradně využíváno horní odběrové místo, v sestaveném modelu to bylo zohledněno.

Správcem vodního díla je podnik Povodí Labe, který v poslední době pravidelně, několikrát ročně, provádí detailní svislicová měření řady parametrů kvality vody, mezi něž patří mimo jiné teplota vody a obsah rozpuštěného kyslíku. Měření jsou standardně prováděna v 10 svislicích, jejich poloha je vykreslena na obr. 1. Řešitelům byly v rámci spolupráce poskytnuty správce výsledky svislicových měření provedených v letech 2022, 2023 a 2024. Dále byly k dispozici denní údaje o odtoku z nádrže, o úrovni hladiny a teplotě vzduchu měřené v 7 hodin ráno pro roky 2018, 2022, 2023 a 2024.

Uvažované klimatické změny

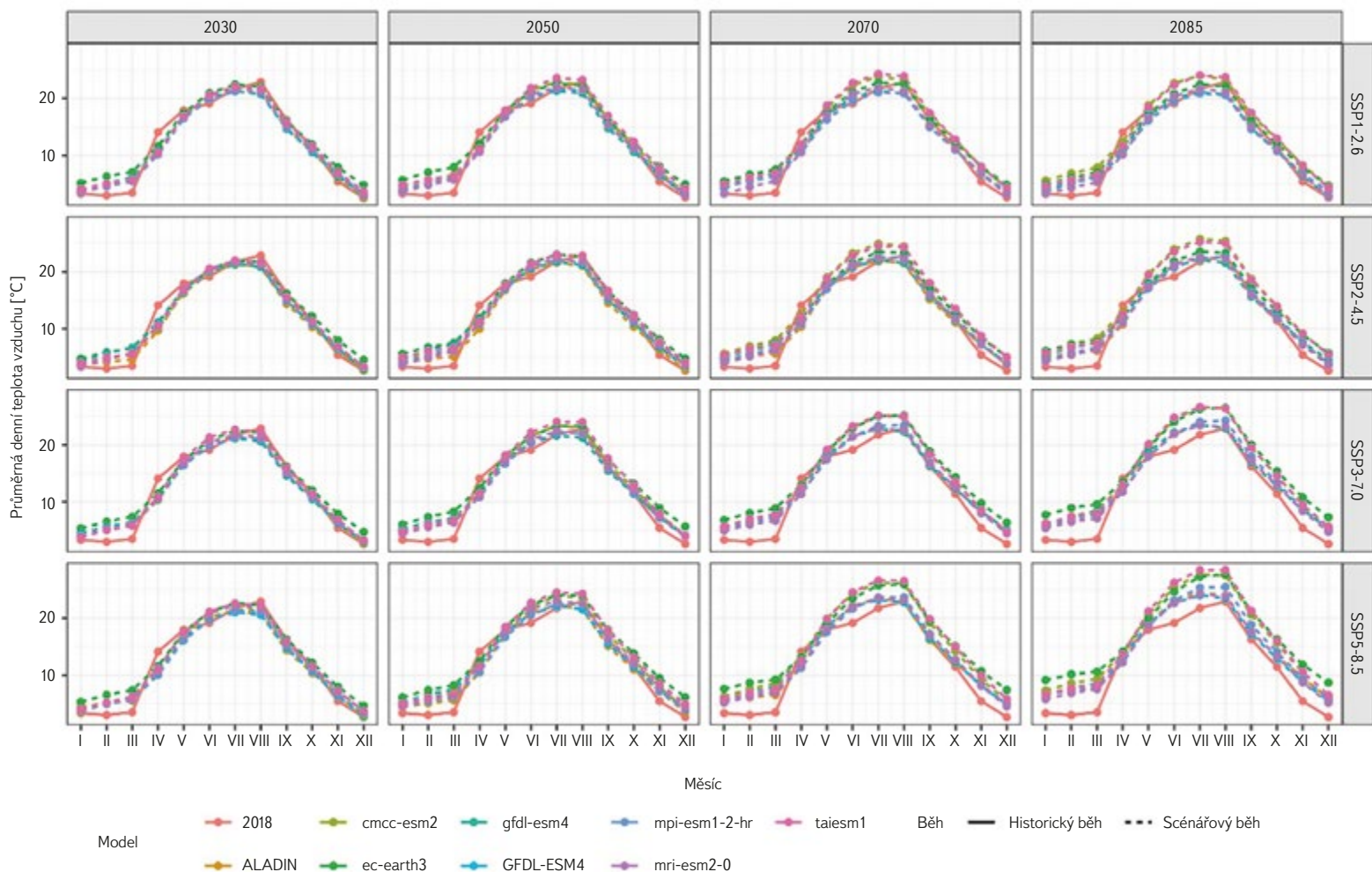
Výhledové klimatické podmínky použité pro simulace teplotního režimu nádrže byly odvozeny z metodiky a datových výstupů pracovního balíčku WP 1, dílčího cíle DC 1.2 projektu „Centrum Voda“, zaměřeného na identifikaci území s deficitními vodními zdroji a na modelování dostupnosti vody v současných a budoucích podmínkách [11, 16]. Do modelu CE-QUAL-W2 nebyly přímo přebírány surové výstupy klimatických modelů, ale upravené meteorologické řady vycházející z pozorovaného referenčního klimatu a ze změn klimatických veličin odvozených pro zvolené budoucí časové horizonty. Základem pro odvození výhledového klimatu byly simulace globálních klimatických modelů z projektu „Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6)“ doplněné regionálním modelem ALADIN-CLIMATE/CZ. Použitý soubor zahrnuje šest globálních modelů (CMCC-ESM2, EC-EARTH3, GFDL-ESM4, MPI-ESM1-2-HR, MRI-ESM2-0 a TAIESM1) a regionální model ALADIN-CLIMATE/CZ; jednotlivé modely se liší prostorovým rozlišením a dostupností scénářů Shared Socioeconomic Pathways (SSP) [11]. Pro účely této studie byly využity scénáře SSP2-4.5 a SSP5-8.5, které reprezentují střední trajektorii budoucího vývoje a emisně náročnější trajektorii založenou na vysokém využívání fosilních paliv. Právě tyto dvě varianty umožňují porovnat mírnější a výraznější odezvu teplotního režimu nádrže na změnu klimatu.

Příprava klimatických vstupů byla založena na přírůstkové metodě Advanced Delta Change (ADC), která transformuje pozorované meteorologické řady tak,

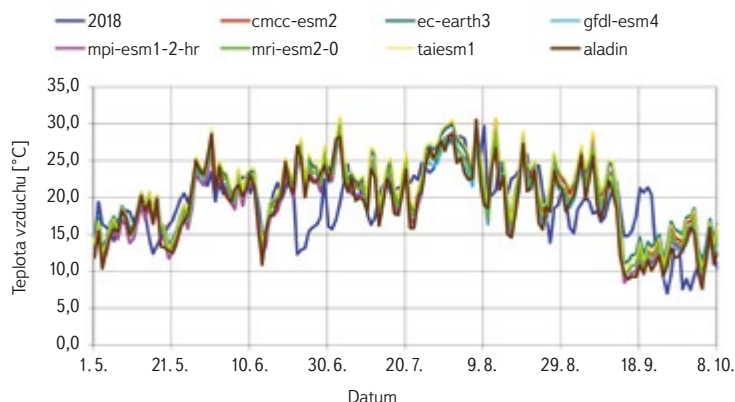
aby změna mezi referenční a budoucí řadou odpovídala změnám odvozeným z klimatických modelů [11]. Metoda přitom umožňuje zohlednit nejen změnu průměrných hodnot, ale také změny variability. To je významné zejména u srážek a extrémních hodnot, jejichž budoucí změna nemusí odpovídat pouhému posunu průměru. V případě teploty vzduchu je transformace provedena lineárně, čímž se omezuje vliv systematické chyby klimatického modelu na výslednou změnu teploty.

Jako referenční klimatické období bylo použito období 1991–2020, z něhož byl jako konkrétní výchozí rok pro simulace zvolen rok 2018. Budoucí časové horizonty nepředstavují simulace jednotlivých kalendářních roků, ale třicetiletá období 2036–2065 a 2071–2100, která jsou v dalším textu zjednodušeně označována jako horizonty 2050 a 2085. Pro jednotlivé klimatické modely a scénáře byly metodou ADC stanoveny změny mezi referenčním obdobím 1991–2020 a příslušným budoucím obdobím. Tyto změny byly následně aplikovány na pozorovanou meteorologickou řadu roku 2018. Výsledné scénářové řady si tak zachovávají časovou posloupnost a charakteristický průběh výchozího roku, jejich úroveň a variabilita jsou však upraveny tak, aby odpovídaly klimatickým podmínkám předpokládaným pro horizonty 2050 a 2085.

Klimatické řady použité pro simulace nádrže Vrchlice vycházejí z databáze HYMOD-KZ [16], která poskytuje vybrané hydrologické a klimatické proměnné pro různé scénáře SSP, klimatické modely a časové horizonty. Pro scénářové simulace byly využity řady průměrné denní teploty vzduchu pro horizonty 2050 (2036–2065) a 2085 (2071–2100), jež vstupovaly do výpočtu výměny tepla mezi hladinou



Obr. 6. Měsíční průměry denní teploty vzduchu pro dostupné klimatické modely, scénáře a časové horizonty; rok 2018 představuje referenční řadu
Fig. 6. Monthly mean daily air temperature for the available climate models, scenarios, and time horizons; 2018 represents the reference series



Obr. 7. Porovnání průběhů simulovaných průměrných teplot vzduchu v období od května do začátku října 2050 pro scénář SSP5-8.5 a všechny uvedené modely s rokem 2018

Fig. 7. Comparison of simulated mean air temperature time series from May to early October 2050 under the SSP5-8.5 scenario for all models listed above with 2018 as the reference year

a atmosférou. Cílem bylo posoudit možné ovlivnění teplotního režimu nádrže v důsledku klimatické změny. Pro analýzu byly zvoleny scénáře SSP2-4.5 a SSP5-8.5 a klimatické modely CMCC-ESM2, EC-EARTH3, GFDL-ESM4, MPI-ESM1-2-HR, MRI-ESM2-0, TAIESM1 a ALADIN-CLIMATE/CZ (průměrné denní teploty vzduchu jsou uvedeny na obr. 6). Jako referenční rok byl vybrán rok 2018, s nímž byly následně porovnávány upravené teplotní řady pro budoucí horizonty. Porovnání průměrných denních teplot vzduchu pro rok 2050, scénář SSP5-8.5 a všechny uvedené modely s referenčním rokem 2018 je uvedeno na obr. 7.

Z obr. 7 je patrné, že jednotlivé klimatické modely poskytují pro rok 2050 relativně podobný průběh prognózovaných průměrných denních teplot vzduchu, který se však odlišuje od průběhu z roku 2018, kdy se objevila např. poměrně studená druhá polovina června nebo naopak vysoké teploty kolem 20. září.

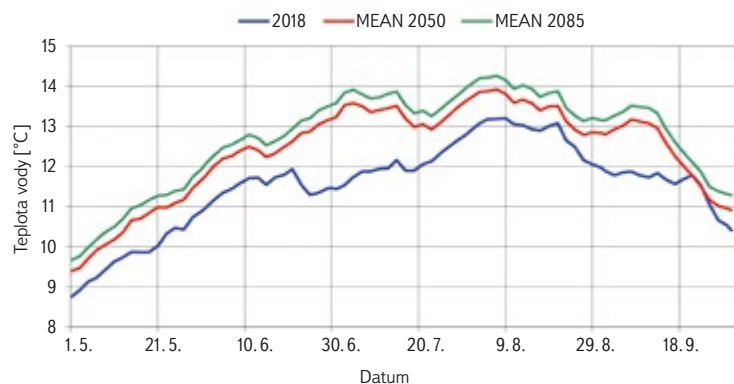
Výsledky simulací možného ovlivnění teplotního režimu

Vzhledem k tomu, že projekce průměrné denní teploty vzduchu pro zvolené horizonty a scénáře vykazovaly mezi členy souboru obdobný sezonní průběh, jsou dále pro přehlednost prezentovány průměry výsledků sedmičlenného souboru klimatických modelů. Pro další prezentaci byly zvoleny výsledky dosažené pro segment ležící 200 m nad hrází VD Vrchlice, tedy v blízkosti vodárenských odběrů, které se nacházejí v tělese hráze. Výsledky kalibrace pro tento model ukázaly dostatečnou shodu mezi provedenými měřeními a simulovaným průběhem modelu CE-QUAL-W2.

Na obr. 8 je vykreslen průběh průměrných teplot vody v profilu 200 m nad hrází pro rok 2018 a pro průměry získané zprůměrováním výsledků (teploty vody) na základě simulací pro jednotlivé globální modely pro roky 2050 (MEAN 2050) a 2085 (MEAN 2085) při uvažování scénáře SSP2-4.5. Na dalším obr. 9 jsou zpracovány nárůsty průměrných denních teplot vody v horizontech 2050 a 2085 v tomto profilu oproti roku 2018.

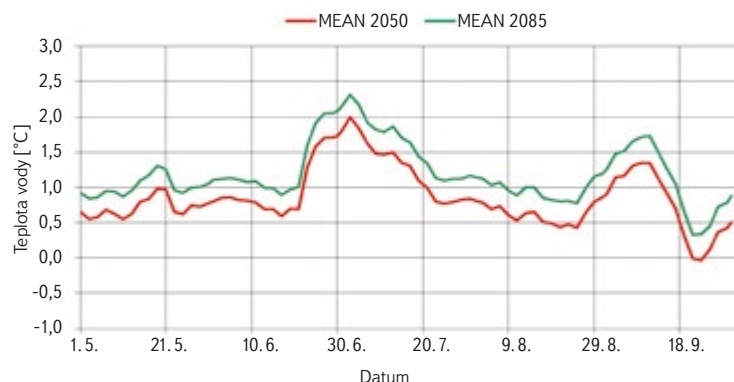
Obdobně byly zpracovány také obr. 10 a obr. 11, tentokrát s využitím výsledků simulací pro scénář SSP5-8.5.

Dalším zajímavým výstupem je porovnání průměrných maximálních teplot vody za období od začátku května do konce září, které se na hladině nádrže v profilu 200 m nad hrází vyskytly dle simulací modelu CE-QUAL-W2 v roce 2018 a v letech 2050 a 2085 pro scénář SSP5-8.5, sedmi klimatických modelů a jejich průměru (MEAN), jak je uvedeno v tab. 1.



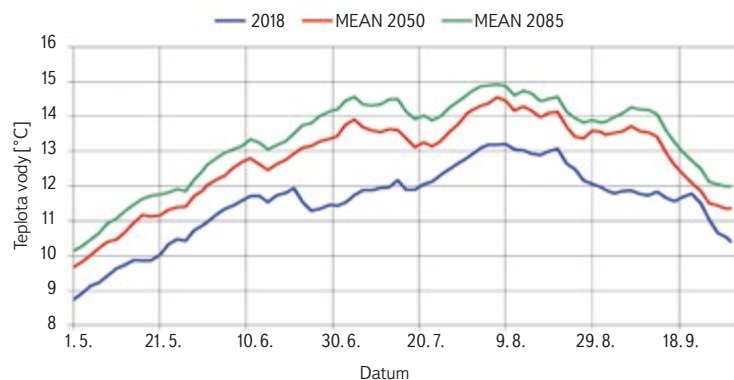
Obr. 8. Porovnání průměrných teplot vody v profilu 200 m nad hrází VD Vrchlice dle průměru výsledků simulací pro jednotlivé klimatické modely v průběhu let 2050 a 2085 pro scénář SSP2-4.5 s referenčním rokem 2018

Fig. 8. Comparison of mean water temperatures at the profile 200 m upstream of Vrchlice Reservoir dam, based on the average results of simulations using individual climate models for the 2050 and 2085 horizons under the SSP2-4.5 scenario, with 2018 as the reference year



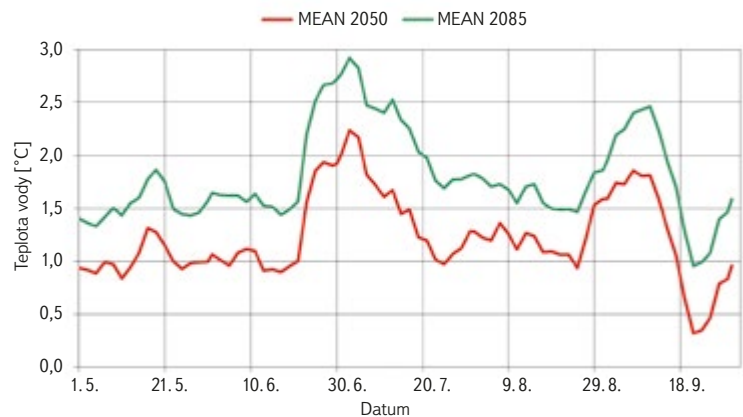
Obr. 9. Nárůst průměrných teplot vody v profilu 200 m nad hrází VD Vrchlice dle průměru výsledků simulací pro jednotlivé klimatické modely v průběhu let 2050 a 2085 pro scénář SSP2-4.5 oproti referenčnímu roku 2018

Fig. 9. Increase in mean water temperatures at the profile 200 m upstream of the Vrchlice Reservoir dam, based on the average results of simulations using individual climate models for the 2050 and 2085 horizons under the SSP2-4.5 scenario, compared with 2018



Obr. 10. Porovnání průměrných teplot vody v profilu 200 m nad hrází VD Vrchlice dle průměru výsledků simulací pro jednotlivé klimatické modely v průběhu let 2050 a 2085 pro scénář SSP5-8.5 s referenčním rokem 2018

Fig. 10. Comparison of mean water temperatures at the profile 200 m upstream of Vrchlice Reservoir dam, based on the average results of simulations using individual climate models for the 2050 and 2085 horizons under the SSP5-8.5 scenario, with 2018 as the reference year



Obr. 11. Nárůst průměrných teplot vody v profilu 200 m nad hrází VD Vrchlice dle průměru výsledků simulací pro jednotlivé klimatické modely v průběhu let 2050 a 2085 pro scénář SSP5-8.5 oproti referenčnímu roku 2018
Fig. 11. Increase in mean water temperatures at the profile 200 m upstream of the Vrchlice Reservoir dam, based on the average results of simulations using individual climate models for the 2050 and 2085 horizons under the SSP5-8.5 scenario, compared with 2018

Tab. 1. Průměry teplot vody za období od začátku května do konce září na hladině nádrže v profilu 200 m nad hrází dle simulací z modelu CE-QUAL-W2 pro rok 2018 a pro roky 2050 a 2085 dle scénáře SSP5-8.5 a 7 klimatických modelů a jejich průměr
Tab. 1. Average surface water temperatures from the beginning of May to the end of September at the profile 200 m upstream of Vrchlice Reservoir dam, based on simulations using the CE-QUAL-W2 model for the reference year 2018 and the 2050 and 2085 horizons under the SSP5-8.5 scenario, using seven climate models and their ensemble mean

Rok 2018	21,6*	
Globální model	2050	2085
CMCC-ESM2	23,2	25,2
EC-EARTH3	23,5	25,0
GFDL-ESM4	22,0	22,9
MPI-ESM1-2-HR	22,1	23,6
MRI-ESM2-0	22,6	22,9
TAIESM1	23,7	25,8
ALADIN	22,1	23,2
MEAN	22,8	24,1

* průměrná teplota vody na hladině od května do září v roce 2018

Zhodnocení dosažených výsledků a diskuze

Výsledky simulací zpracované 2D matematickým modelem CE-QUAL-W2 za účelem poznání možného ovlivnění teplotních poměrů ve vodárenských nádržích přinesly očekávané skutečnosti.
V případě uvažovaného scénáře SSP2-4.5 lze dle obr. 8 pro modelový rok odpovídající klimatickému horizontu 2050 v oblasti blízko hráze s maximálními hloubkami očekávat nárůst průměrné teploty vody přibližně o 0,5 °C,

s maximem až 1,5 °C oproti referenčnímu roku 2018. V případě modelového roku odpovídajícího klimatickému horizontu 2085 stoupne průměrná teplota trvale alespoň o 1 °C, místy pak o více než 2 °C.
Pokud by se jako reálný jevil scénář SSP5-8.5, pak by nastaly daleko razantnější změny. Dle obr. 10 by byl pro modelový rok odpovídající klimatickému horizontu 2050 nárůst průměrné teploty vody minimálně od 1,0 °C do 2,0 °C, pro modelový rok odpovídající klimatickému horizontu 2085 pak v rozsahu od 1,5 °C do 2,5 °C.
Kromě trvalého nárůstu průměrné teploty vody v nádržích lze také očekávat nezanedbatelný nárůst teploty vody na hladině, jak ukazuje tab. 1. Teploty vody na hladině se mohou v horizontu 2050 oproti roku 2018 zvýšit v průměru o více než 1 °C, v horizontu 2085 až o 2,5 °C.

Zjištěný nárůst teploty vody může mít důsledky také pro kyslíkový režim nádrže. Dlouhodobá analýza jezer mírného pásu, na níž se podílel také J. Hejzlar, prokázala rozšířený pokles koncentrací rozpuštěného kyslíku; v hlubších vrstvách byl tento pokles spojen zejména se zesilováním teplotní stratifikace a se zhoršováním průhlednosti vody. Problematika vzniku kyslíkových deficitů byla v českých podmínkách řešena např. na vodárenské nádrži Římov. U nádrže Vrchlice lze proto očekávat, že oteplování a případné prodloužení období stratifikace zvýší riziko kyslíkového deficitu v hypolimniu, přičemž konkrétní odezva bude záviset také na trofi nádrže, přísunu organické hmoty a hydrologickém režimu.
Z hlediska směru změny jsou výsledky v souladu s publikovanými pracemi, které u nádrží a jezer v oteplovajícím se klimatu očekávají růst teploty vody a změny stratifikace [2, 3, 10]. Přímé kvantitativní srovnání s jinými nádržemi je však omezené, protože odezva závisí na geometrii, hydrologickém režimu, provozu odběrů, meteorologickém působení a způsobu konstrukce klimatických scénářů. Hodnoty uvedené pro VD Vrchlice proto nelze bez dalšího výzkumu přenášet na jiné vodárenské nádrže.
Rozdíly v nárůstu teploty vody mezi horizonty 2050 a 2085 nelze interpretovat jako jednoduchý lineární převod změny teploty vzduchu na změnu teploty vody. CE-QUAL-W2 počítá celkovou tepelnou bilanci hladiny a podélně-svislou distribuci tepla; výsledná průměrná či maximální teplota je proto ovlivněna také sezonním průběhem referenčního roku, stratifikací, mísením, hloubkou a odtokovými podmínkami. Navíc scénářové řady zachovávají časovou strukturu roku 2018 a mění pouze teplotu vzduchu. Nelineární rozdíly mezi zvolenými souhrnnými ukazateli jsou proto možné, jejich fyzikální interpretace však musí respektovat uvedená omezení.
Nejistota výsledků pochází z několika zdrojů: z rozptylu klimatických modelů, z volby mimořádně teplého a suchého roku 2018 jako zátěžového referenčního roku, z ponechání ostatních meteorologických veličin a hydrologicko-provozních podmínek na úrovni roku 2018, z laterálního zprůměrování 2D modelu, ze souhrnného popisu přítoku a z omezeného kalibračního a verifikačního vyhodnocení bez standardních kvantitativních metrik. Výsledky je proto vhodné chápat jako scénářové odhady citlivosti teplotního režimu na změnu teploty vzduchu, nikoli jako deterministickou předpověď budoucího stavu.

ZÁVĚR

Numerické simulace ukázaly, že při zachování hydrologicko-provozních podmínek referenčního roku 2018 vede zvýšení teploty vzduchu v uvažovaných klimatických scénářích k oteplení vody v prostoru 200 m nad hrází VD Vrchlice i na hladině. Pro SSP2-4.5 byl pro horizont 2050 simulován nárůst průměrné teploty vody přibližně o 0,5 °C s rozdíly až kolem 1,5 °C, zatímco pro horizont 2085 se zvýšení převážně pohybovalo nejméně kolem 1 °C a místy přesahovalo 2 °C. Pro SSP5-8.5 byly změny výraznější: přibližně 1,0 až 2,0 °C pro horizont 2050 a 1,5 až 2,5 °C pro horizont 2085. Průměr maximálních povrchových teplot v období květen až září vzrostl z 21,6 °C v referenčním roce na 22,8 °C pro horizont 2050 a 24,1 °C pro horizont 2085 a průměr globálních modelů scénáře SSP5-8.5.

Praktický význam studie spočívá v upozornění, že oteplování může měnit teplotní podmínky v prostoru vodárenských odběrů a zvyšovat riziko nepříznivých kyslíkových podmínek ve stratifikovaném období. Výsledky mohou sloužit jako screeningový podklad pro správce nádrže a pro další analýzy provozních variant, zejména ve vazbě na volbu odběrové etáže a hodnocení kvality vody.

Interpretace je omezena tím, že scénáře izolují změnu teploty vzduchu při ostatních meteorologických a hydrologicko-provozních vstupech ponechaných podle roku 2018, model je laterálně zprůměrovaný a kalibrační/verifikační vyhodnocení nebylo kvantifikováno standardními chybovými metrikami. Navazující práce by měla využít širší soubor měření včetně roku 2024, provést kvantitativní validaci a citlivostní analýzu parametrů, zahrnout změny dalších meteorologických a hydrologických veličin a samostatně vyhodnotit varianty manipulace s hladinou a odběrovými etážemi.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory Technologické agentury ČR (projekt č. S502030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu“, 2020–2026). Téma bylo řešeno v dílčí cíli 3.4 „Změna manipulace či navýšení zásobního prostoru stávajících vodních či suchých nádrží“.

Literatura

- [1] TALEBBEYDOKHTI, N., POURSHAHABI, S., RAKHSHANDEHROO, G., NIKOO, M. R., AMIRI, M. Review of Reservoir Water Quality Monitoring and Modelling. In: *Long-Term Behaviour and Environmentally Friendly Rehabilitation Technologies of Dams*, 2017. Dostupné z: <https://doi.org/10.3217/978-3-85125-564-5-018>
- [2] CHENG, Y., VOISIN, N., YEARSLEY, J. R., NIJSSEN, B. Reservoirs Modify River Thermal Regime Sensitivity to Climate Change: A Case Study in the Southeastern United States, *Water Resources Research*. 2020, 56(6), e2019WR025784. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/2019WR025784>
- [3] GOLUB, M. et al. A Framework for Ensemble Modelling of Climate Change Impacts on Lakes Worldwide: The ISIMIP Lake Sector. *Geoscientific Model Development*. 2022, 15(11), s. 4 597–4 623. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/gmd-15-4597-2022>
- [4] FERREIRA, D. M., FERNANDES, C. V. S. Integrated Water Quality Modeling in a River-Reservoir System to Support Watershed Management. *Journal of Environmental Management*. 2022, 324, 116447. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116447>
- [5] FARZANA, S. Z., PAUDYAL, D. R., CHADALAVADA, S., ALAM, M. J. Prediction of Water Quality in Reservoirs: A Comparative Assessment of Machine Learning and Deep Learning Approaches in the Case of Toowoomba, Queensland, Australia. *Geosciences*. 2023, 13(10), 293. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/geosciences13100293>
- [6] WOODBURY, L. H., PADMANABHAN, G. Water Quality Modelling of a Proposed Reservoir. *Journal of Water Management Modeling*. 1993, R175-17. ISSN 2292-6062. Dostupné z: <https://doi.org/10.14796/JWMM.R175-17>
- [7] CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 4.5, User Manual Part 2: Hydrodynamic and Water Quality Model Theory. Scott A. Wells, Department of Civil and Environmental Engineering, Portland State University, Portland, June 2024.
- [8] CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 4.5, Part 3: Input and Output Files User Manual. Scott A. Wells, Department of Civil and Environmental Engineering, Portland State University, Portland, June 2024.
- [9] RŮŽIČKA, M., HEJZLAR, J., MIKEŠOVÁ, P., COLE, T. M. 2-D Water Quality Modelling of a Drinking Water Reservoir. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2002, 50(3), s. 258–272.
- [10] RŮŽIČKA, M., HEJZLAR, J., COLE, T. M. Impacts of Climate Change on the Water Quality in a Dimictic Reservoir. In: *ResLim 2002, Extended Abstracts, 4th International Conference on Reservoir Limnology and Water Quality*. České Budějovice: Hydrobiological Institute Academy of Sciences of the Czech Republic, Faculty of Biological Sciences University of South Bohemia, 2002, s. 292–295.
- [11] VIZINA, A., VYSKOČ, P., MELIŠOVÁ, E., GEORGIEVOVÁ, I., TRNKA, M., FISCHER, M., BALEK, J., HANEL, M., MÁČA, P. *Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda). Souhrnná výzkumná zpráva: Dílčí cíl 1.2 – Identifikace území s deficitními vodními zdroji*. Praha, červen 2024.
- [12] FOŠUMPAUR, P., KOVÁČOVÁ, T. Metodika adaptivního řízení vodních nádrží během hydrologického sucha. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2026, 68(3), s. 28–34. ISSN 0322-8916. Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2026/06/metodika-adaptivniho-rizeni-vodnich-nadrzi-behem-hydrologickeho-sucha/>

[13] SAADATPOUR, M., AFSHAR, A., EDINGER, J. E. Meta-Model Assisted 2D Hydrodynamic and Thermal Simulation Model (CE-QUAL-W2) in Deriving Optimal Reservoir Operational Strategy in Selective Withdrawal Scheme. *Water Resour Manage*. 2017, 31, s. 2 729–2 744. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1658-x>

[14] ZHANG, Z. *Application of W2 V4.5 SYSTDG to the Bonneville Reservoir for Predicting Downstream Total Dissolved Gas Concentration*. Portland: Portland State University, 2021.

[15] <https://geoportal.cuzk.gov.cz>

[16] VIZINA, A., VYSKOČ, P., MELIŠOVÁ, E., GEORGIEVOVÁ, I., TRNKA, M., FISCHER, M., BALEK, J., HANEL, M., MÁČA, P. *Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda). Popis veřejné databáze: Deficitní oblasti – veřejná databáze – Specializovaná veřejná databáze –typ S*. Praha, červen 2024. Dostupné z: <https://shiny.vuv.cz/HYMOD-KZ/>

Autoři

Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc.¹

✉ ales.havlik@cvut.cz

Ing. Adam Vizina, Ph.D.²

✉ adam.vizina@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-4683-9624

Mgr. Barbora Krijt^{2,3}

✉ barbora.krijt@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-7678-3369

¹Fakulta stavební ČVUT v Praze (Česká republika)

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

³Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2026.07.004

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

SIMULATION OF THE THERMAL REGIME OF A DRINKING WATER RESERVOIR UNDER PROJECTED CLIMATE CHANGE CONDITIONS

HAVLÍK, A.¹; VIZINA, A.²; KRIJT, B.^{2,3}

¹Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague (Czech Republic)

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

³Faculty of Science, Charles University, Prague (Czech Republic)

Keywords: temperature profile — water temperature — climate change — water quality — drinking water reservoir

This paper deals with the potential impact of climate change on the thermal regime of a drinking water reservoir.

The methodology was based on simulating temperature variations in the reservoir using the two-dimensional hydrodynamic and water quality model CE-QUAL-W2. The model includes a mathematical framework for simulating two-dimensional flow and water quality processes in reservoirs. Its hydrodynamic component is based on the laterally averaged three-dimensional equations of motion. Simulations of the thermal regime and water quality are performed by numerically solving the turbulent advection–diffusion equation. The total heat exchange between the water body and the atmosphere is quantified using air temperature, dew point temperature, absolute humidity, wind speed, cloud cover, and the geographical location of the reservoir surface.

The potential impact on the thermal regime was assessed using the Vrchlice Reservoir as a case study. The model was calibrated for 2023 and verified for 2022 using detailed measurements of vertical water temperature profiles at selected monitoring sites provided by Elbe River basin, state enterprise. To compare the simulated future conditions with the current state, the year 2018 was selected as the reference period. The observed daily air temperature series for 2018 was transformed using the Advanced Delta Change (ADC) method to reflect projected changes derived from climate models for the 2050 and 2085 time horizons.

The results compare the mean water temperatures in characteristic vertical profiles for the selected climate change scenarios for 2050 and 2085 with the corresponding values for the reference year 2018. A similar comparison was carried out for the surface water temperature.







Autoři VTEI

Ing. Adam Babuljak

Fakulta stavební, ČVUT, Praha (Česká republika)

✉ adam.babuljak@fsv.cvut.cz

www.fsv.cvut.cz



Ing. Adam Babuljak je výzkumným pracovníkem a doktorandem na Katedře vodního hospodářství krajiny Fakulty stavební ČVUT v Praze. Na téže fakultě v roce 2022 dokončil magisterské studium oboru Vodní hospodářství a vodní stavby a v roce 2023 nastoupil do stejnojmenného doktorského programu. Profesně se zaměřuje na retenci vody v krajině, modelování srážkoodtokového procesu a povodňových rizik a návrh malých vodohospodářských staveb. Ve svém doktorském výzkumu se věnuje bobřím hrázím a jejich vlivu na hydrologický režim krajiny. Je členem řešitelských týmů několika tuzemských i zahraničních výzkumných projektů.

Mgr. Pavel Eckhardt

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

✉ pavel.eckhardt@vuv.cz

www.vuv.cz



Mgr. Pavel Eckhardt je zaměstnancem oddělení hydrogeologie VÚV TGM, v. v. i., od roku 1999, z toho 12 let byl vedoucím oddělení hydrogeologie a ekologických zátěží. Vystudoval geologii na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze. Zabývá se aplikovanou hydrogeologií, problematikou pramenů a ekologických zátěží, obsáhla je i jeho posudková činnost. Získal novinářské ocenění Czech Travel Press za vodácké články.

RNDr. Jana Bernsteinová, Ph.D.

Czech Globe – ÚVGZ, v. v. i., Brno (Česká republika)

✉ bernsteinova.j@czechglobe.cz

www.czechglobe.cz



RNDr. Jana Bernsteinová, Ph.D., se dlouhodobě věnuje využití fyzikálně založených modelů ve vodním hospodářství. S touto problematikou se seznámila již během studia fyzické geografie a geoekologie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy (PřF UK). Své znalosti následně významně prohloubila během mnohaleté praxe v Dánském hydraulickém institutu (DHI, a. s.), kde aplikovala pokročilé výpočetní nástroje v řadě komerčních i výzkumných projektů zaměřených na problematiku povrchových a podzemních vod. Vždy si udržovala úzký kontakt s akademickým prostředím. Po letech spolupráce s PřF UK působí od roku 2021 v Ústavu výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i. (CzechGlobe). Její současná práce se soustředí na vývoj technologie digitálního dvojčete povodí Dyje a Želivky.

doc. Ing. Aleš Havlík, CSc.

Fakulta stavební, ČVUT, Praha (Česká republika)

✉ ales.havlik@cvut.cz

hydraulika.fsv.cvut.cz



Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc., byl po ukončení inženýrského studia na Fakultě stavební ČVUT v Praze v roce 1980 18 let zaměstnán ve VÚV TGM, v. v. i., kde se věnoval zimnímu a ledovému režimu vodních toků. Od roku 1998 působí na Katedře hydrauliky a hydrologie Fakulty stavební ČVUT v Praze. V rámci svého pedagogického působení dlouhodobě přednášel předměty Hydraulika a Vodohospodářské inženýrství. Profesně se věnuje hydraulice otevřených koryt a problematice protipovodňové ochrany. V poslední době se významně podílel na vyhodnocení katastrofální povodně ze září 2024.

Mgr. Eduard Bouše

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

✉ eduard.bouse@vuv.cz

www.vuv.cz



Mgr. Eduard Bouše vystudoval zoologii na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze a na Katedře zoologie Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Rybám a jejich způsobu života se věnoval již během studia a na toto téma plynule navázal ve své praxi. Od roku 2015 působí ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka, v. v. i., kde se zabývá především sledováním stavu rybích společenstev v našich řekách. V rámci své práce se zaměřuje na monitoring v jednotlivých povodích a věnuje se hodnocení revitalizačních opatření na vodních tocích. Jeho cílem je praktické propojování znalostí o biologii ryb s konkrétními úpravami řek tak, aby v nich ryby nacházely optimální podmínky pro život.

Rozhovor s doc. RNDr. Janem Unuckou, Ph.D., vedoucím Oddělení hydrologie v Českém hydrometeorologickém ústavu v Ostravě

Pravidelně píše pro VTEI odborné i informativní články, další příspěvky recenzuje, dva roky měl vlastní rubriku na zadní straně obálky. Miluje přírodu a zvířata, překrásně fotí. Když mě na jaře 2023 poprvé oslovil s nabídkou odborného článku, který pak hned v létě vyšel, poslal mi k medailonku fotku, která se velice lišila – byl na ní muž v maskáčích klečící na zemi v lese, obklopen svými třemi obřími psy. „Příroda je dosud ten silnější hráč,“ říká doc. RNDr. Jan Unucka, Ph.D., který teď sedí u stolu naproti mně.

Pane docente, vzpomínáte si ještě na tu fotku?

Jistě, vzpomínám *(zvedne oči k mé nástěnce, kde zmíněná fotografie už tři roky visí)*.

Přiznám se, že už tehdy vznikla moje myšlenka, jak tuto fotku publikovat ve VTEI. Bylo jasné, že do odborného článku ji nedostaneme a k medailonkům mezi autory už teprve ne, takže spolu jednou musíme udělat rozhovor... Vítejte tedy v Praze.

(Směje se.) Děkuji za pozvání.

Také se mi velice líbilo, jak jste mi už v počátcích naší komunikace v květnu 2023 napsal „Hlavně mi neříkejte docente!“ Mohu se zeptat, jak se stane, že člověk, „jen tak mimochodem“ získá čtyři vysokoškolské tituly, ale mluví o sobě jako o dělníkovi? Není to až zbytečná skromnost?

Já si myslím, že ne, a doufám, že to není ani falešná skromnost. Kdybych se měl stručně vrátit v historii na začátek, už v dětství mě vždycky fascinovala příroda a k tomu jsem miloval vlaky. Jako kluk jsem tedy neměl ty klasické fáze kosmonaut – hasič – policista – voják, ale jednoznačně převládal strojvedoucí, nebo přírodovědec. Navíc během studií jsem se skutečně brigádně živil v různých dělnických profesích – dělal jsem dlažbu, zedničinu, tesařinu a na pile. Ještě teď sem tam pomohu s tesařinou nebo kamarádovi odjezdím něco nákladěkem. Je to určitá forma relaxu, byť času na to moc nezbyvá. Ale k manuální práci mám respekt, zvláště té kvalifikované.

Co nakonec rozhodlo?

Vlaky mám sice dodnes rád, rád v nich jezdím a mám mezi strojvedoucími i mnoho kamarádů, ale vyhrál přírodovědec. Možná i proto, že literatury o přírodě bylo daleko víc a já byl vždycky velký čtenář. Doma jsem se snažil načíst maximum knih; i rodiče a prarodiče mi je často kupovali. Zároveň tatka ale pracoval na ČHMÚ v Ostravě jako technik povrchových vod, tak jsem neměl ambici jít na hydrologii, protože jsem se po něm nechtěl opičit. A teď se znovu dostávám k tomu dělníkovi – raději jsem nastoupil na elektroprůmyslovku se zaměřením na výpočetní techniku, prostě a jednoduše proto, abych nešel na gymnázium a nemusel jít na vysokou školu.

Tak to na člověka s dvěma doktoráty a docenturou opravdu sedí.:-)

(Směje se.) Nakonec to tak stejně dopadlo – dokončil jsem magisterské studium, potom malý a velký doktorát. Tou dobou už jsem učil na Ostravské univerzitě na přírodovědě a na Báňské na Hornicko-geologické fakultě, a aniž bych to měl nějak v „plánu osobního rozvoje“, skončilo to až habilitací a docenturou na Technické univerzitě na Vysoké škole báňské, zaměřenou na využití geoinformačních systémů a matematických modelů v environmentálních vědách.

Jak jste učil dlouho?

Pokud si dobře vzpomínám, hned po první státnici od roku 2003; na Přírodovědecké fakultě jsem učil hydrologii a nauku o krajině a na Báňské jsem měl cvičení u docenta Grmely, což byl historicky jeden z nejlepších hydrogeologů u nás, navíc zkušený z praxe, takže i pro mě to byla velká škola a dá se říct, že i já jsem se učením učil.

Moje pravidelná a rozvrhovaná výuka na obou fakultách trvala zhruba do roku 2019. Zároveň jsem ale v roce 2014 nastoupil na ČHMÚ a postupně už jsem výuku redukoval – učil jsem většinou v době své dovolené nebo až do večera po práci. Postupně jsem zjistil, že se nedá stihnout všechno, a z univerzitního prostředí jsem potichu vyšuměl.

Nechybějí vám teď studenti a mladí lidé?

Mám to štěstí, že je mám v týmu. Je u nás relativně dost nových absolventů, takže ten „svěží vítr“, jak se říká, mi nechybí. Navíc dosud učím blokově na Matematickém ústavu Slezské univerzity nebo na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého, tak v kontaktu se studenty stále jsem, ale zdůrazňuji, že jen blokově, vždy na nějaké dané téma, abych mohl stíhat všechny provozní a rozvojové činnosti spojené s ČHMÚ, protože to je teď moje priorita.

Pracovně občas jezdíte i na Přírodovědeckou fakultu do Prahy. Mohu se zeptat, proč po studiích vaše kariéra směřovala právě do Ostravy?

Sice už léta bydlím u Opavy, ale jsem rodák z Ostravy. A jak ta moje studia zpočátku vůbec nebyla plánovaná ani nikam cílená, vzal jsem pak, co bylo po ruce. Na geografii na Ostravské univerzitě tehdy působil profesor Kříž, což byl historicky první ředitel pobočky ČHMÚ v Ostravě a dá se říct, že i její zakladatel. Byl šéfem mého otce a chvíli i mamky, takže tyto vazby se potom přetavily ve studium fyzické geografie na této fakultě.

Vím, že máte hospodářství. Zvolil jste tedy pro život venkov?

Ano, žiju na vesnici kousek od Opavy. Já nejsem moc městský typ, blízkost přírody mi vyhovuje. Už jako kluk jsem miloval vandry do lesa, byl to můj hlavní koníček, který se dal hezky spojit s cestováním vlakem po lokálních a dnes už často opuštěných tratích, a k přírodě tihnu dodnes. Proto jsem chtěl žít někde mimo město, kde mám blízko do přírody, ale zároveň i do práce to není autem tak daleko.



Obr. 1. Doc. RNDr. Jan Unucka, Ph.D., se svými psy – zleva leonberger, pyrenejský mastín a španělský mastín

Může být ta touha jít do lesa, vzít psy a vyrazit do přírody, nějakým únikem od reality, která není vždy úplně pozitivní, i co se týče klimatické změny a prognóz do budoucna?

Určitě. Jednoznačně mi to dává klid. Často slyšíme s manželkou od lidí, když jdeme se psy do lesa, jak je ošklivo nebo že prší, a my stejně ven musíme. K tomu bych dodal: ano, musíme, ale zároveň i chceme. Navíc čím pošmournější a neoblíbenější počasí, tím méně lidí je v lese a je větší šance vidět více zvířat, takže o to lépe to čistí hlavu. A hlavně kontakt se psy, kteří jsou vždycky maximálně ponoření do toho přítomného okamžiku, je občerstvující v jakékoli podobě a v jakoukoli denní či noční dobu. Podle mě je to nejlepší relax – psychicky i fyzicky –, jaký znám.

Vím, že přírodu i velice rád fotíte, koneckonců pro VTEI od vás dostávám pravidelný přísun nádherných fotografií, za což tímto znovu děkuji. Jak to s focením vlastně začalo?

První zrcadlovku mám zhruba od roku 2016, předtím jsem měl Panasonic Lumix, který je však dodnes schopen dělat pro laiky či poloprofesionály slušné snímky. Zpočátku jsem měl období, kdy jsem chtěl zdokumentovat úplně všechno, poznat tu přírodu a přijít všemu na kloub, ale teď už jsem na to rezignoval. Příroda je totiž tak složitý a mnohovýrovný systém, že je to v podstatě jalová ambice. Stačí, když člověk začne ty vazby tušit a vnímat, aby mohl svoji práci dělat lépe, nebo když předá svým studentům, kolegům z oboru či odborné veřejnosti nové informace.

V první fázi má člověk takový hlad po fotografiích, že když se nevrátí z lesa nebo od řeky s nějakou perfektní fotkou, je to pro něj promarněný den, ale ta u mě naštěstí trvala jen krátce. Pak už převládla moje etická zásada: pokud by měla fotka ohrozit například snůšku či mláďata, nebo způsobit dokonce opuštění zvířete či jeho poranění, v žádném případě mi za to nestojí. V poslední době se mi často stává, že techniku naopak odložím a spíš se snažím si daný okamžik vychutnat.

Souvisejí počátky vašeho fotografování s Kozmickými ptačími loukami, kde vypomáháte s údržbou i krmením?

Přesně tak, v Kozmicích vznikaly mé první fotky na zadání, které už byly cílené na vybrané druhy zvířat nebo na tamní divoké koně. S těmi je opravdu těžká manipulace a často je velmi složité dostat se k nim tak blízko, aby se daly nafotit konkrétní markery, jejich zbarvení a podobně. Ale o to je to cennější a velice si vážím fotek, které se povedly.

Kdo vás na Kozmické ptačí louky přivedl?

Vzniklo to úplně náhodou, čímž se dostávám k myšlence, že všechny zásadní věci se dějí náhodou. Byli jsme tam na procházce se psy, jelikož to není moc daleko od mého bydliště, a tamní správce Petr Bláha, s nímž už jsem dnes léta velký kamarád, se se mnou začal zcela spontánně bavit o psech, o přírodě a podobně a zjistili jsme, že máme mnoho společného. Řekl jsem mu, že mě Kozmice zajímají hlavně z hlediska hydrologie, protože ČHMÚ má poblíž vrt. Od té doby se naše společné rozhovory a názorové shody na přírodu přetavily v silné přátelství a já tam Petrovi, kdykoli to jde, rád vypomáhám s divokými koňmi, ale i se skotským náhorním skotem, který tam teď žije.

Jak tato divoká zvířata venku zvládají naše novodobé vlny veder? A co je pro ně vlastně horší – horko a sucho, nebo když je mráz, vše je pod sněhem a oni nemají dostatek potravy?

Jednoznačně sucho a vedro. Kozmické ptačí louky se dají do značné míry vnímat jako laboratoř, protože na jednámdesáti hektarech se tam proměňuje řada biotopů a ekosystémů. Jde vlastně o původně rybníční a posléze zemědělskou krajinu, která se navrátila zpátky přírodě, ale ne všude se sukcese dostala do bodu rovnováhy. Hospodaření s vodou je tam na prvním místě, protože na ní jsou závislé nejen různé druhy vodních ptáků, třeba bahňáků, ale i ti divocí koně nebo náhorní skot. Bez vody to zkrátka nejde, takže suché roky a horké periody opravdu nejsou dobré ani pro ně.

Dalším tématem je i otevřený prostor luk versus les. Je tam jasně vidět, že nejen ptáci, ale i všichni kopytníci včetně srnek, které tam žijí, v horku jednoznačně vyhledávají stín a větší vlhko, takže tradiční a tolik oceňovaná mozaikovitost české krajiny je dodnes ideálním modelem současné kulturní krajiny pro volně žijící zvířata, jež mohou svobodně migrovat za vodou.

Oproti tomu zima, na kterou jste se také ptala, je vážně neohrožuje, horší je pouze námraza, když se nedostanou k pastvě.

V poslední době se v médiích objevují zprávy o tom, že některé oblasti naší republiky, třeba jižní Morava nebo Polabí, už jsou na úrovni spíše subtropického pásu, a zdejší horká léta jsou srovnávána s podnebím ostrovů ve Středomoří, například Hvarem. Co to pro nás v budoucnu může znamenat? Bude se tento trend ještě zhoršovat, budou podle odhadů ČHMÚ teploty i nadále růst?

Jak víte, ČHMÚ i váš Výzkumný ústav vodohospodářský spolupracovaly na centru kompetence Perun, kde se testovaly globální scénáře a zjemňovaly se pro prostředí střední Evropy a České republiky. Existují i různé další scénáře,



Obr. 2. Exmoorský kůň v zimě, Kozmické ptačí louky

kde na počátku stojí socioekonomické záležitosti, technologie a populační růst, které indukují množství emisí a podobně. Myslím, že i z oficiálních závěrů, které prezentuje třeba kolega Radim Tolasz, vyplývá, že žádná selanka nás v příštích letech nečeká. Když se naplní nějaký střední scénář, nikoli ten nejhorší, můžeme za to být relativně rádi.

Pokud se oprostím od počítačových simulací a vezmu to jakoby procházkou v krajině, je aridizace zjevná. Nejenže se rozšiřují xerothermní společenstva, ale i každý zahrádkář už dnes ví, že když poseče zahradu hodně nakrátko, je trávník spálený a bez závlivky se tam nic zeleného nekoná, o květinách či bylinkách ani nemluvě. A když to srovnám z mého profesního hlediska hydrologa, jsou zjevné dvě věci. Zvyšuje se extremita – dá se říct, že úhrn srážek za rok se rapidně nezměnil, ale samozřejmě se mění genetické typy srážek a jejich rozložení v roce. Ubývá tu zimních srážek, ve středních a nízkých polohách markantně, takže ten v učebnicích kdysi demonstrováný oderský typ povodní, kdy jarní tání způsobuje jarní záplavy, už prakticky odezněl. Tou druhou věcí je, že se zároveň zvyšuje frekvence bouřkových situací a konvektivních srážek – srážka padá do krajiny, teče často mimo vodoteče, infiltrace a perkolace se de facto neodehrávají, tudíž třeba od zničující povodně po sucho uplyne jen pár hodin nebo maximálně dní. Mám-li zmínit praktické zkušenosti techniků, tak v době, kdy můj táta s kolegy proměřovali nějaké profily, museli je samozřejmě měřit z mostu, zatímco my je dnes procházíme v gumácích. Průtoky dlouhodobě klesají.

Jaký vliv má v tomto kontextu mínění některých kritiků či odmítačů klimatické změny, často podporované i projevy v médiích? Jak to vnímají odborníci, jako jste vy?

Upřímně, já se vždycky snažil netahat si politiku do svého soukromého ani pracovního života. Navíc věci vytržené z kontextu mohou být strašně nebezpečné. Každopádně ať už bylo na toto téma řečeno cokoli a bylo to míněno jakkoli, není to příliš vhodné. Tady je přesně vidět to zásadní úskalí – zatímco odborník většinou přiznává určitou míru nejistoty všech dat, scénářů a prognóz, takže pro povrchní pohled řadového člověka sedícího třeba v hospodě u televize může vypadat jako „bambula“, který ani pořádně neví, co mluví, tak ty politicky rázně proklamované závěry s rozhodností a sebejistotou posilují vizuální masáž, že jde o člověka, jenž má naprosto jasno. To je za mě asi ten nejnebezpečnější moment takových diskuzí. Domnívám se, že lidé všech profesí, politiky

nevýjímaje, by měli vnímat společný cíl, kterým je přece rozumné fungování civilizace a přežití *Homo sapiens* na této planetě, a tomu by měli podříditi osobní vášně nebo snahy o vlastní zviditelnění.

Před dvěma lety jste s kolegy měřil průtoky a geodeticky zaměřoval stopy hladiny povodně na Jesenicku ze září 2024. Můžete porovnat, co se oproti minulosti v tomto oboru nejvíce změnilo, tedy co už dnes umíme změřit a jaké závěry z toho vyvodit, v čem nám pomáhají matematické modely?

V této souvislosti se mi vybavilo přísloví, které se, myslím, objevilo i v jedné z Cílkových knížek, a to „za sucha myslí na povodeň a naopak“. Znamená to, že hydrologické extrémy jsou sucho a povodeň, ale jsou to de facto dvě strany jedné mince, spojené nádoby.

Myslím si, že nové technologie nám neuvěřitelným způsobem pomáhají zrychlit i zkvalitnit pořizování primárních dat v terénu, což znamená měření během povodní. Samozřejmě je to limitováno tím, jestli se k dané řece vůbec umíme dostat a zda jsme schopni to změřit, aniž by se riskovalo zdraví a životy pracovníků, kteří se v terénu pohybují. To je někdy ta nejtěžší část. A to teď nemluvím ani o stanicích, ani o profilech, protože některé stanice na území naší pobočky po těchto povodních úplně zmizely z mapy České republiky.

Když srovnám současná měření sonarem, jenž umí zpracovávat akustické informace, s vtulí, která se spouštěla z mostu ze závěsu, jsme už kvalitativně i kvantitativně úplně jinde. Sonar má také své limity, ale za dobrých podmínek umí hned vykreslit měrný profil a zároveň rychlostní pole a vyhodnotit průtok, takže pro případné dotazy starostů máme okamžitě připravené informace už na tom břehu či mostě. Druhým přínosem je možnost digitálního zpracování a konverze pomocí matematických modelů a geoinformačních systémů.

Z povodňové zprávy, která tehdy vznikla a je ke stažení na stránkách Ministerstva životního prostředí, mimo jiné vyplývá, že bez pomoci matematických modelů by se některé profily a úseky ohledně velikosti povodně vůbec nedaly změřit. V učebnicích hydrologie se většinou uvádí rychlost vody za přirozené povodně mezi čtyřmi a čtyřmi a půl metry za sekundu; my jsme s kolegy vcelku běžně měřili šest metrů za sekundu.

Dá se po těchto hrůzách v roce 2024 vůbec hovořit o něčem pozitivním, třeba o poučení pro příště?

Vždycky se snažím hledat něco pozitivního. Například jsme začali ve větší míře využívat data dálkového průzkumu Země, která spolu s naším terénním měřením sloužila ke kalibraci hydraulických modelů na vyhodnocení kulminačních průtoků a rozsahu povodní. Kdybych to měl srovnat s poslední takto katastrofickou povodní na Moravě a ve Slezsku v roce 1997, tehdy byly tyto technologie teprve v plenkách a nebyla k tomu ani adekvátní data. Nicméně příroda je dosud ten silnější hráč, s ním hrajeme tuto hru.

Nemáte někdy obavy, že by současné trendy odmítačů či popíračů klimatické změny mohly vést až k reálnému nebezpečí, například kvůli podcenění síly a rizika povodně?

Samozřejmě. Bohužel je to i má zkušenost. Před povodní v roce 2024 se velice shodovaly modely hydrologů i meteorologů, takže narůstala jistota, že se blíží skutečně katastrofální povodeň, která bude mít magnitudu či parametry povodně z roku 1997. Přesto jsem od zhruba třiceti až čtyřiceti procent lidí slyšel odmítavou reakci, že „něco takového se přece nemůže opakovat“. To byl pro mě naprosto nepochopitelný moment. Když jsem se pak po povodních setkal s hasiči a důstojníky Policie České republiky a ti vyprávěli, jak tyto nešťastníky, kteří při vyhlášení evakuace odmítli opustit své domovy, sundávali pomocí helikoptér ze stromů a střech a že to byl boj o vteřiny a o holý život, nebylo to opravdu nic hezkého. Proto bych chtěl znovu apelovat na všechny občany, aby



Obr. 3. Se spolužákem a kolegou Dr. Martinem Adamcem při měření na Kobylím potoce u Karlovic

rizika při predikci povodní nikdy nebrali na lehkou váhu. Navíc si troufám tvrdit, že extremita povodní se bude spíš zvyšovat než snižovat.

Dá se říct, že od povodní v roce 1997 a 2002 se zlepšila informovanost obyvatel? Pomáhají vám modely i při těch predikcích?

Určitě, systémy jsou sofistikovanější a hlavně funguje daleko rychleji a efektivněji distribuce výstražných informací. Chápu, že pro běžného občana je někdy informací až příliš a že se laik může v tom komunikačním šumu občas ztratit. Každopádně dostupnost informací, rychlost výpočtů a produkce předpovědí, ať už jde o srážkoodtokové modely, když se odhadují kulminační průtoky, nebo o meteorologické modely, které řeší, kde spadne to největší srážek, je u nás na technologické špičce a kdokoli má šanci se k nim dostat.

Nyní nakousnu oblíbené české téma: pomohly by v naší situaci přehrady a velké vodní nádrže?

Začnu trochu zešíroka. Primární východisko je podle mě to, že žijeme v kulturní krajině. To znamená, že ať se nám to líbí, nebo ne, člověk je kromě nějakých vandrů nebo dovolených zvyklý využívat technologické vymoženosti. I výroba automobilů, počítačů nebo mobilů samozřejmě spotřebovává vodu, navíc náš běžný denní život z hlediska potravních či hygienických nároků znamená určitou sumu vody, kterou běžný člověk ve městě i na vesnici spotřebuje. Takže když někdo striktně volá po zrušení nějakých technických protipovodňových nebo vodohospodářských opatření a chtěl by návrat k přírodě, podle mě už je to nedosažitelné. Tím chci říct, že bez vodních nádrží už to v dnešní době nejde, ať už z hlediska protipovodňové ochrany, nebo z hlediska energetiky,

vodárenského zásobování domácností, průmyslu a podobně. Tlak na spotřebu vody a určitý komfort je značný.

Každopádně když už jsou vodní nádrže stavěny, měly by být co nejefektivnější, ať už se to týká návrhu a kapacity nádrží, nebo jejich provozních parametrů, tedy co je například prioritou, jestli je tam primárně energetická část, jako je to v případě Dlouhých Strání, nebo zda je to víceúčelové vodní dílo, které zásobuje vodárensky a má i protipovodňový účinek.

Když zhruba před třemi lety na této židli seděl pan profesor Pavel Pech z Fakulty životního prostředí na České zemědělské univerzitě v Praze, ptala jsem se ho mimo jiné na stavbu velkých nádrží a přehrad v České republice, na Nové Heřminovy i na důvod, proč – laicky řečeno – u nás všechno tak strašně dlouho trvá. Přehrada v Nových Heřminovech se prý začala plánovat již po záplavách v roce 1997.

Vleklé je to určitě i proto, že se u nás stále mění politické garnitury a s nimi i jejich priority a proklamované cíle. Jinak tady bych si vás dovolil v jedné věci opravit, ale to jste skutečně nemohla vědět. Jestli si vzpomínáte, jak jsme dávali dohromady článek našeho týmu o rekonstrukci historické povodně z roku 1903 v povodí Opavy...

... Jistě, to je nedávno (příspěvek doc. Unucky a kol. vyšel ve VTEI v červnu letošního roku; poznámka autorky).

... Tak na něm jsem začal intenzivně spolupracovat s paní doktorkou Irenou Moravcovou ze Zemského muzea v Opavě a zjistili jsme, že první návrhy na stavbu přehrady v Nových Heřminovech jsou zhruba z těchto let.



Takže ve skutečnosti je to už víc než sto dvacet let?

Ano (*směje se*). Už po katastrofální povodni roku 1903 se objevuje v materiálech složené komise Pruska a Rakousko-Uherska sdělení, že lokalita v údolí Opavy je vhodná k výstavbě vodního díla, byly zaměřeny příčné profily i podélný profil, a dokonce padly první návrhy na základní parametry hrázního tělesa. Takže vlastně povodeň v roce 1997 jen obnovila myšlenku, která mezitím zapadla.

Samozřejmě důležitý aspekt z mého pohledu je i způsob, jak je to prezentováno. Jakékoli protipovodňové opatření má své limity – ať už biotechnické a přírodě blízké, nebo vodohospodářské. A je fér si říct, že každé vodní dílo má svůj konečný objem a počáteční hladinu. Kámen úrazu ve vleklých diskuzích mezi příznivci a odpůrci stavby přehrady je právě ten objemový limit.

Pojďme se ještě vrátit k tomu opačnému extrému, kterým je sucho. Hrozí nám reálně nedostatek vody, respektive nedostatek pitné vody pro všechny občany?

Já si myslím, že už několikrát nastal, koneckonců i proto vznikly na národní úrovni krajské plány pro zvládnutí sucha, které jsou ale v rámci implementace do reálné praxe ještě v plenkách a na územních samosprávách není s praktickou implementací zatím dostatek zkušeností. Nicméně existují a krajské úřady je mají k dispozici. Podle mě k nám byla příroda ve středoevropském prostoru stále dost milostivá a nedostali jsme se až do takového extrému, kdy by musela nastat nejtvrďší opatření. Ale nějaká regulační opatření v letech 2017 až 2019 už u nás platila.

Samozřejmě při srovnání se zbytkem světa by bylo hloupé smést problém případného nedostatku pitné vody ze stolu s tím, že nás se netýká. Pití vody je fyziologická potřeba a bez ní nepřežijeme. Ostatně historie nás o tom přesvědčuje už od pradávna, že nedostatek vody a potravy mohl vést až ke kolapsu některých civilizací.

S historií jste mi teď nahrál k další otázce. Dá se říct, že kdyby se u jednoho stolu sešel meteorolog, hydrolog a například historik z nějakého archivu, že by si měli o čem povídat, že by našli jakýsi průsečík své práce? Navíc u povodní jste zmiňoval i policii a hasiče, je to tedy o součinnosti všech těchto lidí?

Určitě ano, je k tomu i vůle, dokonce máme mezi sebou přátelské vazby a vztahy, takže spolupráce funguje velice dobře. To se mi vlastně na hydrologii líbí nejvíc – je na rozhraní přírodních a technických věd, a navíc těmi historickými povodněmi má přesah do společenských a historických věd, takže nabízí i romantický pohled na dřívější krajinu Čech, Moravy a Slezska.

A my to pak uplatňujeme prakticky. Například jsme s ČHMÚ pravidelnými účastníky akce *Vodní mlýny*, kterou pořádá Městské muzeum v Ústí nad Orlicí a jeho ředitel doktor Radim Urbánek. Už několikrát jsem se ptal Radima při našich prezentacích, jestli není naše účast na akci jaksi vyčpělá, ale jeho reakce je vždy taková, že my přinášíme jiný pohled, který historici nemají. A naopak, když jsem zmínil doktorku Moravcovou, já bych byl tehdy v archivu úplně zavalený stohy složek na stole a bez jejího vhledu bych vůbec nevěděl, kde začít a co si první fotit. Oni mají své řemeslo vstřebané a právě ten průnik s námi přírodovědci a hydrology vytváří přidanou hodnotu jednak historické zkušenosti a znalosti krajiny našich předků, když to řeknu okřídleně, a jednak odkazu pro současnost, třeba jakým způsobem pracovat lépe s vodou v krajině v dnešních dnech. Myslím si, že to by samotní hydrologové bez historiků a archivářů dohromady nedali.

Obr. 4. Měření na experimentálním povodí VÚLHM a ČHMÚ Slučí potok pod Rejvízem

Máte nějaké oblíbené místo? Při vašich častých výjezdech do terénu jich bude v Čechách, na Moravě i ve Slezsku jistě více...

Od hydrologa se určitě čeká, že řekne...

„Miluji vodu...“

Přesně (*směje se*). Řeky mám opravdu rád a snažím se u nich pobývat i soukromě, kdy se mohu oprostit od odborné práce a vnímat je jen jako hezká místa. V naší republice mám oblíbená tři povodí. Je to jednoznačně Křinice v Českém Švýcarsku, dále Březná u Štítů a Hoštejna – údolí Březné je za mě jedno z nejkrásnějších, co znám – a pak Černá Opava, respektive povodí a přítoky Opavy, kde je Rejvíz a rozhraní Hrubého a Nízkého Jeseníku.

A když to vezmu čistě sám za sebe, jedno z mých nejoblíbenějších míst jsou Jakartovice, kam jsem jezdil už jako kluk na vandry. Je to velice romantická krajina bývalých břidlicových dolů a zatopených štol, k níž mě váže mnoho vzpomínek, a navíc je zajímavá i v rámci živé přírody. Zcela běžně se tam vyskytuje například výr velký, jenž v Nízkém Jeseníku jinak skoro nežije, nebo naše nejmenší sova kulíšek nejmenší, kterou se mi párkrát povedlo i nafotit. Naštěstí není moc plachá, spíš drzá.:-) Takže to jsou moje srdcová místa, kam se vždycky rád vracím.

Dovoluje vám to práce?

Někdy méně, někdy více. Bohužel spíš méně. Ale jakmile to jde, snažím se trávit všechen volný čas v přírodě. Přiznám se, že jako Ostravák jsem ještě nikdy nebyl v nákupním centru Karolina.

Chápu. Takže spíš úniky do lesa a vaši psi...

Ano. Zvířata jsou pro mě vždy připomínkou toho, že člověk má ve své nadutosti pořád pocit, že je pán tvorstva, a to jen proto, že zvířata neznají artikulovanou řeč. To ale neznamená, že neumějí některé věci lépe než my. Často je to na úrovni jemných vibrací, které jdou za hranice lidského vnímání. Víím, že některé typy psů, koček a ptáků, ale i dalších zvířat, která jsem měl možnost víc poznat, jsou k tomu uzpůsobeny daleko víc než člověk.

Na psech obecně nejvíc miluji jejich přímočarost a průchod emocí. Měli bychom si více užívat takových okamžiků a vážit si každého dne, kdy jsme s nimi. Já jsem po přestěhování na venkov skončil – zase úplně náhodou – u chovu pasteveckých plemen psů, tak vždycky říkám, že já jsem neučil je, ale že oni učili mě, protože to je úplně jiný typ psů. Ti se nedají donutit k poslušnosti drilem, s nimi je to opravdu o partnerství. A o to je to potom cennější a pro mě krásnější.



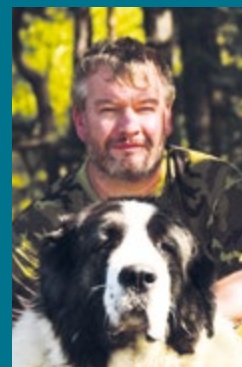
Obr. 5. Jeřáb popelavý po přeletu na Kozmické ptačí louky

Pane docente, přeji vám tedy nejen pevné zdraví a mnoho úspěchů v práci, ale také spoustu krásných chvil v přírodě s vašimi psími partáky. Děkuji, že jste si udělal čas vydat se do Prahy a poskytnout mi rozhovor pro VTEI. Zároveň chci ještě jednou poděkovat za všechny vaše fotografie z přírody i za skvělou spolupráci, která bude, jak doufám, i nadále pokračovat.

Mgr. Zuzana Řehořová

Doc. RNDr. Jan Unucka, Ph.D.

Doc. RNDr. Jan Unucka, Ph.D., se narodil 20. ledna 1977 v Ostravě. Po středoškolském studiu elektrotechniky a informatiky vystudoval obory Fyzická geografie a geoekologie a Environmentální geografie na Přírodovědecké fakultě Ostravské univerzity v magisterském a následně doktorském studijním programu. Poté se habilitoval na Vysoké škole báňské – Technické univerzitě v Ostravě (VŠB-TUO) v oboru Geoinformatika. Po studiu nastoupil jako hydrolog-prognostik na Regionální předpovědní pracoviště ČHMÚ Ostrava, zároveň začal učit na VŠB-TUO, Přírodovědecké fakultě Ostravské univerzity a dalších. Po období výuky na univerzitách v ČR i zahraničí a působení ve výzkumném centru IT4Innovations se vrátil na ČHMÚ, kde je nyní vedoucím Oddělení hydrologie. Profesně se věnuje hydrologii, environmentálnímu modelování, lesnické hydrologii a významu historických a zaniklých vodních děl v tehdejší i dnešní krajině. Je členem několika oborových komisí, autorem odborných publikací, studií i softwaru pro podporu hydrologického a environmentálního modelování. Podílel se a podílí na řešení výzkumných projektů a také na provozu experimentálních povodí v Beskydech, Jeseníkách a Orlických horách ve spolupráci s Výzkumným ústavem lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i. Mezi hlavní koníčky patří příroda a její fotografování, hudba a pastevecká plemena psů.





VTEI/2026/5

Od roku 1959

**VODOHOSPODÁŘSKÉ
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE
WATER MANAGEMENT
TECHNICAL AND ECONOMIC INFORMATION**

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

Ročník 68

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

Redakční rada:

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

Vědecká rada:

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

Šéfredaktor:

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

Odborné redaktorky:

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

Zdroje fotografií tohoto čísla:

VÚV TGM, 123RF.com, doc. RNDr. Jan Unucka, Ph.D., RNDr. Tomáš Hrdinka, Ph.D.,
Mgr. Pavel Eckhardt, Ing. Adam Babuljak, RNDr. Jitka Uhlíková, Ph.D., Ing. Tomáš Laburda, Ph.D.,
Mgr. Eduard Bouše, Ing. Miroslav Barankiewicz, Milan Blšťák

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



TAJNÁ KAPSA (KRKONOŠE, 2015)

Mám moc rád Krkonoše i Jizerské hory a často tam jezdím fotit. I přes houfy návštěvníků zůstávají některé jejich části svým způsobem nedostupné a tím i trochu chráněné – lze v nich najít klid a neporušenou přírodu. A moje fascinace vodou se asi právě tady nejvíce „vyřádí“. Je docela vzácné, když si dokážu vyšetřit na foto-
grafování skoro celý den, toulat se po špatně dostupných místech a jen tak volně hledat a fotit, ale zrovna ten den se mi to podařilo. Cesta podél Kamenického
potoka v Harrachově je zejména v její horní, méně přístupné části přehlídkou krásných vodopádů, zátočinek a malých peřejí. Potok si občas běží skrytě, jinde nabídne
malebná zákoutí, kam turista špatně sestupuje. Pro mě je to ten pravý fotografický ráj. U hladiny se pod správným úhlem skrývaly úžasné tvary a překvapení a pod-
zimní čas mi tu nabídl daleko větší škálu barev než jindy. Zkoumal jsem, jak se těsně pod hladinou vznášejí ponožené listy nebo kapradiny a drobné vlnky s nimi hrají
hru na schovávanou. Dobrodružství nebylo jen dostat se objektivem dostatečně blízko k hladině a nastavit pod správným úhlem polarizační filtr, aby se hladina tolik
neleskla, ale také zahrát si s vlnkami hru na ten správný okamžik, kdy zmáčknout spoušť. A zrovna u této miniaturní kapsičky se to podařilo.

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

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

veřejná výzkumná instituce

VTEI.cz